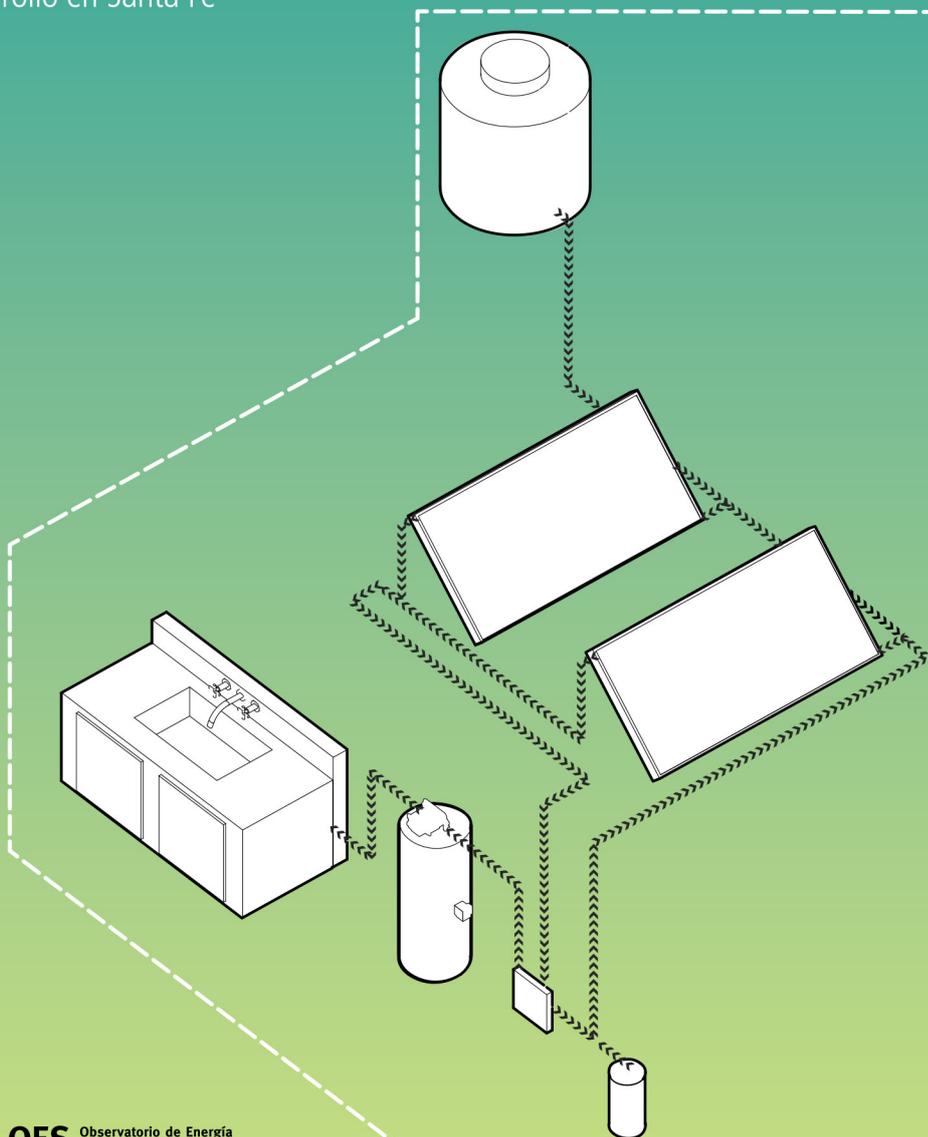


Energía Solar Térmica

Aportes para la implementación y desarrollo en Santa Fe



OES Observatorio de Energía y Sustentabilidad
UTN / Facultad Regional Rosario

Dr. Ing. Christian Navtoft | Arq. Fabián Garreta | Mgter. Ing. Pablo Bertinat | Ing. Jorge Chemes

Energía Solar Térmica

Aportes para la implementación
y desarrollo en Santa Fe

Dr. Ing. CHRISTIAN NAVNTOFT
Arq. FABIÁN GARRETA
Mgter. Ing. PABLO BERTINAT
ING. JORGE CEMES



OES Observatorio de Energía
y Sustentabilidad

UTN / Facultad Regional Rosario

Navntoft, Christian, Garreta Fabián, Bertinat Pablo, Chemes Jorge
Energía solar térmica, aportes para la implementación y desarrollo en Santa Fe.
- 1a ed. - Rosario. Mayo, 2016.
188 p. ; 22 x 15 cm.

ISBN 978-987-42-0615-2

1. Energía Térmica Solar.
CDD 333.7923

COORDINACIÓN Y EDICIÓN

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rosario (UTN FRRO)

Mgter. Ing. Pablo Bertinat

Ing. Jorge Chemes

REVISIÓN

Editorial Universitaria de la Universidad Tecnológica Nacional (edUTecNe)

Dr. Jaime Moragues

Tco. Bernardo H. Banega

Secretaría de Estado de Ciencia, Tecnología
e Innovación de la Provincia de Santa Fe (SECTeI)

Laura Marsol

Mtr. Mariana Lahitte

Arq. Danilo Landucci

DISEÑO DE INTERIOR

Lucas Mililli | Estudio Metonimia Diseño

DISEÑO DE TAPA

Dis. Arq. Ariel Ibarra

ISBN: 978-987-42-0615-2



Licencia CreativeCommons: Reconocimiento - No comercial - Compartir igual: El artículo puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros si se reconoce la autoría en los créditos. No se puede obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original. Más información en: <http://creativecommons.org>

ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Aportes para la implementación y desarrollo en Santa Fe

Los contenidos del presente trabajo son el fruto del Convenio de colaboración suscripto oportunamente entre el Observatorio de Energía y Sustentabilidad (OES) de la Facultad Regional Rosario de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN FRRo), y la Secretaría de Estado de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Provincia de Santa Fe (SECTel) para la elaboración de material didáctico referido a la aplicaciones de la energía solar

Índice

Prólogo	9
Mgter. Ing. PABLO BERTINAT Director del Observatorio de Energía y Sostenibilidad (OES) UTN Facultad Regional Rosario	
Introducción	11
Recurso solar	21
Climatología	29
Calidad del agua	35
Sistemas solares térmicos	37
• <i>Clasificación de las instalaciones de calentamiento solar</i>	39
• <i>Características de tanques de almacenamiento</i>	43
Instalaciones de Energía Solar Térmica	
Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura	45
Anexo I: Normativa de aplicación y consulta	85
Anexo II: Definiciones	87
Anexo III: Pruebas y documentación	93
Anexo IV: Cálculo de demandas energéticas	101
Anexo V: Cálculo de las pérdidas por orientación e inclinación	109
Anexo VI: Cálculo de pérdidas de radiación solar por sombras	115

Anexo VII: Componentes	133
Anexo VIII: Condiciones de montaje	145
Anexo IX: Requisitos técnicos del contrato de mantenimiento	153
Anexo X: Tablas de temperaturas y radiación	157
Anexo XI: Métodos de cálculo	159
Anexo XII: Antecedentes	165
Bibliografía consultada	181



Prólogo

Sin dudas uno de los problemas más importantes de nuestros tiempos es el incremento exponencial de la producción y consumo de energía tanto a nivel mundial como regional. Este crecimiento se ha dado básicamente a expensas de la utilización de recursos fósiles como petróleo, gas y carbón. La estructura de energías primarias utilizadas en nuestro país depende en más de un 90% de petróleo y gas. Esto significa una situación de fragilidad muy fuerte ya que el horizonte de reservas de los mismos ha presentado en los últimos años un marcado decrecimiento.

Sin embargo, la preocupación mayor es probable que no esté ligada a la extinción de los combustibles mayoritarios, que seguramente va a ocurrir en el presente siglo, sino los impactos que la utilización de los mismos está produciendo sobre el sistema mundial. Toda la cadena de los hidrocarburos tiene una serie de impactos desde su extracción hasta el uso final. El calentamiento global, principal problema socio-ambiental a nivel planetario, debe sus causas básicamente a la utilización de petróleo, gas y carbón.

La llamada civilización petrolera muestra muchas dificultades para poder sostenerse en el indicado marco de escasez e impactos y nos muestra la necesidad de poder avanzar más rápidamente en el desarrollo de otra realidad energética.

Pensar en esa otra realidad energética requiere abordar al tema de la energía desde muchos aspectos. Analizar la relación entre la producción y consumo de energía y el modelo productivo, visualizar el peso de energía y materiales que tiene el actual modelo de desarrollo. Vincular los procesos energéticos con los impactos no solo sobre el ambiente sino sobre las personas. Pensar a la energía no como una

mercancía sino como un derecho que forma parte del conjunto ampliado de derechos de las personas. Fortalecer los procesos de debate democrático en la toma de decisión respecto a las políticas energéticas.

Esto fortalece la idea de sacar a la energía de una esfera meramente técnica y comercial para lograr el involucramiento de toda la sociedad en el abordaje de esta problemática.

Si bien el tema resulta complejo, hay mucho que podemos hacer para avanzar en la construcción de otra realidad energética. Uno de los temas es fortalecer los caminos para la diversificación de las fuentes energéticas que utilizamos.

La provincia de Santa Fe tiene la particularidad de ser gran consumidora de energía, tanto en sus industrias como en sus centros urbanos, sin embargo, en la configuración de su matriz energética actual, la provincia no es generadora de energía sino que la adquiere/compra en el mercado, situación que la coloca en completa dependencia de los distribuidores mayoristas nacionales (sean estatales o privados).

La energía solar es la principal fuente energética alternativa en la provincia de Santa Fe, sin embargo aún tiene un desarrollo muy escaso. Esta fuente de energía se puede usar de forma pasiva o activa, con fines eléctricos o térmicos y podría permitir un importante desarrollo local.

Existen en nuestra Provincia más de 270 localidades que no tiene red de gas natural y existen muchos habitantes que viviendo en zonas donde hay redes no tiene acceso a las mismas. En ambos casos el desarrollo de la energía solar térmica representa un gran desafío no solo energético, sino ambiental, productivo, de empleo, etc.

El presente trabajo pretende básicamente informar y entregar herramientas que permitan agilizar el desarrollo local para la implementación de soluciones energéticas sustentables. Sin dudas se suma a las muchas buenas experiencias que existen desde hace tiempo en la región con la expectativa de que esta alternativa deje de ser una fuente alternativa para ser una de las fuentes principales de energía que se utilicen en nuestra Provincia.

Mgter. Ing. PABLO BERTINAT
Director del Observatorio de Energía y Sostenibilidad (OES)
UTN Facultad Regional Rosario



Introducción

Los principios que rigen el aprovechamiento térmico de la energía solar son conocidos desde principios de siglo VII y la prueba más fehaciente de ello es la cantidad de sistemas solares térmicos instalados y en funcionamiento en el mundo.

A nivel mundial, la tecnología con la que se fabrican estos equipos ha ido avanzando desde la primera crisis del petróleo en los años 70 hasta nuestros días. Se han incorporado superficies de alta absorbanza y baja emisividad térmica, permitiendo que el calor quede retenido dentro del colector y se reduzcan las pérdidas al ambiente por radiación. Se ha incorporado la tecnología de tubos de vacío que tiene por objeto reducir las pérdidas térmicas por convección, el uso de espejos térmicos que impiden el escape del calor hacia el exterior del colector e incluso, en desarrollos más recientes, se ha incorporado el uso de espejos reflectores con geometría innovadora que permiten disminuir las pérdidas ópticas al mínimo. Una extensa revisión y recopilación de las tecnologías y materiales de colectores solares que se han desarrollado a nivel mundial pueden encontrarse en el libro «Solar collectors, energy storage and materials», editado por Francis De Winter en 1996 [15]. De esta manera, conviven actualmente multiplicidad de diseños y tecnologías de colectores solares capaces de responder a distintas necesidades. Sin embargo, de acuerdo a sus características generales, los colectores se pueden agrupar en tres tipos:

A. Planos. Están formados por una caja o gabinete aislado con una cubierta o cobertor transparente y en su interior contienen un sistema de tubos por el cual fluye el agua a calentar. Los tubos pueden

o no estar unidos a otras superficies con el fin de captar más radiación solar. Estos colectores pueden diferir entre sí en distintas variables:

- La cubierta transparente puede ser de una o más capas de plástico, vidrio, vidrio de baja emisividad o vidrio de borosilicato (pyrex).
- El absorbedor puede ser negro mate o tener un recubrimiento selectivo que le permita maximizar la captación solar y minimizar las pérdidas radiativas. La selectividad de la superficie depende del tipo de recubrimiento del absorbedor.
- El aislante puede ser lana de vidrio, lana mineral o poliuretano.
- Pueden o no poseer superficies reflectantes que ayuden a la captación de energía solar.
- Los tubos de agua dentro del colector pueden ser paralelos, tipo parrilla, o estar dispuestos en forma de serpentina.

B. Tubos Evacuados. Consisten en dos tubos de vidrio concéntricos, soldados entre sí como una ampolla, en cuyo interior se ha hecho vacío con el fin de reducir las pérdidas convectivas que ocurren en los colectores planos. Por el proceso de manufactura, todos los tubos evacuados ya vienen con un recubrimiento selectivo en la parte externa del tubo interno. De hecho, el vacío solo tiene sentido si previamente se ha hecho un recubrimiento selectivo. De la otra manera, seguirían predominando las pérdidas radiativas. Estos colectores pueden diferir entre sí en distintas variables:

- Pueden poseer espejos reflectores exteriores de diversa geometría que ayuden a captar más energía solar.
- El agua puede circular dentro de los tubos inundándolos completamente («All Glass»).
- El agua puede circular en un tubo de cobre dentro del tubo evacuado («U-Pipe»). Con esta tecnología se puede operar con mayor presión de agua.
- El calor capturado por el tubo evacuado puede ser transferido al agua a través de un tubo que en su interior cuenta con una pequeña cantidad de un fluido caloportador que se evapora y condensa constantemente y cede calor a un tubo colector ubicado en la parte superior («Heat Pipe»).

- Pueden ser de diferente diámetro y en consecuencia diferente rendimiento.
- Pueden ser enteramente de vidrio o la ampolla puede estar compuesta por un tubo de vidrio externo, y un tubo metálico interno, ambos unidos por un sello que absorba las dilataciones diferenciales de cada material.

C. Plásticos o de piscinas. Estos colectores son en su mayoría de polipropileno extruído o inyectado. La característica sobresaliente es que no tienen caja, cobertura transparente ni tampoco aislamiento térmico. Al ser de plástico resisten bien la corrosión que ocasiona el agua clorada de las piscinas pero al no tener cubierta transparente ni aislante, tienen grandes pérdidas térmicas cuando las condiciones ambientales se tornan desfavorables. Su uso se limita exclusivamente a extender unas semanas más los días de uso de piscina en verano y elevar algunos grados la temperatura del agua de la misma. Estos colectores pueden diferir entre sí en distintas variables:

- Geometría de extrusión o inyección.
- Disposición del circuito de agua dentro del colector.
- Material de inyección.

En la figura 1, se muestran las diferencias básicas de aspecto entre los tres tipos de colectores: A) Plano, B) Tubos evacuados C) Plásticos o de piscinas.



▲ Figura 1A.
Colector plano tradicional

▲ Figura 1B.
Colector de tubos evacuados

▲ Figura 1C.
Colector plástico o de piscina

Los colectores solares están en permanente equilibrio con el ambiente. La eficiencia de conversión del mismo depende de los siguientes factores:

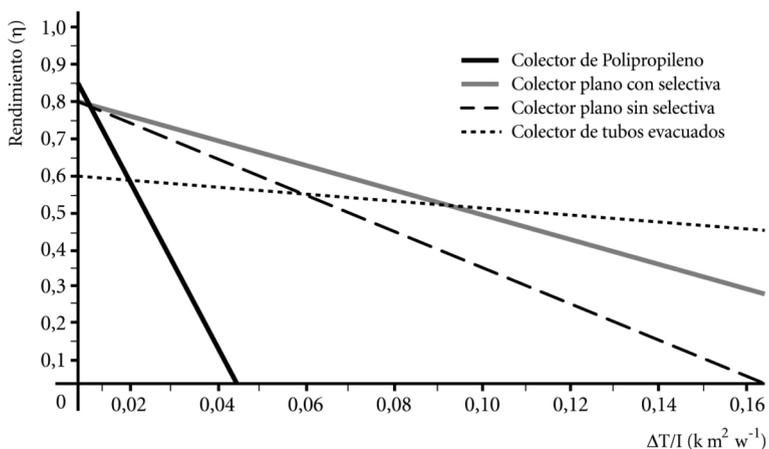
- *Radiación solar.*
- *Temperatura ambiente.*
- *Temperatura del agua de entrada.*
- *Velocidad del viento.*
- *Caudal de circulación.*

De esta manera, no es posible asignar un solo valor de eficiencia a los colectores solares sino que es necesario determinar su **curva de rendimiento**. Esta curva representa el funcionamiento de los colectores solares bajo distintas situaciones ambientales y es necesaria para dimensionar cualquier instalación. La curva de rendimiento se determina experimentalmente bajo condiciones controladas de los parámetros mencionados y conforme a la norma IRAM 210002. Esta norma está basada en la norma americana ASHRAE 93/1978, pero actualmente está siendo actualizada tomando la ISO 9806 como base, que es la norma establecida como estándar por «Solar Keymark»¹ en Europa y que los otros países de la región han tomado como referencia. En la mencionada norma, la curva de rendimiento es una de las evaluaciones que se deben realizar al colector en cuestión. Adicionalmente, se realizan pruebas de resistencia a granizo, estanqueidad, resistencia a rotura, etc. Cuando un colector se conecta en conjunto con un tanque, se lo denomina «sistema» y su eficiencia está dada por el funcionamiento simultáneo de ambos componentes, agregándose así una variable más a la hora de considerar la eficiencia del mismo (Una descripción detallada del funcionamiento conjunto de colectores y tanques puede ser consultada en la sección de sistemas solares térmicos, más adelante en este Capítulo).

1. www.solarkeymark.org; Esta organización define los estándares a seguir por los fabricantes de colectores. Sólo aquellos fabricantes certificados por Solar Keymark pueden vender sus equipos en el marco de los distintos programas de promoción de energía solar térmica que existen en la Unión europea.

Para simplificar la curva, las condiciones ambientales de uso se definen mediante el factor $(\Delta T/I)$, donde ΔT es la diferencia de temperatura entre la temperatura media del fluido en el colector y la temperatura ambiente en Kelvin, e I es la irradiancia solar en W/m^2 .² De esta manera, la curva muestra el rendimiento del colector (η) en función de las condiciones ambientales dadas por $(\Delta T/I)$. La ordenada al origen, representa el máximo rendimiento posible y la pendiente representa las pérdidas térmicas de cada tipo de tecnología mencionada. En la figura 2 se muestran las diferencias «mínimas» entre los diferentes tipos de tecnologías definidas anteriormente.

Figura 2. **Diferencia entre las distintas tecnologías de colectores solares. Curvas calculadas a partir de los distintos rendimientos que se muestran en la tabla 1**



Dentro de cada tecnología específica A), B) o C), existen también diferencias entre las características técnicas de cada colector, que tienen como resultado equipos con una curva de rendimiento diferente. La tabla 1 muestra diversas curvas de rendimiento para las

² W/m^2 : Watt por metro cuadrado

diferentes tecnologías de algunos colectores que se comercializan a nivel local e internacional en la actualidad.

Tabla 1. Diferentes tipos de tecnología solar térmica y curvas de rendimiento asociadas extraídas de [1], [2], [3] y [4]

Tipo	Marca	Rendimiento	Características
Plano	AOSOL (Portugal)	0,74 - 4,6 · ($\Delta T/l$)	Vidrio simple con sup. selectiva y espejos CPC
Plano	Vademarco (Argentina)	0,83 - 5,89 · ($\Delta T/l$)	Vidrio simple con Sup. Negro Mate
Plano	Innovar (Argentina)	0,71 - 5,10 · ($\Delta T/l$)	Cubierta plástica con Sup. Negro Mate
Plano	Solahart (Australia)	0,80 - 3,58 · ($\Delta T/l$)	Vidrio baja emisividad con sup. Selectiva
Tubos evacuados	AMK-1 (Suiza)	0,57 - 0,91 · ($\Delta T/l$)	Tubo evacuado con tubo en «U» interno y espejos plano externo.
Tubos evacuados	AMK-2 (Suiza)	0,76 - 1,41 · ($\Delta T/l$)	Tubo evacuado con tubo en «U» interno y espejos curvo externo.
Tubos evacuados	Apricus (USA)	0,72 - 1,72 · ($\Delta T/l$)	Tubo evacuado con tubo en «U» interno sin espejo externo.
Tubos evacuados	Springsolar (Hungría)	0,62 - 0,94 · ($\Delta T/l$)	Tubo evacuado con tubo en «U» interno con espejo CPC externo.
Plásticos	Solapool, (España)	0,92 - 18,7 · ($\Delta T/l$)	Polipropileno sin cobertura
Plásticos	Fafco Inc., (USA)	0,86 - 18,86 · ($\Delta T/l$)	Polipropileno sin cobertura
Plásticos	Heliocol, (USA)	0,87 - 21,31 · ($\Delta T/l$)	Polipropileno sin cobertura
Plásticos	Performance Solar, (USA)	0,81 - 21,44 · ($\Delta T/l$)	Polipropileno sin cobertura

De esta manera, la selección de la tecnología adecuada para calentamiento solar, será función de cada aplicación específica (agua caliente sanitaria, calefacción o calentamiento de piscinas) y además, estará dada por las características climáticas de la zona (temperatura ambiente, velocidad de viento, irradiación solar, etc.).

La distribución de estas tres principales tecnologías a nivel mundial se muestra en la tabla 2. Esta distribución está relacionada con las aplicaciones más frecuentes y las características climáticas de cada zona. En ocasiones se opta por la tecnología más barata y no la más eficiente, sobre todo en Asia y África. Esto redundaría en ahorro a corto plazo con pérdida de rendimiento y/o vida útil del equipo a mediano plazo.

Tabla 2. **Porcentaje del total de colectores cubierto por cada tecnología solar térmica en cada continente, extraídos de [5]**

Continente	Plásticos (sin cobertura)	Planos	Tubos evacuados
Europa	6,75%	89,99%	3,26%
América	82,68%	15,69%	1,63%
Asia	0,02%	22,35%	77,63%
África	57,52%	42,43%	0,05%
Oceanía	70,16%	29,41%	0,43%

En el caso de América, los datos corresponden en su mayoría a EEUU donde la energía solar térmica está muy difundida para su uso en el calentamiento del agua de las piscinas. Para esta aplicación, la tecnología más utilizada son los colectores plásticos ya que los mismos presentan un costo accesible, nula corrosión, bajo peso, son flexibles y tienen una eficiencia muy buena en meses de verano. Sin embargo, este tipo de tecnologías no es eficiente fuera de los meses de verano y no puede utilizarse para calentamiento de agua y calefacción en otra época del año.

En Europa predominan los colectores planos. En este continente las principales aplicaciones son para agua caliente sanitaria y calefacción, dado que la energía solar térmica se encuentra respaldada por políticas de promoción y además los costos de calentamiento de agua o aire por recursos fósiles son mucho más altos que en cualquier otra región del mundo. Para estas aplicaciones es necesario contar con sistemas de alta eficiencia, confiables y robustos que puedan soportar las inclemencias del clima europeo sin deterioro en su funcionamiento.

En Europa sólo los colectores certificados por «Solar Keymark» pueden recibir subsidios o créditos fiscales a través de las políticas de promoción.

La situación en Asia está dominada por los tubos evacuados. Esto tiene su fundamentación en que el mercado asiático exige un producto razonable a un costo accesible, lo cual sólo se obtiene con un aumento en la escala de producción. En los últimos años Asia se ha dedicado a fabricar colectores de tubos evacuados que puedan cubrir esa demanda, y su economía de escala le ha permitido exportar productos a bajo precio a todo el mundo. Sin embargo, los equipos asiáticos en algunos casos no están debidamente certificados. En los casos en que sí lo están, sus precios son menos competitivos con los colectores planos de última generación provenientes del mercado europeo.

La situación en África es diferente, ya que presenta una desigualdad social muy grande y, por otro lado, las bondades del clima no obligan al uso de alta tecnología. Por esto es que el mercado se divide básicamente en colectores plásticos y colectores planos sin superficie selectiva.

El caso de Oceanía está asociado a una tendencia similar a lo que sucede en EEUU, pero también existe un mercado importante para los colectores planos. Esta característica surge por la existencia de décadas de políticas de promoción y la rigurosidad del clima que exige tecnologías robustas.

En nuestro país la actual crisis energética ha creado un contexto ideal para fomentar un mercado solar térmico. Su creación y desarrollo requiere de una diversidad de productos, así como también de calidades. Como ya se mencionó anteriormente, deben coexistir diferentes tecnologías para los distintos climas y aplicaciones. Las zonas más frías, en el sur del país, necesitan colectores más eficientes y las zonas más cálidas como las del norte del país, pueden funcionar aceptablemente colectores de eficiencia media a baja. En ambos casos, es imprescindible que la selección de la tecnología a utilizar esté en concordancia con la aplicación y las características climáticas. A modo de ejemplo, un colector plano con recubrimiento negro mate (pintura negra) tiene muy bajo rendimiento en invierno. De esta manera, si la aplicación es para calefacción, sería más conveniente disponer de

un colector plano con superficie selectiva o bien uno de tubos evacuados, cuyo rendimiento es mucho mayor para la misma época.

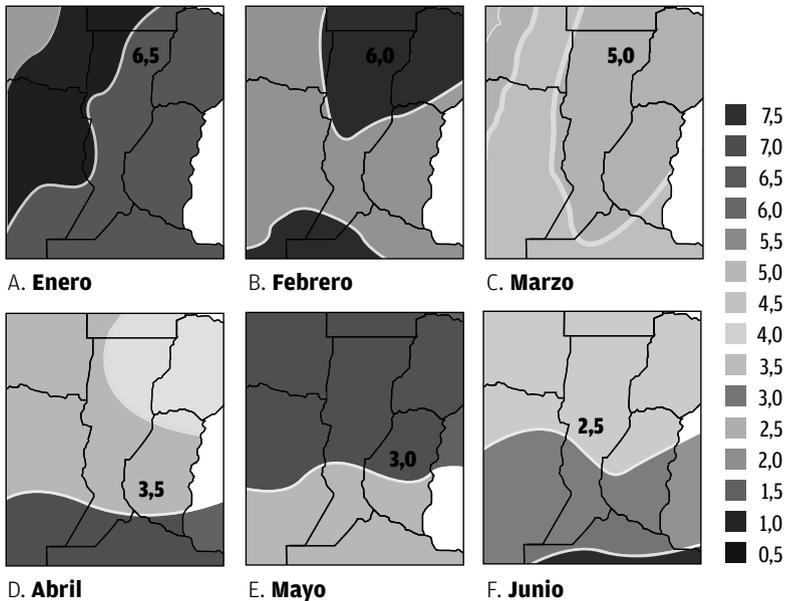
Las zonas de granizo frecuente requieren de equipos resistentes a ese fenómeno. En todos los casos, el rendimiento puede ser mejor o peor en función de la zona del país, pero la calidad debe ser confiable y su funcionamiento debe estar comprobado. Es necesario además, conocer con bases sólidas las prestaciones de cada tipo de tecnología. Existen normas IRAM que permiten determinar la eficiencia de colectores (210002: Colectores solares-Métodos para determinar el rendimiento térmico) y de tanques acumuladores «(210003: Acumuladores térmicos. Métodos de determinación del rendimiento térmico)», como así también de la resistencia al granizo (210008-5: Colectores solares. Métodos para determinar la resistencia al granizo de las cubiertas) y de la calidad del material absorbedor (2100010-1: Colectores solares. Evaluación de los materiales absorbedores utilizados en conversión fototérmica). La generación de un mercado confiable necesita que las tecnologías que se comercialicen sean homologadas bajo estas normas, de forma de poder establecer una comparación cierta entre los colectores y sistemas importados de Asia y Europa y los de fabricación nacional.

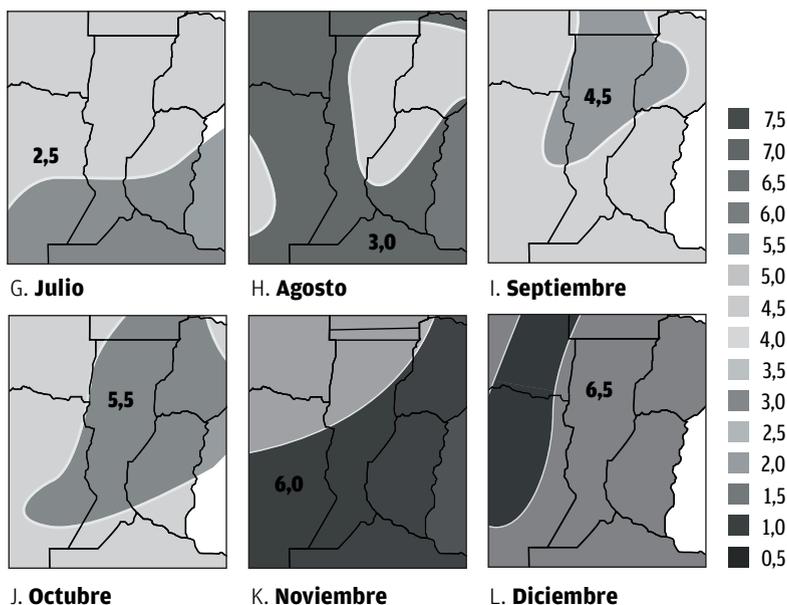


Recurso solar

Los datos de irradiación media mensual diaria en el plano horizontal para la provincia de Santa Fe se muestran en la figura 3 y en la tabla 3. Los mismos fueron extraídos del trabajo de Grossi Gallegos y Righini, (2007)[16].

Figura 3. Irradiación solar media mensual diaria para la provincia de Santa Fe en kWh/m². Cada color corresponde a un valor de irradiación en conformidad con la escala





La figura 3 muestra que en la mayoría de los meses existe una diferencia en la irradiación solar que llega al norte y al sur de la provincia, siendo la única excepción el mes de diciembre. En base a ello, la tabla 3 muestra el rango de valores encontrados para cada mes en la provincia de Santa Fe.

Tabla 3. Rango de valores de irradiación media mensual diaria para el plano horizontal en la provincia de Santa Fe de acuerdo con la Figura 3

Mes	Irradiación (kWh/m²)
Enero	6,5-6,0
Febrero	6,0-5,0
Marzo	5,0-4,5
Abril	4,0-3,0
Mayo	3,0-2,5
Junio	2,5-2,0
Julio	2,5-2,0
Agosto	3,5-3,0
Septiembre	4,5-4,0
Octubre	5,0-5,5
Noviembre	6,0-5,5
Diciembre	6,5
Anual	4,6-4,1

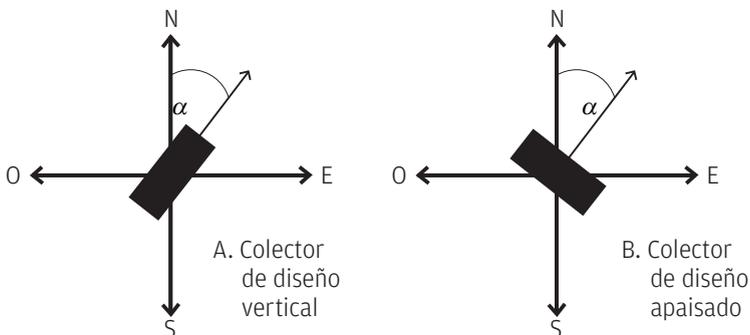
De esta manera, las aplicaciones solares térmicas deben ser dimensionadas con el valor correspondiente a su zona, teniendo en cuenta las diferencias mostradas en la figura 3 y la tabla 3.

Dependiendo de la inclinación (β) y orientación del colector o captador con respecto al norte o acimut (α), el plano inclinado captará mayor o menor energía en cada mes. En las figuras 4 y 5 se muestran cuales son las referencias de medición de los ángulos en cuestión.

Figura 4. **Inclinación del colector o captador (β)**



Figura 5. **Acimut del colector o captador (α), instalado en distintas posiciones**



La inclinación toma valores entre 0° (plano horizontal) y 90° (plano vertical) y el acimut toma valores de 0° para el norte, 90° para el este, -90° para el oeste y 180° para el sur.

En las tablas 4 a 8 se muestran la relación (H_T/H) entre la irradiación en el plano horizontal (H) y la irradiación en el plano inclinado (H_T) para distintos valores de inclinación entre 0° y 90° y valores de

acimut entre 0° y 90°. Las relaciones fueron calculadas usando la metodología descrita en el trabajo de Klein S.A. y Theilacker J. C., 1981 [18] y los datos de Grossi Gallegos H. y Righini R., 2007 [16].

Tabla 4. Relación H_T/H para un plano inclinado 15° y distintas orientaciones entre 0 y 90°

Inclinación (β) = 15°						
Acimut (α)	0°	15°	30°	45°	60°	90°
Enero	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Febrero	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	0,98
Marzo	1,06	1,05	1,05	1,04	1,02	0,98
Abril	1,12	1,11	1,10	1,08	1,05	0,98
Mayo	1,19	1,19	1,17	1,13	1,09	0,98
Junio	1,22	1,21	1,19	1,15	1,10	0,98
Julio	1,21	1,21	1,18	1,14	1,10	0,98
Agosto	1,15	1,14	1,12	1,10	1,07	0,98
Septiembre	1,08	1,08	1,07	1,05	1,03	0,98
Octubre	1,03	1,03	1,02	1,02	1,01	0,98
Noviembre	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,98
Diciembre	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
Anual promedio	1,08	1,08	1,07	1,05	1,03	0,98

Tabla 5. Relación H_T/H para un plano inclinado 30° y distintas orientaciones entre 0 y 90°

Inclinación (β) = 30°						
Acimut (α)	0°	15°	30°	45°	60°	90°
Enero	0,91	0,92	0,92	0,93	0,94	0,93
Febrero	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,93
Marzo	1,07	1,06	1,05	1,03	1,00	0,93
Abril	1,19	1,18	1,15	1,12	1,06	0,94
Mayo	1,33	1,32	1,28	1,21	1,13	0,95
Junio	1,38	1,37	1,32	1,25	1,16	0,95
Julio	1,36	1,35	1,31	1,23	1,15	0,95
Agosto	1,24	1,23	1,20	1,15	1,09	0,94
Septiembre	1,11	1,10	1,09	1,06	1,02	0,93
Octubre	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,93
Noviembre	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93
Diciembre	0,90	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93
Anual promedio	1,12	1,11	1,09	1,06	1,03	0,94

Tabla 6. Relación H_T/H para un plano inclinado 45° y distintas orientaciones entre 0 y 90°

Inclinación (β) = 45°						
Acimut (α)	0°	15°	30°	45°	60°	90°
Enero	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86
Febrero	0,89	0,89	0,90	0,89	0,89	0,86
Marzo	1,02	1,01	1,00	0,98	0,95	0,87
Abril	1,20	1,18	1,15	1,10	1,04	0,88
Mayo	1,40	1,38	1,32	1,23	1,13	0,89
Junio	1,47	1,45	1,38	1,28	1,16	0,89
Julio	1,44	1,42	1,36	1,26	1,15	0,89
Agosto	1,28	1,26	1,21	1,15	1,07	0,88
Septiembre	1,08	1,07	1,05	1,03	0,98	0,87
Octubre	0,94	0,94	0,94	0,93	0,91	0,86
Noviembre	0,84	0,84	0,85	0,86	0,86	0,86
Diciembre	0,79	0,80	0,81	0,83	0,84	0,86
Anual promedio	1,09	1,09	1,07	1,03	0,99	0,87

Tabla 7. Relación H_T/H para un plano inclinado 60° y distintas orientaciones entre 0 y 90°

Inclinación (β) = 60°						
Acimut (α)	0°	15°	30°	45°	60°	90°
Enero	0,68	0,69	0,71	0,73	0,75	0,76
Febrero	0,77	0,78	0,79	0,79	0,79	0,77
Marzo	0,93	0,93	0,91	0,89	0,87	0,78
Abril	1,15	1,13	1,09	1,04	0,96	0,79
Mayo	1,39	1,37	1,30	1,20	1,08	0,81
Junio	1,48	1,46	1,38	1,25	1,12	0,82
Julio	1,45	1,42	1,34	1,23	1,10	0,81
Agosto	1,24	1,22	1,17	1,09	1,00	0,80
Septiembre	1,01	1,00	0,98	0,94	0,90	0,78
Octubre	0,82	0,83	0,83	0,83	0,82	0,77
Noviembre	0,71	0,72	0,74	0,75	0,76	0,76
Diciembre	0,66	0,67	0,69	0,72	0,74	0,76
Anual promedio	1,02	1,01	0,99	0,95	0,91	0,78

Tabla 8. Relación H_T/H para un plano inclinado 90° y distintas orientaciones entre 0 y 90°

Inclinación (β) = 90°						
Acimut (α)	0°	15°	30°	45°	60°	90°
Enero	0,37	0,39	0,44	0,48	0,52	0,55
Febrero	0,45	0,47	0,51	0,54	0,56	0,56
Marzo	0,62	0,63	0,64	0,64	0,63	0,58
Abril	0,87	0,86	0,82	0,78	0,73	0,60
Mayo	1,16	1,13	1,05	0,95	0,85	0,62
Junio	1,27	1,24	1,15	1,02	0,89	0,63
Julio	1,23	1,20	1,11	0,99	0,87	0,62
Agosto	0,99	0,96	0,91	0,84	0,77	0,60
Septiembre	0,72	0,71	0,70	0,69	0,67	0,58
Octubre	,51	0,53	0,56	0,58	0,59	0,57
Noviembre	0,40	0,42	0,46	0,50	0,53	0,56
Diciembre	0,35	0,37	0,42	0,47	0,51	0,55
Anual promedio	0,74	0,74	0,73	0,71	0,68	0,58

Para cualquier inclinación (β), la orientación óptima es hacia el norte, es decir acimut (α) de 0° .

