

## MANUAL DE ENTRENAMIENTO EN INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO EN SISTEMAS DE CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA (SCSA)

DETAILED MANUAL INCLUDING **TRAINING  
COURSES** ON SWH SYSTEMS FOR  
INSTALLATION, OPERATION AND  
MAINTENANCE



# CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Glosario</b>  | <b>5</b>  |
| <b>2. Listado de Tablas Ecuaciones e Ilustraciones</b>                              | <b>11</b> |
| <b>3. Contexto mundial sobre cambio climático</b>                                   | <b>15</b> |
| <b>3.1 Cambio Climático y gases contaminantes</b>                                   | <b>16</b> |
| 3.1.1 Cambio Climático  | 16        |
| 3.1.2 Gases Contaminantes   | 18        |
| <b>3.2 Situación actual de la tecnología en el mundo</b>                            | <b>19</b> |
| 3.2.1 Calentadores Solares de Agua (CSA)  | 20        |
| 3.2.2 Otras tecnologías de energía solar térmica existentes                         | 24        |
| <b>3.3 Evolución de desarrollo del Mercado Nacional de CSA</b>                      | <b>26</b> |
| <b>3.4 Aspectos regulatorios y técnicos sobre CSA</b>                               | <b>27</b> |
| 3.4.1 Normas Internacionales para Captadores Solares (ISO9806:2017)                 | 28        |
| 3.4.1.1 Pruebas de rendimiento técnico  | 28        |
| <b>3.5 Resumen del capítulo</b>   | <b>29</b> |
| <b>3.6 Cuestionario capítulo 3</b>  | <b>30</b> |
| <b>4. Identificación y cálculo de recurso solar, potencial energético y sombras</b> | <b>32</b> |
| <b>4.1 Recurso solar</b>  | <b>32</b> |
| <b>4.2 Bases de datos climatológicos</b>  | <b>38</b> |
| <b>4.3 Cálculo de sombras</b>   | <b>39</b> |
| <b>4.4 Resumen del capítulo</b>   | <b>41</b> |
| <b>4.5 Cuestionario del capítulo 4</b>  | <b>41</b> |
| <b>5. Verificación de los elementos de montaje</b>                                  | <b>43</b> |
| <b>5.2 Verificación herramientas</b>  | <b>44</b> |
| <b>5.3 Revisión de planos y esquemas</b>  | <b>44</b> |
| <b>5.4 Verificación del sistema de distribución</b>                                 | <b>45</b> |
| <b>5.5 Verificación ubicación de componentes</b>                                    | <b>46</b> |
| <b>5.6 Resumen del capítulo</b>   | <b>47</b> |
| <b>5.7 Cuestionario del capítulo 5</b>  | <b>47</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>6. Instalación de los equipos</b>  | <b>49</b> |
| <b>6.1 Verificación equipos y componentes</b>                               | <b>49</b> |
| 6.1.1 Ejemplo de tipo de captadores solares                                 | 49        |
| 6.1.2 Termotanque o tanque acumulador                                       | 51        |
| 6.1.3 Estructura de soporte del captador                                    | 52        |
| 6.1.4 Grupo de bombeo   | 53        |
| 6.1.5 Regulador, sistema de control   | 54        |
| 6.1.6 Válvula mezcladora  | 55        |
| 6.1.7 Vaso de expansión   | 56        |
| 6.1.8 Conjunto de válvulas y tuberías                                       | 57        |
| 6.1.9 Esquema de montaje para captadores planos                             | 59        |
| 6.1.10 Esquema de montaje para captadores CPC                               | 60        |
| 6.1.11 Esquema de montaje del purgador para captadores planos               | 61        |
| 6.1.12 Esquema de montaje del purgador para captadores CPC                  | 61        |
| <b>6.2 Colocación de la estructura de soporte de los captadores</b>         | <b>62</b> |
| 6.2.1 Estructuras de acero galvanizado para captadores CPC                  | 62        |
| 6.2.2 Estructuras de acero galvanizado para captadores planos               | 65        |
| <b>6.3 Montaje de los captadores</b>  | <b>71</b> |
| <b>6.4 Conexión hidráulica de los captadores</b>                            | <b>72</b> |
| 6.4.1 Captadores planos   | 72        |
| 6.4.2 Captadores CPC  | 75        |
| <b>6.5 Instalación del Termotanque / acumulador</b>                         | <b>76</b> |
| <b>6.6 Instalación de sistema hidráulico</b>                                | <b>77</b> |
| <b>6.7 Circuito hidráulico</b>  | <b>79</b> |
| <b>6.8 Regulador</b>  | <b>80</b> |
| <b>6.9 Conexión a red de consumo</b>  | <b>81</b> |
| <b>6.10 Resumen del capítulo</b>  | <b>81</b> |
| <b>6.11 Cuestionario del capítulo 6</b>                                     | <b>82</b> |
| <b>7. Comisionado y puesta en marcha</b>                                    | <b>83</b> |
| <b>7.1 Revisar funcionamiento sensores y equipos de medición</b>            | <b>83</b> |
| <b>7.2 Llenado del sistema</b>  | <b>83</b> |
| <b>7.3 Verificación sistema eléctrico y de control</b>                      | <b>85</b> |
| <b>7. 4 Revisión de la bomba</b>  | <b>85</b> |
| <b>7.5 Revisión de materiales sobrantes y herramientas</b>                  | <b>85</b> |
| <b>7.6 Registro y reporte de puesta en marcha: Libro de Obra o Bitácora</b> | <b>85</b> |
| <b>7. 7 Realización de pruebas y ensayos</b>                                | <b>86</b> |
| <b>7.8 Protocolo en caso de anomalía</b>                                    | <b>86</b> |
| <b>7.9 Resumen del capítulo</b>   | <b>86</b> |
| <b>7.10 Cuestionario del capítulo 7</b>                                     | <b>87</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>8. Programa de Vigilancia y Mantenimiento</b>           | <b>88</b> |
| <b>8.1 Plan de Vigilancia</b>                              | <b>88</b> |
| <b>8.2 Mantenimiento preventivo</b>                        | <b>89</b> |
| 8.2.1. Sistema de captación                                | 89        |
| 8.2.2. Sistema de acumulación                              | 90        |
| 8.2.3 Circuito hidráulico                                  | 90        |
| 8.2.4 Sistema eléctrico y de control                       | 90        |
| <b>8.3 Mantenimiento correctivo</b>                        | <b>91</b> |
| <b>8.4 Resumen del capítulo</b>                            | <b>91</b> |
| <b>8.5 Cuestionario del capítulo 8</b>                     | <b>92</b> |
| <br>   |           |
| <b>9. Bibliografía</b>                                     | <b>93</b> |
| <br>   |           |
| <b>10. Respuestas a los cuestionarios de cada capítulo</b> | <b>94</b> |