Para aplicaciones térmicas de uso anual pero con mayor demanda energética en invierno como agua sanitaria, la inclinación sugerida podría ser latitud $+10^\circ$. A modo de ejemplo, una instalación solar térmica en la latitud 35° , deberá tener una inclinación de 45° .

Para aporte solar a la calefacción de edificios se recomienda inclinar los captadores la latitud $+15^\circ$. En estos casos, los sistemas más recomendados son el piso radiante por agua a baja temperatura, es decir, entre 35°C y 42°C .

Es necesario aclarar que ciertos tipos de colectores de tubos evacuados, conocidos como «heat pipe», requieren de una inclinación mínima para su funcionamiento. Para aplicaciones que se utilizan en períodos estivales, como es el caso de las piscinas, la inclinación del sistema recomendada se encuentra entre 10° y 20° .

El dimensionamiento para orientaciones e inclinaciones distintas de las mencionadas, deben realizarse utilizando los datos de la

irradiación en el plano horizontal de tabla 3 o la figura 3 multiplicados por los factores de las tablas 4 a 8. Esta operación permitirá obtener la irradiación media mensual para la inclinación y orientación deseada. En el caso de que la inclinación deseada no coincida con la de las tablas, debe elegirse la tabla cuyos valores de inclinación y orientación sean los más cercanos. A modo de ejemplo, si la inclinación del colector será de 70° debido a la caída del techo, debe elegirse la tabla 7.



Climatología

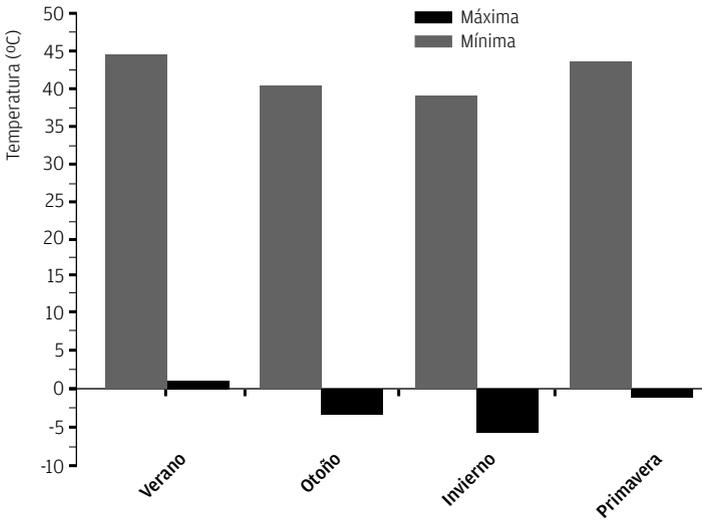
Las temperaturas medias mensuales, máximas y mínimas para diferentes localidades de la provincia de Santa Fe pueden verse en las tablas 9 a 12. Los valores extremos para cada estación del año en las distintas localidades pueden verse en las figuras 6 a 9. Los datos fueron extraídos de las estadísticas del Servicio Meteorológico Nacional [6].

- Datos para la localidad CERES
(Latitud: 29,53° S; Longitud: 61,57°)

Tabla 9. **Temperaturas medias mensuales, máxima y mínima para la localidad de Ceres**

Mes	Min. (°C)	Med. (°C)	Max. (°C)
Enero	19,60	25,70	32,30
Febrero	19,10	24,50	31,00
Marzo	17,40	22,60	29,20
Abril	14,40	19,00	25,20
Mayo	10,70	15,60	22,00
Junio	7,00	11,90	18,50
Julio	6,70	11,80	18,40
Agosto	8,20	13,90	21,40
Septiembre	9,40	15,60	22,90
Octubre	13,40	20,00	27,20
Noviembre	16,30	22,50	29,00
Diciembre	18,20	24,60	31,20
Anual	13,37	18,98	25,69

Figura 6. Ocurrencia de temperaturas extremas en diferentes estaciones del año para la localidad de Ceres

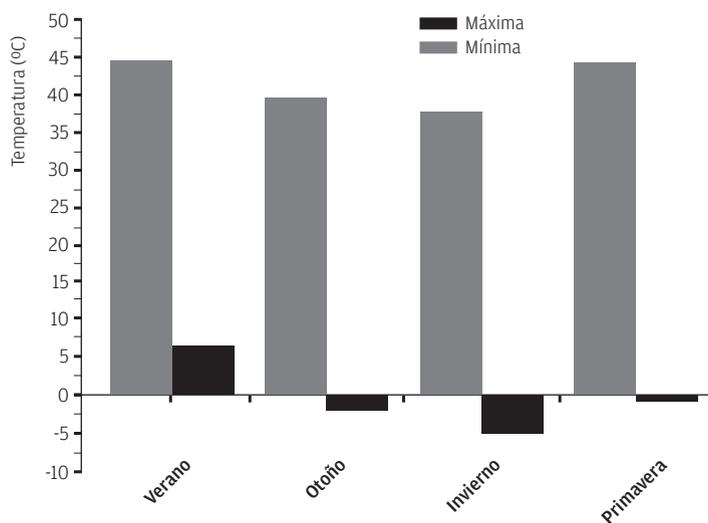


- Datos para la localidad RECONQUISTA (Latitud: 29,11° S; Longitud: 59,40°)

Tabla 10. Temperaturas medias mensuales, máxima y mínima para la localidad de Reconquista

Mes	Min. (°C)	Med. (°C)	Max. (°C)
Enero	21,00	26,60	32,40
Febrero	20,40	25,30	30,80
Marzo	18,70	23,60	29,10
Abril	16,00	20,00	24,90
Mayo	12,30	16,90	22,40
Junio	9,10	13,40	18,50
Julio	9,00	13,50	19,40
Agosto	10,20	15,30	21,50
Septiembre	11,20	16,50	22,30
Octubre	14,80	20,40	26,40
Noviembre	17,60	23,00	28,60
Diciembre	19,30	25,10	31,10
Anual	14,97	19,97	25,62

Figura 7. Ocurrencia de temperaturas extremas en diferentes estaciones del año para la localidad de Reconquista

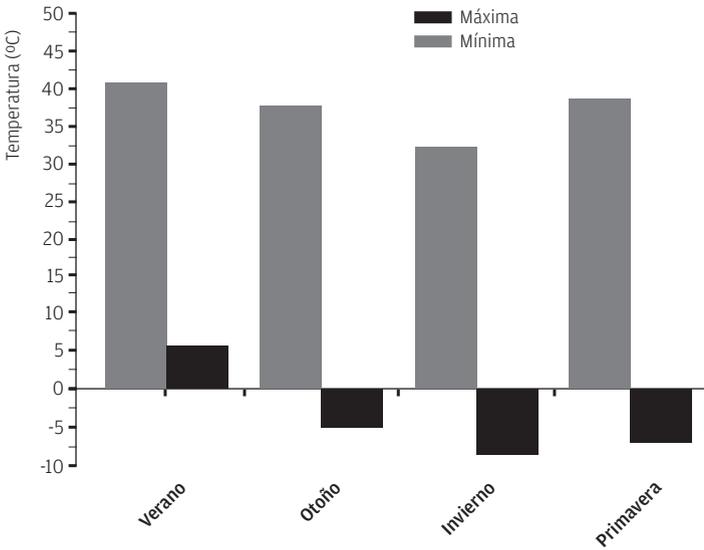


- Datos para la localidad ROSARIO
(Latitud: 32,55° S; Longitud: 60,47°)

Tabla 11. Temperaturas medias mensuales, máxima y mínima para la localidad de Rosario

Mes	Min. (°C)	Med. (°C)	Max. (°C)
Enero	18,40	24,80	31,20
Febrero	17,70	23,40	29,20
Marzo	15,50	20,90	26,70
Abril	12,00	17,20	23,20
Mayo	8,20	13,60	19,70
Junio	5,10	10,10	16,20
Julio	4,90	10,00	15,90
Agosto	6,50	12,00	18,40
Septiembre	7,80	13,00	20,40
Octubre	11,60	17,80	23,60
Noviembre	14,70	20,90	26,70
Diciembre	17,10	23,30	29,70
Anual	11,63	17,25	23,41

Figura 8. Ocurrencia de temperaturas extremas en diferentes estaciones del año para la localidad de Rosario

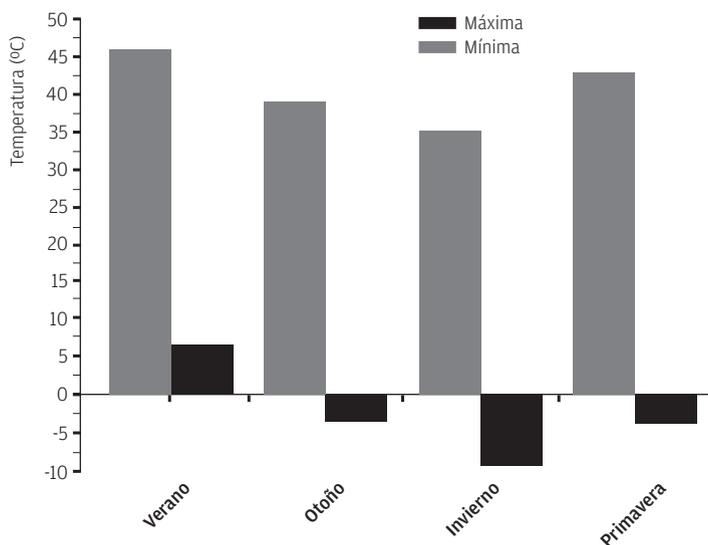


- Datos para la localidad SANTA FE

Tabla 12. Temperaturas medias mensuales, máxima y mínima para la localidad de Santa Fe

Mes	Min. (°C)	Med. (°C)	Max. (°C)
Enero	20,70	26,30	32,70
Febrero	20,00	24,80	30,70
Marzo	18,30	22,70	28,40
Abril	14,80	18,80	24,40
Mayo	11,40	15,70	21,30
Junio	7,70	11,80	17,30
Julio	7,60	11,70	17,10
Agosto	9,40	13,90	19,50
Septiembre	10,50	15,50	21,30
Octubre	14,30	19,50	25,50
Noviembre	17,20	22,30	28,10
Diciembre	19,20	24,60	30,80
Anual	14,26	18,97	24,76

Figura 9. Ocurrencia de temperaturas extremas en diferentes estaciones del año para la localidad de Santa Fe



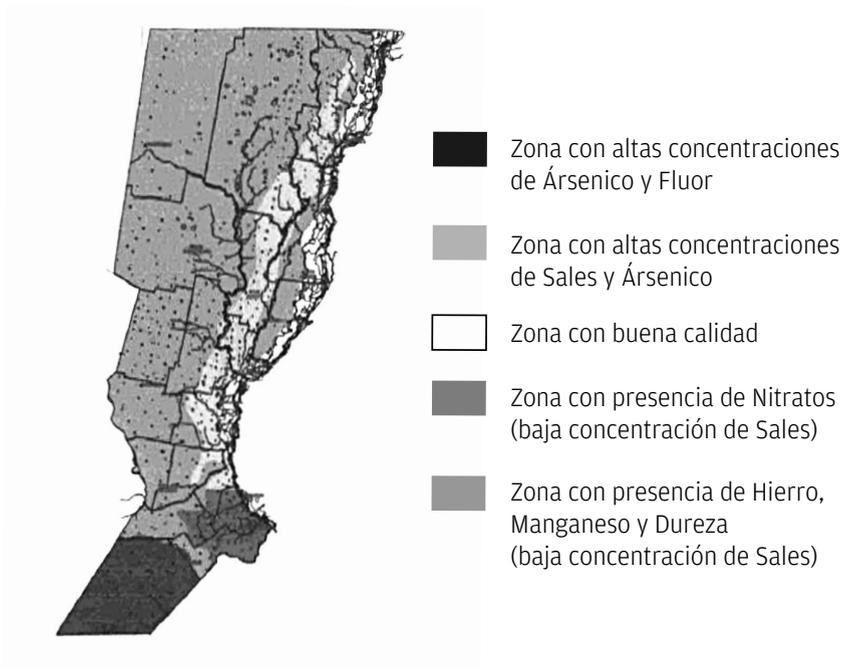
Las temperaturas mínimas medias mensuales no muestran signos de temperaturas por debajo del punto de congelamiento. Sin embargo, el análisis de las figuras con las temperaturas extremas, demuestran que los valores de temperatura ambiente por debajo de 0° pueden darse en gran parte del año, sobre todo en zonas rurales. Esta es una variable a tener en cuenta cuando se realice el dimensionamiento e instalación de los sistemas solares térmicos. Las tecnologías seleccionadas deben poder resistir temperaturas por debajo del punto de congelamiento, ya que hay una posibilidad concreta que ocurran situaciones climáticas de esas características. Por esta razón se recomienda el uso de sistemas «indirectos». Este tipo de sistemas se describe en profundidad en la sección de «sistemas solares térmicos» y los métodos para resistir el congelamiento se describen en el pliego de especificaciones técnicas.



Calidad del agua

En la figura 10, se observan las características químicas del agua subterránea de la provincia de Santa Fe. Los datos fueron extraídos del ENRESS (Ente Regulador de Servicios Sanitarios) [7],

Figura 10. **Calidad química de las aguas subterráneas de la provincia de Santa Fe.** La escala de colores se corresponde con los datos de la figura



Del análisis de la figura 10, se desprende que gran parte de la provincia posee agua con alto contenido de sales y arsénico. Para el uso de energía solar térmica, esta situación debe ser contemplada. La tecnología a utilizar debe estar protegida para disminuir los efectos la dureza del agua o bien debe ser tratada antes de su uso. La misma puede generar incrustaciones en los circuitos hidráulicos y reducir la eficiencia del sistema, disminuyendo así el ahorro energético y aumentando el riesgo de rotura por sobrepresión o congelamiento.



Sistemas solares térmicos

Frecuentemente, los colectores se comercializan en conjunto con un tanque de almacenamiento. Estos conjuntos son denominados «sistemas» y se conocen también con el nombre de «kits solares», «sistemas integrados» o «equipos compactos». Cada equipo tiene un área de captación y un volumen de acumulación específico definidos por cada fabricante. En la mayoría de los casos son de 150 o 200 litros de acumulación con un área de captación de 2m^2 . También existen de 300 litros de acumulación para áreas de captación de 4m^2 .

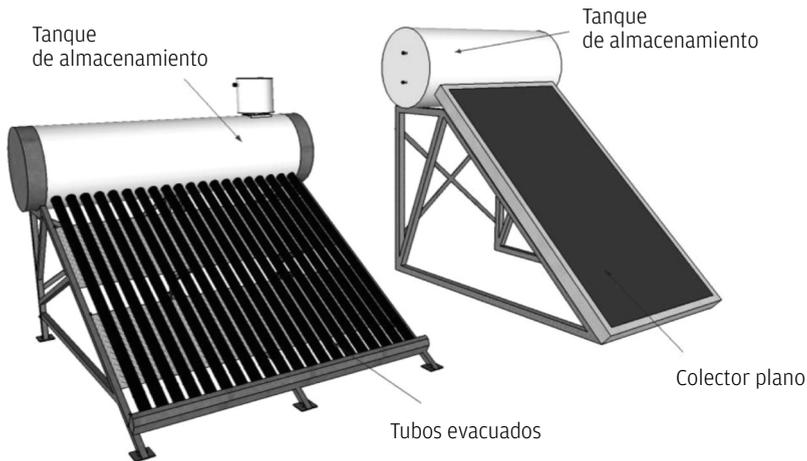
Si el fluido que circula en el colector y el tanque es el mismo, el sistema se denomina «directo». Si el fluido circula en circuitos separados, es decir, el colector funciona con un circuito cerrado con un líquido caloportador y el agua de consumo circula por otro circuito, se lo denomina «indirecto». La mayoría de los equipos que se comercializan actualmente en el mercado internacional son del tipo indirecto, evitándose así riesgos de congelamiento y sobrecalentamiento, con la consecuente ocurrencia de roturas y accidentes.

Absolutamente todos los «compactos» emplean el fenómeno de convección natural denominado «termosifón» para su funcionamiento. El agua es calentada por el sol en el colector plano o tubos de vacío. De esta manera, el agua caliente disminuye su densidad y fluye hacia arriba para ingresar al tanque de almacenamiento, mientras que el agua fría, de mayor densidad, fluye hacia abajo creando una circulación continua. El flujo convectivo o termosifón permanece mientras el sol calienta el colector.

En el caso de los sistemas directos el fluido es directamente el agua de consumo, en el de los sistemas indirectos es un líquido caloportador

de características especiales (usualmente un propilenglicol al 30%). Este líquido transfiere calor al agua de consumo mediante una serpiente o intercambiador de calor, ubicado en el tanque. Las diferencias de tamaño y de apariencia entre los sistemas de tubos evacuados y de colectores planos de la misma capacidad de acumulación se muestran en la figura 11.

Figura 11. **Esquema de diferencias esenciales entre sistemas solares de colectores planos y tubos evacuados. Los dibujos están a escala entre si y corresponden a sistemas de 200 l.**



Los sistemas variarán en su composición interna de acuerdo con los requerimientos de presión del sistema. Es necesario conocer la presión de trabajo, de manera de poder seleccionar el equipo que soporte esas condiciones. De lo contrario existe el riesgo de roturas por sobre presión y consecuente riesgo de quemado del instalador y del usuario.

La eficiencia de estos sistemas está dada por el funcionamiento conjunto del colector y el tanque. De igual forma que los colectores, la eficiencia de los sistemas dependerá de las mismas variables ambientales, pero además dependerá también de la eficiencia de estratificación de agua caliente del tanque y de la capacidad de retención

de calor del mismo. De esta manera, el ensayo de la eficiencia del mismo debe realizarse a través de la norma europea EN-12976 [45]. La norma análoga de ensayos de IRAM que se encuentra recientemente publicada es la 210004:2016 - Energía solar. Sistemas de calentamiento de agua sanitaria. Métodos de ensayo exteriores para la caracterización y predicción del rendimiento anual de los sistemas solares. Los resultados de los ensayos permiten obtener una curva de calor útil, que es la energía térmica que brinda el equipo en función de las variables ambientales de irradiación solar, temperatura ambiente, temperatura de agua fría y caudal de extracción. Con esa curva de calor útil se realiza una predicción del funcionamiento a largo plazo que permite establecer cuál es el porcentaje de la energía que puede cubrir ese sistema o equipo compacto bajo determinadas condiciones de uso.

Tanto para colectores como para sistemas, la normativa «Solar Keymark»³ de la Unión Europea, define cuales son las características mínimas de eficiencia que deben tener ambas tecnologías para su comercialización en el mercado.

Clasificación de las instalaciones de calentamiento solar

Según como sea la circulación del fluido en la instalación solar (presurizado por bomba o por circulación natural), se clasifican en dos tipos distintos:

- A. **Sistemas de circulación natural o termosifón.** En este caso, la instalación está conformada por uno o más «sistemas compactos», ubicados en el punto más alto de alimentación, inmediatamente por debajo del tanque de alimentación de agua fría. La circulación del agua caliente es por gravedad. El agua fría fluye desde el tanque de agua fría al sistema solar. En ese punto adquiere temperatura y luego el agua caliente precalentada por

3. www.solarkeymark.org

el sol puede fluir desde el tanque de almacenamiento del sistema hacia el sistema auxiliar. Si el agua está suficientemente caliente, el sistema auxiliar no aportará calor. Por el contrario, si no tiene la temperatura deseada, el sistema auxiliar proveerá el calor faltante. Una configuración típica de estos sistemas puede verse en la figura 12A.

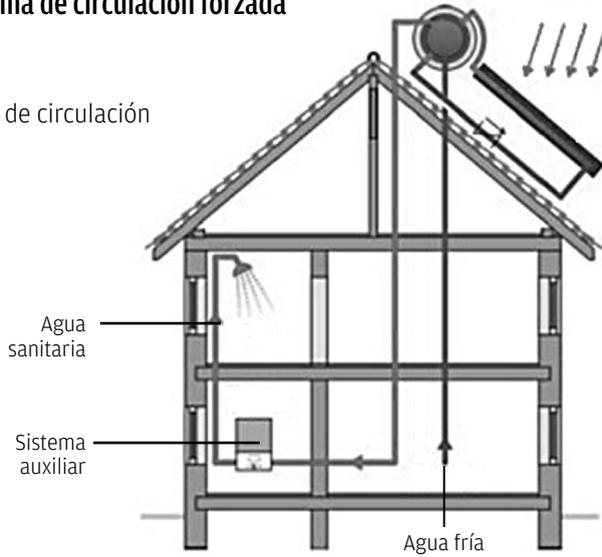
B. Sistemas de circulación forzada. En este caso, los colectores normalmente se encuentran sobre el techo de los edificios y el tanque en una sala de máquinas en otro nivel. El agua fluye por acción de una bomba y la circulación es presurizada (típicamente entre 1 y 3 kg/cm²). En estos casos, el circuito de calentamiento del colector es un circuito cerrado. El colector se usa para calentar un fluido caloportador, y este a su vez intercambia calor con el agua de consumo a través de una serpentina ubicada en el interior de un tanque de acumulación. El circuito de calentamiento es activado mediante una bomba y varios sensores de temperatura vinculados a un controlador solar, elemento capaz de gestionar el funcionamiento de la instalación.

En la mayoría de los casos, la bomba se activa cuando hay suficiente calor en el colector como para ser removido. Dependiendo de la configuración interna del tanque y mediante el control selectivo de las bombas respectivas en una instalación se puede alimentar alternativamente el consumo de agua caliente sanitaria, sistemas de calefacción y de calentamiento de agua de piscinas. El tanque de almacenamiento está conectado a un sistema auxiliar que se encenderá en función de la temperatura del agua que circule en su interior (típicamente, un termotanque o caldera). Una configuración típica de estos sistemas puede verse en la figura 12B.

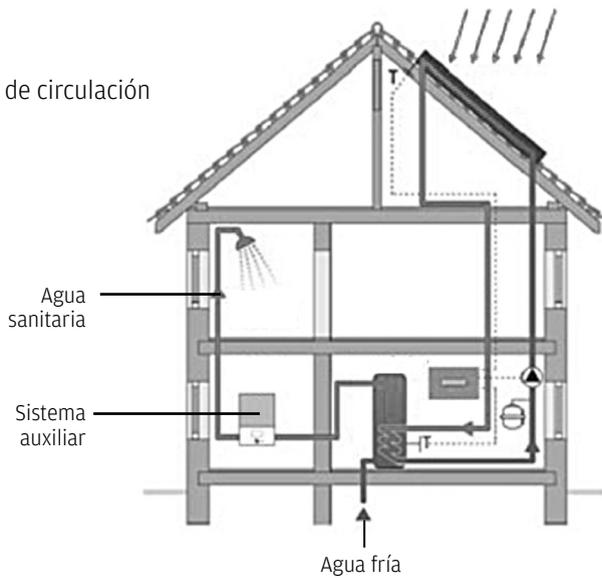
Figura 12.

**A) Sistema de circulación natural y
B) Sistema de circulación forzada**⁴

A.
Sistema de circulación
natural



B.
Sistema de circulación
forzada



4. Figura 11A, obtenida de: <http://www.infojardin.com/foro/showthread.php?t=45627>
Figura 11B, obtenida de: <http://www.eolosol.es/index.php?sec=domesticas>

La tabla 13 muestra las ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de sistemas de circulación.

Tabla 13. **Ventajas y desventajas de los sistemas de circulación natural y de circulación forzada**

Sistemas de circulación natural		Sistemas de circulación forzada o bombeo	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Sistemas sencillos	Lenta puesta a régimen	Rápida puesta en funcionamiento	Sistemas complejos
Economía de instalación	Condicionamientos de montaje	Mayor flexibilidad de montaje	Mayor costo de inversión
No hay piezas en movimiento	Rigurosas pendientes en las cañerías o tubos	Facilitan la integración arquitectónica	Necesita aporte de energía eléctrica para la bomba y el controlador
No necesitan energía adicional para su funcionamiento	La adaptación a mayor demanda es limitada	La cantidad de colectores puede adaptarse al aumento de demanda	Mayor mantenimiento
Mínimo mantenimiento	Trabajan a baja presión de agua	Las cañerías no necesitan pendientes especiales o rigurosas	Personal capacitado para el montaje y mantenimiento

La instalación solar contribuirá al calentamiento del agua sanitaria, del líquido de calefacción, del agua de la piscina u otra aplicación, pero no elimina la necesidad de un sistema de calentamiento de apoyo por electricidad o gas. Existe una variabilidad asociada a la nubosidad que impide que todos los días estén despejados. Por este motivo, todas las instalaciones de calentamiento solar poseen un tanque de almacenamiento donde el agua calentada a lo largo del día es acumulada. La misma puede utilizarse al día siguiente o bien servir de entrada a un sistema de respaldo que funcione a gas, leña, electricidad o cualquier otro combustible. La única circunstancia en la que el colector no funciona es a la noche, cuando no hay sol. En días

nublados, el colector funciona pero no genera suficiente calor como para satisfacer la demanda. Sin embargo, aporta lo suficiente como para evitar que el termotanque o caldera de respaldo esté encendido todo el tiempo.

Características de tanques de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento pueden ser de variadas características, pero existen dos diferencias esenciales dependiendo si son para circulación natural o circulación forzada.

1. **Circulación Natural.** Son tanques bien aislados, livianos con algún medio de transferencia de calor: serpentina, doble camisa, intercambiador de placas, etc. En general, están diseñados para resistir poca presión en el tanque y una presión más alta dentro de la serpentina o el medio de intercambio de calor en su interior, sin embargo, hay algunos fabricantes cuyos tanques de equipos compactos resisten altas presiones de trabajo. Se comercializan en volúmenes de hasta 300 litros, siendo típicamente de 150 y 200 litros. Un ejemplo de este tanque se muestra en la figura 13A.⁵
2. **Circulación Forzada.** Son tanques bien aislados, con una o más serpentinas o intercambiadores de calor para atender diferentes consumos al mismo tiempo (agua caliente y calefacción). Trabajan mediante el uso de bombas y controladores electrónicos. En general, son pesados y están diseñados para resistir presiones de hasta 6kg/cm^2 . Se comercializan en volúmenes mayores a 300 litros. Un ejemplo de este tanque se muestra en la figura 13B.⁶

5. Extraída de : www.sungreen.com.ar

6. Extraída de : www.solartubs.com

Figura 13A. **Vista interna del tanque de un sistema compacto indirecto termosifónico para circulación natural usado para agua sanitaria**

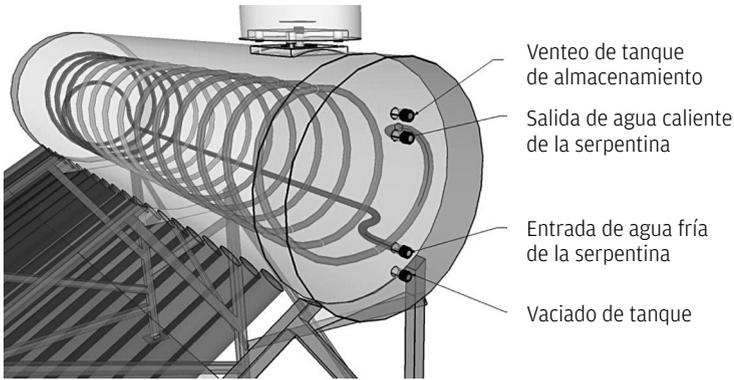


Figura 13B. **Vista interna del tanque de un sistema para circulación forzada que atiende varios consumos**



La provincia de Santa Fe presenta zonas con posibilidad de congelamiento. Para prevenir roturas y accidentes, es necesaria la instalación de sistemas indirectos, ya sean de circulación natural o forzada, cuyas características resistan las condiciones operativas y dureza del agua a utilizar.



Instalaciones de Energía Solar Térmica

**Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones
de Baja Temperatura**



El presente pliego de condiciones técnicas (PCT) tiene por objetivo establecer las condiciones técnicas que deben tomarse en consideración en el plan de desarrollo de la energía solar térmica de la provincia de Santa Fe. El mismo fue adaptado a partir del Pliego de Especificaciones Técnicas (PET) de Instalaciones de Baja Temperatura (PET-REV - enero 2009). IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) accesible en: www.idae.es. El PET es de aplicación en toda España y fue originalmente elaborado en 2001. El mismo ha sido utilizado y actualizado a lo largo de más de diez años, en las políticas de promoción de España. El mercado solar térmico español tiene un desarrollo acorde a los estándares del mercado europeo. De esta manera, contiene requerimientos generales para todas las instalaciones solar térmicas en general, pero también requerimientos específicos aplicables solamente al mercado europeo. Estos últimos fueron adaptados para la aplicación del PET al plan de promoción de la Provincia de Santa Fe. Asimismo, resta realizar la adaptación de algunos procedimientos de cálculo de sombras de obstáculos del entorno sobre los captadores, debiéndose incorporar el mismo a la reglamentación final. Como se mencionó anteriormente, existe una norma IRAM que define las condiciones técnicas que deben tener las instalaciones solar térmicas de agua caliente (norma 210005-1) [27]. Sin embargo, la misma se encuentra desactualizada y no incluye las aplicaciones de calefacción y calentamiento de piscinas. Por este motivo hemos tomado como base el PET del código de técnico de España.

En estados iniciales el presente PCT será más una referencia que una exigencia. A medida que se desarrolle el mercado en la provincia, será necesario contar con términos de referencia precisos que garanticen el

funcionamiento y la calidad de las instalaciones solar térmicas. De esta manera, la adaptación se ha realizado para las condiciones climáticas, de radiación y de normativa existentes en el país y puntualmente en la provincia. En función del estado de desarrollo del mercado se podrá exigir el cumplimiento de la totalidad de exigencias de este pliego o solo una parte de ellas.

De todos modos, el presente PCT representa el espíritu del objetivo que se pretende lograr a futuro con el desarrollo de la energía solar en la provincia.



INDICE

1. Requisitos generales	53
1.1. Objeto y campo de aplicación	53
1.2. Generalidades	53
1.3. Requisitos generales	56
1.3.1. Fluido de trabajo	56
1.3.2. Protección contra heladas	57
1.3.2.1. Generalidades	57
1.3.2.2. Mezclas anticongelantes	57
1.3.2.3. Recirculación del agua del circuito	58
1.3.2.4. Drenaje automático con recuperación del fluido	58
1.3.2.5. Sistemas de drenaje al exterior (sólo para sistemas solares prefabricados)	59
1.3.3. Sobrecalentamientos	59
1.3.3.1. Protección contra sobrecalentamientos	59
1.3.3.2. Protección contra quemaduras	60
1.3.3.3. Protección de materiales y componentes contra altas temperaturas	60
1.3.4. Resistencia a presión	60
1.3.5. Prevención de flujo inverso	60
1.3.6. Prevención de la legionelosis	61

2. Configuraciones básicas	61
2.1. Clasificación de las instalaciones	61
3. Criterios generales de diseño	65
3.1. Dimensionado y cálculo	65
3.1.1. Datos de partida	65
3.1.2. Dimensionado básico	66
3.2. Diseño del sistema de captación	68
3.2.1. Generalidades	68
3.2.2. Orientación, inclinación, sombras e integración arquitectónica	69
3.2.3. Conexionado	70
3.2.4. Estructura soporte	72
3.3. Diseño del sistema de acumulación solar	72
3.3.1. Generalidades	72
3.3.2. Situación de las conexiones	73
3.3.3. Varios acumuladores	74
3.3.4. Sistema auxiliar en el acumulador solar	75
3.4. Diseño del sistema de intercambio	77
3.5. Diseño del circuito hidráulico	77
3.5.1. Generalidades	77
3.5.2. Tuberías	78
3.5.3. Bombas	78
3.5.4. Vasos de expansión	79
3.5.5. Purga de aire	79
3.5.6. Drenaje	79
3.6. Recomendaciones adicionales para sistemas por circulación natural	79
3.7. Requisitos específicos adicionales para sistemas directos	80
3.8. Diseño del sistema de energía auxiliar	80
3.9. Diseño del sistema eléctrico y de control	82
3.10. Diseño del sistema de monitorización	84

ANEXO I: NORMATIVA DE APLICACIÓN Y CONSULTA	85
ANEXO II: DEFINICIONES	87
ANEXO III: PRUEBAS Y DOCUMENTACIÓN	93
ANEXO IV: CÁLCULO DE DEMANDAS ENERGÉTICAS	101
ANEXO V: CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN	109
ANEXO VI: CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE RADIACIÓN SOLAR POR SOMBRAS	115
ANEXO VII: COMPONENTES	133
ANEXO VIII: CONDICIONES DE MONTAJE	145
ANEXO IX: REQUISITOS TÉCNICOS DEL CONTRATO DE MANTENIMIENTO	153
ANEXO X: TABLAS DE TEMPERATURAS Y RADIACIÓN	157
ANEXO XI: MÉTODOS DE CÁLCULO	159
ANEXO XII: ANTECEDENTES	165



1. Requisitos generales

1.1. Objeto y campo de aplicación

El objeto de este documento es fijar las condiciones técnicas mínimas que deben cumplir las instalaciones solares térmicas para calentamiento de líquido, especificando los requisitos de durabilidad, fiabilidad y seguridad.

El ámbito de aplicación de este documento se extiende a todos los sistemas mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos que forman parte de las instalaciones.

En determinados supuestos para los proyectos se podrán adoptar, por la propia naturaleza del mismo o del desarrollo tecnológico, soluciones diferentes a las exigidas en este documento, siempre que quede suficientemente justificada su necesidad y que no impliquen una disminución de las exigencias mínimas de calidad especificadas en el mismo.

Este documento no es de aplicación a instalaciones solares con almacenamientos estacionales.

1.2. Generalidades

Este Pliego de Condiciones Técnicas (PCT) es de aplicación para instalaciones con captadores cuyo coeficiente global de pérdidas sea inferior o igual a $9 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. Los colectores con coeficientes de pérdidas

mayores que el límite mencionado, son utilizados exclusivamente para la climatización de piscinas al aire libre en verano y en forma directa. La instalación de los mismos no suele contemplar la instalación de un tanque de almacenamiento ni sistemas complejos de control, dada la estacionalidad y particularidad de su uso. De esta manera, la situación mencionada es un aprovechamiento particular que este PCT no especifica. Por otro lado, si la climatización de piscina cubierta o descubierta es realizada a partir de un sistema que también atiende agua caliente sanitaria o calefacción o ambos (es decir, se realiza a partir de colectores con coeficiente de pérdidas igual o inferior a $9 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$), entonces si queda incluido en el alcance de las especificaciones de este pliego.

A efectos de requisitos mínimos, se consideran las siguientes clases de instalaciones:

- 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 en un laboratorio de ensayo como un todo. Si un sistema es modificado cambiando su configuración o cambiando uno o más de sus componentes, el sistema modificado se considera como un nuevo sistema, para el cual es necesario una nueva evaluación en el laboratorio de ensayo.
- Sistemas solares de calentamiento a medida o por elementos son aquellos 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. Los sistemas solares de calentamiento a medida se subdividen en dos categorías:
 1. Sistemas grandes a medida, que son diseñados únicamente para una situación específica. En general son diseñados por ingenieros, fabricantes y otros expertos.
 2. Sistemas pequeños a medida, que son ofrecidos por una compañía y descritos en un catálogo, en el cual se especifican todos los componentes y posibles configuraciones de

los sistemas fabricados por la compañía. Cada posible combinación de una configuración del sistema con componentes de la clasificación se considera un solo sistema a medida.

Tabla 1. **División de sistemas solares de calentamiento prefabricados y a medida**

Sistemas solares prefabricados (*)	Sistemas solares a medida (**)
Sistemas por termosifón para agua caliente sanitaria	Sistemas de circulación forzada (o de termosifón) para agua caliente y/o calefacción y/o refrigeración y/o calentamiento de piscinas, montados usando componentes y configuraciones descritos en un archivo de documentación (principalmente sistemas pequeños).
Sistemas de circulación forzada como lote de productos con configuración fija para agua caliente sanitaria.	Sistemas únicos en el diseño y montaje, utilizados para calentamiento de agua, calefacción y/o refrigeración y/o calentamiento de piscinas o usos industriales (principalmente sistemas grandes).
Sistemas con captador-depósito integrados (es decir, en un mismo volumen) para agua caliente sanitaria.	

(*) También denominados «equipos domésticos» o «equipos compactos».

(**) También denominados «instalaciones diseñadas por elementos» o «instalaciones partidas».

Según el coeficiente global de pérdidas de los captadores, se considerarán, a efectos de permitir o limitar, dos grupos dependiendo del rango de temperatura de trabajo:

- Las instalaciones destinadas exclusivamente a producir agua caliente sanitaria, calentamiento de piscinas cubiertas, precalentamiento de agua de aporte de procesos industriales u otros usos a menos de 60 °C, podrán emplear captadores cuyo coeficiente global de pérdidas sea inferior a 9 W/m² °C.
- Las instalaciones destinadas a climatización, calefacción por sistemas de suelo radiante o «fan-coil», u otros usos en los cuales la temperatura del agua de aporte a la instalación solar y la de referencia de producción se sitúen en niveles semejantes, deberán emplear captadores cuyo coeficiente global de pérdidas sea inferior a 4,5 W/m² °C.

El coeficiente global de pérdidas es la pendiente de la curva que representa la ecuación del rendimiento o eficiencia del captador determinada bajo la norma IRAM 210002 en Argentina.

En ambos grupos el rendimiento medio anual de la instalación deberá ser mayor del 30 %, calculándose de acuerdo a lo especificado en la sección 3 («Criterios generales de diseño»).

1.3. Requisitos generales

1.3.1. Fluido de trabajo

Como fluido de trabajo en el circuito primario se utilizará agua de la red, o agua desmineralizada, o agua con aditivos, según las características climatológicas del lugar y del agua utilizada. Los aditivos más usuales son los anticongelantes, aunque en ocasiones se puedan utilizar aditivos anticorrosivos. La utilización de otros fluidos térmicos requerirá incluir su composición y calor específico en la documentación del sistema y la certificación favorable de un laboratorio acreditado.

En cualquier caso el pH a 20 °C del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 9, y el contenido en sales se ajustará a los señalados en los puntos siguientes:

- a. La salinidad del agua del circuito primario no excederá de 500 mg/l totales de sales solubles. En el caso de no disponer de este valor se tomará el de conductividad como variable limitante, no sobrepasando los 650 $\mu\text{S}/\text{cm}^7$.
- b. El contenido en sales de calcio no excederá de 200 mg/l. expresados como contenido en carbonato cálcico.
- c. El límite de dióxido de carbono libre contenido en el agua no excederá de 50 mg/l. Fuera de estos valores, el agua deberá ser tratada.

El diseño de los circuitos evitará cualquier tipo de mezcla de los distintos fluidos que pueden operar en la instalación. En particular, se

7. $\mu\text{S}/\text{cm}$: siemens por centímetro

prestará especial atención a una eventual contaminación del agua potable por el fluido del circuito primario.

Para aplicaciones en procesos industriales, refrigeración o calefacción, las características del agua exigidas por dicho proceso no sufrirán ningún tipo de modificación que pueda afectar al mismo.

1.3.2. Protección contra heladas

1.3.2.1. Generalidades

El fabricante, suministrador final, instalador o diseñador del sistema deberá fijar la mínima temperatura permitida en el sistema. Todas las partes del sistema que estén expuestas al exterior deberán ser capaces de soportar la temperatura especificada sin daños permanentes en el sistema.

Cualquier componente que vaya a ser instalado en el interior de un recinto donde la temperatura pueda caer por debajo de los 0 °C, deberá estar protegido contra heladas.

El fabricante deberá describir el método de protección anti-heladas usado por el sistema. A los efectos de este documento, como sistemas de protección anti-heladas podrán utilizarse:

1. Mezclas anticongelantes.
2. Recirculación de agua de los circuitos.
3. Drenaje automático con recuperación de fluido.
4. Drenaje al exterior (sólo para sistemas solares prefabricados).

1.3.2.2. Mezclas anticongelantes

Como anticongelantes podrán utilizarse los productos, solos o mezclados con agua, que cumplan la reglamentación vigente y cuyo punto de congelación sea inferior a 0 °C (*). En todo caso, su calor específico

* El punto de congelamiento deberá de estar acorde con las condiciones climáticas del lugar.

no será inferior a 3 kJ/kg K, equivalentes a 0,7 kcal/kg °C), medido a una temperatura 5 °C menor que la mínima histórica registrada.

Se deberán tomar precauciones para prevenir posibles deterioros del fluido anticongelante como resultado de altas de temperaturas.

La instalación dispondrá de los sistemas necesarios para facilitar el llenado de la misma y para asegurar que el anticongelante está perfectamente mezclado.

Es conveniente que se disponga de un depósito auxiliar para reponer las pérdidas que se puedan dar del fluido en el circuito, de forma que nunca se utilice un fluido para la reposición cuyas características incumplan el presente Pliego. Será obligatorio en los casos de riesgos de heladas y cuando el agua deba tratarse.

En cualquier caso, el sistema de llenado no permitirá las pérdidas de concentración producidas por fugas del circuito y resueltas con reposición de agua de red.

1.3.2.3. Recirculación del agua del circuito

Este método de protección anti-heladas asegurará que el fluido de trabajo está en movimiento cuando exista riesgo de helarse.

El sistema de control actuará, activando la circulación del circuito primario, cuando la temperatura detectada preferentemente en la entrada de captadores o salida o aire ambiente circundante alcance un valor superior al de congelación del agua (como mínimo 3 °C).

Este sistema es adecuado para zonas climáticas en las que los períodos de baja temperatura sean de corta duración.

Se evitará, siempre que sea posible, la circulación de agua en el circuito secundario.

1.3.2.4. Drenaje automático con recuperación del fluido

El fluido en los componentes del sistema que están expuestos a baja temperatura ambiente es drenado a un depósito, para su posterior uso, cuando hay riesgo de heladas.

La inclinación de las tuberías horizontales debe estar en concordancia con las recomendaciones del fabricante en el manual de instalador al menos en 20 mm/m.

El sistema de control actuará sobre la electroválvula de drenaje cuando la temperatura detectada en captadores alcance un valor superior al de congelación del agua (como mínimo 3 °C).

El vaciado del circuito se realizará a un tanque auxiliar de almacenamiento, debiéndose prever un sistema de llenado de captadores para recuperar el fluido.

El sistema requiere utilizar un intercambiador de calor entre los captadores y el acumulador para mantener en éste la presión de suministro de agua caliente.

1.3.2.5. Sistemas de drenaje al exterior (sólo para sistemas solares prefabricados)

El fluido en los componentes del sistema que están expuestos a baja temperatura ambiente es drenado al exterior cuando hay riesgo de heladas.

La inclinación de las tuberías horizontales debe estar en concordancia con las recomendaciones del fabricante en el manual de instalador al menos en 20 mm/m. Este sistema no está permitido en los sistemas solares a medida.

1.3.3. Sobrecalentamientos

1.3.3.1. Protección contra sobrecalentamientos

El sistema deberá estar diseñado de tal forma que con altas radiaciones solares prolongadas sin consumo de agua caliente, no se produzcan situaciones en las cuales el usuario tenga que realizar alguna acción especial para llevar al sistema a su forma normal de operación.

Cuando el sistema disponga de la posibilidad de drenajes como protección ante sobrecalentamientos, la construcción deberá realizarse de tal forma que el agua caliente o vapor del drenaje no supongan ningún

peligro para los habitantes y no se produzcan daños en el sistema, ni en ningún otro material en el edificio o vivienda.

Cuando las aguas sean duras (Contenido en sales de calcio entre 100 y 200 mg/l (ver apartado 1.3.1) se realizarán las previsiones necesarias para que la temperatura de trabajo de cualquier punto del circuito de consumo no sea superior a 60 °C. En cualquier caso, se dispondrán los medios necesarios para facilitar la limpieza de los circuitos.

1.3.3.2. Protección contra quemaduras

En sistemas de agua caliente sanitaria, donde la temperatura de agua caliente en los puntos de consumo pueda exceder de 60 °C deberá ser instalado un sistema automático de mezcla u otro sistema que limite la temperatura de suministro a 60°C, aunque en la parte solar pueda alcanzar una temperatura superior para sufragar las pérdidas. Este sistema deberá ser capaz de soportar la máxima temperatura posible de extracción del sistema solar.

1.3.3.3. Protección de materiales y componentes contra altas temperaturas

El sistema deberá ser diseñado de tal forma que nunca se exceda la máxima temperatura permitida por todos los materiales y componentes.

1.3.4. Resistencia a presión

En caso de sistemas de consumo abiertos con conexión a la red, se tendrá en cuenta la máxima presión de la misma para verificar que todos los componentes del circuito de consumo soportan dicha presión.

1.3.5. Prevención de flujo inverso

La instalación del sistema deberá asegurar que no se produzcan pérdidas energéticas relevantes debidas a flujos inversos no intencionados en ningún circuito hidráulico del sistema.

La circulación natural que produce el flujo inverso se puede favorecer cuando el acumulador se encuentra por debajo del captador, por lo que habrá que tomar, en esos casos, las precauciones oportunas para evitarlo.

En sistemas con circulación forzada se aconseja utilizar una válvula anti-retorno para evitar flujos inversos.

1.3.6. Prevención de la legionelosis

La ocurrencia de esta bacteria se evita permitiendo que la temperatura del agua en el circuito de distribución de agua caliente no sea inferior a 50 °C en el punto más alejado y previo a la mezcla necesaria para la protección contra quemaduras o en la tubería de retorno al acumulador. La instalación solar permitirá que el agua alcance una temperatura de 70°C. En consecuencia, no se admite la presencia de componentes de acero galvanizado.

2. Configuraciones básicas

2.1. Clasificación de las instalaciones

En consideración con los diferentes objetivos atendidos por este PCT, se aplicarán los siguientes criterios de clasificación:

- El principio de circulación.
- El sistema de transferencia de calor.
- El sistema de expansión.
- El sistema de energía auxiliar.
- La aplicación.

Por el principio de circulación se clasificarán en:

- Instalaciones por termosifón o circulación natural.
- Instalaciones por circulación forzada.

Por el sistema de transferencia de calor:

- Instalaciones de transferencia directa sin intercambiador de calor.

- Instalación con intercambiador de calor en el acumulador solar.
- Sumergido.
- De doble envolvente.
- Instalaciones con intercambiador de calor independiente.

Por el sistema de expansión:

- Sistema abierto.
- Sistema cerrado.

Por el sistema de aporte de energía auxiliar:

- Sistema de energía auxiliar en el acumulador solar.
- Sistema de energía auxiliar en acumulador secundario individual.
- Sistema de energía auxiliar en acumulador secundario centralizado.
- Sistema de energía auxiliar en acumuladores secundarios distribuidos.
- Sistema de energía auxiliar en línea centralizado.
- Sistema de energía auxiliar en línea distribuido.
- Sistema de energía auxiliar en paralelo.

Por su aplicación:

- Instalaciones para calentamiento de agua sanitaria.
- Instalaciones para usos industriales.
- Instalaciones para calefacción.
- Instalaciones para refrigeración.
- Instalaciones para climatización de piscinas.
- Instalaciones de uso combinado.
- Instalaciones de precalentamiento.

Esta clasificación se hace con referencia a las definiciones dadas en el Anexo II de este PCT.

En la figuras 1 y 2 aparecen diferentes configuraciones de instalaciones recomendadas según el tipo de aplicación, recogándose las más usuales. Siempre pueden existir otras y combinaciones de las anteriores.

Figura 1

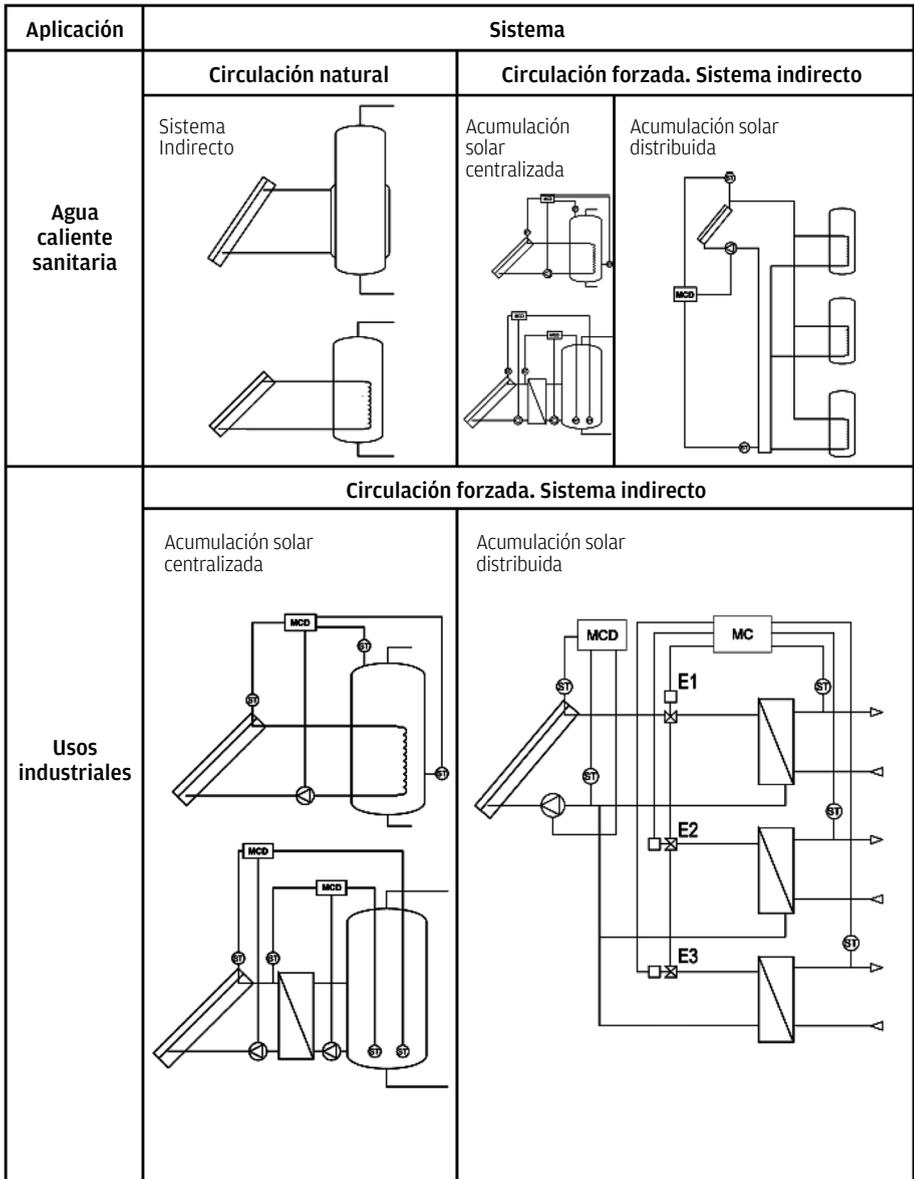
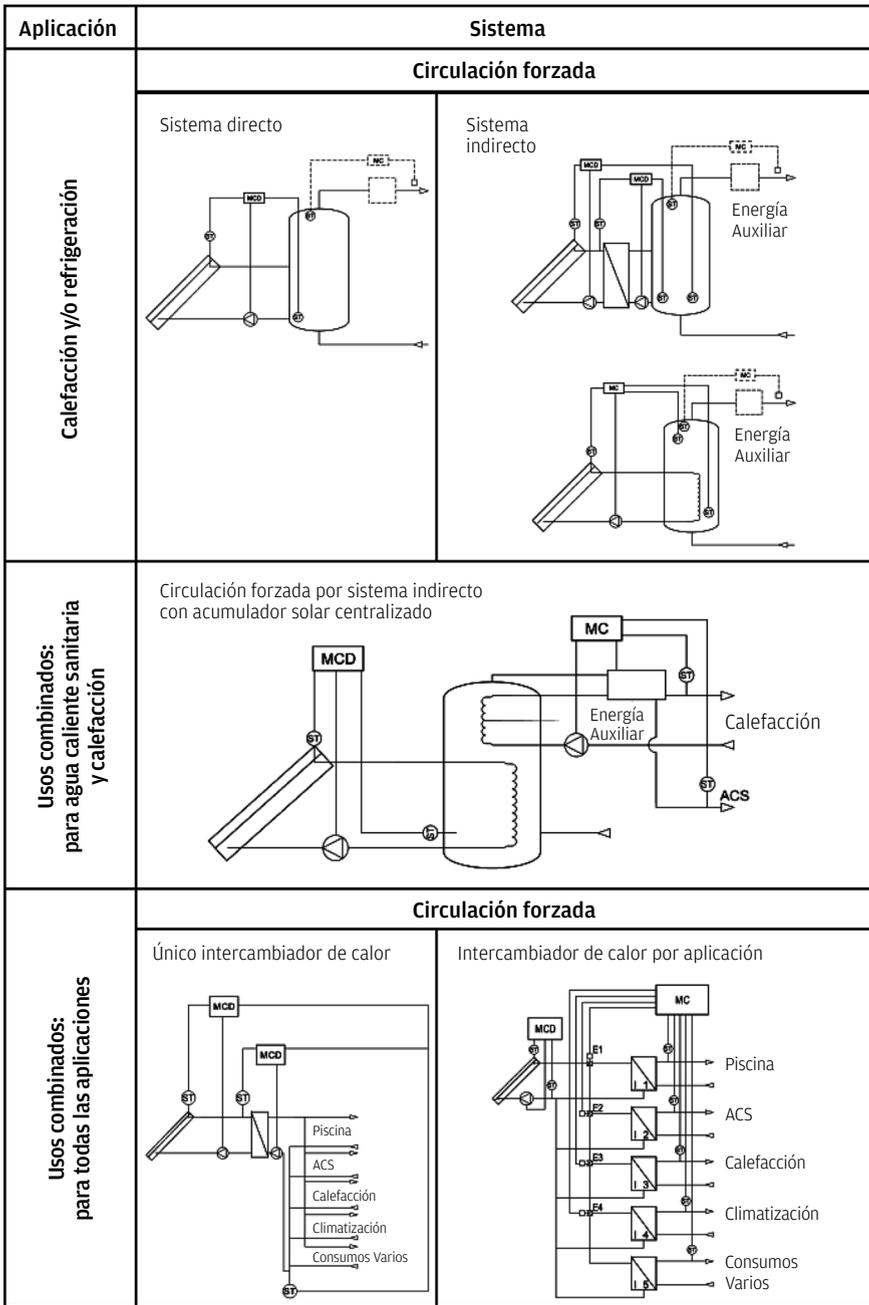


Figura 2



El empleo de otras configuraciones diferentes a las que aquí se recomiendan debe dar lugar a prestaciones o ganancias solares similares a las obtenidas con éstas.

3. Criterios generales de diseño

3.1. Dimensionado y cálculo

3.1.1. Datos de partida

Los datos de partida necesarios para el dimensionado y cálculo de la instalación están constituidos por dos grupos de parámetros que definen las condiciones de uso y climáticas.

Condiciones de uso

Las condiciones de uso vienen dadas por la demanda energética asociada a la instalación según los diferentes tipos de consumo:

- Para aplicaciones de agua caliente sanitaria (A.C.S), la demanda energética se determina en función del consumo de agua caliente, siguiendo lo especificado en el Anexo IV.
- Para aplicaciones de calentamiento de piscinas, la demanda energética se calcula en función de las pérdidas de la misma, siguiendo lo recogido en el Anexo IV.
- Para aplicaciones de climatización (calefacción y refrigeración), la demanda energética viene dada por la carga térmica del volumen edificio a climatizar, según algún método válido de evaluación del mismo, preferentemente el establecido por la norma IRAM 11604: Aislamiento térmico de edificios. Verificación de condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites.
- Para aplicaciones de uso industrial se tendrá en cuenta la demanda energética y potencia necesaria, realizándose un estudio específico y pormenorizado de las necesidades, definiendo

claramente si es un proceso discreto o continuo y el tiempo de duración del mismo.

- Para instalaciones combinadas se realizará la suma de las demandas energéticas sobre base diaria o mensual, aplicando si es necesario factores de simultaneidad.

Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas vienen dadas por la radiación global total en el campo de captación, la temperatura ambiente diaria y la temperatura del agua de la red. Al objeto de este PCT, podrán utilizarse datos de radiación publicados en las cartas de irradiación media mensual en el plano horizontal del «Atlas de Energía Solar de la República Argentina» desarrollado por Grossi Gallegos, Hugo y Righini, Raúl, en 2007. [17]. Para obtener la irradiación para cualquier inclinación y orientación del plano, deben utilizarse los factores de las tablas correspondientes que se encuentran en el ANEXO X. Los datos de temperatura ambiente pueden obtenerse también del ANEXO X.

Para piscinas cubiertas, los valores ambientales de temperatura y humedad deberán ser fijados en el proyecto, la temperatura seca del aire del local será entre 2 °C y 3 °C mayor que la del agua, con un mínimo de 26 °C y un máximo de 28 °C, y la humedad relativa del ambiente se mantendrá entre el 55 % y el 70 %, siendo recomendable escoger el valor de diseño 60 %.

3.1.2. Dimensionado básico

A los efectos de este PCT, el dimensionado básico de las instalaciones o sistemas a medida se refiere a la selección de la superficie de captadores solares y, en caso de que exista, al volumen de acumulación solar, para la aplicación a la que está destinada la instalación. El dimensionado básico de los sistemas solares prefabricados se refiere a la selección del sistema solar prefabricado para la aplicación de A.C.S. a la que está destinado.

El dimensionado básico de una instalación, para cualquier aplicación, deberá realizarse de forma que en ningún mes del año la

energía producida por la instalación solar supere el 110% de la demanda de consumo y no más de tres meses seguidos el 100%. A estos efectos, y para instalaciones de un marcado carácter estacional, no se tomarán en consideración aquellos períodos de tiempo en los cuales la demanda se sitúe un 50 % debajo de la media correspondiente al resto del año.

En el caso de que se dé la situación de estacionalidad en los consumos indicados anteriormente, deberán tomarse las medidas correspondientes de protección de la instalación, indicadas en el Anexo IX.

El rendimiento de la instalación se refiere sólo a la parte solar de la misma. En caso de sistemas de refrigeración por absorción se refiere a la producción de la energía solar térmica necesaria para el sistema de refrigeración.

A estos efectos, se definen los conceptos de fracción solar y rendimiento medio estacional o anual de la siguiente forma:

- Fracción solar mes «x» = $(\text{Energía solar aportada el mes «x»} / \text{Demanda energética durante el mes «x»}) \times 100$.
- Fracción solar año «y» = $(\text{Energía solar aportada el año «y»} / \text{Demanda energética durante el año «y»}) \times 100$.
- Rendimiento medio año «y» = $(\text{Energía solar aportada el año «y»} / \text{Irradiación incidente año «y»}) \times 100$.
- Irradiación incidente año «y» = Suma de las irradiaciones incidentes de los meses del año «y» en el plano de captación.
- Irradiaciones incidentes en el mes «x» = Irradiación en el mes «x» \times Superficie captadora.

El concepto de energía solar aportada el año «y» se refiere a la energía demandada realmente satisfecha por la instalación de energía solar. Esto significa que para su cálculo nunca podrá considerarse más de un 100 % de aporte solar en un determinado mes.

Para el cálculo del dimensionado básico de instalaciones a medida podrá utilizarse cualquiera de los métodos de cálculo comerciales de uso aceptado por proyectistas, fabricantes e instaladores. El método de cálculo especificará, al menos sobre base mensual, los valores medios diarios de la demanda de energía y del aporte solar. Asimismo, el método de cálculo incluirá las prestaciones globales anuales definidas por:

- La demanda de energía térmica.
- La energía solar térmica aportada.
- La fracción solar media mensual y anual.
- El rendimiento medio anual.

Independientemente de lo especificado en los párrafos anteriores, en el caso de A.C.S. se debe tener en cuenta que el sistema solar se debe diseñar y calcular en función de la energía que aporta a lo largo del día y no en función de la potencia del generador (captadores solares), por tanto se debe prever una acumulación acorde con la demanda y el aporte, al no ser ésta simultánea con la generación.

Para esta aplicación el área total de los captadores tendrá un valor tal que se cumpla la condición de que la relación entre el volumen de acumulación (V en litros) y el área total de los captadores (A en m^2) esté entre 50 y 180 l/m^2 , es decir, $50 < V/A < 180$.

Se recomienda una valor de $V = M$, es decir, un volumen de acumulación igual al volumen de demanda de agua caliente diaria. Además, para instalaciones con fracciones solares bajas, se deberá considerar el uso de relaciones V/A pequeñas y para instalaciones con fracciones solares elevadas se deberá aumentar dicha relación.

Para instalaciones de climatización de piscinas exclusivamente, no se podrá usar ningún volumen de acumulación, aunque se podrá utilizar un pequeño almacenamiento de inercia en el primario.

Para instalaciones de climatización se dimensionará el volumen de acumulación para que se cubran las necesidades de energía demandada durante, al menos, una hora. De cualquier forma se recomienda usar una relación de V/A entre 25 $litros/m^2$ y 50 $litros/m^2$.

3.2. Diseño del sistema de captación

3.2.1. Generalidades

El captador seleccionado deberá poseer la certificación emitida por un organismo competente en la materia, según la legislación vigente.

A efectos de este PCT, será necesaria la presentación de la certificación de los ensayos del captador realizados por laboratorio acreditado, así como las curvas de rendimiento obtenidas por el citado laboratorio.

Se recomienda que los captadores que integren la instalación sean del mismo modelo, tanto por criterios energéticos como por criterios constructivos.

3.2.2. Orientación, inclinación, sombras e integración arquitectónica

La orientación e inclinación del sistema de captación serán tales que las pérdidas respecto al óptimo, sean inferiores a los límites propuestos en la tabla 2. Se considerarán tres casos: general, superposición de captadores e integración arquitectónica según se define más adelante.

Tabla 2

	Orientación e inclinación (OI)	Sombras (S)	Total (OI+S)
General	10%	10%	15%
Superposición	20%	15%	30%
Integración arquitectónica	40%	20%	50%

Se considera la dirección Norte como orientación óptima y la inclinación recomendada, β_{opt} dependiendo del período de utilización, uno de los valores siguientes:

- Consumo constante anual: la latitud geográfica.
- Consumo preferente en invierno: la latitud geográfica + 10°.
- Consumo preferente en verano: la latitud geográfica - 10°.

Se debe evaluar la disminución de prestaciones que se origina al modificar la orientación e inclinación de la superficie de captación, siguiendo el procedimiento especificado en el Anexo V.

Se considera que existe integración arquitectónica cuando los captadores cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales. Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal del absorbedor, con el fin de favorecer la autolimpieza de los captadores. Una regla fundamental a seguir para conseguir la integración o superposición de las instalaciones solares es la de mantener, dentro de lo posible, la alineación con los ejes principales de la edificación.

3.2.3. Conexionado

Los captadores se dispondrán en filas constituidas, preferentemente, por el mismo número de elementos. Las filas de captadores se pueden conectar entre sí en paralelo, en serie o en serie-paralelo, debiéndose instalar válvulas de cierre en la entrada y salida de las distintas baterías de captadores y entre las bombas, de manera que puedan utilizarse para aislamiento de estos componentes en labores de mantenimiento, sustitución, etc.

Dentro de cada fila los captadores se conectarán en serie o en paralelo. El número de captadores que se pueden conectar en paralelo tendrá en cuenta las limitaciones del fabricante.

La superficie de una fila de captadores conexicionados en serie no será superior a 10 m^2 . En caso de algunos usos industriales y refrigeración por absorción, si estuviese justificado, podrá elevarse a lo máximo permitido por el fabricante. En el caso de A.C.S., el número de captadores conexicionados en serie no será superior a 4, para colectores con coeficiente de pérdidas mayor a $6 \text{ W/m}^2\text{°C}$, y 3 para colectores con coeficiente de pérdidas menor a $6 \text{ W/m}^2\text{°C}$.

Se dispondrá de un sistema para asegurar igual recorrido hidráulico en todas las baterías de captadores. En general se debe alcanzar

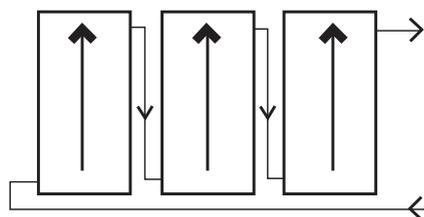
un flujo equilibrado mediante el sistema de retorno invertido. Si esto no es posible, se puede controlar el flujo mediante mecanismos adecuados, como válvulas de equilibrado.

Se deberá prestar especial atención en la estanqueidad y durabilidad de las conexiones del captador.

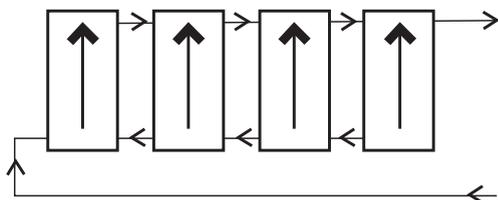
En la figura 3 se pueden observar de forma esquemática las conexiones mencionadas en este apartado.

Figura 3: **Conexión de captadores**

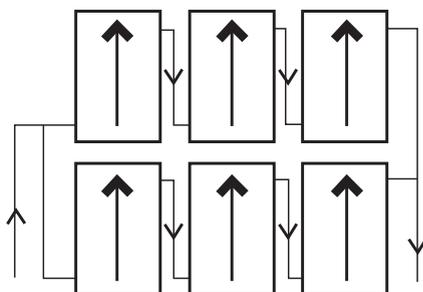
A) En serie. B) En paralelo. C) En serie-paralelo



A.
Conexión en serie



B.
Conexión en paralelo



C.
Conexión en serie y paralelo

3.2.4. Estructura soporte

Si el sistema posee una estructura soporte que es montada normalmente en el exterior, el fabricante deberá especificar los valores máximos de carga que soporta la misma.

El diseño y la construcción de la estructura y el sistema de fijación de captadores permitirá las necesarias dilataciones térmicas, sin transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los captadores o al circuito hidráulico.

Los puntos de sujeción del captador serán suficientes en número, teniendo el área de apoyo y posición relativa adecuadas, de forma que no se produzcan flexiones en el captador superiores a las permitidas por el fabricante. Los topes de sujeción de los captadores y la propia estructura no arrojarán sombra sobre estos últimos.

3.3. Diseño del sistema de acumulación solar

3.3.1. Generalidades

Los acumuladores para A.C.S. y las partes de acumuladores combinados que estén en contacto con agua potable, deberán cumplir los requisitos de IRAM 210003.

Preferentemente, los acumuladores serán de configuración vertical y se ubicarán en zonas interiores.

Para aplicaciones combinadas con acumulación centralizada es obligatoria la configuración vertical del depósito, debiéndose además cumplir que la relación altura/diámetro del mismo sea mayor de dos.

En caso de que el acumulador esté directamente conectado con la red de distribución de agua caliente sanitaria, deberá ubicarse un termómetro en un sitio claramente visible por el usuario. El sistema deberá ser capaz de elevar la temperatura del acumulador a 60°C y hasta 70°C con objeto de prevenir la legionelosis.

En caso de aplicaciones para A.C.S. es necesario prever un conexionado puntual entre el sistema auxiliar y el solar de forma que se pueda calentar este último con el auxiliar, para poder cumplir

con las medidas de prevención de Legionella. Se podrán proponer otros métodos de tratamiento antilegionella.

Aun cuando los acumuladores solares tengan el intercambiador de calor incorporado, se cumplirán los requisitos establecidos para el diseño del sistema de intercambio en el apartado 3.4 de este documento.

Los acumuladores de los sistemas grandes a medida con un volumen mayor de 2 m³ deberán llevar válvulas de corte u otros sistemas adecuados para cortar flujos al exterior del depósito no intencionados en caso de daños del sistema.

3.3.2. Situación de las conexiones

Con objeto de aprovechar al máximo la energía captada y evitar la pérdida de la estratificación por temperatura en los depósitos, la situación de las tomas para las diferentes conexiones serán las establecidas en los puntos siguientes:

- a. La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador o de los captadores al acumulador se realizará, preferentemente, a una altura comprendida entre el 50 % y el 75 % de la altura total del mismo.
- b. La conexión de salida de agua fría del acumulador hacia el intercambiador o los captadores se realizará por la parte inferior de éste.
- c. En caso de una sola aplicación, la alimentación de agua de retorno de consumo al depósito se realizará por la parte inferior. En caso de sistemas abiertos en el consumo, como por ejemplo A.C.S., esto se refiere al agua fría de red. La extracción de agua caliente del depósito se realizará por la parte superior.
- d. En caso de varias aplicaciones dentro del mismo depósito habrá que tener en cuenta los niveles térmicos de éstas, de forma que tanto las salidas como los retornos para aplicaciones que requieran un mayor nivel térmico en temperaturas estén por encima de las que requieran un nivel menor.