# 1. GLOSARIO<sup>1</sup>

## Acrónimos:

**COP:** Conferencia de las partes

**CSA:** calentadores solares de agua

**INADEH:** Instituto Nacional de Formación Profesional y Capacitación para el Desarrollo Humano.

**ONU:** Organización de la Naciones Unidas

**SNE:** Secretaría Nacional de Energía.

**SSE:** Surface Meteorology and Solar Energy (Meteorología de la Superficie y Energía Solar).

## Glosario general del manual:

**Brújula:** Instrumento que sirve de orientación y que tiene su fundamento en la propiedad de las agujas magnetizadas.

**Colector:** Dispositivo que absorbe la energía solar incidente, la convierte en energía térmica y la transfiere al fluido que está en contacto con él. También llamado calentador solar.

**Colector de circuito:** Circuito de circulación del fluido de trabajo que incluye colectores solares, bomba o ventilador, tubería de trabajo e intercambiador de calor (si es que hay uno presente), que es utilizado para transferir calor de los colectores al dispositivo de almacenamiento de calor.

**Condiciones mínimas de seguridad para la instalación:** Condiciones que permiten salvaguardar la seguridad e integridad del instalador sin poner en riesgo su salud.

**Colector solar- Colector solar térmico- Calentador solar- Panel- Panel solar:** Dispositivo diseñado para absorber radiación solar y transferir la energía térmica producida a un fluido de trabajo. También llamado Calentador Solar de Agua (CSA).

**Sistema de Respaldo:** Equipo de calentamiento de agua que utiliza energía convencional (combustible o electricidad) y que funciona como calentador alternativo de agua cuando el calentador solar no entrega temperatura suficiente.

**Manómetro:** Instrumento de medida que sirve para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes.

**Sistema de calentamiento solar:** Sistema compuesto por colectores solares y otros componentes para el aprovechamiento de energía térmica.

**Sistema termosifón:** Sistema que sólo utiliza los cambios de densidad del fluido de transferencia de calor para lograr la circulación entre el colector y el dispositivo de almacenamiento o entre el colector y el intercambiador de calor.

**Sistema con circulación forzada:** Sistema que utiliza una bomba o un ventilador para hacer circular el fluido de transferencia de calor a través del (de los) colector (es).

**SWH:** Solar Water Heater (CSA, en español).

---

<sup>1</sup> Ver más detalle en el Proyecto de Norma Panameña de Energía Solar Térmica, definiciones y terminología.

## Elementos de la astronomía de posición en el sistema Sol Tierra>

### **Afelio - Aphelio**

Punto de la órbita elíptica de la Tierra, el cual está más alejado del Sol.

**Nota:** En el afelio (Aphelio), la Tierra está aproximadamente a  $152 \times 10^6$  km del Sol.

### **Perihelio**

Punto de la órbita elíptica de la Tierra, el cual está más cercano al Sol.

**Nota:** En el perihelio, la Tierra está aproximadamente a  $147 \times 10^6$  km del Sol.

### **Declinación solar (d)**

Es una de las coordenadas del Sistema Geocéntrico que permite localizar al Sol en la bóveda celeste y es el ángulo formado por línea Sol Tierra y el plano del ecuador terrestre (norte positivo).

**Nota:** La declinación solar es cero en las fechas de los equinoccios, (21 de marzo y 22 de septiembre) variando cíclicamente de  $+ 23,45^\circ$  que corresponde al solsticio de verano (junio 22) a  $-23,45^\circ$  que corresponde al solsticio de invierno (diciembre 22).

### **Ángulo acimutal solar - Acimut solar ( $S_g$ )**

Es una de las coordenadas del Sistema Local que permite localizar al Sol en la bóveda celeste. Este es el ángulo formado por la línea recta que une al Sol (localizado en la bóveda celeste) y un observador en la Tierra proyectada en el plano horizontal y la línea que va del punto de observación; al Sur (en el hemisferio Norte) o al Norte (en el hemisferio Sur), Este ángulo se mide sobre el plano horizontal local, a partir de la línea Norte Sur con signo negativo hacia el Este y signo positivo al Oeste.

**Nota:** El acimut solar es negativo en la mañana,  $0^\circ$  al medio día solar, hora a la que culmina el Sol, y positivo en la tarde. A la hora de la culminación, por definición, son las 12 en Tiempo Solar Verdadero (ver definición más adelante).

### **Cenit**

Es el punto de intersección de la línea vertical sobre el observador y la bóveda celeste.

### **Ángulo cenital solar ( $Zq$ )**

Es una de las coordenadas del Sistema Local que permite localizar al Sol en la bóveda celeste y es el ángulo formado por la línea recta que va del observador sobre la Tierra al Sol, y la línea vertical sobre el punto de observación.

### **Altitud angular solar aparente - Ángulo de elevación solar (h)**

Es el ángulo complementario del ángulo cenital solar.  $h=90^\circ - Zq$ .

## Ángulo horario solar ( $w$ )

Es una de las coordenadas del Sistema Geocéntrico que permite localizar al Sol en la bóveda celeste y es el ángulo formado por la proyección de la línea Sol Tierra sobre el plano del ecuador celeste, y la proyección de la línea Norte Sur sobre ese mismo plano.

**Nota:** El ángulo horario solar cambia aproximadamente a razón de  $360^\circ$  en 24 horas (o bien, aproximadamente  $15^\circ$  por hora). Este ángulo es negativo para las horas de la mañana y positivo para las horas de la tarde y es  $0^\circ$  a medio día solar.

## Ángulo de incidencia ( $\rho$ )

Cuando se trata de la Radiación Solar Directa, este ángulo es el que existe entre la línea que une el centro del disco solar y un punto en la superficie irradiada (o sea la dirección de propagación de la Radiación Solar Directa) y una normal a esta superficie.