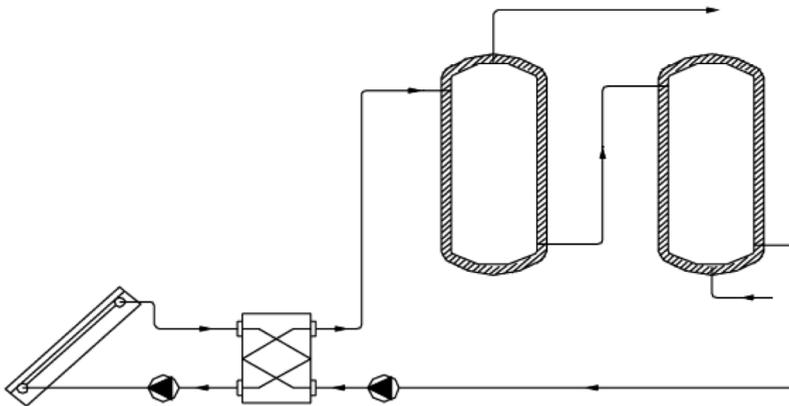
Se recomienda que la/s entrada/s de agua de retorno de consumo esté equipada con una placa deflectora en la parte interior, a fin de que la velocidad residual no destruya la estratificación en el acumulador o el empleo de otros métodos contrastados que minimicen la mezcla.

Las conexiones de entrada y salida se situarán de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido.

3.3.3. Varios acumuladores

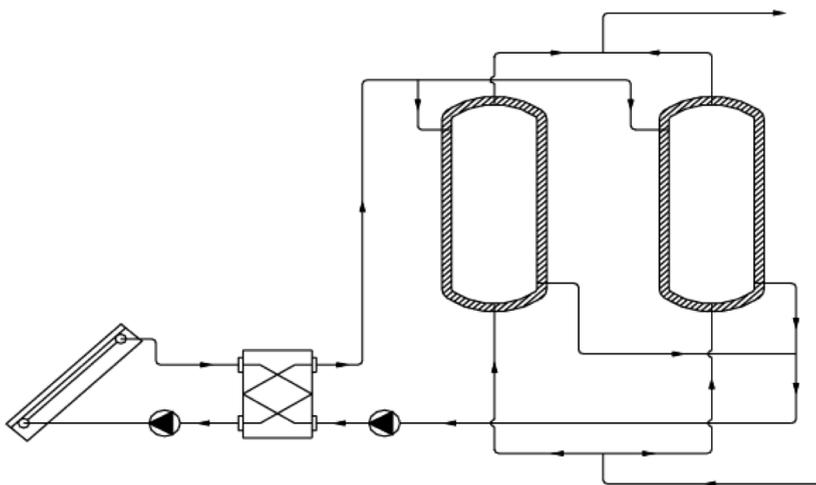
Cuando sea necesario que el sistema de acumulación solar esté formado por más de un depósito, éstos se conectarán en serie invertida en el circuito de consumo o en paralelo con los circuitos primarios y secundarios equilibrados, tal como se puede ver en la figura 4.

Figura 4. **A) Conexión en serie invertida con el circuito de consumo.**
B) Conexión en paralelo con el circuito secundario equilibrado



A.

Conexión en serie invertida con el circuito de consumo



B.
Conexión en paralelo con el circuito secundario equilibrado

La conexión de los acumuladores permitirá la desconexión individual de los mismos sin interrumpir el funcionamiento de la instalación.

3.3.4. Sistema auxiliar en el acumulador solar

No se permite la conexión de un sistema auxiliar en el acumulador solar, ya que esto puede suponer una disminución de las posibilidades de la instalación solar para proporcionar las prestaciones energéticas que se pretenden obtener con este tipo de instalaciones.

No obstante, y cuando existan circunstancias específicas en la instalación que lo demanden (excepto en los casos de producción de A.C.S. y climatización de piscinas), se podrá considerar la incorporación de energía convencional en el acumulador solar, para lo cual será necesaria la presentación de una descripción detallada de todos los sistemas y equipos empleados, que justifique suficientemente que se produce el proceso de estratificación y que además permita la verificación del cumplimiento, como mínimo, de todas y cada una de las siguientes condiciones en el acumulador solar:

1. Deberá tratarse de un sistema indirecto: acumulación solar en el secundario.
2. Volumen total máximo de 2.000 litros.
3. Configuración vertical con relación entre la altura y el diámetro del acumulador no inferior a 2.
4. Calentamiento solar en la parte inferior y calentamiento convencional en la parte superior considerándose el acumulador dividido en dos partes separadas por una de transición de, al menos, 10 centímetros de altura. La parte solar inferior deberá cumplir con los criterios de dimensionado de estas prescripciones y la parte convencional superior deberá cumplir con los criterios y normativas habituales de aplicación.
5. La conexión de entrada de agua caliente procedente del intercambiador solar al acumulador se realizará, preferentemente, a una altura comprendida entre el 50% y el 75 % de la altura total del mismo, y siempre por debajo de la zona de transición. La conexión de salida de agua fría hacia el intercambiador se realizará por la parte inferior del acumulador.
6. Las entradas de agua estarán equipadas con una placa deflectora o equivalente, a fin de que la velocidad residual no destruya la estratificación en el acumulador.
7. No existirá recirculación del circuito de distribución de consumo de A.C.S.
8. En su caso y adicionalmente, se tendrá en cuenta lo indicado en el punto 2 del párrafo cuarto del apartado 3.8.

En cualquier caso, queda a criterio de la autoridad pertinente, el dar por válido el sistema propuesto.

Para los equipos prefabricados que no cumpliendo lo indicado anteriormente en este apartado, vengán preparados de fábrica para albergar un sistema auxiliar eléctrico, se deberá anular esta posibilidad de forma permanente, mediante sellado irreversible u otro medio.

3.4. Diseño del sistema de intercambio

La potencia mínima de diseño del intercambiador independiente, P (en Watts) , en función del área de captadores A (en m^2), cumplirá la condición:

$$P \geq 500 A.$$

El intercambiador independiente será de placas de acero inoxidable o cobre y deberá soportar las temperaturas y presiones máximas de trabajo de la instalación.

El intercambiador del circuito de captadores incorporado al acumulador solar estará situado en la parte inferior de este último y podrá ser de tipo sumergido o de doble envolvente. El intercambiador sumergido podrá ser de serpentín o de haz tubular. La relación entre la superficie útil de intercambio del intercambiador incorporado y la superficie total de captación no será inferior a 0,15.

En caso de aplicación para A.C.S. se puede utilizar el circuito de consumo con un intercambiador, teniendo en cuenta que con el sistema de energía auxiliar de producción instantánea en línea o en acumulador secundario hay que elevar la temperatura hasta 60°C y siempre en el punto más alejado de consumo hay que asegurar 50°C .

3.5. Diseño del circuito hidráulico

3.5.1. Generalidades

Debe concebirse en fase de diseño un circuito hidráulico de por sí equilibrado. Si no fuera posible, el flujo debe ser controlado por válvulas de equilibrado.

3.5.2. Tuberías

Con objeto de evitar pérdidas térmicas, la longitud de tuberías del sistema deberá ser tan corta como sea posible, evitando al máximo los codos y pérdidas de carga en general.

El diseño y los materiales deberán ser tales que no exista posibilidad de formación de obturaciones o depósitos de cal en sus circuitos que influyan drásticamente en el rendimiento del sistema.

3.5.3. Bombas

Si el circuito de captadores está dotado con una bomba de circulación, la caída de presión se debería mantener aceptablemente baja en todo el circuito.

Siempre que sea posible, las bombas en línea se montarán en las zonas más frías del circuito, teniendo en cuenta que no se produzca ningún tipo de cavitación y siempre con el eje de rotación en posición horizontal.

En instalaciones con superficies de captación superiores a 50 m² se montarán dos bombas idénticas en paralelo, dejando una de reserva, tanto en el circuito primario como en el secundario. En este caso se establecerá el funcionamiento alternativo de las mismas, de forma manual o automática.

Las tuberías conectadas a las bombas se soportarán en las inmediaciones de éstas, de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos de torsión o flexión. El diámetro de las tuberías de acoplamiento no podrá ser nunca inferior al diámetro de la boca de aspiración de la bomba.

En instalaciones de piscinas la disposición de los elementos será la siguiente: el filtro ha de colocarse siempre entre la bomba y los captadores y el sentido de la corriente ha de ser bomba-filtro-captadores, para evitar que la resistencia del filtro provoque una sobrepresión perjudicial para los captadores, prestando especial atención a su mantenimiento. La impulsión de agua caliente deberá hacerse por la parte inferior de la piscina, quedando la impulsión de agua filtrada en superficie.

3.5.4. Vasos de expansión

Los vasos de expansión preferentemente se conectarán en la aspiración de la bomba.

Cuando no se cumpla el punto anterior, la altura en la que se situarán los vasos de expansión abiertos será tal que asegure el no desbordamiento del fluido y la no introducción de aire en el circuito primario.

3.5.5. Purga de aire

En los puntos altos de la salida de baterías de captadores y en todos aquellos puntos de la instalación donde pueda quedar aire acumulado, se colocarán sistemas de purga constituidos por válvulas de purga automática.

3.5.6. Drenaje

Los conductos de drenaje de las baterías de captadores se diseñarán en lo posible de forma que no puedan congelarse.

3.6. Recomendaciones adicionales para sistemas por circulación natural

Es muy importante, en instalaciones que funcionen por circulación natural, el correcto diseño de los distintos componentes y circuitos que integran el sistema, de forma que no se introduzcan grandes pérdidas de carga y se desfavorezca la circulación del fluido por termosifón. Para esto se recomienda prestar atención a:

- *El diseño del captador y su conexionado.* Preferentemente se instalarán captadores con conductos distribuidores horizontales y sin cambios complejos de dirección de los conductos internos.

- *El trazado de tuberías.* Deberá ser de la menor longitud posible, situando el acumulador cercano a los captadores. En ningún caso el diámetro de las tuberías será inferior al diámetro nominal de 15 mm (DN15). En general, dicho diámetro se calculará de forma que corresponda al diámetro normalizado inmediatamente superior al necesario en una instalación equivalente con circulación forzada.
- *El sistema de acumulación.* Depósitos situados por encima de la batería de captadores favorecen la circulación natural. En caso de que la acumulación esté situada por debajo de la batería de captadores, es muy importante utilizar algún tipo de dispositivo que, sin introducir pérdidas de carga adicionales de consideración, evite el flujo inverso no intencionado.

3.7. Requisitos específicos adicionales para sistemas directos

No están permitidos los sistemas directos para las aplicaciones de A.C.S.

Para otras aplicaciones tampoco podrán instalarse sistemas directos en zonas con riesgo de heladas.

Siempre que se opte por un sistema directo se aportará documentación, obtenida en el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) u otra entidad similar, en la que se demuestre que la zona donde se va a realizar la instalación no tiene riesgo de heladas.

3.8. Diseño del sistema de energía auxiliar

Para asegurar la continuidad en el abastecimiento de la demanda térmica, las instalaciones de energía solar deben disponer de un sistema de energía auxiliar.

Por razones de eficiencia energética, entre otras, se desaconseja la utilización de energía eléctrica obtenida por efecto Joule (eléctricos) como fuente auxiliar, especialmente en los casos de altos consumos y fracciones solares anuales bajas. Queda prohibido el uso de

sistemas de energía auxiliar en el circuito primario de captadores. El diseño del sistema de energía auxiliar se realizará en función de la aplicación (o aplicaciones) de la instalación, de forma que sólo entre en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario y que se aproveche lo máximo posible la energía extraída del campo de captación solar. Para ello se seguirán los siguientes criterios:

1. Para pequeñas cargas de consumo se recomienda usar un sistema de energía auxiliar en línea, siendo para estos casos los sistemas de gas modulantes en temperatura los más idóneos.
2. En caso de aceptarse, de acuerdo con el punto 3.3.4, la instalación de una resistencia eléctrica como sistema de energía auxiliar dentro del acumulador solar, su conexión, salvo que se apruebe expresamente otro procedimiento, sólo se podrá hacer mediante un pulsador manual y la desconexión será automática a la temperatura de referencia. Adicionalmente, se instalará un termómetro en la parte baja de la zona de calentamiento con energía convencional (ver 3.3.4) cuya lectura sea fácilmente visible para el usuario. La documentación a entregar al usuario deberá contener instrucciones claras de operación del sistema auxiliar y deberá ser previamente aprobada por la autoridad pertinente.
3. No se recomienda la conexión de un retorno desde el acumulador de energía auxiliar al acumulador solar, salvo que existan períodos de bajo consumo estacionales, en los que se prevea elevadas temperaturas en el acumulador solar. La instalación térmica deberá efectuarse de manera que en ningún caso se introduzca en el acumulador solar energía procedente de la fuente auxiliar.

Para la instalación de agua caliente sanitaria, se permitirá la conexión del sistema de energía auxiliar en paralelo con la instalación solar cuando se cumplan los siguientes requisitos:

- Exista previamente un sistema de energía auxiliar constituido por uno o varios calentadores instantáneos no modulantes y sin que sea posible regular la temperatura de salida del agua.

- Exista una preinstalación solar que impida o dificulte el conexasión en serie.

Para sistemas con energía auxiliar en paralelo y especialmente en aplicaciones de climatización, usos industriales y otras aplicaciones en ese rango de temperaturas, es necesario un sistema de regulación del agua calentada por el sistema solar y auxiliar de forma que se aproveche al máximo la energía solar.

Para A.C.S., el sistema de aporte de energía auxiliar con acumulación o en línea siempre dispondrá de un termostato de control sobre la temperatura de preparación. Este punto no será de aplicación en los calentadores instantáneos de gas no modulantes.

En caso de climatización, el termostato de control estará ajustado en función de la aplicación de frío o calor de forma automática o manual.

Cuando el sistema de energía auxiliar sea eléctrico, la potencia correspondiente será inferior a 300 W por cada metro cuadrado de superficie captadora. Para instalaciones de tamaño inferior a 5 m² la potencia podrá ser de 1.500 W. En el caso de resistencias sumergidas, los valores de potencia disminuirán hasta 150 W por metro cuadrado y hasta 750 W para instalaciones de tamaño inferior a 5 m².

3.9. Diseño del sistema eléctrico y de control

El diseño del sistema de control asegurará el correcto funcionamiento de las instalaciones, procurando obtener un buen aprovechamiento de la energía solar captada y asegurando un uso adecuado de la energía auxiliar. El sistema de regulación y control comprende los siguientes sistemas:

- Control de funcionamiento del circuito primario y secundario (si existe).
- Sistemas de protección y seguridad de las instalaciones contra sobrecalentamientos, heladas, etc.

El sistema de control asegurará que en ningún caso se alcancen temperaturas superiores a las máximas soportadas por los materiales, componentes y tratamientos de los circuitos.

Con independencia de que realice otras funciones, el sistema de control se realizará por control diferencial de temperaturas, mediante un dispositivo electrónico (módulo de control diferencial, en los esquemas representado por MCD) que compare la temperatura de captadores con la temperatura de acumulación o retorno, como por ejemplo ocurre en la acumulación distribuida. El sistema de control actuará y estará ajustado de manera que las bombas no estén en marcha cuando la diferencia de temperaturas sea menor de 4°C y no estén paradas cuando la diferencia sea mayor de 7°C . La diferencia de temperaturas entre los puntos de arranque y de parada de termostato diferencial no será menor de 4°C . De esta forma el funcionamiento de la parte solar de una instalación se optimiza. Para optimizar el aprovechamiento solar de la instalación y, cuando exista intercambiador exterior, se podrán instalar también dos controles diferenciales.

El sistema de control asegurará que en ningún punto la temperatura del fluido de trabajo descienda por debajo de una temperatura tres grados superior (3°C) a la de congelación del fluido.

Las instalaciones con varias aplicaciones deberán ir dotadas con un sistema individual para seleccionar la puesta en marcha de cada una de ellas, complementado con otro que regule la aportación de energía a la misma. Esto se puede realizar por control de temperatura o caudal actuando sobre una válvula de reparto, de tres vías, bombas de circulación o por combinación de varios mecanismos.

Las sondas de temperatura para el control diferencial se colocarán en la parte superior de los captadores, de forma que representen la máxima temperatura del circuito de captación.

Cuando exista, el sensor de temperatura de la acumulación se colocará preferentemente en la parte inferior, en una zona no influenciada por la circulación del circuito secundario o por el calentamiento del intercambiador si éste fuera incorporado.

3.10. Diseño del sistema de monitorización

Para el caso de instalaciones mayores de 20 m² se deberá disponer al menos de un sistema analógico o digital de medida local que indique como mínimo las siguientes variables:

Opción 1:

- Temperatura de entrada de agua fría de red.
- Temperatura de salida del acumulador solar.
- Caudal de agua fría de red.

Opción 2:

- Temperatura inferior del acumulador solar.
- Temperatura de captadores.
- Caudal por el circuito primario.

El tratamiento de los datos proporcionará al menos la energía solar térmica acumulada a lo largo del tiempo.

En el Anexo VII se describe un sistema de monitorización más completo.



ANEXO I

NORMATIVA DE APLICACIÓN Y CONSULTA

I.1. Normativa de aplicación

Norma IRAM 210001-1. Colectores solares. Definiciones.

Norma IRAM 210002. Colectores solares. Métodos de ensayo para determinar el rendimiento térmico.

Norma IRAM 210003. Acumuladores térmicos. Métodos de determinación del rendimiento térmico.

Norma IRAM 210005-1. Código de práctica para la instalación y funcionamiento de sistemas de calentamiento de agua, que operan con energía solar.

Norma IRAM 210006. Colectores solares. Bases técnicas de compra.

Norma IRAM 210007-1. Colectores solares. Método de ensayo de simulación de vida acelerada bajo condiciones de exposición no operacional.

Norma IRAM 210007-2. Colectores solares. Método de ensayo de simulación de condiciones aceleradas de vida. Resistencia a las heladas.

Norma IRAM 210008-. Cubiertas para colectores solares. Métodos para la determinación del factor de transmisión solar y del factor de reflexión de materiales en láminas.

Norma IRAM 210008-1. Cubiertas para colectores solares. Evaluación de los materiales.

Norma IRAM 210008-2. Cubiertas para colectores solares. Método de ensayo de exposición de los materiales a la intemperie bajo condiciones simuladas del modo operacional.

Norma IRAM 210008-3. Cubiertas para colectores solares. Exposición de los materiales a la intemperie bajo condiciones simuladas del modo de estancamiento.

Norma IRAM 210008-4. Cubiertas para colectores solares. Limpieza superficial de la cubierta o sus materiales.

Norma IRAM 210008-5. Colectores solares. Método para determinar la resistencia al granizo de las cubiertas.

Norma IRAM 210009. Colectores solares. Método para determinar la resistencia al granizo de las cubiertas.

Norma IRAM 210010-1. Colectores solares. Evaluación de los materiales absorbedores utilizados en conversión fototérmica.

Se considerará la edición más reciente de las normas antes mencionadas, con las últimas modificaciones oficialmente aprobadas.



ANEXO II

DEFINICIONES

Definiciones

II.1. Parámetros ambientales

Radiación solar: Energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas.

Radiación solar directa: Radiación solar procedente de un pequeño ángulo sólido centrado en el disco solar. Tiene una dirección definida y es la fracción de la radiación solar que no interactúa con la atmósfera.

Radiación solar difusa: Radiación solar procedente de toda la bóveda celeste, producto de los fenómenos de dispersión atmosférica. No tiene una dirección definida.

Radiación solar global o hemisférica: Es la radiación solar total proveniente del sol (directa+difusa).

Irradiancia solar: Potencia solar incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Se expresa en W/m^2 .

Irradiancia solar directa: Potencia solar incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, procedente de un pequeño ángulo sólido centrado en el disco solar. Se expresa en W/m^2 .

Irradiancia solar difusa: Potencia solar incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, procedente de toda la bóveda celeste. No tiene una dirección específica. Se expresa en W/m^2 .

Irradiancia solar reflejada: Potencia solar incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, procedente de la reflexión de la radiación solar en el suelo y otros objetos.

Irradiación: Energía incidente por unidad de superficie sobre un plano dado, obtenida por integración de la irradiancia durante un intervalo de tiempo dado, normalmente una hora o un día. Se expresa en MJ/m² o kWh/m² (ej: una irradiancia solar de 1.000 W/m² durante una hora, da como resultado una irradiación de 1.000 Wh/m² en el plano de interés). La irradiación es función de la inclinación y la orientación del plano.

Aire ambiente: Aire (tanto interior como exterior) que envuelve a un acumulador de energía térmica, a un captador solar o a cualquier objeto que se esté considerando.

II.2. Instalación

Instalaciones abiertas: Instalaciones en las que el circuito primario está comunicado de forma permanente con la atmósfera (no presurizadas).

Instalaciones cerradas: Instalaciones en las que el circuito primario no tiene comunicación directa con la atmósfera (presurizadas).

Instalaciones de sistema directo: Instalaciones en las que el fluido de trabajo es la propia agua de consumo que pasa por los captadores.

Instalaciones de sistema indirecto: Instalaciones en las que el fluido de trabajo se mantiene en un circuito separado, sin posibilidad de comunicarse con el circuito de consumo.

Instalaciones por termosifón: Instalaciones en las que el fluido de trabajo circula por convección libre o gravedad.

Instalación con circulación forzada: Instalación equipada con dispositivos que provocan la circulación forzada del fluido de trabajo o mediante una bomba.

Circuito primario: Circuito del que forman parte los captadores y las tuberías que los unen, en el cual el fluido recoge la energía solar y la transmite.

Circuito secundario: Circuito en el que se recoge la energía transferida del circuito primario para ser distribuida a los puntos de consumo.

Circuito de consumo: Circuito por el que circula agua de consumo.

Sistema solar prefabricado: Sistema de energía solar para los fines de suministro sólo de agua caliente, ya sea como un sistema compacto o como un sistema dividido (ej: colectores en el techo y tanque en sala de máquinas). Consiste en un sistema integrado o bien un conjunto y configuración uniformes de componentes. Se produce bajo condiciones que se presumen uniformes y es ofrecido a la venta bajo un solo nombre comercial.

Un solo sistema puede ser ensayado como un todo en un laboratorio, dando lugar a resultados que representan sistemas con la misma marca comercial, configuración, componentes y dimensiones.

Los sistemas de energía auxiliar conectados en serie con el sistema solar prefabricado no se consideran partes del mismo.

Sistema compacto: Equipo solar prefabricado cuyos elementos se encuentran montados en una sola unidad, aunque físicamente pueden estar diferenciados.

Sistema partido: Equipo solar prefabricado cuyos elementos principales (captación y acumulación) se pueden encontrar a una distancia física relevante.

Sistema integrado: Equipo solar prefabricado cuyos elementos principales (captación y acumulación) constituyen un único componente y no es posible diferenciarlos físicamente.

II.3. Captadores

Captador solar térmico: Dispositivo diseñado para absorber la radiación solar y transmitir la energía térmica producida a un fluido de trabajo que circula por su interior también se lo puede denominar colector solar térmico.

Captador solar de líquido: Captador solar que utiliza un líquido como fluido de trabajo.

Captador solar de aire: Captador solar que utiliza aire como fluido de trabajo.

Captador solar plano: Captador solar sin concentración cuya superficie absorbedora es sensiblemente plana.

Captador sin cubierta: Captador solar sin cubierta sobre el absorbedor.

Captador de concentración: Captador solar que utiliza reflectores, lentes u otros elementos ópticos para redireccionar y concentrar sobre el absorbedor la radiación solar que atraviesa la apertura.

Captador de vacío: Captador en el que se ha realizado el vacío en el espacio entre absorbedor y cubierta.

Captador de tubos de vacío: Captador de vacío que utiliza un tubo transparente (normalmente de vidrio de borosilicato o pyrex) donde se ha realizado el vacío entre la pared del tubo y el absorbedor.

Cubierta: Elemento o elementos transparentes (o translúcidos) que cubren el absorbedor para reducir las pérdidas de calor y protegerlo de la intemperie.

Absorbedor: Componente de un captador solar cuya función es absorber la energía radiante y transferirla en forma de calor a un fluido.

Placa absorbente: Absorbedor cuya superficie es sensiblemente plana.

Apertura: Superficie a través de la cual la radiación solar no concentrada es admitida en el captador.

Área de apertura: Es la máxima proyección plana de la superficie del captador transparente expuesta a la radiación solar incidente no concentrada.

Área total: Área máxima proyectada por el captador completo, excluyendo cualquier medio de soporte y acoplamiento de los tubos expuesta.

Fluido de transferencia de calor o fluido de trabajo: Es el fluido encargado de recoger y transmitir la energía captada por el absorbedor.

Carcasa: Es el componente del captador que conforma su superficie exterior, fija la cubierta, contiene y protege a los restantes componentes del captador y soporta los anclajes del mismo.

Materiales aislantes: Son aquellos materiales de bajo coeficiente de conductividad térmica cuyo empleo en el captador solar tiene por objeto reducir las pérdidas de calor por la parte posterior y laterales.

Junta de cubierta: Es un elemento cuya función es asegurar la estanqueidad de la unión cubierta-carcasa.

Temperatura de estancamiento del captador: Corresponde a la máxima temperatura del fluido que se obtiene cuando, sometido

el captador a altos niveles de radiación (1000 W/m^2) y temperatura ambiente (30°C) y siendo la velocidad del viento despreciable, no existe circulación del fluido en el captador y se alcanzan condiciones cuasi-estacionarias o estancas.

II.4. Componentes

Intercambiador de calor: Dispositivo en el que se produce la transferencia de energía del circuito primario al circuito secundario.

Acumulador solar o depósito solar: Depósito en el que se acumula el agua calentada por energía solar.

Depósito de expansión: Dispositivo que permite absorber las variaciones de volumen y presión en un circuito cerrado producidas por las variaciones de temperatura del fluido circulante. Puede ser abierto o cerrado, según esté o no en comunicación con la atmósfera.

Bomba de circulación: Dispositivo electromecánico que produce la circulación forzada del fluido a través de un circuito.

Purgador de aire: Dispositivo que permite la salida del aire acumulado en el circuito. Puede ser manual o automático.

Válvula de seguridad: Dispositivo que limita la presión máxima del circuito.

Válvula anti-retorno: Dispositivo que evita el paso de fluido en un sentido.

Controlador diferencial de temperaturas: Dispositivo electrónico que comanda distintos elementos eléctricos de la instalación (bombas, electroválvulas, etc.) en función, principalmente, de las temperaturas en distintos puntos de dicha instalación.

Termostato de seguridad: Dispositivo utilizado para detectar la temperatura máxima admisible del fluido de trabajo en el algún punto de la instalación.

Controlador anti-hielo: Dispositivo que impide la congelación del fluido de trabajo.

II.5. Otras definiciones

Almacenamiento estacional: Es el que se produce o realiza durante una estación o parte del año.

Catálogo de productos: Es el archivo de documentación técnica para sistemas solares de calentamiento pequeños a medida, de una compañía, el cual incluye:

- Clasificación completa para sistemas pequeños a medida.
- Descripción completa de todas las configuraciones del sistema.
- Descripción completa de todas las combinaciones comercializadas de las configuraciones del sistema y componentes, incluyendo dimensiones de éstos y número de unidades.
- Información técnica de todo.

Manual del instalador: Conjunto de instrucciones para el montaje, instalación y operación de un sistema solar.

La documentación del sistema deberá ser completa y entendible:

- Todos los componentes de cada sistema pequeño a medida deberán ir provistos con un conjunto de instrucciones de montaje y funcionamiento entendibles, así como recomendaciones de servicio. Esta documentación deberá incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje, instalación, operación y mantenimiento.
- Cada sistema grande a medida deberá ir provisto con un conjunto de instrucciones de montaje y funcionamiento, así como recomendaciones de servicio. Esta documentación deberá incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje, instalación, operación y mantenimiento y todos los registros de arranque inicial y puesta en servicio.
- Los documentos deberán ser guardados en un lugar visible (preferentemente cerca del acumulador), protegidos del calor, agua y polvo.



ANEXO III

PRUEBAS Y DOCUMENTACIÓN

Pruebas y documentación

III.1. Pruebas

El suministrador entregará al usuario un documento en el que conste el suministro de componentes, materiales y manuales de uso y mantenimiento de la instalación. Este documento será firmado por duplicado por ambas partes, conservando cada una un ejemplar.

Las pruebas a realizar por el instalador serán, como mínimo, las siguientes:

- Llenado, funcionamiento y puesta en marcha del sistema.
- Se probarán hidrostáticamente los equipos y el circuito de energía auxiliar.
- Se comprobará que las válvulas de seguridad funcionan y que las tuberías de descarga de las mismas no están obturadas y están en conexión con la atmósfera.
- Se comprobará la correcta actuación de las válvulas de corte, llenado, vaciado y purga de la instalación.
- Se comprobará la actuación del sistema de control y el comportamiento global de la instalación realizando una prueba de funcionamiento diario, consistente en verificar, que, en un día claro, las bombas arrancan por la mañana, en un tiempo prudencial, y paran al atardecer, detectándose en el depósito saltos de temperatura significativos.

III.2. Documentación

III.2.A. Documentación para sistemas solares prefabricados

III.2.A.1. Generalidades

Con cada sistema solar prefabricado, el fabricante o distribuidor oficial deberá suministrar instrucciones para el montaje e instalación (para el instalador) e instrucciones de operación (para el usuario). Estos documentos deberán estar escritos en el idioma(s) oficial(es) del lugar en que se encuentre ubicada la instalación y deberán incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje y operación, incluyendo mantenimiento, y prestando atención a los requisitos importantes y reglas técnicas de interés.

III.2.A.2. Documentos para el instalador

Las instrucciones de montaje deberán ser apropiadas al sistema e incluir información concerniente a:

1. Diagramas del sistema.
2. Localización y diámetros nominales de todas las conexiones externas.
3. Un resumen con todos los componentes que se suministran (como captador solar, depósito de acumulación, estructura soporte, circuito hidráulico, provisiones de energía auxiliar, sistema de control/regulación y accesorios), con información de cada componente del modelo, potencia eléctrica, dimensiones, peso, marca y montaje.
4. Máxima presión de operación de todos los circuitos de fluido del sistema, tales como el circuito de captadores, el circuito de consumo y el circuito de calentamiento auxiliar.
5. Límites de trabajo: temperaturas y presiones admisibles, etc. a través del sistema.
6. Tipo de protección contra la corrosión.
7. Tipo de fluido de transferencia de calor.

8. Embalaje y transporte de todo el sistema y/o componentes y modo de almacenaje (exterior, interior, embalado, no embalado).
9. Guías de instalación con recomendaciones sobre:
 - a. Superficies de montaje.
 - b. Distancias a paredes y seguridad en relación con el hielo.
 - c. Forma en la que las tuberías de entrada al edificio han de estar terminadas (resistencia a lluvia y humedad).
 - d. Procedimiento a seguir para el aislamiento térmico de las tuberías.
 - e. Integración en el tejado del captador (si es apropiado).
 - f. Si una estructura soporte que, normalmente montada al exterior, es parte del sistema, los valores máximos de esfuerzo y peso que soporte la misma.
 - g. Método de conexión de tuberías.
 - h. Tipos y tamaños de los dispositivos de seguridad y su drenaje. Las instrucciones de montaje deberán indicar que cualquier válvula de presión que se instale por la cual pueda salir vapor en condiciones de operación normal o estancamiento, habrá de ser montada de tal forma que no se produzcan lesiones, agravios o daños causados por el escape de vapor. Cuando el sistema esté equipado para drenar una cantidad de agua como protección contra sobrecalentamiento, el drenaje de agua caliente debe estar construido de tal forma que el agua drenada no cause ningún daño al sistema ni a otros materiales del edificio.
 - i. Los dispositivos necesarios de control y seguridad con esquema unifilar, incluyendo la necesidad de una válvula termostática de mezcla que limite la temperatura de extracción a 60 °C, cuando así se requiera de acuerdo con 1.3.3.2.
 - j. Revisión, llenado y arranque del sistema.
 - k. Montaje del sistema.
 - l. Una lista de comprobación para el instalador para verificar el correcto funcionamiento del sistema.
 - m. La mínima temperatura hasta la cual el sistema puede soportar heladas.

III.2.A.3. Documentos para el usuario

Las instrucciones de operación deberán incluir información concierne a:

1. Componentes de seguridad existentes y ajustes de termostato cuando sea aplicable.
2. Antes de poner el sistema en operación se debe comprobar que todas las válvulas trabajan correctamente y que el sistema está llenado completamente con agua y/o fluido anti-congelante de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
3. En caso de cualquier avería, deberá llamarse a un especialista.
4. Operación normal de las válvulas de seguridad.
5. Precauciones en relación con riesgo de daños por congelación o sobrecalentamientos. La manera de evitar averías cuando se arranque el sistema bajo condiciones de congelación o posible congelación.
6. Desmontaje del sistema.
7. Mantenimiento del sistema por un especialista, incluyendo frecuencia de inspecciones y mantenimiento y una lista de partes que tienen que ser repuestas durante el mantenimiento normal.
8. Datos de rendimiento del sistema. Rango de cargas recomendado para el sistema (en l/día) a la temperatura especificada.
9. Si el sistema contiene dispositivos de protección contra heladas que causen consumo eléctrico, se hará constar la potencia eléctrica de estos dispositivos (en W) y sus características (temperatura de arranque).
10. Cuando el sistema de protección contra heladas dependa de la electricidad y/o suministro de agua fría y/o el sistema haya sido llenado con agua de consumo, el requisito de no cortar nunca el suministro eléctrico y/o el suministro de agua fría, o que el sistema no sea drenado cuando haya alta radiación solar.
11. El hecho de que durante situaciones de alta radiación, agua de consumo puede ser drenada, si éste es el método usado para prevenir sobrecalentamientos.

12. Mínima temperatura hasta la cual el sistema puede soportar heladas.
13. Tipo de fluido de transferencia de calor.
14. En caso de sistemas con calentadores de emergencia, habrá de indicarse que dicho calentador deberá ser usado para propósitos de emergencia.

III.2.B. Documentación para sistemas solares a medida

La documentación del sistema descrita a continuación deberá ser completa y entendible.

Para sistemas pequeños debería estar disponible la documentación técnica describiendo la clasificación propuesta por la compañía, estando establecido el archivo de acuerdo con III.2.B.1. Deberá suministrarse una documentación de cada sistema de acuerdo con III.2.B.2. Para sistemas grandes, deberá suministrarse una documentación completa del sistema de acuerdo con III.2.B.3.

III.2.B.1. Fichero de clasificación para sistemas pequeños

La documentación que describa la clasificación de los sistemas pequeños debería incluir:

1. Todas las configuraciones propuestas del sistema incluyendo los esquemas hidráulicos y de control y las especificaciones que permitan al usuario entender el modo de funcionamiento del sistema.
2. Lista de componentes a incluir dentro de las configuraciones del sistema, con referencias completas de dimensión y tipo. La identificación de los componentes de la lista deberá ser clara y sin ambigüedades.
3. Una lista de combinaciones propuestas de opciones dimensionales en cada una de las configuraciones del sistema.
4. Diagramas o tablas estableciendo el rendimiento del sistema bajo condiciones de referencia para cada combinación propuesta de opciones dimensionales en cada configuración del sistema.

III.2.B.2. Documentación para sistemas pequeños

Todos los componentes de cada sistema pequeño a medida deberán ir provistos con un conjunto de instrucciones de montaje y funcionamiento entendibles, así como recomendaciones de servicio. Esta documentación deberá incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje, instalación, operación y mantenimiento.

Los documentos deberán ser guardados en un lugar visible (preferentemente cerca del acumulador), protegidos del calor, agua y polvo.

III.2.B.3. Documentos para sistemas grandes

Cada sistema grande a medida deberá ir provisto con un conjunto de instrucciones de montaje y funcionamiento, así como recomendaciones de servicio. Esta documentación deberá incluir todas las instrucciones necesarias para el montaje, instalación, operación y mantenimiento, y todas las de arranque inicial y puesta en servicio.

Los documentos deberán ser guardados en un lugar visible (preferentemente cerca del acumulador), protegidos del calor, agua y polvo.

III.2.B.3.1. Documentos con referencia a la puesta en servicio

La documentación debería incluir:

1. Todos los supuestos hechos en la carga (ofreciendo conjunto de valores en el intervalo $\pm 30\%$ sobre la carga media seleccionada).
2. Referencia completa de los datos climáticos usados.
3. Registro completo del método usado para el dimensionado del área de captadores, sistema(s) de almacenamiento e intercambiador de calor, incluyendo todas los supuestos (fracción solar deseada) y referencia completa a cualquier programa de simulación usado.
4. Registro completo de los procedimientos usados para el dimensionado hidráulico del circuito de captadores y sus componentes.

5. Registro completo de procedimientos usados para la predicción del rendimiento térmico del sistema, incluyendo referencia completa al programa de simulación usado.

II.2.B.3.2. Documentos de montaje e instalación

Los documentos deberán cumplir con los puntos a), e), f), g), h), j) y k) de III.2.A.2. La descripción del montaje e instalación del sistema deberá dar lugar a una instalación correcta de acuerdo con los dibujos del sistema.

III.2.B.3.3. Documentos para el funcionamiento

La documentación deberá cumplir con los párrafos a), f) y g) de III.2.A.2. Los documentos deberán incluir también: a) Esquemas hidráulicos y eléctricos del sistema. b) Descripción del sistema de seguridad con referencia a la localización y ajustes de los componentes de seguridad. NOTA: Se debería dar una guía para la comprobación del sistema antes de ponerlo en funcionamiento de nuevo después de haber descargado una o más válvulas de seguridad. c) Acción a tomar en caso de fallo del sistema o peligro. d) Descripción del concepto y sistema de control incluyendo la localización de los componentes del control (sensores). Éstos deberían estar incluidos en el esquema hidráulico del sistema. e) Instrucciones de mantenimiento, incluyendo arranque y parada del sistema. f) Comprobación de función y rendimiento.

CÁLCULO DE DEMANDAS ENERGÉTICAS

IV.1. Cálculo de demanda energética en instalaciones de calentamiento de piscinas

La demanda energética en las piscinas viene dada por dos factores:

1. Las pérdidas térmicas de la piscina
2. El requerimiento de calor

Los métodos que se describen a continuación son para estimar la demanda energética necesaria para compensar las pérdidas térmicas. De implementar un sistema solar térmico que cubra esta demanda, será posible mantener la temperatura deseada pero no elevarla desde una temperatura más baja. De esta manera, la demanda energética debe ser aumentada en un factor de 30 a 50% de tal forma que el área de colectores necesaria permita no sólo cubrir las pérdidas, sino también brindar una ganancia energética neta. El factor de aumento dependerá si la piscina posee un aporte energético pasivo y está protegida del viento o por el contrario si está expuesta al viento y se encuentra en sombra. Quedará a criterio del profesional involucrado.

IV.1.A. Cálculo en piscina cubierta

En piscinas cubiertas la demanda energética diaria viene dada por la necesidad de compensar las pérdidas térmicas de la misma y vienen dadas por:

- Las pérdidas por evaporación, que representan entre el 70% y el 80% de las pérdidas totales.
- Las pérdidas por radiación, que representan entre el 15% y el 20% de las pérdidas totales.
- Las pérdidas por conducción son despreciables.

Para el cálculo de la demanda energética mensual en piscinas cubiertas, se utilizará la siguiente fórmula empírica:

$$Q_i = (130 - 3 \cdot T_{ap} + 0,2 \cdot T_{ap}^2) \cdot \left(\frac{S_p}{1000}\right) \cdot 24 \cdot N_i$$

donde:

- Q_i = Demanda energética de la piscina en el mes i (kWh)
- t_{ap} = Temperatura a la cual se desea el agua de la piscina ($^{\circ}\text{C}$)
- S_p = Superficie de la piscina (m^2)
- N_i = Número de días del mes i

El sistema solar debe estar dimensionado para aportar una fracción de esta demanda energética mensual.

IV.1.B. Cálculo en piscina al aire libre

En piscinas al aire libre la demanda energética diaria viene dada por la necesidad de compensar las pérdidas térmicas de la misma. Se tendrán en cuenta los distintos tipos de pérdida de energía:

- Por radiación del agua hacia la atmósfera, más acentuadas por la noche.
- Por evaporación del agua.
- Por convección, influidas por el viento.
- Por conducción, por las paredes de la piscina.
- Por arrastre y salpicaduras de agua.

Para el cálculo de la demanda energética mensual en piscinas al aire libre, se utilizará la siguiente fórmula empírica:

$$Q_i = \frac{[(28 + 20 \cdot v) \cdot (t_{ap} - t_{amb}) \cdot S_p]}{1000} \cdot 24 \cdot N_i$$

donde:

Q_i = Demanda energética de la piscina en el mes i (kWh).
Se debe multiplicar por 3600 para obtener el resultado en kJ.

t_{ap} = Temperatura a la cual se desea el agua de la piscina (°C)

t_{amb} = Temperatura ambiente (°C)

v = Velocidad del viento (m/s)

S_p = Superficie de la piscina (m²)

N_i = Número de días del mes i

Las piscinas al aire libre se deberán ubicar preferentemente en lugares en los que la velocidad del viento sea despreciable o lo más baja posible.

IV.2. Cálculo de demanda energética en instalaciones de agua caliente sanitaria

La demanda energética en instalaciones de agua caliente sanitaria viene dada por el volumen de consumo diario y las temperaturas de consumo y de agua fría.

En instalaciones existentes para las que se disponga de datos de consumo medidos en años anteriores, se utilizarán estos datos previa justificación de los mismos. En instalaciones, nuevas o existentes, para las que se disponga de datos de consumo de instalaciones similares, podrá utilizarse éstos previa justificación. Es conveniente realizar tomas de datos de consumo de agua caliente, en el caso de que no los hubiera.

En caso de no disponer de datos, se utilizarán para el diseño los consumos unitarios expresados en la tabla 3, en la que se ha considerado una temperatura de referencia de 50 °C.

Tabla 3

Criterio de consumo	litros por día	Unidad
Viviendas unifamiliares	50	Por persona
Viviendas multifamiliares	30	Por persona
Hospitales y clínicas	50	Por cama
Hoteles (4 estrellas)	70	Por cama
Hoteles (3 estrellas)	55	Por cama
Hoteles (2 estrellas)	40	Por cama
Hoteles (1 estrella)	40	Por cama
Hosteles, Hostales	40	Por cama
Campings	80	Por emplazamiento
Residencia (ancianos, estudiantes, etc)	50	Por persona
Vestuarios/duchas familiares	20	Por servicio
Cuarteles	20	Por persona
Gimnasios	30	Por persona
Lavandería	3	Por kg de ropa
Restaurantes y Bares	5	Por comida
Cafetería	1	Por café

El cálculo del número de personas por vivienda deberá hacerse utilizando los valores mínimos siguientes:

Nº de dormitorios	Nº de personas
1	1,5
2	3
3	4
4	6
5	7
6	8
7	9
8	9
Más de 8	Igual número que dormitorios

Adicionalmente, se tendrán en cuenta las pérdidas de distribución/recirculación del agua a los puntos de consumo.

A efectos del cálculo de la carga de consumo, los valores orientativos de temperatura de agua fría de red y de pozo se indican en la tabla 4.

Tabla 4

Mes	Red (°C)	Pozo (°C)
Enero	20,00	18,00
Febrero	18,34	17,00
Marzo	16,68	16,00
Abril	15,02	15,00
Mayo	13,36	14,00
Junio	11,70	13,00
Julio	10,00	12,00
Agosto	11,66	13,00
Septiembre	13,32	14,00
Octubre	14,98	15,00
Noviembre	16,64	16,00
Diciembre	18,30	17,00

La demanda energética mensual está dada por la cantidad de calor necesaria para calentar el agua destinada al consumo doméstico desde la temperatura de red hasta la temperatura de consumo deseada y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_i = C_e \cdot CD \cdot N_i \cdot (t_{ac} - t_r)$$

donde:

Q_i = Demanda energética del mes i (J). Se debe multiplicar por $2,78 \times 10^{-7}$ para obtener el resultado en kWh

C_e = Calor específico (para el agua $4187 \text{ J}/(\text{kg}^\circ\text{C})$)

CD = Consumo diario de A.C.S. (litros/día)

t_{ac} = Temperatura del agua caliente de acumulación ($^\circ\text{C}$)

t_r = Temperatura del agua de red ($^\circ\text{C}$)

N_i = Número de días del mes

IV.3. Cálculo de demanda energética en instalaciones de calefacción/climatización

El control de los efectos del clima en los locales de una vivienda está influenciado principalmente por una adecuada selección de los

materiales empleados en la construcción, por su combinación según criterios de máxima funcionalidad y por el óptimo diseño de espacios, vanos y orientaciones. El cumplimiento de las transmitancias térmicas máximas admisibles de los elementos de cerramiento de un local puede no ser suficiente para controlar las pérdidas de calor totales del conjunto. De ahí la necesidad de definir un parámetro global que pondere todos los elementos que intervienen en el proceso. Dos construcciones ubicadas en el mismo lugar geográfico pueden demandar diferentes cantidades de energía para climatización dependiendo de sus características constructivas y diseño. Para el cálculo de las mismas, se debe comenzar con el cálculo del coeficiente de pérdidas volumétricas «G», cuyo procedimiento de cálculo se especifica en la norma IRAM 11604 [47]. Asimismo, para que la climatización mediante energía solar sea viable y aprovechable, el coeficiente de pérdidas térmicas debe cumplir con lo establecido en la norma «IRAM 11603: Acondicionamiento térmico de edificios-Clasificación Bioambiental de la República Argentina» [46]. Esta norma define un valor del coeficiente G admisible para cada zona del país. De esta manera, si el coeficiente G calculado, excede el valor admisible para una determinada zona, entonces es poco probable que un sistema de calefacción/climatización solar tenga un aporte significativo de ahorro. A modo de referencia, cabe mencionar que a lo largo de un año, la carga térmica de agua caliente sanitaria constituye aproximadamente 1/3 a 1/5 de la carga térmica de climatización/calefacción. Una vez conocido el coeficiente G para la construcción en cuestión, la carga térmica mensual se determina utilizando el método de «Grados-días», ampliamente utilizado a nivel mundial y de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Q_i = \frac{24 \cdot GD_{cal} \cdot G \cdot V}{1000}$$

Q_i = Carga térmica mensual del mes i en kWh. Se debe multiplicar por 3.600 para obtener el resultado en KJ.

G = Coeficiente volumétrico de pérdidas térmicas en $W/m^3 K$, calculado según norma IRAM 11604 y es particular para cada construcción.

V = Volumen del recinto a calefaccionar en m^3 .

GD_{cal} = Los grados días que corresponden al mes en cuestión y que se calculan de la siguiente manera:

$$GD_{cal} = (T_{BC} - T_m) \cdot N_i \cdot X_c$$

Siendo

T_{BC} = la temperatura base de confort con la que se diseña el sistema de climatización (14, 16, 18, 20, 22 °C, según la norma IRAM 11603).

T_m = Temperatura media mensual (tablas 9, 10, 11 y 12 del capítulo Climatología en pág.33)

N_i = Número de días del mes i

X_c = coeficiente lógico que toma el valor de 1 cuando T_{BC} es mayor que T_m y 0 cuando no.



ANEXO V

CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS POR ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN

V.1. Introducción

El objeto de este Anexo es determinar los límites en la orientación e inclinación de los captadores de acuerdo a las pérdidas máximas permisibles.

Las pérdidas por este concepto se calcularán en función de:

- **Ángulo de inclinación (β)**, definido como el ángulo que forma la superficie de los captadores con el plano horizontal (figura 5). Su valor es 0° para captadores horizontales y 90° para verticales.
- **Ángulo de acimut (α)**, definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y el meridiano del lugar (figura 6). Valores típicos son 0° para captadores orientados al Norte, $+90^\circ$ para captadores orientados al Este y -90° para captadores orientados al Oeste.

Figura 5. **Inclinación del colector o captador (β)**

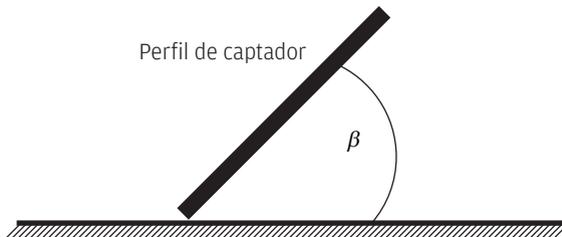
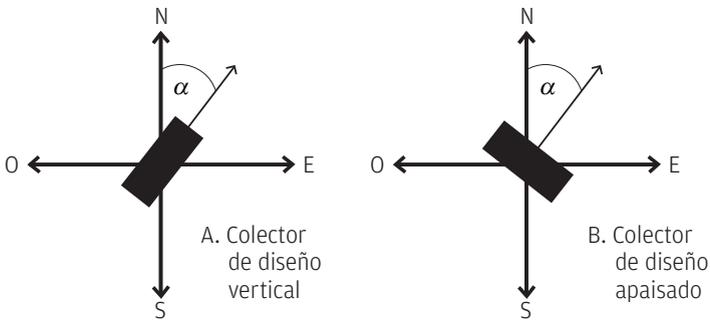


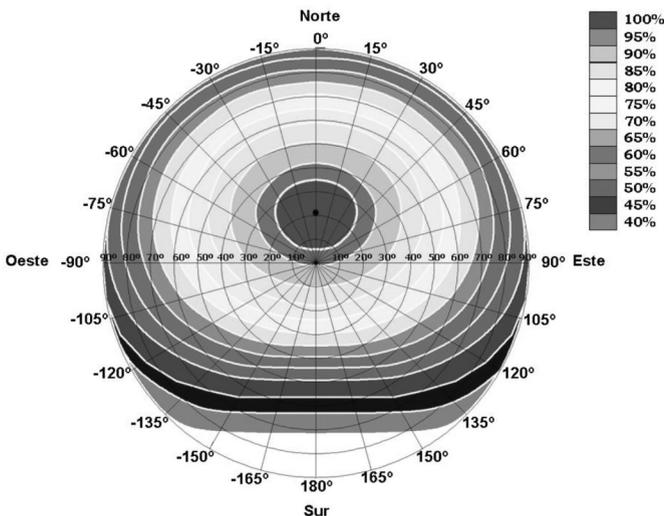
Figura 6. Acimut del colector o captador (α), instalado en distintas posiciones



V.2. Procedimiento

Habiendo determinado el ángulo de acimut del captador, se calcularán los límites de inclinación aceptables de acuerdo a las pérdidas máximas respecto a la inclinación óptima establecida. Para ello se utilizará la figura 7, válida para la provincia de Santa Fé.

Figura 7. Muestra el porcentaje de energía anual que se pierde, a medida que varía la inclinación y orientación del captador con respecto al máximo anual. El eje horizontal representa la inclinación, y el circular, la orientación del captador



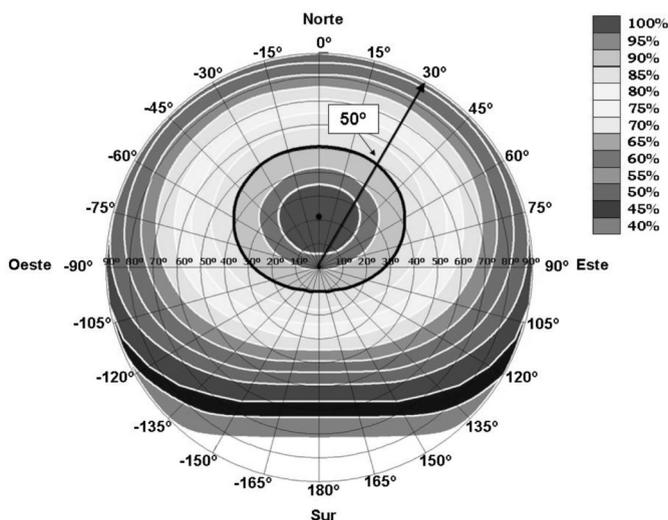
Conocido el acimut, determinamos en la figura 7 los límites para la inclinación. Para el caso general, las pérdidas máximas por este concepto son del 10 %, para superposición del 20 % y para integración arquitectónica del 40 %. Los puntos de intersección del límite de pérdidas con la recta de acimut nos proporcionan los valores de inclinación máxima y mínima.

Si no hay intersección entre ambas, las pérdidas son superiores a las permitidas y la instalación estará fuera de los límites.

V.3.A. Ejemplo de cálculo

Se trata de evaluar si las pérdidas por orientación e inclinación del captador están dentro de los límites permitidos para una instalación en un tejado orientado 30° hacia el Este (acimut = +30°) y con una inclinación de 40° respecto a la horizontal, para una localidad de la provincia de Santa Fé.

Conocido el acimut, cuyo valor es +30°, determinamos en la figura 7 los límites para la inclinación del caso. Para el acimut de +30, la máxima inclinación permitida es de 50° y la mínima es 0°, dado por el límite de la zona del 90%. Valores de inclinación superiores al mencionado, caen fuera de las especificaciones de la norma y no están permitidos.

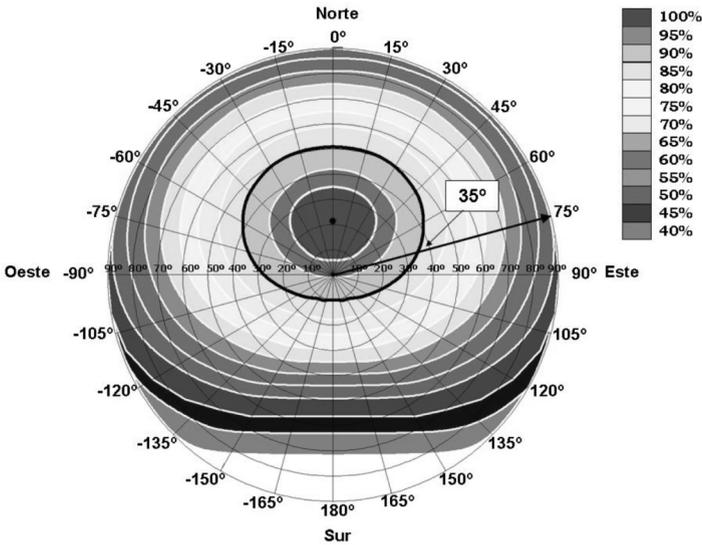


Los valores de inclinación (40°) y acimut (30°) caen dentro de la región de pérdidas máximas permitidas y por lo tanto, es factible la instalación de captadores en ese tejado.

V.3.B. Ejemplo de cálculo

Se trata de evaluar si las pérdidas por orientación e inclinación del captador están dentro de los límites permitidos para una instalación en un tejado orientado 75° hacia el Este (acimut = $+75^\circ$) y con una inclinación de 40° respecto a la horizontal, para una localidad de la provincia de Santa Fé.

De la misma manera, que en el ejemplo A, conocido el acimut, cuyo valor es $+75^\circ$, determinamos en la figura 7 los límites para la inclinación del caso.



Para el acimut de +75, la máxima inclinación permitida es de 35°, y la mínima es de 0° dado por el límite de la zona del 90%. La inclinación del caso es 40°, entonces el captador no puede ser instalado en el techo mencionado con la inclinación del mismo, ya que las pérdidas anuales por orientación e inclinación son superiores al 10%.

Este procedimiento otorga información instantánea sobre las pérdidas por orientación e inclinación originadas en las condiciones de instalación del captador.

ANEXO VI

CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE RADIACIÓN SOLAR POR SOMBRAS

VI.1. Introducción

El presente Anexo describe un método de cálculo de las pérdidas de radiación solar que experimenta una superficie debidas a sombras circundantes. Tales pérdidas se expresan como porcentaje de la radiación solar global que incidiría sobre la mencionada superficie, de no existir sombra alguna.

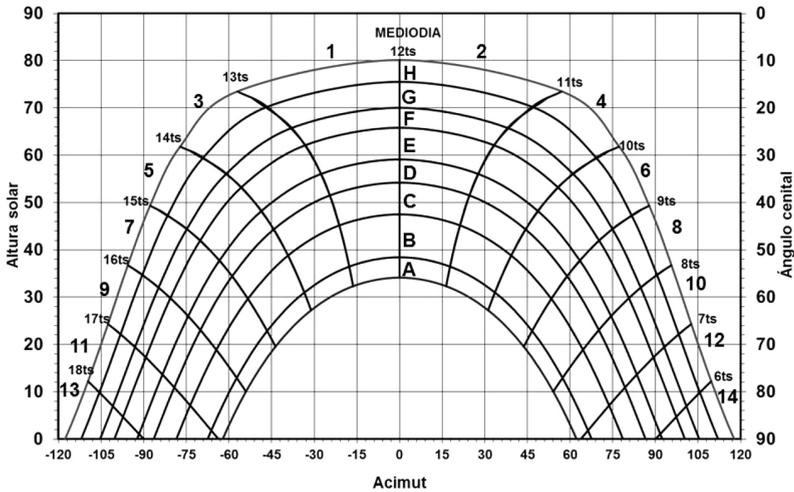
VI.2. Procedimiento

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

- *VI.2.1 Obtención del perfil de obstáculos.* Localización de los principales obstáculos que afectan a la superficie, en términos de sus coordenadas de posición azimut (ángulo de desviación con respecto a la dirección Norte) y elevación (ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal). Para ello puede utilizarse una brújula para la orientación y algún instrumento que permita determinar la altura de obstáculos cercanos.
- *VI.2.2 Representación del perfil de obstáculos.* Representación del perfil de obstáculos en el diagrama de la figura 8, en el que

se muestra la banda de trayectorias del Sol a lo largo de todo el año, válido para la provincia de Santa Fé. El diagrama es un promedio entre la de 34° y 29° de latitud sur. Dicha banda se encuentra dividida en porciones, delimitadas por las horas solares (negativas antes del mediodía solar y positivas después de éste) e identificadas por mes. Dado que hay dos equinoccios, un solsticio de invierno y uno de verano, las curvas no siguen el orden temporal sino que están definidas por la trayectoria aparente del sol en cada mes. Cada banda corresponde a una letra y cada hora solar tiene un número de referencia, es decir, cada celda puede identificarse por una letra y un número.

Figura 8



- VI.2.3 Selección de la tabla de referencia para los cálculos. Cada una de las porciones de la figura 8 representa el recorrido del Sol en un cierto período de tiempo (una hora a lo largo de varios días) y tiene, por tanto, una determinada contribución a la irradiación solar global anual que incide sobre la superficie de estudio. Así, el hecho de que un obstáculo cubra una de las porciones supone una cierta pérdida de irradiación, en particular aquélla que resulte interceptada por el obstáculo. Deberá escogerse como referencia para el cálculo la tabla más adecuada de entre las que se incluyen en este anexo.

- **VI.2.4 Cálculo final.** La comparación del perfil de obstáculos con el diagrama de trayectorias del Sol permite calcular las pérdidas por sombreado de la irradiación solar global que incide sobre la superficie, a lo largo de todo el año. Para ello se han de sumar las contribuciones de aquellas porciones que resulten total o parcialmente ocultas por el perfil de obstáculos representado. En el caso de ocultación parcial se utilizará el factor de llenado (fracción oculta respecto del total de la porción) más próximo a los valores: 0,25; 0,50; 0,75 ó 1. El apartado VI.4 muestra un ejemplo concreto de utilización del método descrito.

VI.3. Tablas de referencia

Las tablas incluidas en esta sección se refieren a distintas superficies caracterizadas por sus ángulos de inclinación y orientación (β y α , respectivamente). Deberá escogerse aquella que resulte más parecida a la superficie en estudio. Los números que figuran en cada casilla se corresponden con el porcentaje de irradiación solar global anual que se perdería si la porción correspondiente resultase interceptada por un obstáculo.

$\beta=0; \gamma=0$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,28%	0,80%	1,33%	1,76%	2,00%	2,00%
11	0,00%	0,09%	0,41%	0,87%	1,31%	1,67%	1,86%	1,86%
9	0,00%	0,09%	0,31%	0,56%	0,79%	0,98%	1,08%	1,08%
7	0,00%	0,14%	0,41%	0,70%	0,98%	1,20%	1,31%	1,31%
5	0,00%	0,21%	0,49%	0,79%	1,06%	1,28%	1,39%	1,39%
3	0,06%	0,24%	0,51%	0,79%	1,05%	1,25%	1,36%	1,36%
1	0,09%	0,31%	0,58%	0,87%	1,13%	1,33%	1,44%	1,44%
2	0,23%	0,72%	1,30%	1,89%	2,42%	2,83%	3,05%	3,05%
4	0,00%	0,00%	0,28%	0,80%	1,33%	1,76%	2,00%	2,00%
6	0,00%	0,09%	0,41%	0,87%	1,31%	1,67%	1,86%	1,86%
8	0,00%	0,09%	0,31%	0,56%	0,79%	0,98%	1,08%	1,08%
10	0,00%	0,14%	0,41%	0,70%	0,98%	1,20%	1,31%	1,31%
12	0,00%	0,21%	0,49%	0,79%	1,06%	1,28%	1,39%	1,39%
14	0,06%	0,24%	0,51%	0,79%	1,05%	1,25%	1,36%	1,36%

$\beta=30; \gamma=0$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,45%	1,13%	1,76%	2,27%	2,55%	2,55%
11	0,00%	0,14%	0,53%	1,05%	1,55%	1,95%	2,17%	2,17%
9	0,00%	0,10%	0,33%	0,60%	0,86%	1,06%	1,17%	1,17%
7	0,00%	0,14%	0,41%	0,72%	1,02%	1,25%	1,38%	1,38%
5	0,00%	0,20%	0,48%	0,78%	1,06%	1,28%	1,39%	1,37%
3	0,03%	0,19%	0,45%	0,74%	1,00%	1,21%	1,33%	1,33%
1	0,08%	0,28%	0,54%	0,81%	1,06%	1,25%	1,34%	1,32%
2	0,16%	0,57%	1,11%	1,68%	2,21%	2,60%	2,81%	2,78%
4	0,00%	0,00%	0,45%	1,13%	1,76%	2,27%	2,55%	2,55%
6	0,00%	0,14%	0,53%	1,05%	1,55%	1,95%	2,17%	2,17%
8	0,00%	0,10%	0,33%	0,60%	0,86%	1,06%	1,17%	1,17%
10	0,00%	0,14%	0,41%	0,72%	1,02%	1,25%	1,38%	1,38%
12	0,00%	0,20%	0,48%	0,78%	1,06%	1,28%	1,39%	1,37%
14	0,03%	0,19%	0,45%	0,74%	1,00%	1,21%	1,33%	1,33%

$\beta=60; \gamma=0$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,53%	1,42%	2,12%	2,68%	2,98%	2,98%
11	0,00%	0,19%	0,64%	1,19%	1,72%	2,14%	2,38%	2,38%
9	0,00%	0,11%	0,34%	0,62%	0,88%	1,09%	1,21%	1,21%
7	0,00%	0,13%	0,40%	0,72%	1,01%	1,25%	1,38%	1,38%
5	0,00%	0,15%	0,40%	0,70%	0,99%	1,21%	1,33%	1,33%
3	0,01%	0,01%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,03%
1	0,05%	0,17%	0,39%	0,66%	0,91%	1,11%	1,21%	1,21%
2	0,11%	0,36%	0,77%	1,32%	1,84%	2,24%	2,45%	2,45%
4	0,00%	0,00%	0,53%	1,42%	2,12%	2,68%	2,98%	2,98%
6	0,00%	0,19%	0,64%	1,19%	1,72%	2,14%	2,38%	2,38%
8	0,00%	0,11%	0,34%	0,62%	0,88%	1,09%	1,21%	1,21%
10	0,00%	0,13%	0,40%	0,72%	1,01%	1,25%	1,38%	1,38%
12	0,00%	0,15%	0,40%	0,70%	0,99%	1,21%	1,33%	1,33%
14	0,01%	0,01%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,03%

$\beta=90; \gamma=0$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,72%	1,84%	2,63%	3,25%	3,59%	3,59%
11	0,00%	0,25%	0,79%	1,39%	1,96%	2,41%	2,66%	2,66%
9	0,00%	0,12%	0,37%	0,65%	0,93%	1,14%	1,26%	1,26%
7	0,00%	0,13%	0,40%	0,71%	1,01%	1,24%	1,37%	1,37%
5	0,00%	0,12%	0,34%	0,63%	0,90%	1,12%	1,24%	1,24%
3	0,04%	0,14%	0,31%	0,55%	0,80%	0,99%	1,10%	1,10%
1	0,05%	0,18%	0,32%	0,51%	0,74%	0,92%	1,02%	1,02%
2	0,13%	0,39%	0,66%	0,97%	1,37%	1,73%	1,93%	1,93%

Continuación

4	0,00%	0,00%	0,72%	1,84%	2,63%	3,25%	3,59%	3,59%
6	0,00%	0,25%	0,79%	1,39%	1,96%	2,41%	2,66%	2,66%
8	0,00%	0,12%	0,37%	0,65%	0,93%	1,14%	1,26%	1,26%
10	0,00%	0,13%	0,40%	0,71%	1,01%	1,24%	1,37%	1,37%
12	0,00%	0,12%	0,34%	0,63%	0,90%	1,12%	1,24%	1,24%
14	0,04%	0,14%	0,31%	0,55%	0,80%	0,99%	1,10%	1,10%

$\beta=30; \gamma=30$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,51%	1,33%	1,92%	2,34%	2,50%	2,38%
11	0,00%	0,23%	0,71%	1,23%	1,70%	2,02%	2,15%	2,05%
9	0,00%	0,15%	0,43%	0,70%	0,94%	1,11%	1,17%	1,12%
7	0,00%	0,20%	0,55%	0,85%	1,12%	1,31%	1,38%	1,32%
5	0,00%	0,29%	0,59%	0,89%	1,15%	1,33%	1,40%	1,34%
3	0,09%	0,30%	0,58%	0,86%	1,11%	1,27%	1,33%	1,28%
1	0,10%	0,34%	0,62%	0,90%	1,14%	1,31%	1,37%	1,31%
2	0,26%	0,77%	1,35%	1,92%	2,41%	2,74%	2,86%	2,74%
4	0,00%	0,00%	0,51%	1,33%	1,92%	2,34%	2,50%	2,38%
6	0,00%	0,23%	0,71%	1,23%	1,70%	2,02%	2,15%	2,05%
8	0,00%	0,15%	0,43%	0,70%	0,94%	1,11%	1,17%	1,12%
10	0,00%	0,20%	0,55%	0,85%	1,12%	1,31%	1,38%	1,32%
12	0,00%	0,29%	0,59%	0,89%	1,15%	1,33%	1,40%	1,34%
14	0,09%	0,30%	0,58%	0,86%	1,11%	1,27%	1,33%	1,28%

$\beta=60; \gamma=30$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,75%	1,84%	2,47%	2,86%	2,94%	2,70%
11	0,00%	0,36%	1,01%	1,57%	2,04%	2,33%	2,37%	2,17%
9	0,00%	0,20%	0,55%	0,83%	1,06%	1,20%	1,22%	1,12%
7	0,00%	0,26%	0,67%	0,98%	1,24%	1,38%	1,40%	1,28%
5	0,00%	0,37%	0,68%	0,98%	1,21%	1,35%	1,36%	1,25%
3	0,11%	0,36%	0,64%	0,92%	1,13%	1,26%	1,27%	1,16%
1	0,12%	0,37%	0,65%	0,92%	1,13%	1,25%	1,26%	1,15%
2	0,28%	0,81%	1,38%	1,91%	2,33%	2,56%	2,56%	2,34%
4	0,00%	0,00%	0,75%	1,84%	2,47%	2,86%	2,94%	2,70%
6	0,00%	0,36%	1,01%	1,57%	2,04%	2,33%	2,37%	2,17%
8	0,00%	0,20%	0,55%	0,83%	1,06%	1,20%	1,22%	1,12%
10	0,00%	0,26%	0,67%	0,98%	1,24%	1,38%	1,40%	1,28%
12	0,00%	0,37%	0,68%	0,98%	1,21%	1,35%	1,36%	1,25%
14	0,11%	0,36%	0,64%	0,92%	1,13%	1,26%	1,27%	1,16%

$\beta=90; \gamma=30$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	1,05%	2,47%	3,12%	3,45%	3,40%	3,01%
11	0,00%	0,52%	1,38%	1,98%	2,43%	2,63%	2,56%	2,23%
9	0,00%	0,27%	0,70%	0,98%	1,19%	1,27%	1,23%	1,06%
7	0,00%	0,33%	0,82%	1,12%	1,33%	1,41%	1,35%	1,15%
5	0,00%	0,47%	0,78%	1,05%	1,24%	1,31%	1,24%	1,05%
3	0,14%	0,43%	0,71%	0,95%	1,12%	1,18%	1,11%	0,93%
1	0,14%	0,41%	0,68%	0,91%	1,07%	1,12%	1,05%	0,88%
2	0,30%	0,84%	1,36%	1,81%	2,10%	2,18%	2,03%	1,66%
4	0,00%	0,00%	1,05%	2,47%	3,12%	3,45%	3,40%	3,01%
6	0,00%	0,52%	1,38%	1,98%	2,43%	2,63%	2,56%	2,23%
8	0,00%	0,27%	0,70%	0,98%	1,19%	1,27%	1,23%	1,06%
10	0,00%	0,33%	0,82%	1,12%	1,33%	1,41%	1,35%	1,15%
12	0,00%	0,47%	0,78%	1,05%	1,24%	1,31%	1,24%	1,05%
14	0,14%	0,43%	0,71%	0,95%	1,12%	1,18%	1,11%	0,93%

$\beta=30; \gamma=60$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,57%	1,43%	1,97%	2,30%	2,36%	2,14%
11	0,00%	0,29%	0,84%	1,35%	1,78%	2,03%	2,08%	1,89%
9	0,00%	0,19%	0,51%	0,78%	1,00%	1,13%	1,15%	1,06%
7	0,00%	0,25%	0,66%	0,96%	1,21%	1,36%	1,38%	1,26%
5	0,00%	0,40%	0,71%	1,01%	1,26%	1,40%	1,42%	1,31%
3	0,13%	0,41%	0,71%	0,99%	1,21%	1,34%	1,36%	1,26%
1	0,16%	0,46%	0,76%	1,04%	1,26%	1,39%	1,41%	1,32%
2	0,38%	1,06%	1,67%	2,23%	2,68%	2,94%	2,97%	2,76%
4	0,00%	0,00%	0,57%	1,43%	1,97%	2,30%	2,36%	2,14%
6	0,00%	0,29%	0,84%	1,35%	1,78%	2,03%	2,08%	1,89%
8	0,00%	0,19%	0,51%	0,78%	1,00%	1,13%	1,15%	1,06%
10	0,00%	0,25%	0,66%	0,96%	1,21%	1,36%	1,38%	1,26%
12	0,00%	0,40%	0,71%	1,01%	1,26%	1,40%	1,42%	1,31%
14	0,13%	0,41%	0,71%	0,99%	1,21%	1,34%	1,36%	1,26%

$\beta=60; \gamma=60$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,86%	2,03%	2,54%	2,74%	2,60%	2,15%
11	0,00%	0,28%	1,06%	1,80%	2,18%	2,31%	2,18%	1,81%
9	0,00%	0,28%	0,71%	0,98%	1,17%	1,23%	1,16%	0,97%
7	0,00%	0,36%	0,89%	1,18%	1,38%	1,44%	1,35%	1,13%
5	0,00%	0,59%	0,92%	1,20%	1,39%	1,44%	1,36%	1,14%
3	0,21%	0,58%	0,88%	1,15%	1,32%	1,37%	1,28%	1,08%
1	0,23%	0,61%	0,91%	1,17%	1,33%	1,38%	1,30%	1,11%
2	0,53%	1,37%	1,98%	2,48%	2,80%	2,87%	2,69%	2,27%

Continuación

4	0,00%	0,00%	0,86%	2,03%	2,54%	2,74%	2,60%	2,15%
6	0,00%	0,28%	1,06%	1,80%	2,18%	2,31%	2,18%	1,81%
8	0,00%	0,28%	0,71%	0,98%	1,17%	1,23%	1,16%	0,97%
10	0,00%	0,36%	0,89%	1,18%	1,38%	1,44%	1,35%	1,13%
12	0,00%	0,59%	0,92%	1,20%	1,39%	1,44%	1,36%	1,14%
14	0,21%	0,58%	0,88%	1,15%	1,32%	1,37%	1,28%	1,08%