**Nota:** Las variables de su ecuación de movimiento son el tiempo solar verdadero y la declinación del Sol.

## Diagrama de la trayectoria solar -Gráfica solar

Representación gráfica de la posición del Sol (altura angular solar aparente en función del ángulo acimutal), con la hora del día como parámetro, para diferentes días del año.

**Nota1:** Existen varios métodos diferentes de proyección.

**Nota 2:** Si se usa el tiempo solar verdadero, el diagrama es válido para todos los lugares de la misma latitud geográfica.

## Terminología y cantidades de radiación - cantidades radiométricas

### Radiación

Propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o de partículas, de acuerdo con el concepto onda-partícula de la física moderna.

### Irradiancia ( $G$ )

Es la densidad de flujo de energía de radiación, o bien es la razón (o tasa) a la cual cierta cantidad de energía de radiación es emitida o recibida por un objeto por unidad de tiempo y por unidad de superficie.

**Nota 1:** La radiación irradiancia se expresa generalmente en Watts por metro cuadrado ( $W \bullet m^{-2}$ ).

### Irradiación ( $H$ )

Es la cantidad de energía de irradiación que incide sobre una cierta superficie durante cierto tiempo y por unidad de área, representada por la integral de la irradiancia o densidad de flujo de energía de radiación que recibe la superficie en un intervalo de tiempo dado, intervalo que en general puede ser por una hora o un día.

**Nota 1:** La irradiación se expresada generalmente en Mega Joules por metro cuadrado ( $MJ \bullet m^{-2}$ ), para el intervalo de tiempo dado.  $3,6MJ/m^2 = 1 kWh/m$

**Nota 2:** La energía de radiación puede ser emitida, absorbida, reflejada y/o transmitida por cierta superficie.

### **Radiación total -Radiación total incidente**

Son todas las radiaciones, incluyendo las radiaciones de onda corta y onda larga.

### **Radiación solar- Radiación de onda corta - Radiación emitida por el sol**

Es la energía de radiación que emite el Sol y que tiene longitudes de onda que van de 100 nm a 5,000 nm.

**Nota:** Aproximadamente el 99% de la radiación solar que incide en la superficie de la Tierra, tiene longitudes de onda menores a 4  $\mu\text{m}$ .

### **Energía solar**

Energía de radiación emitida por el Sol en forma de ondas electromagnéticas.

**Nota 1:** La energía solar que llega a la superficie terrestre tiene longitudes de onda que van de 0.280  $\mu\text{m}$  a 4,000  $\mu\text{m}$ .

**Nota 2:** Generalmente se le atribuye el significado de energía solar a cualquier energía que proviene del Sol y que sea aprovechable transformándola ó convirtiéndola en otro tipo de energía.

### **Espectro solar**

Distribución espectral de la irradiancia o densidad de flujo de la energía solar (con valores apreciables) respecto de su longitud de onda (o frecuencia) emitida por el Sol. Las longitudes de onda que cubren el espectro solar van de 0.100  $\mu\text{m}$  a 4,000  $\mu\text{m}$ .

### **Radiación directa- Radiación solar directa**

Radiación solar que incidente en un punto dado sobre la superficie terrestre, y que se propaga dentro de un ángulo sólido subtendido por el disco solar.

**Nota 1:** En general, la radiación solar directa se mide con instrumentos los cuales constan de un dispositivo colimador con ángulos de visión de campo (que cubren) hasta de 6 grados. Por lo tanto, una parte de la radiación difusa (esparcida) forma parte de la radiación circunsolar, ya que el disco solar por si mismo tiene un diámetro angular de aproximadamente 0.5°.

**Nota 2:** La radiación directa es usualmente se mide a una incidencia normal.

**Nota 3:** Aproximadamente el 99% de la radiación solar directa recibida en el suelo está contenida dentro del rango de longitud de onda de 0.280  $\mu\text{m}$  a 4,000  $\mu\text{m}$ .

### **Radiación global- Radiación solar global**

Radiación solar hemisférica recibida por un plano o superficie en posición horizontal.

**Nota 1:** Aproximadamente el 99 % de la radiación solar global que incide en la superficie de la Tierra está contenida dentro del rango de longitud de onda que va desde 0.280  $\mu\text{m}$  hasta 4,000  $\mu\text{m}$ .

**Nota 2:** Los ingenieros solares frecuentemente usan el término de "radiación global" en lugar de "radiación

hemisférica". Este uso es fuente de confusión si la superficie a la cual se hace referencia no es horizontal.

### **Radiación difusa- Radiación solar difusa**

Radiación solar hemisférica menos la radiación solar directa, esto es, sólo se considera la que por esparciación incide sobre la superficie proveniente de todas las direcciones del hemisferio celeste. Véase: Radiación atmosférica.

**Nota 1:** Para los propósitos de la tecnología de energía solar, la radiación dispersa incluye la radiación solar difusa en la atmósfera, así como la radiación solar reflejada por el suelo, y que dependiendo de la inclinación de la superficie receptora esta radiación incide en ella.

**Nota 2:** El ángulo de inclinación y el acimut de la superficie receptora deberán de ser especificados, por ejemplo, en posición horizontal.

### **Radiación atmosférica- Radiación del cielo**

Radiación de longitud de onda larga emitida por y propagada (en general sufriendo absorción) a través de la atmósfera.

### **Radiación solar extraterrestre**

Radiación solar que incide en el "límite superior" de la atmósfera de la tierra.

### **Constante solar ( $I_0$ )**

Es la irradiancia de la radiación solar integrada respecto de las longitudes de onda del espectro de radiación solar que incide en el límite superior de la atmósfera terrestre sobre un plano normal a la dirección de propagación de esta radiación, y cuando la Tierra está a su distancia media del sol (149,5x106 km).

**Nota:** El valor medido de la Constante Solar es de  $1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \pm 7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  (WMO, Commission for Instruments and Methods of Observation, 8th session, Mexico City, 1981).

### **Irradiancia solar directa ( $G_b$ )**

Es la densidad de flujo de la radiación solar directa

**Nota 1:** Si la radiación solar directa incide perpendicularmente sobre la superficie plana del sensor; entonces la irradiancia solar normal es la que se mide.

**Nota 2:** La irradiancia solar directa se expresa en Watts por metro cuadrado ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ).

### **Irradiancia global- Irradiancia solar global**

Es la densidad de flujo de la radiación solar global.

**Nota:** Se expresa en Watts por metro cuadrado ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ).

## **Irradiancia solar difusa ( $G_d$ )**

Es la densidad de flujo de la radiación solar difusa (o esparcida).

**Nota 1:** El ángulo de inclinación y el acimut de la superficie receptora deberán de ser especificados, por ejemplo, en posición horizontal.

**Nota 2:** La irradiancia solar difusa o esparcida se expresa en Watts por metro cuadrado ( $W \cdot m^{-2}$ ).

## **Medición de la radiación**

### **Radiómetro**

Instrumento utilizado para medir radiación.

**Nota:** Dependiendo de la construcción del dispositivo, siguiendo cierto diseño geométrico, el instrumento puede medir las diferentes componentes de la radiación solar, v.g. radiación global, radiación difusa, radiación directa, etc.

### **Piranómetro**

Radiómetro diseñado para medir la irradiancia de la radiación solar global y/o la irradiancia de la radiación solar difusa (esparcida).

**Nota:** Un instrumento de éstos también puede medir radiación solar que incide en planos arbitrariamente orientados e inclinados.

### **Piranómetro espectral**

Es un piranómetro que tiene la capacidad de medir la radiación solar espectral ya sea usando filtros discretos o sistemas ópticos de resolución espectral fina, por ejemplo, rejillas de difracción.

### **Pirheliómetro -Actinómetro**

Radiómetro que utiliza un sistema colimador de la radiación solar con un dispositivo de apuntamiento al Sol para medir la irradiancia solar directa bajo a incidencia normal.

## 2. LISTADO DE TABLAS ECUACIONES E ILUSTRACIONES

### Listado de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Sistemas termosifónicos                                   | 22 |
| Tabla 2. Sistemas de captadores solares térmicos                   | 26 |
| Tabla 3. Superficie por instalar por sector                        | 27 |
| Tabla 4. Secuencia de pruebas                                      | 29 |
| Tabla 5. Equipos de seguridad                                      | 43 |
| Tabla 6. Herramientas de trabajo                                   | 44 |
| Tabla 7. Características de captadores solares                     | 49 |
| Tabla 8. Tabla de conversión de unidades                           | 50 |
| Tabla 9. Características de termotanques                           | 51 |
| Tabla 10. Partes de una estructura de soporte                      | 52 |
| Tabla 11. Características de grupo de bombeo                       | 54 |
| Tabla 12. Características de sistema de regulación                 | 55 |
| Tabla 13. Ajustes de válvula mezcladora                            | 56 |
| Tabla 14. Características de tipos de vaso de expansión            | 57 |
| Tabla 15. Conjunto de válvulas y accesorios                        | 58 |
| Tabla 16. Equipos que componen el sistema de captadores planos     | 60 |
| Tabla 17. Equipos que componen el sistema de captadores planos     | 61 |
| Tabla 18. Dimensiones de estructura para captador plano            | 65 |
| Tabla 19. Dimensiones de la estructura de un captador plano        | 69 |
| Tabla 20. Conexión de regulador                                    | 80 |
| Tabla 21. Plan de vigilancia                                       | 88 |
| Tabla 22. Mantenimiento preventivo, sistema de captación           | 89 |
| Tabla 23. Mantenimiento preventivo, sistema de acumulación         | 90 |
| Tabla 24. Mantenimiento preventivo, circuito hidráulico            | 90 |
| Tabla 25. Mantenimiento preventivo, sistema eléctrico y de control | 91 |

## Listado de ilustraciones

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1. Producción mundial de energía primaria en 2016  | 17 |
| Ilustración 2. Cambios en Tª media global, nivel del mar y cantidad de hielo en hemisferio N                       | 17 |
| Ilustración 3. Capacidad global en operación y energía suministrada por tecnología.                                | 19 |
| Ilustración 4. Capacidad instalada por tecnología al 2017  | 19 |
| Ilustración 6. Captador de tubos de vacío: (izquierda) flujo indirecto, (derecha) flujo directo                    | 21 |
| Ilustración 7. Sistemas solares autocontenidos   | 24 |
| Ilustración 8. Tipos de captadores solares para calentamiento de aire  | 24 |
| Ilustración 9. Captador cilíndrico parabólico (CPC)  | 25 |
| Ilustración 10. Concentrador de canal parabólico   | 25 |
| Ilustración 11. Receptor de torre central  | 26 |
| Ilustración 12. Reacción de fusión nuclear en el Sol   | 32 |
| Ilustración 13. Estructura solar   | 33 |
| Ilustración 14. Espectro solar en el tope de la atmósfera y al nivel del mar                                       | 33 |
| Ilustración 15. Órbita de la Tierra alrededor del Sol a lo largo del año   | 34 |
| Ilustración 16. Variación de la dirección de los rayos solares sobre la superficie de la Tierra a lo largo del año | 35 |
| Ilustración 17. Factores que influyen en la atenuación de la radiación solar incidente                             | 35 |
| Ilustración 18. Diagrama y foto de un piranómetro  | 36 |
| Ilustración 19. Diagrama y foto de un pirheliómetro  | 37 |
| Ilustración 20. Estación solarimétrica automatizada  | 37 |
| Ilustración 21. Radiación solar promedio diaria (kWh/m <sup>2</sup> -día)  | 38 |
| Ilustración 22. Descripción gráfica de la ecuación de h (altura)   | 40 |
| Ilustración 23. Distancia entre captadores u obstáculos  | 40 |
| Ilustración 24. Imagen de las conexiones del captador plano  | 50 |
| Ilustración 25. Imagen de las conexiones del captador de tubo de vacío   | 50 |
| Ilustración 26. Ejemplos de acumulador con 1 y 2 serpentines   | 52 |
| Ilustración 27. Ejemplo de estructura de soporte   | 53 |
| Ilustración 28. Detalle y conexionado del grupo de bombeo bicolumna (ejemplo)                                      | 54 |
| Ilustración 29. Imagen representativa de válvula mezcladora  | 56 |
| Ilustración 30. Imagen representativa de vaso de expansión   | 57 |
| Ilustración 31. Esquema de montaje para captadores planos  | 59 |
| Ilustración 32. Esquema de montaje para captadores CPC   | 60 |
| Ilustración 33. Montaje de purgadores para captadores planos   | 61 |