$\beta=90; \gamma=60$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	1,18%	2,66%	3,08%	3,07%	2,66%	1,95%
11	0,00%	0,40%	1,41%	2,24%	2,50%	2,45%	2,08%	1,50%
9	0,00%	0,38%	0,92%	1,17%	1,28%	1,24%	1,05%	0,75%
7	0,00%	0,48%	1,12%	1,37%	1,48%	1,41%	1,18%	0,80%
5	0,00%	0,78%	1,11%	1,35%	1,43%	1,36%	1,13%	0,80%
3	0,29%	0,75%	1,05%	1,25%	1,33%	1,25%	1,04%	0,76%
1	0,30%	0,76%	1,04%	1,24%	1,31%	1,23%	1,03%	0,79%
2	0,69%	1,67%	2,22%	2,58%	2,68%	2,49%	2,02%	1,56%
4	0,00%	0,00%	1,18%	2,66%	3,08%	3,07%	2,66%	1,95%
6	0,00%	0,40%	1,41%	2,24%	2,50%	2,45%	2,08%	1,50%
8	0,00%	0,38%	0,92%	1,17%	1,28%	1,24%	1,05%	0,75%
10	0,00%	0,48%	1,12%	1,37%	1,48%	1,41%	1,18%	0,80%
12	0,00%	0,78%	1,11%	1,35%	1,43%	1,36%	1,13%	0,80%
14	0,29%	0,75%	1,05%	1,25%	1,33%	1,25%	1,04%	0,76%

$\beta=30; \gamma=90$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,55%	1,37%	1,85%	2,11%	2,09%	1,82%
11	0,00%	0,30%	0,86%	1,36%	1,74%	1,95%	1,93%	1,71%
9	0,00%	0,21%	0,55%	0,81%	1,01%	1,12%	1,12%	1,00%
7	0,00%	0,28%	0,72%	1,01%	1,24%	1,36%	1,35%	1,22%
5	0,00%	0,47%	0,79%	1,09%	1,32%	1,44%	1,43%	1,29%
3	0,17%	0,49%	0,80%	1,08%	1,29%	1,40%	1,39%	1,27%
1	0,20%	0,56%	0,86%	1,14%	1,36%	1,47%	1,47%	1,35%
2	0,49%	1,29%	1,92%	2,49%	2,91%	3,13%	3,11%	2,86%
4	0,00%	0,00%	0,55%	1,37%	1,85%	2,11%	2,09%	1,82%
6	0,00%	0,30%	0,86%	1,36%	1,74%	1,95%	1,93%	1,71%
8	0,00%	0,21%	0,55%	0,81%	1,01%	1,12%	1,12%	1,00%
10	0,00%	0,28%	0,72%	1,01%	1,24%	1,36%	1,35%	1,22%
12	0,00%	0,47%	0,79%	1,09%	1,32%	1,44%	1,43%	1,29%
14	0,17%	0,49%	0,80%	1,08%	1,29%	1,40%	1,39%	1,27%

$\beta=60; \gamma=90$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,84%	1,93%	2,29%	2,31%	1,99%	1,41%
11	0,00%	0,31%	1,12%	1,82%	2,09%	2,09%	1,82%	1,34%
9	0,00%	0,33%	0,80%	1,05%	1,18%	1,18%	1,04%	0,80%
7	0,00%	0,43%	1,02%	1,29%	1,44%	1,42%	1,26%	0,97%
5	0,00%	0,49%	1,09%	1,35%	1,49%	1,48%	1,32%	1,04%
3	0,29%	0,75%	1,07%	1,32%	1,45%	1,43%	1,29%	1,03%
1	0,32%	0,81%	1,13%	1,37%	1,50%	1,50%	1,36%	1,11%
2	0,77%	1,87%	2,50%	2,98%	3,21%	3,17%	2,86%	2,32%
4	0,00%	0,00%	0,84%	1,93%	2,29%	2,31%	1,99%	1,41%
6	0,00%	0,31%	1,12%	1,82%	2,09%	2,09%	1,82%	1,34%
8	0,00%	0,33%	0,80%	1,05%	1,18%	1,18%	1,04%	0,80%
10	0,00%	0,43%	1,02%	1,29%	1,44%	1,42%	1,26%	0,97%
12	0,00%	0,49%	1,09%	1,35%	1,49%	1,48%	1,32%	1,04%
14	0,29%	0,75%	1,07%	1,32%	1,45%	1,43%	1,29%	1,03%

$\beta=90; \gamma=90$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,19%	0,53%	0,82%	1,04%	1,16%	1,16%
11	0,00%	0,48%	1,19%	1,53%	1,67%	1,57%	1,27%	1,05%
9	0,00%	0,49%	1,13%	1,34%	1,35%	1,18%	0,84%	0,63%
7	0,00%	0,64%	1,42%	1,62%	1,62%	1,39%	0,99%	0,74%
5	0,00%	0,70%	1,47%	1,66%	1,65%	1,43%	1,04%	0,79%
3	0,46%	1,11%	1,42%	1,60%	1,58%	1,37%	1,01%	0,78%
1	0,48%	1,15%	1,46%	1,63%	1,62%	1,42%	1,08%	0,86%
2	1,14%	2,64%	3,22%	3,51%	3,42%	2,96%	2,20%	1,73%
4	0,00%	0,00%	0,19%	0,53%	0,82%	1,04%	1,16%	1,16%
6	0,00%	0,48%	1,19%	1,53%	1,67%	1,57%	1,27%	1,05%
8	0,00%	0,49%	1,13%	1,34%	1,35%	1,18%	0,84%	0,63%
10	0,00%	0,64%	1,42%	1,62%	1,62%	1,39%	0,99%	0,74%
12	0,00%	0,70%	1,47%	1,66%	1,65%	1,43%	1,04%	0,79%
14	0,46%	1,11%	1,42%	1,60%	1,58%	1,37%	1,01%	0,78%

$\beta=30; \gamma=-30$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,35%	0,98%	1,68%	2,30%	2,72%	2,86%
11	0,00%	0,03%	0,25%	0,67%	1,13%	1,53%	1,81%	1,90%
9	0,00%	0,02%	0,14%	0,37%	0,61%	0,83%	0,98%	1,02%
7	0,00%	0,07%	0,27%	0,57%	0,87%	1,14%	1,32%	1,38%
5	0,00%	0,05%	0,21%	0,47%	0,73%	0,96%	1,12%	1,17%
3	0,03%	0,12%	0,32%	0,60%	0,88%	1,12%	1,28%	1,33%
1	0,02%	0,11%	0,31%	0,61%	0,91%	1,17%	1,34%	1,40%
2	0,10%	0,34%	0,75%	1,32%	1,89%	2,38%	2,70%	2,81%

Continuación

4	0,00%	0,00%	0,35%	0,98%	1,68%	2,30%	2,72%	2,86%
6	0,00%	0,03%	0,25%	0,67%	1,13%	1,53%	1,81%	1,90%
8	0,00%	0,02%	0,14%	0,37%	0,61%	0,83%	0,98%	1,02%
10	0,00%	0,07%	0,27%	0,57%	0,87%	1,14%	1,32%	1,38%
12	0,00%	0,05%	0,21%	0,47%	0,73%	0,96%	1,12%	1,17%
14	0,03%	0,12%	0,32%	0,60%	0,88%	1,12%	1,28%	1,33%

$\beta=60; \gamma=-30$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,25%	0,82%	1,52%	2,19%	2,70%	2,94%
11	0,00%	0,05%	0,25%	0,68%	1,24%	1,77%	2,17%	2,37%
9	0,00%	0,05%	0,16%	0,36%	0,65%	0,91%	1,12%	1,22%
7	0,00%	0,07%	0,18%	0,40%	0,74%	1,04%	1,28%	1,40%
5	0,00%	0,10%	0,22%	0,42%	0,73%	1,02%	1,25%	1,36%
3	0,03%	0,12%	0,23%	0,41%	0,68%	0,95%	1,16%	1,27%
1	0,05%	0,15%	0,27%	0,44%	0,69%	0,95%	1,15%	1,26%
2	0,11%	0,33%	0,55%	0,87%	1,37%	1,92%	2,34%	2,56%
4	0,00%	0,00%	0,25%	0,82%	1,52%	2,19%	2,70%	2,94%
6	0,00%	0,05%	0,25%	0,68%	1,24%	1,77%	2,17%	2,37%
8	0,00%	0,05%	0,16%	0,36%	0,65%	0,91%	1,12%	1,22%
10	0,00%	0,07%	0,18%	0,40%	0,74%	1,04%	1,28%	1,40%
12	0,00%	0,10%	0,22%	0,42%	0,73%	1,02%	1,25%	1,36%
14	0,03%	0,12%	0,23%	0,41%	0,68%	0,95%	1,16%	1,27%

$\beta=90; \gamma=-30$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,23%	0,79%	1,56%	2,35%	3,01%	3,40%
11	0,00%	0,05%	0,22%	0,56%	1,11%	1,71%	2,23%	2,56%
9	0,00%	0,05%	0,16%	0,29%	0,50%	0,80%	1,06%	1,23%
7	0,00%	0,08%	0,21%	0,34%	0,45%	0,76%	1,15%	1,35%
5	0,00%	0,12%	0,26%	0,39%	0,53%	0,77%	1,05%	1,24%
3	0,04%	0,14%	0,27%	0,39%	0,50%	0,68%	0,93%	1,11%
1	0,05%	0,18%	0,31%	0,44%	0,55%	0,69%	0,88%	1,05%
2	0,13%	0,39%	0,66%	0,91%	1,12%	1,32%	1,66%	2,03%
4	0,00%	0,00%	0,23%	0,79%	1,56%	2,35%	3,01%	3,40%
6	0,00%	0,05%	0,22%	0,56%	1,11%	1,71%	2,23%	2,56%
8	0,00%	0,05%	0,16%	0,29%	0,50%	0,80%	1,06%	1,23%
10	0,00%	0,08%	0,21%	0,34%	0,45%	0,76%	1,15%	1,35%
12	0,00%	0,12%	0,26%	0,39%	0,53%	0,77%	1,05%	1,24%
14	0,04%	0,14%	0,27%	0,39%	0,50%	0,68%	0,93%	1,11%

$\beta=30; \gamma=-60$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,13%	0,52%	1,10%	1,68%	2,14%	2,36%
11	0,00%	0,05%	0,20%	0,54%	1,04%	1,52%	1,89%	2,08%
9	0,00%	0,05%	0,16%	0,35%	0,62%	0,87%	1,06%	1,15%
7	0,00%	0,07%	0,21%	0,44%	0,75%	1,04%	1,26%	1,38%
5	0,00%	0,11%	0,26%	0,50%	0,81%	1,10%	1,31%	1,42%
3	0,03%	0,12%	0,27%	0,51%	0,80%	1,06%	1,26%	1,36%
1	0,05%	0,16%	0,32%	0,57%	0,86%	1,12%	1,32%	1,41%
2	0,12%	0,34%	0,68%	1,21%	1,81%	2,35%	2,76%	2,97%
4	0,00%	0,00%	0,13%	0,52%	1,10%	1,68%	2,14%	2,36%
6	0,00%	0,05%	0,20%	0,54%	1,04%	1,52%	1,89%	2,08%
8	0,00%	0,05%	0,16%	0,35%	0,62%	0,87%	1,06%	1,15%
10	0,00%	0,07%	0,21%	0,44%	0,75%	1,04%	1,26%	1,38%
12	0,00%	0,11%	0,26%	0,50%	0,81%	1,10%	1,31%	1,42%
14	0,03%	0,12%	0,27%	0,51%	0,80%	1,06%	1,26%	1,36%

$\beta=60; \gamma=-60$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,14%	0,37%	0,81%	1,50%	2,15%	2,60%
11	0,00%	0,05%	0,20%	0,39%	0,73%	1,28%	1,81%	2,18%
9	0,00%	0,05%	0,15%	0,25%	0,42%	0,70%	0,97%	1,16%
7	0,00%	0,07%	0,19%	0,30%	0,50%	0,81%	1,13%	1,35%
5	0,00%	0,11%	0,23%	0,34%	0,53%	0,83%	1,14%	1,36%
3	0,03%	0,13%	0,24%	0,35%	0,52%	0,80%	1,08%	1,28%
1	0,05%	0,16%	0,29%	0,40%	0,57%	0,84%	1,11%	1,30%
2	0,12%	0,35%	0,59%	0,80%	1,14%	1,69%	2,27%	2,69%
4	0,00%	0,00%	0,14%	0,37%	0,81%	1,50%	2,15%	2,60%
6	0,00%	0,05%	0,20%	0,39%	0,73%	1,28%	1,81%	2,18%
8	0,00%	0,05%	0,15%	0,25%	0,42%	0,70%	0,97%	1,16%
10	0,00%	0,07%	0,19%	0,30%	0,50%	0,81%	1,13%	1,35%
12	0,00%	0,11%	0,23%	0,34%	0,53%	0,83%	1,14%	1,36%
14	0,03%	0,13%	0,24%	0,35%	0,52%	0,80%	1,08%	1,28%

$\beta=90; \gamma=-60$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,16%	0,43%	0,67%	1,16%	1,95%	2,66%
11	0,00%	0,06%	0,23%	0,45%	0,64%	0,94%	1,50%	2,08%
9	0,00%	0,05%	0,17%	0,29%	0,39%	0,51%	0,75%	1,05%
7	0,00%	0,08%	0,22%	0,35%	0,47%	0,55%	0,80%	1,18%
5	0,00%	0,12%	0,26%	0,40%	0,51%	0,60%	0,80%	1,13%
3	0,04%	0,14%	0,28%	0,40%	0,51%	0,59%	0,76%	1,04%
1	0,06%	0,18%	0,32%	0,46%	0,57%	0,65%	0,79%	1,03%
2	0,14%	0,40%	0,68%	0,94%	1,16%	1,32%	1,56%	2,02%

Continuación

4	0,00%	0,00%	0,16%	0,43%	0,67%	1,16%	1,95%	2,66%
6	0,00%	0,06%	0,23%	0,45%	0,64%	0,94%	1,50%	2,08%
8	0,00%	0,05%	0,17%	0,29%	0,39%	0,51%	0,75%	1,05%
10	0,00%	0,08%	0,22%	0,35%	0,47%	0,55%	0,80%	1,18%
12	0,00%	0,12%	0,26%	0,40%	0,51%	0,60%	0,80%	1,13%
14	0,04%	0,14%	0,28%	0,40%	0,51%	0,59%	0,76%	1,04%

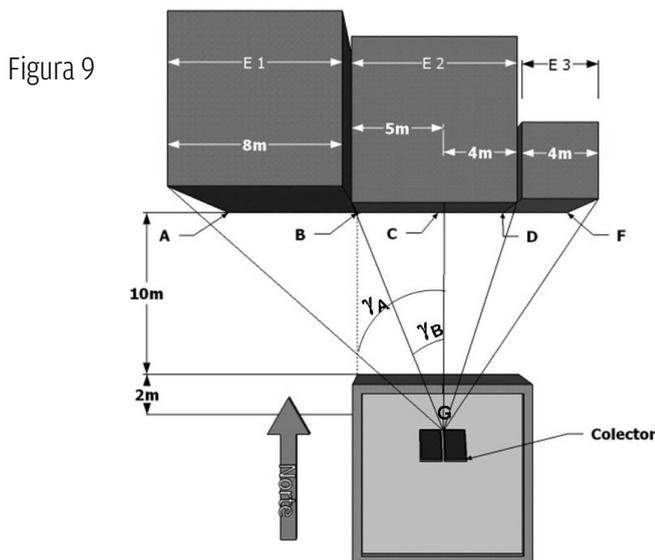
$\beta=30; \gamma=-90$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,14%	0,38%	0,78%	1,34%	1,82%	2,09%
11	0,00%	0,05%	0,21%	0,44%	0,83%	1,31%	1,71%	1,93%
9	0,00%	0,05%	0,16%	0,31%	0,54%	0,80%	1,00%	1,12%
7	0,00%	0,07%	0,20%	0,39%	0,68%	0,98%	1,22%	1,35%
5	0,00%	0,11%	0,24%	0,45%	0,76%	1,06%	1,29%	1,43%
3	0,03%	0,13%	0,26%	0,48%	0,77%	1,05%	1,27%	1,39%
1	0,05%	0,17%	0,33%	0,57%	0,86%	1,14%	1,35%	1,47%
2	0,13%	0,37%	0,70%	1,21%	1,83%	2,41%	2,86%	3,11%
4	0,00%	0,00%	0,14%	0,38%	0,78%	1,34%	1,82%	2,09%
6	0,00%	0,05%	0,21%	0,44%	0,83%	1,31%	1,71%	1,93%
8	0,00%	0,05%	0,16%	0,31%	0,54%	0,80%	1,00%	1,12%
10	0,00%	0,07%	0,20%	0,39%	0,68%	0,98%	1,22%	1,35%
12	0,00%	0,11%	0,24%	0,45%	0,76%	1,06%	1,29%	1,43%
14	0,03%	0,13%	0,26%	0,48%	0,77%	1,05%	1,27%	1,39%

$\beta=60; \gamma=-90$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,16%	0,42%	0,64%	0,90%	1,41%	1,99%
11	0,00%	0,06%	0,22%	0,43%	0,61%	0,87%	1,34%	1,82%
9	0,00%	0,05%	0,17%	0,28%	0,38%	0,54%	0,80%	1,04%
7	0,00%	0,08%	0,22%	0,34%	0,44%	0,64%	0,97%	1,26%
5	0,00%	0,12%	0,26%	0,38%	0,49%	0,70%	1,04%	1,32%
3	0,04%	0,14%	0,27%	0,39%	0,49%	0,70%	1,03%	1,29%
1	0,06%	0,18%	0,32%	0,45%	0,56%	0,79%	1,11%	1,36%
2	0,14%	0,40%	0,66%	0,90%	1,15%	1,64%	2,32%	2,86%
4	0,00%	0,00%	0,16%	0,42%	0,64%	0,90%	1,41%	1,99%
6	0,00%	0,06%	0,22%	0,43%	0,61%	0,87%	1,34%	1,82%
8	0,00%	0,05%	0,17%	0,28%	0,38%	0,54%	0,80%	1,04%
10	0,00%	0,08%	0,22%	0,34%	0,44%	0,64%	0,97%	1,26%
12	0,00%	0,12%	0,26%	0,38%	0,49%	0,70%	1,04%	1,32%
14	0,04%	0,14%	0,27%	0,39%	0,49%	0,70%	1,03%	1,29%

$\beta=90^\circ; \gamma=-90^\circ$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,19%	0,53%	0,82%	1,04%	1,16%	1,16%
11	0,00%	0,07%	0,28%	0,55%	0,79%	0,96%	1,05%	1,27%
9	0,00%	0,07%	0,21%	0,36%	0,48%	0,58%	0,63%	0,84%
7	0,00%	0,10%	0,27%	0,44%	0,58%	0,68%	0,74%	0,99%
5	0,00%	0,15%	0,33%	0,49%	0,63%	0,74%	0,79%	1,04%
3	0,05%	0,17%	0,34%	0,50%	0,63%	0,73%	0,78%	1,01%
1	0,07%	0,23%	0,40%	0,56%	0,70%	0,81%	0,86%	1,08%
2	0,17%	0,50%	0,84%	1,16%	1,43%	1,63%	1,73%	2,20%
4	0,00%	0,00%	0,19%	0,53%	0,82%	1,04%	1,16%	1,16%
6	0,00%	0,07%	0,28%	0,55%	0,79%	0,96%	1,05%	1,27%
8	0,00%	0,07%	0,21%	0,36%	0,48%	0,58%	0,63%	0,84%
10	0,00%	0,10%	0,27%	0,44%	0,58%	0,68%	0,74%	0,99%
12	0,00%	0,15%	0,33%	0,49%	0,63%	0,74%	0,79%	1,04%
14	0,05%	0,17%	0,34%	0,50%	0,63%	0,73%	0,78%	1,01%

Ejemplo de cálculo

Se pretende estimar las pérdidas por sombras de edificios cercanos para la instalación de dos colectores en la terraza de un edificio de la ciudad de Rosario. Los mismos están orientados al norte y tienen una inclinación de 30° . La ubicación de los edificios circundantes con respecto a la terraza en cuestión se muestra en la figura 9.



Todos los edificios se encuentran sobre una línea recta a 10 metros del colector, hacia el norte. El colector se encuentra en el techo de un edificio de 6 metros de altura.

Para el Edificio 1, el punto A se encuentra a $8+5=13$ m hacia el oeste desde el centro del colector (G), la distancia AG se calcula utilizando el teorema de pitágoras, es decir,

$$AG = \sqrt{10^2 + 13^2} = 16,4m$$

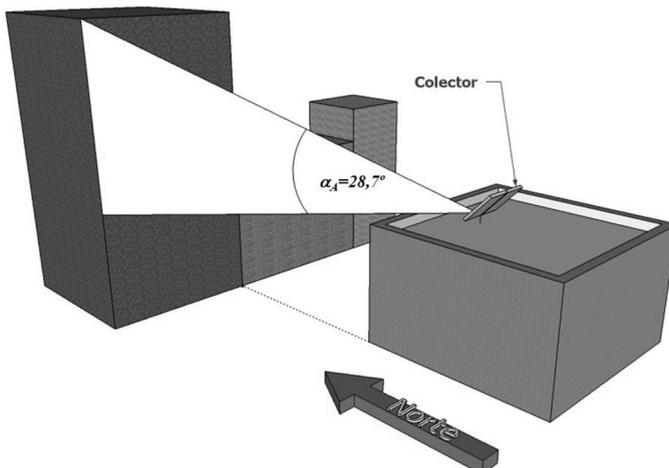
Ahora que sabemos la distancia AG, es necesario conocer cual es el acimut de ese punto para ponerlo en el ábaco de asoleamiento.

El mismo se calcula utilizando trigonometría:

$$\tan \gamma_A = \frac{13}{10} \quad \gamma_A = 52,4^\circ$$

La altura del edificio 1 en el punto A es de 15 m de altura, pero el colector se encuentra instalado a 6 m de altura, la diferencia entre ambos es $15-6=9$ m, entonces el ángulo de sombra que proyecta el mismo desde ese punto es:

$$\tan \alpha_A = \frac{9}{16,4} \quad \alpha_A = 28,7^\circ$$



Repetimos el mismo procedimiento para el punto B.
La distancia BG se calcula con:

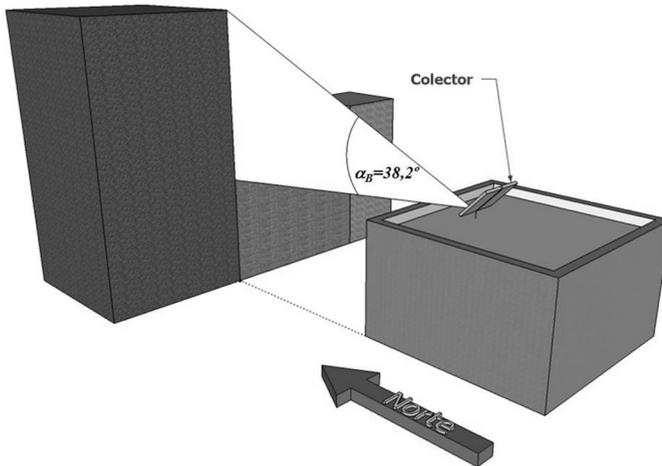
$$AG = \sqrt{10^2 + 5^2} = 11,2m$$

El acimut del punto B se calcula con:

$$\tan \gamma_B = \frac{5}{10} \quad \gamma_B = 26,5^\circ$$

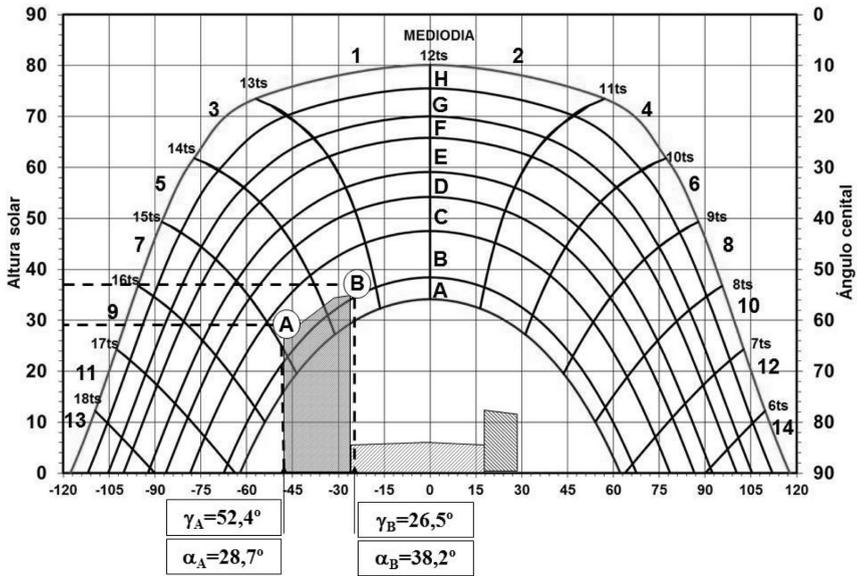
El ángulo de sombra que proyecta se calcula con:

$$\tan \alpha_B = \frac{9}{11,2} \quad \alpha_B = 38,2^\circ$$



Luego se repite el procedimiento para los otros dos edificios y finalmente, se vuelcan las coordenadas en el ábaco de la figura 10

Figura 10



El mismo procedimiento se repite para los tres edificios.

Del análisis se desprende que solo el primero obstruye la trayectoria aparente del sol. La obstrucción del mismo conforme a los factores de llenado es la siguiente:

$$A_3=0,5$$

$$A_5=1$$

$$A_7=0,25$$

$$B_3=0,25$$

$$B_5=0,25$$

$\beta=30; \gamma=0$	A	B	C	D	E	F	G	H
13	0,00%	0,00%	0,45%	1,13%	1,76%	2,27%	2,55%	2,55%
11	0,00%	0,14%	0,53%	1,05%	1,55%	1,95%	2,17%	2,17%
9	0,00%	0,10%	0,33%	0,60%	0,86%	1,06%	1,17%	1,17%
7	0,00%	0,14%	0,41%	0,72%	1,02%	1,25%	1,38%	1,38%
5	0,00%	0,20%	0,48%	0,78%	1,06%	1,28%	1,39%	1,37%
3	0,03%	0,19%	0,45%	0,74%	1,00%	1,21%	1,33%	1,33%
1	0,08%	0,28%	0,54%	0,81%	1,06%	1,25%	1,34%	1,32%
2	0,16%	0,57%	1,11%	1,68%	2,21%	2,60%	2,81%	2,78%

Continuación

4	0,00%	0,00%	0,45%	1,13%	1,76%	2,27%	2,55%	2,55%
6	0,00%	0,14%	0,53%	1,05%	1,55%	1,95%	2,17%	2,17%
8	0,00%	0,10%	0,33%	0,60%	0,86%	1,06%	1,17%	1,17%
10	0,00%	0,14%	0,41%	0,72%	1,02%	1,25%	1,38%	1,38%
12	0,00%	0,20%	0,48%	0,78%	1,06%	1,28%	1,39%	1,37%
14	0,03%	0,19%	0,45%	0,74%	1,00%	1,21%	1,33%	1,33%

De acuerdo con la tabla para $\beta=30^\circ$ y $\gamma=0^\circ$; el total de energía anual que se pierde por sombra se obtiene mediante la siguiente suma:

$$\text{Pérdidas} = A5 \cdot 1 + B5 \cdot 0,25 + A3 \cdot 0,5 + B3 \cdot 0,25 + A7 \cdot 0,25$$

Y reemplazando se obtiene

$$\text{Pérdidas} = 0,00\% \cdot 1 + 0,20\% \cdot 0,25 + 0,03\% \cdot 0,5 + 0,19\% \cdot 0,25 + 0,00\% \cdot 0,25 = \mathbf{0,16\%}$$

De esta manera, la sombra proyectada por los edificios circundantes provocará una pérdida del 0,16% sobre la energía anual que reciban los colectores. Las pérdidas por sombras de obstáculos a los alrededores están dentro de los límites permitidos por el PCT.

Distancia mínima entre filas de captadores

La distancia d , medida sobre la horizontal, entre una fila de captadores y un obstáculo de altura h , que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno. Esta distancia d será superior al valor obtenido por la expresión:

$$d = h / \tan (61^\circ - \text{latitud})$$

donde $1 / \tan (61^\circ - \text{latitud})$ es un coeficiente adimensional denominado k . La latitud de la provincia de Santa Fe se encuentra entre 29° y 34° , dependiendo de la localidad.

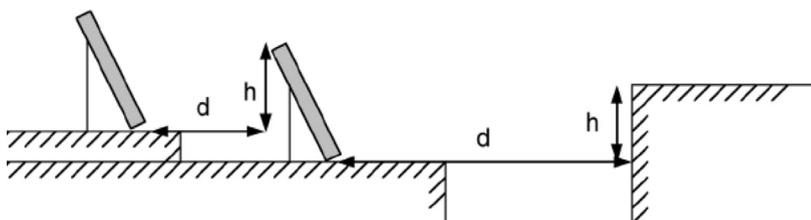
Algunos valores de la distancia del captador a un obstáculo (d), en función de la altura del obstáculo (h), ya sea otra fila de captadores o alguna estructura se pueden ver en la tabla 5 en función de la latitud seleccionada para la instalación en la provincia de Santa Fe.

Tabla 5

Latitud	K	$d(h=1m)$	$d(h=2m)$	$d(h=3m)$	$d(h=10m)$	$d(h=20m)$	$d(h=30m)$
29°	1,60	0,62	1,25	1,87	6,25	12,50	18,75
30°	1,66	0,60	1,20	1,80	6,01	12,02	18,03
31°	1,73	0,58	1,15	1,73	5,77	11,55	17,32
32°	1,80	0,55	1,11	1,66	5,54	11,09	16,63
33°	1,88	0,53	1,06	1,60	5,32	10,63	15,95
34°	1,96	0,51	1,02	1,53	5,10	10,19	15,29

Para valores intermedios de altura de obstáculos, pueden extrapolarse los valores de la tabla 5 o utilizar la fórmula descripta. En la figura 11 se muestran gráficamente ejemplos de las magnitudes h y d .

Figura 11



La separación entre la parte posterior de una fila y el comienzo de la siguiente no será inferior a la obtenida por la expresión anterior, aplicando h a la diferencia de alturas entre la parte alta de una fila y la parte baja de la siguiente, efectuando todas las medidas de acuerdo con el plano que contiene a las bases de los captadores.



ANEXO VII

COMPONENTES

VII.1. Generalidades

Los materiales de la instalación deben soportar las máximas temperaturas y presiones que puedan alcanzarse.

Cuando sea imprescindible utilizar en el mismo circuito materiales diferentes, especialmente cobre y acero, en ningún caso estarán en contacto, debiendo situar entre ambos juntas o manguitos dieléctricos.

En todos los casos es aconsejable prever la protección catódica del acero.

Los materiales situados en intemperie se protegerán contra los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la humedad.

Para procesos industriales, el diseño, cálculo, montaje y características de los materiales deberán cumplir los requisitos establecidos por el proceso industrial. Se debe tener particular precaución en la protección de equipos y materiales que pueden estar expuestos a agentes exteriores especialmente agresivos producidos por procesos industriales cercanos.

VII.2. Captadores solares

Si se utilizan captadores convencionales de absorbedor metálico, ha de tenerse en cuenta que el cobre solamente es admisible si el

pH del fluido en contacto con él está comprendido entre 7,2 y 7,6. Absorbedores de hierro no son aptos en absoluto.

La pérdida de carga del captador para un caudal de 1 l/min por m² será inferior a 1 metro de columna de agua (m.c.a).

El captador llevará, preferentemente, un orificio de ventilación, de diámetro no inferior a 4 mm, situado en la parte inferior de forma que puedan eliminarse acumulaciones de agua en el captador. El orificio se realizará de manera que el agua pueda drenarse en su totalidad sin afectar al aislamiento.

Cuando se utilicen captadores con absorbedores de aluminio, obligatoriamente se utilizarán fluidos de trabajo con un tratamiento inhibidor de los iones de cobre y hierro.

VII.3. Acumuladores

Cuando el acumulador lleve incorporada una superficie de intercambio térmico entre el fluido primario y el agua sanitaria, en forma de serpentín o camisa de doble envolvente, se denominará interacumulador.

Cuando el intercambiador esté incorporado al acumulador, la placa de identificación indicará además, los siguientes datos:

- Superficie de intercambio térmico en m².
- Presión máxima de trabajo del circuito primario.

Cada acumulador vendrá equipado de fábrica de los necesarios manguitos de acoplamiento, soldados antes del tratamiento de protección, para las siguientes funciones:

- Manguitos roscados para la entrada de agua fría y la salida de agua caliente.
- Registro embrizado para inspección del interior del acumulador y eventual acoplamiento del serpentín.
- Manguitos roscados para la entrada y salida del fluido primario.
- Manguitos roscados para accesorios como termómetro y termostato.
- Manguito para el vaciado.

Los acumuladores vendrán equipados de fábrica con las bocas necesarias soldadas antes de efectuar el tratamiento de protección interior.

El acumulador estará enteramente recubierto con material aislante, y es recomendable disponer una protección mecánica en chapa pintada al horno, plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), o lámina de material plástico.

Todos los acumuladores irán equipados con la protección catódica o anticorrosiva establecida por el fabricante para garantizar su durabilidad.

La utilización de acumuladores de hormigón requerirá la presentación de un proyecto firmado por un técnico competente.

Al objeto de estas especificaciones, podrán utilizarse acumuladores de las características y tratamiento descritos a continuación:

- Acumuladores de acero vitrificado.
- Acumuladores de acero con tratamiento epoxídico.
- Acumuladores de acero inoxidable, adecuados al tipo de agua y temperatura de trabajo.
- Acumuladores de cobre.
- Acumuladores no metálicos que soporten la temperatura máxima del circuito, y esté autorizada su utilización por las Compañías de suministro de agua potable.
- Acumuladores de acero negro (sólo en circuitos cerrados, sin agua de consumo)

VII.4. Intercambiadores de calor

Se indicará el fabricante y modelo del intercambiador de calor, así como datos de sus características de actuación medidos por el propio fabricante o por un laboratorio acreditado.

El intercambiador seleccionado resistirá la presión máxima de trabajo de la instalación. En particular se prestará especial atención a los intercambiadores que, como en el caso de los depósitos de doble pared, presentan grandes superficies expuestas por un lado a la presión y por otro, a la atmósfera, o bien, a fluidos a mayor presión.

En ningún caso se utilizarán interacumuladores con envolvente que dificulten la convección natural en el interior del acumulador.

Los materiales del intercambiador de calor resistirán la temperatura máxima de trabajo del circuito primario y serán compatibles con el fluido de trabajo.

Los intercambiadores de calor utilizados en circuitos de agua sanitaria serán de acero inoxidable o cobre.

El diseño del intercambiador de calor permitirá su limpieza utilizando productos líquidos.

El fabricante del intercambiador de calor garantizará un factor de ensuciamiento menor al permitido en los Criterios de Dimensionado y Cálculo de Instalaciones de Energía Solar Térmica.

Los tubos de los intercambiadores de calor tipo serpentín sumergido en el depósito tendrán diámetros interiores inferiores o iguales a 25,4 mm (1"), para instalaciones por circulación forzada. En instalaciones por termosifón, tendrán un diámetro mínimo de 25,4 mm (1").