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 34. Montaje de purgadores para captadores CPC                | 61 |
| Ilustración 35. Montaje sobre cubierta plana (1) captadores CPC          | 62 |
| Ilustración 36. Montaje sobre cubierta plana (2) captadores CPC          | 62 |
| Ilustración 37. Montaje sobre cubierta inclinada (1) captadores CPC      | 63 |
| Ilustración 38. Montaje sobre cubierta inclinada (2) captadores CPC      | 63 |
| Ilustración 39. Montaje sobre cubierta inclinada (3) captadores CPC      | 63 |
| Ilustración 40. Montaje sobre cubierta inclinada (4) captadores CPC      | 64 |
| Ilustración 41. Montaje sobre cubierta inclinada (5) captadores CPC      | 64 |
| Ilustración 42. Montaje sobre cubierta inclinada (6) captadores CPC      | 64 |
| Ilustración 43. Montaje sobre cubierta inclinada (7) captadores CPC      | 65 |
| Ilustración 44. Dimensiones de la estructura de un captador plano        | 65 |
| Ilustración 45. Montaje sobre cubierta plana (1) captadores plano        | 66 |
| Ilustración 46. Montaje sobre cubierta plana (2) captadores plano        | 66 |
| Ilustración 47. Montaje sobre cubierta plana (3) captadores plano        | 66 |
| Ilustración 48. Montaje sobre cubierta plana (4) captadores plano        | 67 |
| Ilustración 49. Montaje sobre cubierta plana (5) captadores plano        | 67 |
| Ilustración 50. Montaje sobre cubierta plana (6) captadores plano        | 67 |
| Ilustración 51. Montaje sobre cubierta plana (7) captadores plano        | 68 |
| Ilustración 52. Montaje sobre cubierta plana (8) captadores plano        | 68 |
| Ilustración 53. Montaje sobre cubierta plana (9) captadores plano        | 68 |
| Ilustración 54. Dimensiones de la estructura de un captador plano        | 68 |
| Ilustración 55. Montaje sobre cubierta inclinada (1) captadores plano    | 69 |
| Ilustración 56. Montaje sobre cubierta inclinada (2) captadores plano    | 69 |
| Ilustración 57. Montaje sobre cubierta inclinada (3) captadores plano    | 70 |
| Ilustración 58. Montaje sobre cubierta inclinada (4) captadores plano    | 70 |
| Ilustración 59. Montaje sobre cubierta inclinada (5) captadores plano    | 70 |
| Ilustración 60. Montaje sobre cubierta inclinada (5) para dos captadores | 71 |
| Ilustración 61. Montaje de los captadores (2)                            | 71 |
| Ilustración 62. Montaje de los captadores (3)                            | 72 |
| Ilustración 63. Montaje de los captadores (4)                            | 72 |
| Ilustración 64. Conexión hidráulica entre captadores planos (1)          | 73 |
| Ilustración 65. Conexión hidráulica entre captadores planos (2)          | 73 |
| Ilustración 66. Conexión hidráulica entre captadores planos (3)          | 73 |
| Ilustración 67. Conexión hidráulica entre captadores planos (4)          | 73 |

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 68. Conexión hidráulica entre captadores planos (5) | 74 |
| Ilustración 69. Conexión hidráulica entre captadores planos (6) | 74 |
| Ilustración 70. Conexión hidráulica entre captadores planos (7) | 74 |
| Ilustración 71. Conexión hidráulica entre captadores CPC (1)    | 75 |
| Ilustración 72. Conexión hidráulica entre captadores CPC (2)    | 75 |
| Ilustración 73. Conexión hidráulica entre captadores CPC (3)    | 75 |
| Ilustración 74. Conexión hidráulica entre captadores CPC (4)    | 76 |
| Ilustración 75. Instalación del termotanque (1)                 | 76 |
| Ilustración 76. Instalación del termotanque (2)                 | 77 |
| Ilustración 77. Instalación del termotanque (3)                 | 77 |
| Ilustración 78. Instalación del termotanque (4)                 | 77 |
| Ilustración 79. Montaje de grupo de bombeo (1)                  | 78 |
| Ilustración 80. Montaje de grupo de bombeo (2)                  | 78 |
| Ilustración 81. Montaje de vaso de expansión (1)                | 78 |
| Ilustración 82. Montaje de vaso de expansión (2)                | 79 |
| Ilustración 83. Montaje de regulador (1)                        | 80 |
| Ilustración 84. Montaje de regulador (2)                        | 81 |
| Ilustración 85. Conexión a la red                               | 81 |
| Ilustración 86. Llenado del sistema                             | 84 |

### 3. CONTEXTO MUNDIAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

La seguridad de abastecimiento de energía y la protección del medio ambiente han adquirido una gran importancia en los últimos años. En particular, la firma del Protocolo de Kioto de 1997 sobre el cambio climático reforzó la importancia de la dimensión medioambiental y del desarrollo sostenible en la política energética mundial y comunitaria.

Las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero y otros contaminantes pueden reducirse significativamente sustituyendo los combustibles fósiles por energías renovables. Además, las fuentes renovables son de carácter local, lo que permite ayudar a diversificar la matriz energética nacional y contribuye a mejorar la seguridad de suministro energético.

Son renovables aquellas fuentes de energía que se reabastecen de forma continua en contraposición con los combustibles fósiles como el petróleo, carbón, leña, gas natural y LP y uranio, de los que existen unas determinadas disponibilidades agotables en un plazo de tiempo determinado que puede ser más o menos largo. Por ello tienen un carácter limpio y de bajo impacto ambiental en la etapa de generación.

Si bien se trata de fuentes energéticas y tecnologías muy heterogéneas, hay algunos elementos comunes que constituyen su sello de identidad:

- Contribuyen a la diversificación energética.
- Incrementan el nivel de autoabastecimiento.
- Generan empleo local.
- Tecnología accesible en la mayoría de los casos.
- Son la mejor opción desde el punto de vista medioambiental, social y económico.

El recurso existente de energía solar es inmenso. La cantidad de energía solar interceptada por la Tierra es más de tres órdenes de magnitud que la demanda energética mundial. Junto a la referida abundancia de algunas fuentes renovables, cabe también reseñar su buena distribución geográfica que contrasta con la de los combustibles habituales.