Cualquier intercambiador de calor existente entre el circuito de captadores y el sistema de suministro al consumo no debería reducir la eficiencia del captador debido a un incremento en la temperatura de funcionamiento de captadores en más de lo que los siguientes criterios especifican:

a) Cuando la ganancia solar del captador haya llegado al valor máximo posible, la reducción de la eficiencia del captador debido al intercambiador de calor no debería exceder el 10 % (en valor absoluto).

b) Si se instala más de un intercambiador de calor, también este valor debería no ser excedido por la suma de las reducciones debidas a cada intercambiador. El criterio se aplica también si existe en el sistema un intercambiador de calor en la parte de consumo.

c) Si en una instalación a medida sólo se usa un intercambiador entre el circuito de captadores y el acumulador, la transferencia de calor del intercambiador de calor por unidad de área de captador no debería ser menor de $40 \text{ W}/(\text{K m}^2)$.

Se recomienda dimensionar el intercambiador de calor, en función de la aplicación, con las condiciones expresadas en la tabla 6.

Tabla 6

Aplicación	Temperatura entrada primero	Temperatura salida secundario	Temperatura entrada secundario
Piscinas	50°C	28°C	24°C
Agua caliente sanitaria	60°C	50°C	45°C
Calefacción a baja temperatura	60°C	50°C	45°C
Refrigeración/Calefacción	105°C	90°C	75°C

VII.5. Bombas de circulación

Las bombas podrán ser del tipo en línea, de rotor seco o húmedo, o de bancada. Siempre que sea posible se utilizarán bombas tipo circuladores en línea.

En circuitos de agua caliente para usos sanitarios, los materiales de la bomba serán resistentes a la corrosión.

Los materiales de la bomba del circuito primario serán compatibles con las mezclas anticongelantes y en general con el fluido de trabajo utilizado.

Las bombas serán resistentes a las averías producidas por efecto de las incrustaciones calizas.

Las bombas serán resistentes a la presión máxima del circuito.

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

Cuando todas las conexiones son en paralelo, el caudal nominal será el igual al caudal unitario de diseño multiplicado por la superficie total de captadores conectados en paralelo.

La presión de la bomba deberá compensar todas las pérdidas de carga del circuito correspondiente.

VII.6. Tuberías

En las tuberías del circuito primario podrán utilizarse como materiales el cobre y el acero inoxidable, con uniones roscadas, soldadas o embridadas.

En el circuito secundario o de servicio de agua caliente sanitaria podrá utilizarse cobre y acero inoxidable. Además, podrán utilizarse materiales plásticos que soporten la temperatura máxima del circuito, que le sean de aplicación y esté autorizada su utilización por las compañías de suministro de agua potable.

No se utilizarán tuberías de acero negro para circuitos de agua sanitaria.

Cuando se utilice aluminio en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido será inferior a 1,5 m/s y su pH estará comprendido entre 5 y 7. No se permitirá el uso de aluminio en sistemas abiertos o sistemas sin protección catódica.

Cuando se utilice acero en tuberías o accesorios, la velocidad del fluido será inferior a 3 m/s en sistemas cerrados y el pH del fluido de trabajo estará comprendido entre 5 y 9.

El dimensionado de las tuberías se realizará de forma que la pérdida de carga unitaria en tuberías nunca sea superior a 40 mm de columna de agua por metro lineal.

Las pérdidas térmicas globales del conjunto de conducciones no superarán el 4% de la potencia máxima que transporten.

Para calentamiento de piscinas se recomienda que las tuberías sean de PVC y de gran diámetro, a fin de conseguir un buen caudal con la menor pérdida de carga posible, no necesitando éstas, en la mayoría de los casos, ningún tipo especial de aislamiento térmico.

Todas las redes de tuberías deben diseñarse de tal manera que puedan vaciarse de forma parcial y total, a través de un elemento que tenga un diámetro nominal mínimo de 20 mm.

VII.7. Válvulas

La elección de las válvulas se realizará de acuerdo con la función. El volante y la palanca deben ser de dimensiones suficientes para asegurar el cierre y la apertura de forma manual con la aplicación de una fuerza razonable, sin la ayuda de medios auxiliares. El órgano de mando no deberá interferir con el aislamiento térmico de la tubería y del cuerpo de válvula.

Las válvulas de retención se situarán en la tubería de impulsión de la bomba, entre la boca y el manguito antivibratorio, y en cualquier caso, aguas arriba de la válvula de interceptación.

Los purgadores automáticos de aire se construirán con los siguientes materiales:

- Cuerpo y tapa de fundición de hierro o latón.
- Mecanismo de acero inoxidable.
- Flotador y asiento de acero inoxidable.
- Obturador de goma sintética.

Los purgadores automáticos resistirán la temperatura máxima de trabajo del circuito.

VII.8. Vasos de expansión

El volumen útil del vaso de expansión abierto se determinará de forma que sea capaz de absorber la expansión completa del fluido de trabajo entre las temperaturas extremas de funcionamiento.

Los vasos de expansión abiertos tendrán una salida de rebosamiento.

Los vasos de expansión abiertos, cuando se utilicen como sistemas de llenado o de rellenado, dispondrán de una línea de alimentación automática, mediante sistemas tipo flotador o similar.

La salida de rebosamiento se situará de forma que el incremento del volumen de agua antes del rebose sea igual o mayor que un tercio del volumen del depósito. Al mismo tiempo, permitirá que, con agua fría, el nivel sea tal que al incrementar la temperatura de agua en el sistema a la temperatura máxima de trabajo, no se produzca derrame de la misma.

En ningún caso la diferencia de alturas entre el nivel de agua fría en el depósito y el rebosadero será inferior a 3 cm.

El diámetro del rebosadero será igual o mayor al diámetro de la tubería de llenado. En todo caso, el dimensionado del diámetro del rebosadero asegurará que, con válvulas de flotador totalmente abiertas y una presión de red de $3,5 \text{ kg/cm}^2$, no se produzca derramamiento de agua.

La capacidad de aforo de la válvula de flotación, cuando se utilice como sistema de llenado, no será inferior a 5 l/min. En todo caso, el diámetro de la tubería de llenado no será inferior a ½ pulgada o 15 mm.

El flotador del sistema de llenado resistirá, sin deterioro, la temperatura máxima de trabajo durante 48 horas.

La tubería de conexión del vaso de expansión no se aislará térmicamente y tendrá volumen suficiente para enfriar el fluido antes de alcanzar el vaso.

Los datos que sirven de base para la selección del vaso son los siguientes:

- Volumen total de agua en la instalación, en litros.
- Temperatura mínima de funcionamiento, para la cual se asumirá el valor de 4°C, a la que corresponde la máxima densidad.
- Temperatura máxima que pueda alcanzar el agua durante el funcionamiento de la instalación.
- Presiones mínima y máxima de servicio, en bar, cuando se trate de vasos cerrados.
- Volumen de expansión calculado, en litros.

Los cálculos darán como resultado final el volumen total del vaso y la presión nominal PN, que son los datos que definen sus características de funcionamiento.

La temperatura extrema del circuito primario será, como mínimo, la temperatura de estancamiento del captador.

El volumen de dilatación será, como mínimo, igual al 4,3 % del volumen total de fluido en el circuito primario.

Los vasos de expansión cerrados se dimensionarán de forma que la presión mínima en frío en el punto más alto del circuito no sea inferior a 1,5 kg/cm² y la presión máxima en caliente en cualquier punto del circuito no supere la presión máxima de trabajo de los componentes.

El dispositivo de expansión cerrado del circuito de captadores deberá estar dimensionado de tal forma que, incluso después de una interrupción del suministro de potencia a la bomba de circulación del circuito de captadores justo cuando la radiación solar sea máxima, se pueda restablecer la operación automáticamente cuando la potencia esté disponible de nuevo.

VII.9. Aislamientos

El espesor mínimo del aislamiento de acumuladores será el que corresponda a las tuberías de más de 140 mm de diámetro.

El espesor del aislamiento del cambiador de calor no será inferior a 30 mm.

Los espesores de aislamiento (expresados en mm) de tuberías y accesorios situados al interior no serán inferiores a 10 mm para interiores y 15 mm para exteriores, protegidos por alguna cinta plástica o de aluminio.

VII.10. Purga de aire

En general, el trazado del circuito evitará los caminos tortuosos, para favorecer el desplazamiento del aire atrapado hacia los puntos altos.

Los trazados horizontales de tubería tendrán siempre una pendiente mínima del 1 % en el sentido de circulación.

Si el sistema está equipado con líneas de purga, deberán ser colocadas de tal forma que no se puedan helar y no se pueda acumular agua en las líneas. Los orificios de descarga deberán estar dispuestos de tal forma que el vapor o el medio de transferencia de calor que salga por las válvulas de seguridad no cause ningún riesgo a las personas, materiales o medio ambiente.

Se evitará el uso de purgadores automáticos cuando se prevea la formación de vapor en el circuito. Los purgadores automáticos deberán soportar, al menos, la temperatura de estancamiento del captador, y en cualquier caso hasta 130 °C.

En el trazado del circuito deberá evitarse, en lo posible, los sifones invertidos, pero cuando se utilicen, se situarán sistemas similares a los descritos en párrafos anteriores en el punto más desfavorable del sifón.

VII.11. Sistema de llenado

Los sistemas con vaso de expansión abierto podrán utilizarlo como sistema de llenado.

Los circuitos con vaso de expansión cerrado deben incorporar un sistema de llenado manual o automático que permita llenar el circuito y mantenerlo presurizado. En general es recomendable la adopción de un sistema de llenado automático con la inclusión de un depósito de recarga u otro dispositivo, de forma que nunca se utilice un fluido para el circuito primario.

En cualquier caso, nunca podrá rellenarse el circuito primario con agua de red si sus características pueden dar lugar a incrustaciones, deposiciones o ataques en el circuito, o si este circuito necesita anti-congelante por riesgo de heladas o cualquier otro aditivo para su correcto funcionamiento.

Las instalaciones que requieran anticongelante deben incluir un sistema que permita el relleno manual del mismo.

Para disminuir los riesgos de fallos se evitarán los aportes incontrolados de agua de reposición a los circuitos cerrados y la entrada de aire que pueda aumentar los riesgos de corrosión originados por el oxígeno del aire. Es aconsejable no usar válvulas de llenado automáticas.

VII.12. Sistema eléctrico y de control

El usuario estará protegido contra posibles contactos directos e indirectos.

El sistema de control incluirá señalizaciones luminosas de la alimentación del sistema del funcionamiento de bombas.

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

El tiempo mínimo entre fallos especificados por el fabricante del sistema de control diferencial no será inferior a 7.000 horas.

Los sensores de temperaturas soportarán las máximas temperaturas previstas en el lugar en que se ubiquen. Deberán soportar sin alteraciones de más de 1°C , las siguientes temperaturas en función de la aplicación:

- A.C.S. y calefacción por suelo radiante y «fan-coil»: 100 °C.
- Refrigeración/calefacción: 140 °C.
- Usos industriales: en función de la temperatura de uso.

La localización e instalación de los sensores de temperatura deberá asegurar un buen contacto térmico con la parte en la cual hay que medir la misma. Para conseguirlo en el caso de las de inmersión, se instalarán en contracorriente con el fluido. Los sensores de temperatura deberán estar aislados contra la influencia de las condiciones ambientales que le rodean.

La ubicación de las sondas ha de realizarse de forma que éstas midan exactamente las temperaturas que se desean controlar, instalándose los sensores en el interior de vainas y evitándose las tuberías separadas de la salida de los captadores y las zonas de estancamiento en los depósitos. No se permite el uso permanente de termómetros o sondas de contacto.

Preferentemente, las sondas serán de inmersión. Se tendrá especial cuidado en asegurar una adecuada unión entre las sondas de contactos y la superficie metálica.

VII.13. Equipos de medida

Medida de temperatura. Las medidas de temperatura se realizarán mediante sensores de temperatura.

La medida de la diferencia de temperatura entre dos puntos del fluido de trabajo se realizará mediante los citados sensores de temperatura, debidamente conectados, para obtener de forma directa la lectura diferencial.

En lo referente a la colocación de las sondas, han de ser de inmersión y estar situadas a una distancia máxima de 5 cm del fluido cuya temperatura se pretende medir. Las vainas destinadas a alojar las sondas de temperatura, deben introducirse en las tuberías siempre en contracorriente y en un lugar donde se creen turbulencias.

Como mínimo, han de instalarse termómetros en las conducciones de impulsión y retorno, así como a la entrada y a la salida de los intercambiadores de calor.



ANEXO VIII

CONDICIONES DE MONTAJE

VIII.1. Generalidades

La instalación se construirá en su totalidad utilizando materiales y procedimientos de ejecución que garanticen las exigencias del servicio, durabilidad, salubridad y mantenimiento.

Se tendrán en cuenta las especificaciones dadas por los fabricantes de cada uno de los componentes.

A efectos de las especificaciones de montaje de la instalación, éstas se complementarán con la aplicación de las reglamentaciones vigentes que tengan competencia en cada caso.

Es responsabilidad del suministrador comprobar que el edificio reúne las condiciones necesarias para soportar la instalación, indicándolo expresamente en la documentación.

Es responsabilidad del suministrador el comprobar la calidad de los materiales y agua utilizados, cuidando que se ajusten a lo especificado en estas normas, y el evitar el uso de materiales incompatibles entre sí.

El suministrador será responsable de la vigilancia de sus materiales durante el almacenaje y el montaje, hasta la recepción provisional.

Las aperturas de conexión de todos los aparatos y máquinas deberán estar convenientemente protegidas durante el transporte, el almacenamiento y el montaje, hasta tanto no se proceda a su unión, por medio de elementos de taponamiento de forma y resistencia adecuada para evitar la entrada de cuerpos extraños y suciedades dentro del aparato.

Especial cuidado se tendrá con materiales frágiles y delicados, como luminarias, mecanismos, equipos de medida, etc., que deberán quedar debidamente protegidos.

Durante el montaje, el suministrador deberá evacuar de la obra todos los materiales sobrantes de trabajos efectuados con anterioridad, en particular de retales de conducciones y cables.

Asimismo, al final de la obra, deberá limpiar perfectamente todos los equipos (captadores, acumuladores, etc.), cuadros eléctricos, instrumentos de medida, etc. de cualquier tipo de suciedad, dejándolos en perfecto estado.

Antes de su colocación, todas las canalizaciones deberán reconocerse y limpiarse de cualquier cuerpo extraño, como rebabas, óxidos, suciedades, etc.

La alineación de las canalizaciones en uniones y cambios de dirección se realizará con los correspondientes accesorios y/o cajas, centrando los ejes de las canalizaciones con los de las piezas especiales, sin tener que recurrir a forzar la canalización.

En las partes dañadas por roces en los equipos, producidos durante el traslado o el montaje, el suministrador aplicará pintura rica en zinc u otro material equivalente.

La instalación de los equipos, válvulas y purgadores permitirá su posterior acceso a las mismas a efectos de su mantenimiento, reparación o desmontaje.

Una vez instalados los equipos, se procurará que las placas de características de estos sean visibles.

Todos los elementos metálicos que no estén debidamente protegidos contra la oxidación por el fabricante, serán recubiertos con dos manos de pintura antioxidante.

Los circuitos de distribución de agua caliente sanitaria se protegerán contra la corrosión por medio de ánodos de sacrificio.

Todos los equipos y circuitos podrán vaciarse total o parcialmente, realizándose esto desde los puntos más bajos de la instalación.

Las conexiones entre los puntos de vaciado y desagües se realizarán de forma que el paso del agua quede perfectamente visible.

Los botellines de purga estarán siempre en lugares accesibles y, siempre que sea posible, visibles.

VIII.2. Montaje de estructura soporte y captadores

Si los captadores son instalados en los tejados de edificios, deberá asegurarse la estanqueidad en los puntos de anclaje.

La instalación permitirá el acceso a los captadores de forma que su desmontaje sea posible en caso de rotura, pudiendo desmontar cada captador con el mínimo de actuaciones sobre los demás.

Las tuberías flexibles se conectarán a los captadores utilizando, preferentemente, accesorios para mangueras flexibles.

Cuando se monten tuberías flexibles se evitará que queden retorcidas y que se produzcan radios de curvatura superiores a los especificados por el fabricante.

El suministrador evitará que los captadores queden expuestos al sol por períodos prolongados durante el montaje. En este período las conexiones del captador deben estar abiertas a la atmósfera, pero impidiendo la entrada de suciedad.

Terminado el montaje, durante el tiempo previo al arranque de la instalación, si se prevé que éste pueda prolongarse, el suministrador procederá a tapar los captadores.

VIII.3. Montaje de acumulador

La estructura soporte para depósitos y su fijación se realizará según la normativa vigente.

La estructura soporte y su fijación para depósitos de más de 1.000 l situados en cubiertas o pisos deberá ser diseñada por un profesional competente. La ubicación de los acumuladores y sus estructuras de sujeción cuando se sitúen en cubiertas de piso tendrá en cuenta las características de la edificación, y requerirá para depósitos de más de 300 l el diseño de un profesional competente.

VIII.4. Montaje de intercambiador

Se tendrá en cuenta la accesibilidad del intercambiador, para operaciones de sustitución o reparación.

VIII.5. Montaje de bomba

Las bombas en línea se instalarán con el eje de rotación horizontal y con espacio suficiente para que el conjunto motor-rodete pueda ser fácilmente desmontado

Las tuberías conectadas a las bombas en línea se soportarán en las inmediaciones de las bombas de forma que no provoquen esfuerzos recíprocos.

Todas las bombas estarán dotadas de tomas para la medición de presiones en aspiración e impulsión.

Todas las bombas deberán protegerse, aguas arriba, por medio de la instalación de un filtro de malla o tela metálica.

VIII.6. Montaje de tuberías y accesorios

Antes del montaje deberá comprobarse que las tuberías no estén rotas, fisuradas, dobladas, aplastadas, oxidadas o de cualquier manera dañadas.

Se almacenarán en lugares donde estén protegidas contra los agentes atmosféricos. En su manipulación se evitarán roces, rodaduras y arrastres, que podrían dañar la resistencia mecánica, las superficies calibradas de las extremidades o las protecciones anti-corrosión.

Las piezas especiales, manguitos, gomas de estanqueidad, etc. se guardarán en locales cerrados.

Las tuberías se instalarán lo más próximas posible a paramentos, dejando el espacio suficiente para manipular el aislamiento y los accesorios. En cualquier caso, la distancia mínima de las tuberías o sus accesorios a elementos estructurales será de 5 cm.

Las tuberías discurrirán siempre por debajo de canalizaciones eléctricas que crucen o corran paralelamente.

La distancia en línea recta entre la superficie exterior de la tubería, con su eventual aislamiento, y la del cable o tubo protector no debe ser inferior a:

- 5 cm para cables bajo tubo con tensión inferior a 1.000 V.
- 30 cm para cables sin protección con tensión inferior a 1.000 V.
- 50 cm para cables con tensión superior a 1.000 V.

Las tuberías no se instalarán nunca encima de equipos eléctricos, como cuadros o motores. No se permitirá la instalación de tuberías en huecos y salas de máquinas de ascensores, centros de transformación, chimeneas y conductos de climatización o ventilación.

Las conexiones de las tuberías a los componentes se realizarán de forma que no se transmitan esfuerzos mecánicos. Las conexiones de componentes al circuito deben ser fácilmente desmontables mediante bridas o racores, con el fin de facilitar su sustitución o reparación.

Para evitar la formación de bolsas de aire, los tramos horizontales de tubería se montarán siempre con una pendiente ascendente, en el sentido de circulación, del 1 %.

Las uniones de tuberías de acero podrán ser por soldadura o roscadas. En ningún caso se permitirán ningún tipo de soldadura en tuberías galvanizadas.

Las uniones de tuberías de cobre se realizarán mediante manguitos soldados por capilaridad.

En circuitos abiertos el sentido de flujo del agua deberá ser siempre del acero al cobre.

Durante el montaje de las tuberías se evitarán en los cortes para la unión de tuberías, las rebabas y escorias.

Los sistemas de seguridad y expansión se conectarán de forma que se evite cualquier acumulación de suciedad o impurezas.

Las dilataciones que sufren las tuberías al variar la temperatura del fluido, deben compensarse a fin de evitar roturas en los puntos más débiles, que suelen ser las uniones entre tuberías y aparatos, donde suelen concentrarse los esfuerzos de dilatación y contracción.

En las salas de máquinas se aprovecharán los frecuentes cambios de dirección, para que la red de tuberías tenga la suficiente flexibilidad y pueda soportar las variaciones de longitud.

VIII.7. Montaje de aislamiento

El aislamiento no podrá quedar interrumpido al atravesar elementos estructurales del edificio.

El manguito pasamuros deberá tener las dimensiones suficientes para que pase la conducción con su aislamiento, con una holgura máxima de 3 cm.

Tampoco se permitirá la interrupción del aislamiento térmico en los soportes de las conducciones, que podrán estar o no completamente envueltos por el material aislante.

El puente térmico constituido por el mismo soporte deberá quedar interrumpido por la interposición de un material elástico (goma, fieltro, etc.) entre el mismo y la conducción.

Después de la instalación del aislamiento térmico, los instrumentos de medida y de control, así como válvulas de desagües, volante, etc., deberán quedar visibles y accesibles.

Las franjas y flechas que distinguen el tipo de fluido transportado en el interior de las conducciones se pintarán o se pegarán sobre la superficie exterior del aislamiento o de su protección.

VIII.8. Montaje de contadores

Se instalarán siempre entre dos válvulas de corte para facilitar su desmontaje.

El suministrador deberá prever algún sistema de by-pass que permita el funcionamiento de la instalación aunque el contador sea desmontado para calibración o mantenimiento.

En cualquier caso, no habrá ningún obstáculo hidráulico a una distancia igual, al menos, a diez veces el diámetro de la tubería antes del contador, y a cinco veces después del mismo.

Cuando el agua pueda arrastrar partículas sólidas en suspensión, se instalará un filtro de malla fina antes del contador, del tamiz adecuado.

VIII.9. Montaje de instalaciones por circulación natural

Los cambios de dirección en el circuito primario se realizarán con curvas con un radio mínimo de tres veces el diámetro del tubo.

Se cuidará de mantener rigurosamente la sección interior de paso de las tuberías, evitando aplastamientos durante el montaje.

Se permitirá reducir el aislamiento de la tubería de retorno, para facilitar el efecto termosifón.

VIII.10. Pruebas de estanqueidad del circuito primario

El procedimiento para efectuar las pruebas de estanqueidad comprenderá las siguientes fases:

1. Preparación y limpieza de redes de tuberías. Antes de efectuar la prueba de estanqueidad las tuberías deben ser limpiadas internamente, con el fin de eliminar los residuos procedentes del montaje, llenándolas y vaciándolas con agua el número de veces que sea necesario. Deberá comprobarse que los elementos y accesorios del circuito pueden soportar la presión a la que se les va a someter. De no ser así, tales elementos y accesorios deberán ser excluidos.
2. Prueba preliminar de estanqueidad. Esta prueba se efectuará a baja presión, para detectar fallos en la red y evitar los daños que podría provocar la prueba de resistencia mecánica.
3. Prueba de resistencia mecánica. La presión de prueba será de una vez y media la presión máxima de trabajo del circuito primario, con un mínimo de 3 bar, comprobándose el funcionamiento de las válvulas de seguridad. Los equipos, aparatos y accesorios que no soporten dichas presiones quedarán excluidos de la prueba. La prueba hidráulica de resistencia mecánica

tendrá la duración suficiente para poder verificar de forma visual la resistencia estructural de los equipos y tuberías sometidos a la misma.

4. Reparación de fugas. La reparación de las fugas detectadas se realizará sustituyendo la parte defectuosa o averiada con material nuevo. Una vez reparadas las anomalías, se volverá a comenzar desde la prueba preliminar. El proceso se repetirá tantas veces como sea necesario.



ANEXO IX

REQUISITOS TÉCNICOS DEL CONTRATO DE MANTENIMIENTO

IX.1. Generalidades

Se realizará un contrato de mantenimiento (preventivo y correctivo) por un período de tiempo al menos igual que el de la garantía. El mantenimiento preventivo implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con superficie útil homologada inferior o igual a 20 m², y una revisión cada seis meses para instalaciones con superficies superiores a 20 m².

Dado que el sistema de energía auxiliar no forma parte del sistema de energía solar propiamente dicho, sólo será necesario realizar actuaciones sobre las conexiones del primero a este último, así como la verificación del funcionamiento combinado de ambos sistemas. Se deja un mantenimiento más exhaustivo para la empresa instaladora del sistema auxiliar.

El mantenimiento preventivo Incluye la visita a la instalación, en los mismos plazos máximos indicados en el apartado de Garantías, cada vez que el usuario así lo requiera por avería grave de la instalación, así como el análisis y elaboración del presupuesto de los trabajos y reposiciones necesarias para el correcto funcionamiento de la misma.

Los costos económicos del mantenimiento correctivo, con el alcance indicado, forman parte del precio anual del contrato de mantenimiento. Podrán no estar incluidas ni la mano de obra, ni las reposiciones de equipos necesarias.

IX.2. Garantías

El suministrador garantizará la instalación durante un período mínimo de 3 años, para todos los materiales utilizados y el procedimiento empleado en su montaje.

Sin perjuicio de cualquier posible reclamación a terceros, la instalación será reparada de acuerdo con estas condiciones generales si ha sufrido una avería a causa de un defecto de montaje o de cualquiera de los componentes, siempre que haya sido manipulada correctamente de acuerdo con lo establecido en el manual de instrucciones.

La garantía se concede a favor del comprador de la instalación, lo que deberá justificarse debidamente mediante el correspondiente certificado de garantía, con la fecha que se acredite en la certificación de la instalación.

Si hubiera de interrumpirse la explotación del suministro debido a razones de las que es responsable el suministrador, o a reparaciones que el suministrador haya de realizar para cumplir las estipulaciones de la garantía, el plazo se prolongará por la duración total de dichas interrupciones.

La garantía comprende la reparación o reposición, en su caso, de los componentes y las piezas que pudieran resultar defectuosas, así como la mano de obra empleada en la reparación o reposición durante el plazo de vigencia de la garantía.

Quedan expresamente incluidos todos los demás gastos, tales como tiempos de desplazamiento, medios de transporte, amortización de vehículos y herramientas, disponibilidad de otros medios y eventuales portes de recogida y devolución de los equipos para su reparación en los talleres del fabricante.

Asimismo se deben incluir la mano de obra y materiales necesarios para efectuar los ajustes y eventuales reglajes del funcionamiento de la instalación.

Si en un plazo razonable, el suministrador incumple las obligaciones derivadas de la garantía, el comprador de la instalación podrá, previa notificación escrita, fijar una fecha final para que dicho suministrador cumpla con las mismas. Si el suministrador no cumple con sus obligaciones en dicho plazo último, el comprador de la instalación

podrá, por cuenta y riesgo del suministrador, realizar por sí mismo o contratar a un tercero para realizar las oportunas reparaciones, sin perjuicio de la ejecución del aval prestado y de la reclamación por daños y perjuicios en que hubiere incurrido el suministrador.

La garantía podrá anularse cuando la instalación haya sido reparada, modificada o desmontada, aunque sólo sea en parte, por personas ajenas al suministrador o a los servicios de asistencia técnica de los fabricantes no autorizados expresamente por el suministrador.

Cuando el usuario detecte un defecto de funcionamiento en la instalación, lo comunicará fehacientemente al suministrador. Cuando el suministrador considere que es un defecto de fabricación de algún componente lo comunicará fehacientemente al fabricante.

El suministrador atenderá el aviso en un plazo de:

- 24 horas, si se interrumpe el suministro de agua caliente, procurando establecer un servicio mínimo hasta el correcto funcionamiento de ambos sistemas (solar y de apoyo).
- 48 horas, si la instalación solar no funciona.
- una semana, si el fallo no afecta al funcionamiento.

Las averías de las instalaciones se repararán en su lugar de ubicación por el suministrador. Si la avería de algún componente no pudiera ser reparada en el domicilio del usuario, el componente deberá ser enviado al taller oficial designado por el fabricante por cuenta y a cargo del suministrador.

El suministrador realizará las reparaciones o reposiciones de piezas a la mayor brevedad posible una vez recibido el aviso de avería, pero no se responsabilizará de los perjuicios causados por la demora en dichas reparaciones siempre que dicha demora sea inferior a 15 días naturales.

ANEXO X

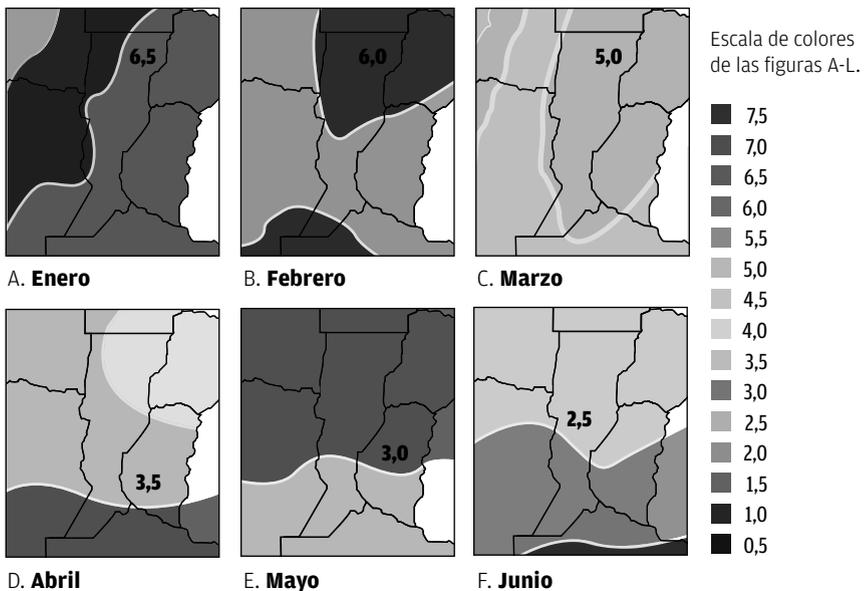
TABLAS DE TEMPERATURAS Y RADIACIÓN

Tabla 7. Temperatura media mensual (°C) para distintas localidades de la Provincia de Santa Fe obtenidas de las estadísticas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Nombre	Lat.	Long.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Ceres	29,53	61,57	25,70	24,50	22,60	19,00	15,90	11,90	11,80	13,90	15,60	20,00	22,50	24,60
Oliveros	32,33	60,51	24,70	23,30	20,80	17,10	14,00	10,40	10,30	12,30	13,80	17,70	20,60	23,20
Rafaela	31,11	61,33	24,70	23,50	21,40	17,70	14,70	11,20	10,80	12,90	14,20	18,50	21,00	23,40
Reconquista	29,11	59,4	26,60	25,30	23,60	20,00	16,90	13,40	13,50	15,30	16,50	20,40	23,00	25,10
Rosario	32,55	60,47	24,80	23,40	20,90	17,20	13,60	10,10	10,00	12,00	13,90	17,80	20,90	23,30
Sauce Viejo	31,42	60,49	26,30	24,80	22,70	18,80	15,70	11,80	11,70	13,90	15,50	19,50	22,30	24,60
Zavala	33,01	60,53	24,30	22,80	20,20	16,60	13,40	10,00	9,60	11,70	13,20	17,10	20,10	23,00

Irradiación solar media mensual diaria para la provincia de Santa Fe en kWh/m².

La Cada color corresponde a una valor de irradiación en conformidad con la escala ¹



1. Datos extraídos de Grossi Gallegos y Righini, (2007).

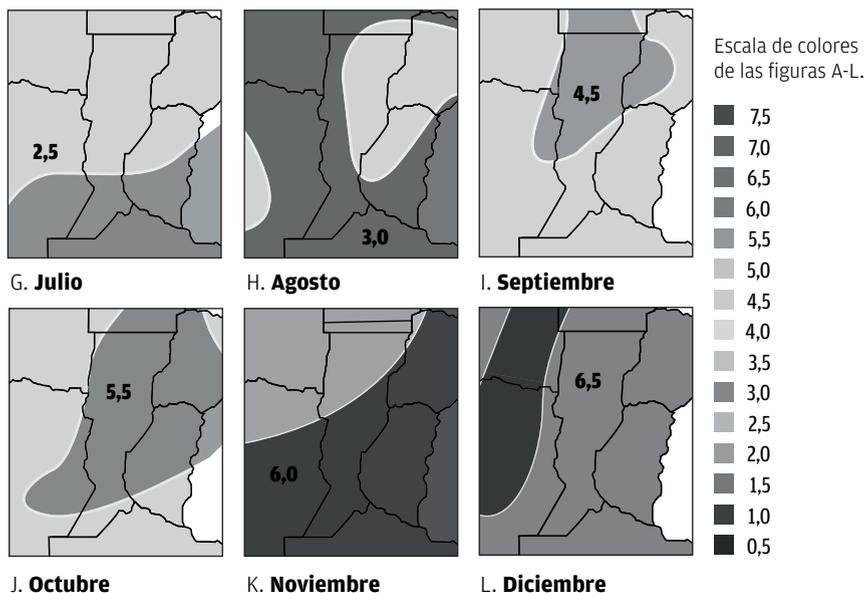


Tabla 8. Cociente entre la energía recibida por un plano inclinado (β) y orientado al Norte y la energía recibida por un plano horizontal. Válido para cualquier latitud dentro de la provincia de Santa Fe. Calculado con datos atmosféricos de diversas localidades de la Provincia de Santa Fe

Inclinación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00
5	1,00	1,01	1,02	1,04	1,07	1,08	1,07	1,05	1,03	1,01	1,00	0,99
10	0,99	1,01	1,04	1,08	1,12	1,15	1,13	1,10	1,05	1,02	0,99	0,98
15	0,98	1,00	1,05	1,11	1,18	1,21	1,19	1,14	1,07	1,02	0,98	0,97
20	0,97	1,00	1,06	1,13	1,20	1,25	1,21	1,16	1,08	1,02	0,98	0,96
25	0,94	0,98	1,06	1,16	1,27	1,33	1,28	1,21	1,10	1,01	0,95	0,93
30	0,91	0,97	1,06	1,18	1,30	1,37	1,32	1,23	1,10	1,00	0,93	0,90
35	0,88	0,94	1,05	1,18	1,33	1,41	1,35	1,25	1,10	0,98	0,90	0,86
40	0,85	0,92	1,03	1,18	1,35	1,44	1,37	1,25	1,09	0,96	0,87	0,83
45	0,81	0,88	1,01	1,18	1,36	1,46	1,39	1,25	1,07	0,93	0,83	0,79
50	0,77	0,85	0,99	1,17	1,36	1,47	1,39	1,25	1,05	0,90	0,79	0,75
55	0,72	0,81	0,96	1,15	1,36	1,47	1,39	1,24	1,02	0,86	0,75	0,70
60	0,68	0,76	0,92	1,13	1,34	1,47	1,38	1,22	0,99	0,82	0,71	0,66
65	0,63	0,72	0,88	1,09	1,32	1,45	1,37	1,19	0,95	0,77	0,66	0,61
70	0,58	0,67	0,83	1,06	1,29	1,43	1,34	1,16	0,91	0,72	0,61	0,55
75	0,53	0,62	0,78	1,02	1,26	1,40	1,31	1,12	0,87	0,67	0,56	0,50
80	0,48	0,56	0,73	0,97	1,21	1,36	1,26	1,07	0,82	0,62	0,50	0,45
85	0,43	0,51	0,67	0,91	1,16	1,31	1,22	1,02	0,76	0,56	0,45	0,40
90	0,40	0,48	0,64	0,89	1,14	1,28	1,19	0,99	0,73	0,53	0,43	0,38



ANEXO XI

MÉTODOS DE CÁLCULO

De entre los diversos métodos de cálculo existentes, se deberán elegir aquellos que procedan de entidades de reconocida solvencia y estén suficientemente avalados por la experiencia práctica.