La energía obtenida a partir de las fuentes de energía renovables desempeña una función capital en la diversificación y la sostenibilidad energético, así como en la lucha contra el cambio climático.



Crédito: E3 Energy · País: Sudáfrica · Sector: Industrial (cuero) · Tipo: Colector solar de placa plana.

## 3.1 Cambio Climático y gases contaminantes

### 3.1.1 Cambio Climático

El cambio climático es el mal de nuestro tiempo y sus consecuencias pueden ser devastadoras si no reducimos drásticamente la dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. De hecho, los impactos del cambio climático ya son perceptibles y quedan puestos en evidencia por datos como:

- La temperatura global promedio para 2015-2019 está en camino de ser la más cálida de cualquier otro período equivalente registrado. Actualmente se estima en 1.1 °C, un grado más por encima de los tiempos preindustriales (1850-1900)<sup>2</sup>.
- La subida del nivel del mar.
- El progresivo deshielo de las masas glaciares, como el Ártico.
- Periodos más extensos de sequías.
- Aumento en la frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos, como tormentas y huracanes.

Pero hoy también estamos viendo los impactos económicos y sociales, que serán cada vez más graves, como:

- Daños en las cosechas y en la producción alimentaria.
- Los riesgos en la salud.
- Poblaciones devastadas por fenómenos naturales extremos.
- Mega-incendios.

Las emisiones acumuladas hasta el momento actual parece que conllevarán un incremento de la temperatura global de hasta 3.5 °C hasta 2050, el tiempo de actuar se agota. Se deben alcanzar las emisiones neutras en 2045-2055, de acuerdo con el reporte de 2019 del IPCC<sup>3</sup>. El cambio climático es un problema global que alcanza una perspectiva ambiental, política, económica y social en la que las peores previsiones también implican enormes pérdidas económicas. Y es que cuanto más tardemos en actuar, mucho más elevadas serán las inversiones para la adaptación al aumento de la temperatura y/o a la mitigación de los efectos de ese aumento.

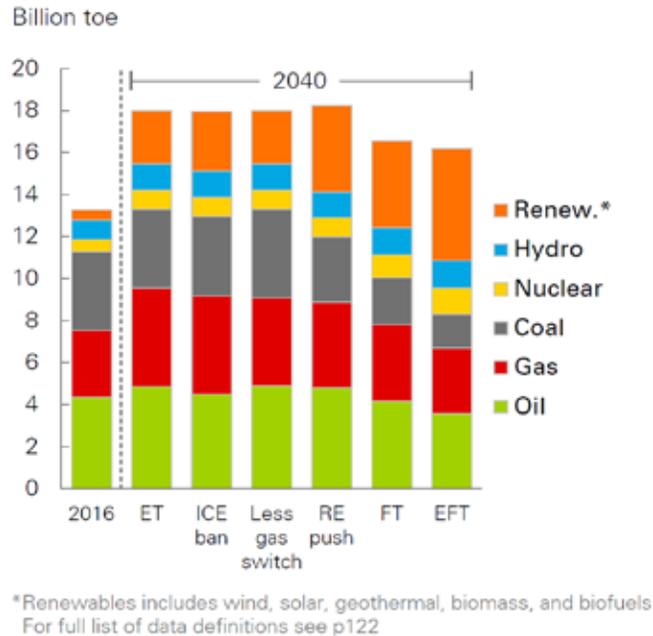
En 2016, el mayor porcentaje de la energía usada (energía primaria) a nivel mundial provenía de combustibles fósiles. Según el reporte BP Energy Outlook, el porcentaje de energías renovables aumentará en todos sus escenarios:

---

2 Según artículo de la ONU (ver <https://news.un.org/es/story/2019/09/1462482>)

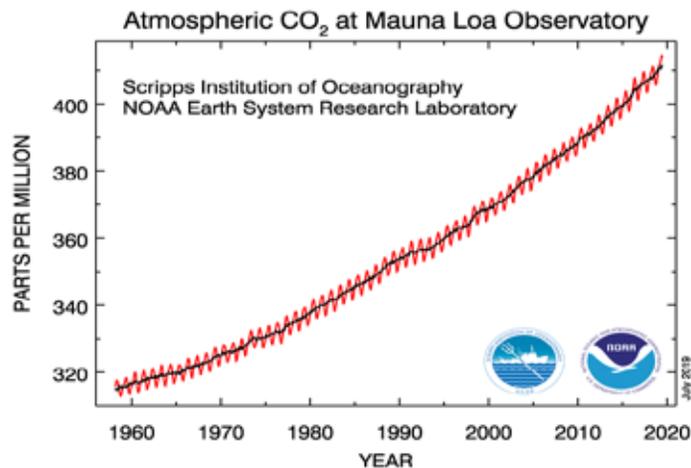
3 Reporte IPCC (2019 edition), Global warming of 1.5°C

## Primary energy consumption by fuel



**Ilustración 1. Producción mundial de energía primaria en 2016<sup>4</sup>**

Algunas evidencias claras del cambio climático lo podemos observar en la siguiente gráfica:



**Ilustración 2. Cambios en T<sup>a</sup> media global, nivel del mar y cantidad de hielo en hemisferio N**

Según los datos del Observatorio de Mauna Loa en Hawai (Ilustración 2), la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es actualmente de 415.26 partes por millón (ppm), mucho más que en cualquier otro punto de los últimos 800,000 años, desde antes de la evolución del homo sapiens. En la ilustración, la línea negra muestra la tendencia alcista y la línea roja que la acompaña muestra la variabilidad de esa tendencia.

<sup>4</sup> BP Energy Outlook report (2018 edition)

### 3.1.2 Gases Contaminantes

Se denominan gases de efecto invernadero (GEI) a los gases resultantes de la actividad humana (origen antropogénico) que forman parte de la atmósfera y cuya presencia contribuyen al efecto invernadero.

Los gases principales son:

**El vapor de agua:** consecuencia de la evaporación. La cantidad de vapor de agua en la atmósfera depende de la temperatura de la superficie del océano. La mayor parte se origina como resultado de la evaporación natural, en la que no interviene la acción del hombre.

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** principal responsable del efecto invernadero. La concentración en la atmósfera es debido a la quema de combustibles fósiles para generación eléctrica, procesos industriales y medios de transporte. Su emisión deriva de la combustión de diversas fuentes como petróleo, carbón, gas, madera o bien por erupciones volcánicas.