Deberá adoptarse el método más adecuado a las características de la instalación solar. El tamaño y complejidad de la misma será determinante para considerar un método simplificado que no requiere gran nivel de detalle para la definición de las bases de cálculo, y que en consecuencia sea relativamente fácil de usar, o bien un método más detallado en el que se realice el estudio de un modelo de la instalación con todos sus componentes y se simule el comportamiento energético de la misma con amplios detalles.

Como ejemplo de uno de dichos métodos de cálculo simplificado, se describirá a continuación el de las curvas f (F-Chart), que permite realizar el cálculo de la cobertura de un sistema solar, es decir, de su contribución a la aportación de calor total necesario para cubrir las cargas térmicas, y de su rendimiento medio en un largo período de tiempo.

Ampliamente aceptado como un proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, no ha de aplicarse para estimaciones de tipo semanal o diario.

Para desarrollarlo se utilizan datos mensuales medios meteorológicos, y es perfectamente válido para determinar el rendimiento o factor de cobertura solar en instalaciones de calentamiento, en todo tipo de edificios, mediante captadores solares planos.

Su aplicación sistemática consiste en identificar las variables adimensionales del sistema de calentamiento solar y utilizar la simulación de funcionamiento mediante ordenador, para dimensionar las correlaciones entre estas variables y el rendimiento medio del sistema para un determinado período de tiempo.

La ecuación utilizada en este método es:

$$f = 1,029 D_1 - 0,065 D_2 - 0,245 D_1^2 + 0,0018 D_2^2 + 0,0215 D_1^3$$

Donde f es la fracción de la demanda energética mensual que cubre una determinada área de colectores caracterizados por su curva de rendimiento y un determinado tanque de almacenamiento. Se la conoce también como «fracción solar».

La secuencia que suele seguirse en el cálculo es la siguiente:

1. Valoración de la demanda energética para el calentamiento de agua, calefacción/climatización o piscinas calculadas según el anexo IV.
2. Calculadas según el capítulo «Recurso solar» de la página 25.
3. Cálculo del parámetro D_1 .
4. Cálculo del parámetro D_2 .
5. Determinación de la gráfica f .
6. Valoración de la cobertura solar mensual.
7. Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas.

El parámetro D_1 expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes:

$$D_1 = \frac{\text{Energía absorbida por el captador}}{\text{Demanda energética mensual}} = \frac{E_a}{Q_i}$$

La energía absorbida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_{ai} = S_c \cdot F_r (\tau\alpha) \cdot H_{Ti} \cdot N_i$$

donde:

E_{ai} = Energía absorbida en el mes i (kWh)

S_c = Superficie del captador (m^2)

H_{Ti} = Irradiación diaria media mensual del mes i , incidente sobre la superficie de captación por unidad de área obtenidas del capítulo de «recurso solar» en kWh/ m^2 .

N_i = Número de días del mes i

$F_r(\tau\alpha)$ = Ordenada al origen de la curva de rendimiento del captador basada en la temperatura de entrada. En su defecto, es posible utilizar la ordenada al origen basada en la temperatura media del fluido

El parámetro D_2 expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador, para una determinada temperatura, y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$$D_2 = \frac{\text{Energía perdida por el colector}}{\text{Demanda energética mensual}} = \frac{E_p}{Q_i}$$

La energía perdida por el captador viene dada por la siguiente expresión:

$$E_{pi} = \frac{S_C \cdot F_R \cdot U_L \cdot (100 - t_a) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot 0,000278}{1000}$$

donde:

E_{pi} = Energía perdida en el mes i (kWh)

S_c = Superficie del captador (m^2)

$F_R U_L$ = Pendiente de la curva característica del captador
(coeficiente global de pérdidas del captador)

t_a = Temperatura ambiente

Δt = Período de tiempo considerado, en segundos (s)

K_1 = Factor de corrección por almacenamiento, que se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$K_1 = \left[\frac{K_g \text{ acumulación}}{(75 \cdot S_C)} \right]^{-0,25}$$

$$37,5 < \frac{K_g \text{ acumulación}}{(75 \cdot S_C)} < 300$$

K_2 = Factor de corrección, para A.C.S., que relaciona la temperatura mínima de A.C.S., la del agua de red y la media mensual ambiente, dado por la siguiente expresión:

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18 \cdot t_{ac} + 3,86 \cdot t_r - 2,32 \cdot t_a)}{(100 - t_a)}$$

donde:

t_{ac} = Temperatura mínima requerida del A.C.S.

t_r = Temperatura del agua de red

t_a = Temperatura ambiente media mensual del mes i

Importante: Es necesario prestar atención a la coherencia de las unidades utilizadas. Los parámetros D_1 y D_2 solo darán los resultados correctos si las unidades de cada una de las variables fue correctamente establecida. Para ello, es necesario que Q_i esté también en kWh. Dados los diversos factores involucrados y las diferentes unidades utilizadas es necesario prestar atención a las conversiones.

Una vez obtenido D_1 y D_2 , aplicando la ecuación inicial se calcula la fracción de la demanda energética mensual aportada por el sistema de energía solar.

De esta forma, la energía útil generada por el sistema solar térmico para cada mes, Q_{ui} tiene el valor:

$$Q_{ui} = f \cdot Q_i$$

donde:

Q_i = Demanda energética o carga calorífica mensual del mes i para la aplicación en cuestión

Q_{ui} = Energía útil generada por el sistema solar térmico en el mes i .

Mediante igual proceso operativo que el desarrollado para un mes, se operará para todos los meses del año. La relación entre la suma de las energías útiles mensuales y la suma de las demandas energéticas mensuales, determinará la cobertura anual del sistema o la fracción solar anual del sistema:

$$f_{\text{ANUAL}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=12} Q_{ui}}{\sum_{i=1}^{i=12} Q_i}$$



ANEXO XII

ANTECEDENTES

Regulaciones sobre energías renovables que incluyen el uso solar térmico en diversos países fuera de la región del Mercosur. Datos extraídos de [8]

- ISRAEL

Año de Implementación: 1980

Código de Planeamiento y Edificación 5730-1970. Artículo 9.1980

Exige la instalación de agua caliente solar para todos los edificios nuevos. Contiene detalles específicos sobre el rendimiento de los colectores a instalar, la capacidad de transferencia de calor, los tanques de almacenamiento y los sistemas de backup. Los porcentajes de aporte solar varían según el uso de la nueva construcción: residencial, hotel, educación, etc.

Contempla la excepción de la aplicación de la normativa edificios que por su emplazamiento no pueden aprovechar la energía solar.

- ESPAÑA

Año de implementación: 2000

Ordenanza Solar de Barcelona.

La misma fue la pionera en Europa en adoptar una legislación que regule el uso de la energía solar térmica. Exige un aporte solar de agua caliente que varía según la demanda de la construcción. Lo mínimo es un 60% de aporte solar térmico. Hay excepciones a edificios que no pueden aprovechar la energía solar por alguna razón mayor como su instalación o sus características. Aplica a cualquier tipo de nueva construcción y remodelación integral.

Luego de su implementación en el año 2000, varios municipios siguieron ese camino, entre ellos Madrid y Pamplona. Hoy en día, la reglamentación de alcance nacional fue incorporada al código técnico de edificación.

- ESPAÑA

Año de implementación: 2007

Código Técnico de Edificación

Exige que entre un 30% y un 70% de la energía del agua caliente, debe ser provista por energía solar térmica. El porcentaje varía según la zona de la que se trate. Hay exenciones a edificios que no pueden aprovechar la energía solar por alguna razón mayor como su instalación o sus características. Aplica a edificaciones nuevas y refacciones integrales de superficies mayores a 1.000 m² y que además tengan demanda de agua caliente mínima de 50l/día a 60°C.

- ALEMANIA

Año de implementación: 2009

Acta de promoción de energías renovables en el sector de calor.

Exige el uso de energías renovables para la provisión de calor en nuevas construcciones residenciales y no residenciales. Los porcentajes de aporte de energía varían según el recurso (solar, eólico, biomasa). Para el caso solar, exige que al menos un 15 % de la demanda de calor de la construcción sea provista por el sistema solar térmico. Contempla excepciones donde no haya recursos renovables disponibles para utilizar.

- IRLANDA

Año de implementación: 2008

Estándares locales de energía en construcciones en Irlanda.

Exige una disminución en el consumo de energía de los edificios entre 40 y 60%. El uso de las energías renovables para el aporte a la demanda térmica de las construcciones está incluido dentro de los estándares de energía que se exigen. Aplica a nuevas construcciones residenciales. Contempla excepciones.

- PORTUGAL

Año de implementación: 2008

Regulación Portuguesa sobre Energías Renovables en Edificios

Exige que en todos los edificios nuevos o antiguos en donde haya espacio suficiente en la azotea y no haya obstrucciones significativas, se debe incorporar energía solar térmica para la provisión de agua caliente. Se toma como base 1m² de colector por persona. Exige equipamiento certificado bajo normas europeas y un contrato de mantenimiento del sistema por 6 años. La superficie mínima puede reducirse a la mitad en la mayoría de los casos. Contempla excepciones.

Regulaciones sobre energías renovables que incluyen el uso solar térmico en diversos países dentro de la región del Mercosur. Datos obtenidos a partir de [9] y [10].

- URUGUAY

Año de implementación: 2009

Ley 18585 de Energía Solar Térmica.

Los permisos de construcción o refacción integral para centros de asistencia de salud, hoteles y clubes deportivos en los que su previsión de consumo para agua caliente involucre más del 20% (veinte por ciento) del consumo energético total, sólo serán autorizados cuando incluyan las instalaciones sanitarias y de obras para la incorporación futura de equipamiento para el calentamiento de agua por energía solar térmica. Exige un estudio de viabilidad técnica para la instalación de un sistema solar térmico. El beneficio está en la liberación del pago de impuestos como el IVA y otros. Contempla excepciones.

- BRASIL

Año de implementación: 2008

Ley solar de São Paulo, N° 14 459, Decreto N° 49 148.

Desde julio de 2008, ha sido obligatoria para todos los edificios de nueva construcción residencial y no residencial de São Paulo, instalar

un sistema de calentamiento solar de agua en sus instalaciones [9]. São Paulo es una de las principales ciudades en Brasil con una población de 11 millones de habitantes.

La ley estipula que al menos el 40% de la demanda anual de energía para calentamiento de agua sanitaria debe ser proporcionada por un sistema solar térmico. Consideran que la figura sea un requisito mínimo y hacer hincapié en que «una cuota de energía solar de cerca de 70% de la demanda anual de agua caliente es ideal».

- BRASIL

Año de implementación: 2008

Ley 5184 de Rio de Janeiro.

Un 40% de la demanda de agua caliente solar de edificios públicos nuevos y refaccionados, debe provenir de la energía solar. Apunta solo a los edificios públicos. Los equipos a incorporar deben cumplir con las normas NBR y ABNT. Se evalúa el rendimiento de los colectores a instalar. Contempla excepciones donde no se pueden instalar colectores. A Rio de Janeiro le siguieron varias ciudades, entre ellas: Campo Grande, Belo Horizonte, Curitiba y Salvador. Porto Alegre fue la primera ciudad en tener una ordenanza solar en Brasil.

- CHILE

Año de implementación: 2009

A través de la Ley 20365 se establece una franquicia tributaria respecto de los sistemas solares térmicos.

Los colectores alcanzados por esta ley deben estar ensayados e inspeccionados por laboratorios designados. Para ser beneficiados por esta ley, el aporte energético solar anual promedio debe ser mínimamente del 30% de la demanda. Cada proyecto se evalúa en forma particular y mediante un algoritmo, el beneficio impositivo que le otorgará al proyecto. Los equipos a incorporar deben cumplir con las normas técnicas chilenas (NCh). Contempla excepciones donde no se pueden instalar colectores.

Regulaciones sobre energías renovables que incluyen el uso solar térmico en la República Argentina

El ámbito normativo alrededor de las energías renovables se encuentra en un proceso de gran debate y movilidad con muchas iniciativas de diverso tipo.

En el sector eléctrico, recientemente, 23 de septiembre de 2015, nuestro país ha sancionado la Ley 27.191 (reemplazando a la Ley 26.190), siendo promulgada de hecho el 15 de octubre de 2015 y reglamentada el 31 de Marzo de 2016. La misma ha establecido, entre otras iniciativas, que el 8% de la energía eléctrica del país debe provenir de fuentes alternativas al 2017 y el 20% al 2025. Previo a ello se han creado regulaciones sobre uso racional de la energía (PRONURE, Decreto 140/07 y Ley N°3 246 de eficiencia energética en la Ciudad de Buenos Aires). Ambas reglamentaciones han sido el punta pié inicial para comenzar la incorporación de las energías renovables a la matriz energética nacional. Por otro lado, en distintas provincias y municipios del país se están desarrollando leyes y ordenanzas municipales con el fin de promocionar el uso de las energías renovables. [Ordenanza 12.692/2006 de la Municipalidad de SantaFe, Ordenanza 3.633/2008 de la Municipalidad de Venado Tuerto, Ordenanzas 3.637/2010 y 3.672/2010 de la Municipalidad del Partido de la Costa, Ordenanza N° 1575 de la ciudad de Firmat, Ley 7.823 de la Provincia de Salta, Ley 8.786 de la Provincia de Mendoza, Ley 12.692/2006 de la Provincia de Santa Fe, entre otras]. También se destaca la aprobación de la Ordenanza 8.784 en la ciudad de Rosario que hace obligatoria la incorporación del aprovechamiento de energía solar con fines de calentamiento de agua en todas las nuevas construcciones públicas; además cuenta con una detallada reglamentación técnica para su implementación.

Con estas perspectivas, es coherente pensar que uno de los próximos pasos a dar será la promoción del reemplazo de la quema de combustibles fósiles por sistemas de aprovechamiento de energía solar térmica en todo el país. Sumado a este contexto, el aumento de los precios de la energía en Argentina y la disminución de los recursos fósiles, han impulsado la generación de un incipiente mercado

solar térmico [11]. Ante esta situación, han surgido diversos importadores y fabricantes locales de colectores solares. Algunos poseen eficiencia y calidad certificada bajo «SolarKeymark» desde Europa pero también existen otros de diversas calidades. Informes presentados en 2005 y 2009 por Fundación Bariloche [11] [45] daban cuenta de una calidad variable en la fabricación de calefones solares nacionales. Las normativas surgidas en los últimos años, los programas nacionales y provinciales que se mencionan más adelante ayudaron a mejorar la calidad de la tecnología nacional como así también promover el uso de la energía solar térmica.

La importación de equipos solares térmicos actualmente no cuenta con controles de calidad e ingresan al mercado calefones solares importados de dudosa calidad, en su mayoría, tecnología proveniente de China. El precio final al cliente de estos equipos es muy bajo en relación a los productos de origen nacional. Es importante mantener la producción nacional de tecnología solar térmica mejorando su calidad y generando mecanismos de protección.

En éste sentido, afines de 2011, la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Buenos Aires (UTNFRBA) impulsó la creación de una comisión de energía solar térmica en IRAM, con el objetivo de actualizar la normativa existente y poder interactuar en igualdad de condiciones tanto en la parte regional, como en la parte internacional. La comisión de energía solar térmica entró en funcionamiento en Enero de 2012 y de la misma participan instituciones de ciencia y técnica nacional, empresas privadas y organismos de gobierno tales como Orbis, Rheem, UNLU, INTI, Secretaria de Energía, Fundación Ecoandina y otras. La UTN-FRBA cuenta con laboratorios para la determinación de la curva de rendimiento de colectores según norma IRAM 210.002 y se encuentra transitando el camino hacia la acreditación.

Antecedentes de acciones de promoción de energía solar térmica para uso doméstico en varios países

- GRECIA

Una variedad de factores contribuyeron al éxito de los sistemas solares térmicos en Grecia. El factor crucial fue la promoción de los mismos a través de la reducción de los costos de instalación mediante la deducción de impuestos. Esta política fue reglamentada a través de la ley 814/1978 y 1473/1984. Esta política comenzó en 1978 y finalizó en 1991. Cada usuario podía deducir hasta un 40% del costo de la instalación de los impuestos de la vivienda. De esta manera, no recibía el dinero en efectivo, sino que podía deducirlo de su pago de impuestos. Durante 1991 a 1993, las ventas de sistemas solares decayeron y la ley fue reforzada permitiendo que se pueda deducir de impuestos hasta un 75% del costo de la instalación. Esta medida finalizó en 2002.

La norma solo requería la presentación de los recibos y facturas pertinentes en conjunto con la declaración de impuestos de la vivienda. El costo de los recibos era descontado de los impuestos que debía pagar la vivienda. En paralelo a estas medidas, la asociación de industria solar de Grecia estableció una fuerte campaña de publicidad e información.

Para garantizar la calidad del mercado, se definieron estándares básicos que fueron adaptados de acuerdo con el avance de la industria. Los resultados fueron que el mercado solar térmico griego creció de 1,7 millones de m² en 1990 a 2,8 millones de m² en 2004. Hoy en día, aproximadamente un 30% de las casas dispone de agua caliente solar y la misma cubre un 80-90% del consumo de agua caliente de las casas donde está instalada. En la actualidad, no hay políticas de promoción vigentes. El mercado es autosustentable y competitivo con los costos de gas y electricidad. La mayoría de los sistemas instalados son termosifónicos con 2 m² de área de colectores y un tanque de 150-200 litros, con un costo aproximado de 1.500 euros. El 95% de las instalaciones de Grecia son residenciales y solo el 5% pertenecen a instituciones deportivas, industriales o de otro tipo [12].

- ALEMANIA

Alemania es hoy en día, el líder indiscutido en capacidad solar térmica instalada. Ese país tiene como meta llegar a generar un 50% de la demanda de energía a partir de las energías renovables para el 2050. Para lograr este objetivo ambicioso ha fomentado políticas de uso de energías renovables. En 2004, de 36 proveedores, solo 5 tenían más del 50% del mercado solar térmico local. La fracción de tecnología importada disminuyó de 55 a 35% entre 1999 y 2003. Esto indica que las empresas nacionales se beneficiaron del crecimiento del mercado. El 85% de los sistemas instalados utilizan colectores planos. El costo de los sistemas ha ido bajando con el tiempo debido a los efectos de la economía de escala. Un sistema con circuito secundario o indirecto para una casa tiene un costo de alrededor de 700 euros/m² y un área menor a 6 m². Para Alemania en particular, los sistemas tienen doble uso: calefacción y agua caliente, de aquí su mayor costo. El sistema típico de Alemania tiene un costo de alrededor de 5.000 euros.

En 1995 se introdujo el programa «100 millones» en el cual se destinó esa cantidad de dinero en marcos alemanes a la promoción de energías renovables. Este plan tuvo éxito y en 1999 se comenzó a diseñar un nuevo programa llamado «MAP» que entró en vigencia en 2005. El mismo promueve el uso de energías renovables para satisfacer la demanda de calor tanto en usos residenciales, como deportivos e industriales. El mismo no es exclusivo de solar térmica sino que habla de calor renovable. La acción de promoción consiste en subsidios directos para pequeños sistemas y en préstamos a bajo interés para grandes sistemas. El subsidio es de aproximadamente el 14% de la instalación (105 euros /m² de colectores). El plan de promoción sigue vigente pero se está discutiendo de cerrarlo ya que el mercado solar es actualmente autosustentable económicamente. La instalación del sistema requiere de técnicos autorizados por la autoridad de regulación. La calidad del equipamiento instalada requiere ciertos estándares de calidad [12].

- FRANCIA

Francia, junto con España e Italia, ocupan el tercer lugar en capacidad de agua caliente solar instalada. Uno de los objetivos de Francia era lograr cubrir el 21% de la demanda de electricidad con energías renovables para el 2010.

Actualmente el mercado solar térmico Francés consiste en 30 productores e importadores. Sin embargo, la porción de equipos importados es bastante grande. En la parte francesa no continental predominan los sistemas termosifónicos mientras que en la parte continental predominan los sistemas con circuito cerrado y con intercambiador de calor y un área típica de 4,5 m² y tanques de 200-300 litros. El costo por m² es de aproximadamente 700 euros y el costo de una instalación de este tipo de sistemas ronda los 5000 euros.

Para darle un impulso a la energía solar térmica, este país implementó el «Plan Soleil» en 2006. El mismo impulsó el uso de equipamiento solar para todo tipo de instalaciones residenciales o no. Inicialmente el estado aportaba aproximadamente el 20% del costo de la instalación del sistema. Hoy en día, permite deducir de impuestos hasta el 40% del costo de la instalación y hasta el 50% del costo del equipamiento. En paralelo a esta medida de promoción, se ha hecho gran difusión del uso de energía solar a través de campañas publicitarias. La instalación del sistema requiere equipamiento con calidad certificada y además técnicos capacitados y autorizado por la autoridad de aplicación [12].

- TÚNEZ

Túnez tiene excelentes condiciones climáticas para la proliferación de la energía solar. Sin embargo la misma no está completamente aprovechada. En este país, predominan los sistemas termosifónicos entre 200 y 300 litros. El costo promedio de un sistema típico termosifónico en Túnez a 1.500 euros y el de los colectores a 300 euros/m². Esta inversión representa un obstáculo para los hogares de clase media y baja. Los sistemas solares térmicos han sido utilizados en Túnez desde 1980. En el período de 1982 a 1994 se instalaron 30.000 m² de colectores. Surgieron varios problemas relacionados

principalmente con el monopolio de un productor de Túnez: Ningún progreso técnico, costos elevados, deficiencias de calidad, etc. Entre 1995 y 2002 varios programas de incentivos ayudaron a la revitalización del mercado. Principalmente a través de la GEF (Global Environmental Facility) [10], que financiaba hasta el 35% del costo de la instalación del sistema. El proyecto GEF contemplaba además la capacitación de profesionales y las campañas de difusión. Hoy en día, esta en vigencia el programa MEDREP, (Proyecto de Energías Renovables en el Mediterráneo) [10]. La acción de promoción consiste en que los bancos les otorgan préstamos a los productores de sistemas solares térmicos, quienes a su vez transfieren estos préstamos a los usuarios interesados. Los productores venden sus sistemas directamente a los usuarios residenciales y ofrecen facilidades para financiar el sistema. El repago del sistema solar ocurre a través de la factura de electricidad. En un periodo de 5 años, los usuarios deben pagar cuotas fijas incluidas en la factura de electricidad. De esta manera, el riesgo de no pago es bajo. La cuota mensual depende del sistema que debe ser pagado. Idealmente, las cuotas mensuales están cubiertas con el ahorro de energía eléctrica proveniente de su reemplazo por el sistema solar. De esta manera el usuario no paga una cuota mas alta de electricidad de la que venía pagando antes de adquirir el sistema solar. Cada mes, la compañía de electricidad envía el dinero recolectado a los bancos, quienes a su vez prestan el dinero a otros interesados en adquirir sistemas solares. El interés de financiamiento es subsidiado por el programa MEDREP. Al principio del programa, el interés subsidiado era del 7%, con lo cual el usuario no pagaba intereses sino la cuota solamente. A partir del 2006, el subsidio ha disminuido al 4%, teniendo que pagar el usuario un interés del 3% anual en la cuota. En los próximos años se prevee eliminar completamente el subsidio para el pago del interés y permitir que el mercado sea autosustentable. La acción de promoción no rige para todos los fabricantes. Solo para aquellos cuyos equipos superan las evaluaciones de calidad de la autoridad de aplicación. En paralelo al desarrollo del programa hay una constante campaña de difusión y de capacitación de profesionales.

• ESPAÑA

En este caso, el antecedente obligado a ser mencionado es la ordenanza solar de Barcelona. Antes del año 2000, la capacidad solar térmica instalada en España era ínfima. Hoy en día ocupa el tercer lugar en capacidad solar térmica instalada y ha lanzado una reglamentación solar a nivel nacional. La mayoría de los colectores instalados en España al momento de emitir la ordenanza no eran de alta tecnología. Esto ha cambiado con el tiempo y hoy en día el proceso de fabricación de los mismos ha pasado de ser artesanal a ser completamente automatizado. El costo promedio de un sistema con colectores es de 700 euros/m².

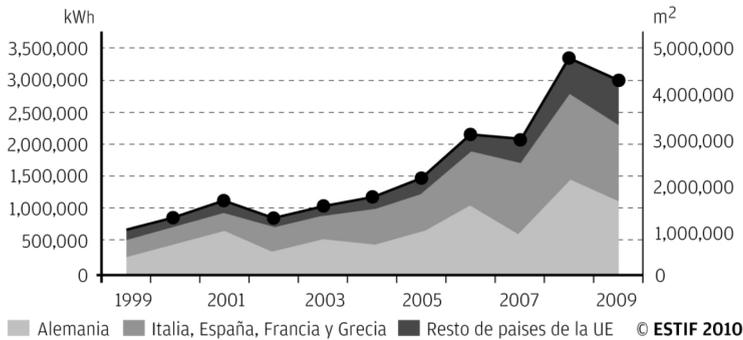
La ordenanza solar de Barcelona implementada en 1999 constituyó la primera ordenanza en su tipo que obligó a las nuevas construcciones a utilizar la energía solar a nivel urbano. Desde su implementación en el 2000 hasta la actualidad, se han instalado, solamente en Barcelona, más de 100.000 m² de colectores. La ordenanza incluye la obligación de instalar energía solar térmica pero no incluye ningún mecanismo de promoción. Exige que todas las nuevas construcciones cuyo consumo de energía caliente supere los 292 MJ o 2.000 litros, genere al menos un 60% de la energía requerida a través de la energía solar. Las refacciones integrales de construcciones residenciales y no residenciales también están bajo la directiva de la ordenanza. Además, exige que el calentamiento de las piscinas de natación debe ser realizado en un lo posible, con energía solar. Previa a la implementación de la norma, todos los actores fueron reunidos en una «mesa solar» donde se pusieron de acuerdo en las características de la misma. La normativa demanda que el equipamiento instalado cumpla ciertos estándares técnicos de acuerdo con la normativa europea. Asimismo, Barcelona también ha invertido mucho en la publicidad, difusión y capacitación de profesionales en el área de energía solar térmica. De esta manera, aproximadamente un 40% de las nuevas construcciones poseen sistemas solares térmicos. De 1.650 m² de colectores instalados en 2000 han pasado a casi 100.000 m² en 2010. Un crecimiento enorme del mercado. El 65% de las instalaciones pertenecen a construcciones residenciales y el resto a hoteles, clubes de deporte y otros.

Resultados de la evaluación de los antecedentes expuestos

Gracias a las diversas acciones de promoción implementadas, el mercado solar térmico europeo ha crecido a pasos agigantados en los últimos 20 años. En todos los casos, el crecimiento ha sido sustentado no solo por la acción de promoción sino también por un plan que garantizó la instalación de equipamiento de buena calidad por profesionales capacitados. Además, en todos los casos, las políticas de promoción fueron acompañadas por una gran campaña de difusión y publicidad de uso de energía solar térmica. Cada país ha incorporado formas diferentes de promoción, sin embargo todas ellas han sido efectivas en mayor o menor medida.

Los resultados directos de estas políticas pueden observarse en la figura 14, donde se muestra el aumento del área de colectores instalada en los últimos 20 años en Europa [13].

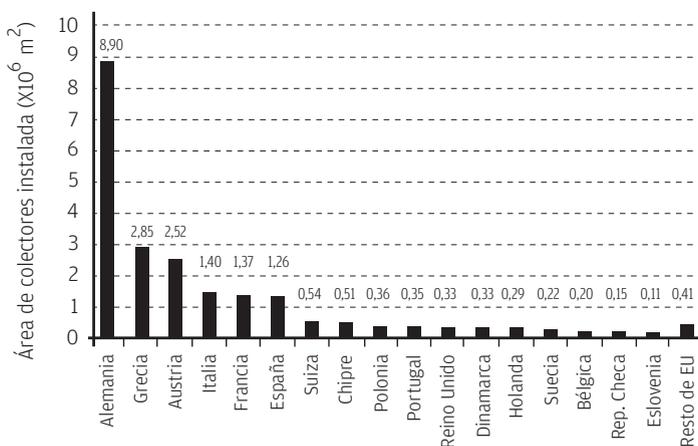
Figura 14. Evolución del área de colectores instalada en Europa, desde 1999 al 2009



El crecimiento del mercado no se dio en forma equilibrada en toda Europa, ya que en muchos países no existen políticas de promoción de las energías renovables. Además, Europa posee una gran variedad de climas y, en algunos casos, es más pertinente sacar provecho a otros recursos renovables como el eólico en el caso de Dinamarca o el geotérmico en el caso de Islandia. Sin embargo, una correcta política de promoción lleva a resultados positivos.

En la figura 15 se muestra el área de colectores instalados en cada país de la unión europea. El mercado solar térmico más grande es el de Alemania. Los países de Europa en donde más ha proliferado la energía solar térmica, son aquellos en donde hubo políticas de promoción implementadas. Los beneficios no son solo para el mercado. El crecimiento del mercado solar térmico ha permitido que Europa baje su dependencia de la importación de gas y su requerimiento energético para calor. Asimismo los beneficios ambientales son evidentes, ahorrándose la emisión de millones de toneladas de gases de efecto invernadero por año.

Figura 15. Área de colectores instalada en distintos países de Europa



Las diversas experiencias del continente europeo han llevado a la creación de un manual de buenas prácticas orientado hacia la creación de ordenanzas solares [8].

Del análisis de los casos expuestos surgen varios factores a tener en cuenta con respecto a las políticas de promoción de la energía solar térmica:

1. La implementación de la política de promoción debe ser llevada a cabo de forma sencilla. Esto significa que la misma

- debe estar concebida y diseñada de forma que su implementación no genere una burocracia excesiva, desalentando a la gente a la instalación de sistemas solares térmicos
2. La política puede estar basada en subsidios, deducciones de impuestos, tarifas «feed-in» o préstamos de bajo interés para fabricantes o usuarios finales.
 3. La política de promoción debe contemplar excepciones para casos en que no se pueda aplicar la energía solar térmica, como por ejemplo, edificios o viviendas que se encuentran en sombra total o parcial y cuyo aprovechamiento solar es nulo. Estos casos deben estar debidamente justificado a través de documentación adecuada, tales como los ábacos de asoleamiento.
 4. La política debe ser obligatoria y el porcentaje de aporte solar debe tener un valor mínimo de acuerdo con las características de la zona y las aplicaciones en las cuales se pretende implementar.
 5. El equipamiento contemplado, debe estar debidamente certificado. Esta condición es difícil de lograr en los inicios del mercado. En esos casos, los actores involucrados deben definir las calidades iniciales del mercado y las calidades a las que se pretende llegar una vez que el mercado evolucione favorablemente.
 6. Los procedimientos de cálculo y dimensionamiento de instalaciones deben estar definidos en la reglamentación. De esta manera, se evitan discrepancias entre diferentes interesados.
 7. La reglamentación debe estar orientada a la generación de un mercado solar que pueda sostenerse económicamente en forma independiente en el mediano plazo, de forma que su continuidad no sea dependiente de las políticas promocionales.
 8. Es imprescindible que estas acciones de promoción cuenten con apoyo técnico que garantice el uso de equipamiento de buena calidad y además permita formar a profesionales instaladores en el ámbito de solar térmica.
 9. Las instalaciones solares térmicas autorizadas dentro de la reglamentación o del régimen de promoción deben ser monitoreadas y se debe imponer un régimen de premios y

sanciones asociado a las inspecciones. Esto permite limitar las instalaciones ejecutadas con el único fin de cobrar el supuesto subsidio.

10. Es necesario acompañar la acción con estrategias de difusión e información a la población.
11. Es conveniente crear una política de promoción de las renovables en general y que cada tipo de recurso y tecnología tenga un apartado especial dentro de la misma.
12. Es importante que la política de promoción esté respaldada por todos los actores involucrados. De esta manera, es necesario crear un espacio de intercambio entre los distintos actores involucrados.



Bibliografía consultada

- [1] SPF: Institut für Solartechnik, Suiza, disponible en: (<http://www.solarenergy.ch>)
- [2] Solar Rating and Certification Corporation, disponible en: (<http://www.solar-rating.org/ratings/og100.html>)
- [3] <http://www.vademarco.com.ar>
- [4] <http://www.innovarsrl.com.ar>
- [5] Ges W. y Mauthner F. Informe “Solar Heat Worldwide” de la IEA Solar Heating & Cooling Programme, 2010, disponible en: (http://www.iea-shc.org/publications/downloads/Solar_Heat_Worldwide-2010.pdf)
- [6] Estadísticas de mediciones del Servicio Meteorológico Nacional del período 1981-1990, disponibles en: (<http://www.smn.gov.ar>)
- [7] ENRESS (Ente Regulador de Servicios Sanitarios). Informe “Estado de situación del servicio de agua potable en la provincia de Santa Fe”; Gerencia de Control de Calidad, 2008.
- [8] Ordenanzas Solares térmicas en Europa, disponible en: <http://www.solarordinances.eu>
- [9] Espacio multisectorial para la promoción de la energía solar térmica en el Uruguay, disponible en: <http://www.mesasolar.org>
- [10] Sitio de noticias del mundo de la energía solar térmica: <http://www.solarthermalworld.org>
- [11] Informe “Energías Renovables: Diagnóstico, barreras y propuestas”. Secretaría de Energía de la Nación, REEEP y Fundación Bariloche, junio 2009.

- [12] Tsilingiridis G. y Martinopoulos G., 2010. “Thirty years of domestic solar hot water systems use in Greece – energy and environmental benefits – future perspectives”. *Renewable Energy* 35, 490-497.
- [13] Olivier D., 2010. *Solar Thermal Markets in Europe Trends and Market Statistics 2009*. European Solar Thermal Industry federation (ESTIF). (www.estif.org).
- [14] Asociación de energía solar térmica de Europa, disponible en: (<http://www.estif.org>)
- [15] Organización de estandarización de colectores y sistemas solares térmicos de la unión europea, disponible en: <http://www.solarkeymark.org>
- [16] De Winter, Francis, 1996. *Solar Collectors, Energy Storage and Materials*”. MIT Press, Massachusetts, EEUU; ISBN 0262041049.
- [17] Grossi Gallegos Hugo, Righini Raúl, 2007. “*Atlas de Energía Solar de la República Argentina*”. ISBN: 978-987-9285-36-7.
- [18] Klein S. A. and Theilacker J. C., 1981. An Algorithm for Calculating Monthly-Average Radiation on Inclined Surfaces. *Trans. ASME J. Solar Energy Eng.* 103, 29.
- [19] Grossi Gallegos H., 2002. *Notas sobre radiación solar*. Ed. Univ. Luján. ISBN 987-9285-19-0
- [20] Collares-Pereira, M. And Rabl, A., 1979. The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Solar Energy*, vol.22, No.2, pp. 155.164.
- [21] Hack S. *International Experiences with the Promotion of Solar Water Heaters (SWH) at Household-level*. Cooperación Mexicano-Alemana, Programa PromoER. Ed. Forever Print. Mexico, 2006. ISBN 970-9983-12-1.
- [22] Duffie J.A and Beckman W.A, 2005. *Solar engineering of thermal processes*. Ed. Wiley and Sons, New Jersey, USA. ISBN 978-0471698678.
- [23] REN21, 2009. *Renewables Global Status Report: 2009*. Disponible en: <http://www.ren21.org> .

La presente edición reúne las características de un exhaustivo y detallado Manual de Energía Solar Térmica para Santa Fe, que ponemos al alcance de funcionarios gubernamentales, académicos, emprendedores, educadores y ciudadanos, en cuyas manos será, sin duda, una herramienta útil para avanzar en el desarrollo de comunidades más saludables, sustentables y en armonía con su ambiente. En las páginas de esta publicación convergen el trabajo cotidiano de la Secretaría de Estado de Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTel) en la misión de acercar los desarrollos de la ciencia y la tecnología para dar soluciones a la necesidad de la gente; la experticia y el compromiso del Observatorio de Energía y Sustentabilidad de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rosario.

ISBN 978-987-42-0615-2



OES Observatorio de Energía
y Sustentabilidad

UTN / Facultad Regional Rosario