**Metano (CH<sub>4</sub>):** su origen se encuentra en las fermentaciones producidas por bacterias anaerobias especializadas que se encuentran en zonas pantanosas, cultivos como el arroz y en las emisiones desde el tracto intestinal del ganado. También se produce por los escapes de depósitos naturales y conducciones industriales.

**Óxido nítrico (N<sub>2</sub>O):** Gas invernadero que se produce principalmente a través del uso masivo de fertilizantes nitrogenados en la agricultura intensiva. También lo producen otras fuentes como las centrales térmicas, tubos de escape de automóviles y motores de aviones, quema de biomasa y fabricación de nylon y ácido nítrico.

**Los clorofluorocarbonos (CFC):** Son compuestos químicos artificiales que se encuentran presentes en pequeñas concentraciones en la atmósfera pero que son extremadamente potentes en su efecto invernadero. Tienen múltiples usos industriales en sistemas de refrigeración, como componentes de aerosoles, producción de aluminio y aislantes eléctricos entre otros. El uso de estos compuestos se prohibió a nivel global en concordancia con el Protocolo de Montreal<sup>5</sup>.

**El ozono troposférico (O<sub>3</sub>):** también originado por la quema de fuentes de energía contaminantes.

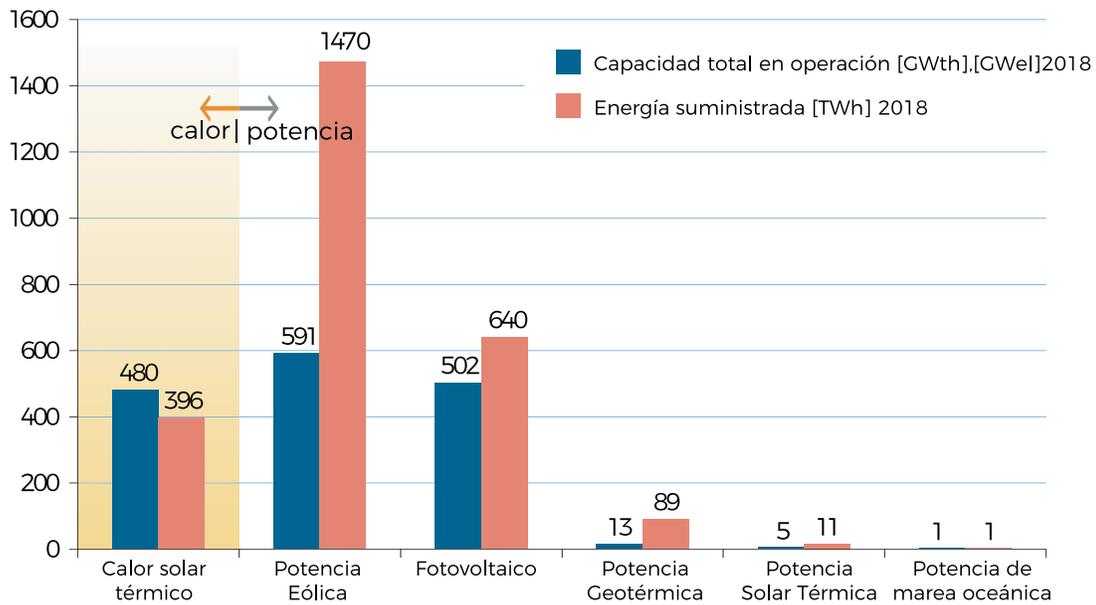
El problema del cambio climático es un problema global que afecta a todos. Las posibles soluciones son todas las actividades que consigamos desarrollar y mantener para mitigar ese cambio. A nivel nacional, se están desarrollando planes que en distintos sectores tienen por objetivo reducir las emisiones y combatir así el cambio climático. Un ejemplo de esto es el Proyecto Termosolar Panamá que tiene como objetivo principal la reducción de gases contaminantes gracias al uso de CSA. Esta tecnología permite desplazar el uso de combustibles fósiles, utilizando la energía solar para calentar el agua. Esto evita la quema de gas o el uso de electricidad la cual es producida en parte por combustibles fósiles.

La Ilustración 3 muestra la distribución al 2018 de la capacidad global en operación y energía suministrada por tecnología renovable. La solar térmica representa el tercer lugar solo superada por el rápido crecimiento de la energía eólica y fotovoltaica.

---

<sup>5</sup> Protocolo de Montreal (<https://www.unenvironment.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol>)

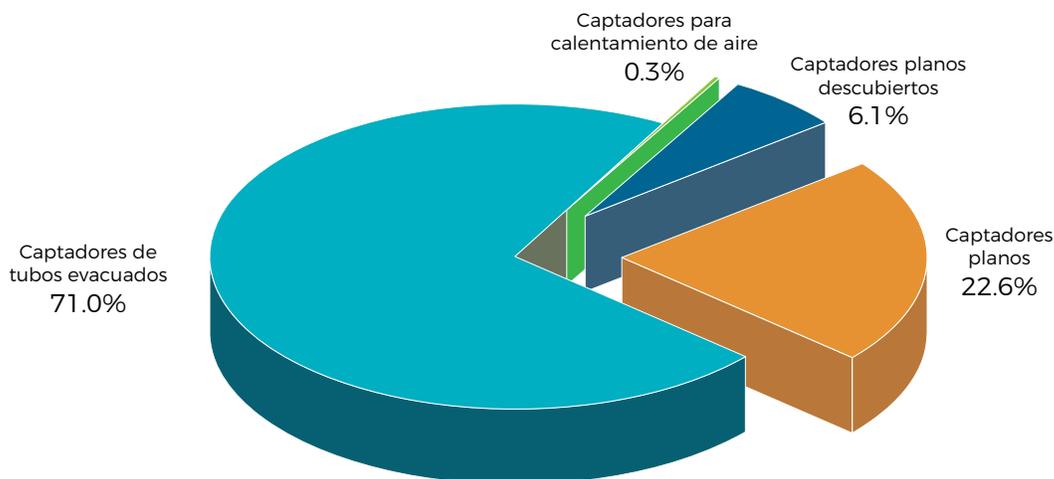
Capacidad global en operación [GWel], [GWth] y energía suministrada [Twhel], [TWhth], 2018



**Ilustración 3. Capacidad global en operación y energía suministrada por tecnología.**

### 3.2 Situación actual de la tecnología en el mundo<sup>6</sup>

En 2017 la superficie mundial de captadores solares de agua en operación fue de 678,829,894 m<sup>2</sup>, distribuidos de la siguiente manera (Ilustración 4): captadores planos descubiertos (6.05%), captadores planos cubiertos (22.63%), captadores de tubos de vacío (71.05%) y captadores de aire (0.26%). China tiene instalados el 70.61% de todos los captadores existentes en el mundo ocupando el 90.5% del total de superficie de captadores de tubos de vacío en operación en el mundo.



**Ilustración 4. Capacidad instalada por tecnología al 2017**

<sup>6</sup> W. Weiss, M. Spörk-Dür (2019 edition), Solar Heat Worldwide, Global Market Development and Trends in 2018, Solar Heating and Cooling Programme, International Energy Agency.

De los sistemas instalados hasta 2017, los sistemas termosifónicos de agua caliente a nivel mundial representan el 78%, mientras que el 22% restante son sistemas de convección forzada.

### 3.2.1 Calentadores Solares de Agua (CSA)

El principio fundamental de funcionamiento de un captador solar se basa en el aprovechamiento de la propiedad que posee una superficie revestida de negro o de una sustancia de material selectivo, de absorber la radiación solar en un alta proporción. La radiación solar se transforma en energía térmica, ya sea en forma de agua caliente, aire caliente, etc., por medio de los captadores solares térmicos

Pueden clasificarse en los siguientes tipos:

**Captador solar plano.** También llamado colector solar térmico, está formado por lo general por una superficie plana a la que se adhiere una serie de tubos por los que circula un fluido que se calienta a su paso por el colector. Todo el conjunto está revestido de una superficie negra absorbente selectiva. Pueden ser, a su vez:

- **Captador plano descubierto** (Ilustración 5, izquierda). Sistema más económico y de alto rendimiento, cuando se operan a temperaturas de uso de más de 40°C, utilizado para el calentamiento de agua en piscinas.
- **Captador plano protegido** (Ilustración 5, derecha). Para evitar las pérdidas de calor por convección (pérdidas térmicas), y además proteger al conjunto de las condiciones atmosféricas, se coloca una cubierta transparente (vidrio, policarbonato, etc.) entre la superficie de absorción y el medio ambiente. Para evitar la pérdida de calor por conducción, el conjunto lleva en su parte posterior y en algunos casos en los laterales una capa de material aislante térmico que puede ser de poliuretano expandido, fibra de vidrio, etc. Finalmente cuenta con un marco o caja para darle rigidez al captador.

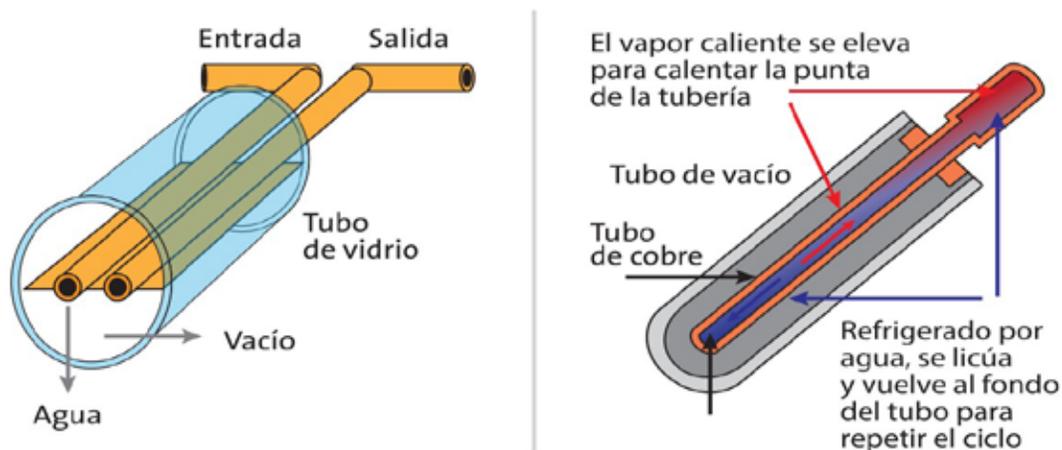


Ilustración 5. Captador solar plano: (izquierda) y descubierto; (derecha)<sup>7</sup>

**Captador de tubos de vacío.** La superficie captadora está aislada del exterior por uno o un doble tubo de vidrio que crea una cámara al vacío. Existen dos tipos:

<sup>7</sup> <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/>

- **Flujo directo** (Ilustración 6, izquierda). El fluido circula por los tubos, como en los captadores planos.
- **Flujo indirecto o Heat pipe** (Ilustración 6, derecha). El calor evapora un fluido en el tubo (tubo de calor), y éste transmite su energía al condensarse en el extremo.



**Ilustración 6. Captador de tubos de vacío: (izquierda) flujo indirecto, (derecha) flujo directo<sup>8</sup>**

De acuerdo con su funcionamiento, los captadores solares se clasifican en dos tipos:

- **Activos.** Cuentan con una bomba o algún tipo de energía externa para mover el agua o fluido dentro de su circuito.
- **Pasivos.** No requieren energía externa para funcionar. Mueven el agua o fluido dentro del sistema por virtud del principio de convección natural (sistemas termosifónicos).

Los calentadores solares más comunes para calentamiento de agua en vivienda son los sistemas termosifónicos que integran un tanque de acumulación del agua caliente en la parte superior del captador solar. Las diferencias en los sistemas termosifónicos más utilizados se muestran en la Tabla 1. Sistemas termosifónicos

<sup>8</sup> <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/>

**Tabla 1. Sistemas termosifónicos**

|                    | <b>Sistema con captador solar plano</b>   | <b>Sistema con tubo al vacío de flujo directo</b>   | <b>Sistema con tubo al vacío de flujo indirecto (heat pipe)</b>  |
|---|---|---|--|
|   |    |   |   |
| <b>Países de fabricación</b>  | <p>México, EUA, Alemania, España, Israel, Grecia, China, Brasil, Turquía, etc.</p>  | <p>Casi exclusivamente en China; existen fábricas en otros países que hacen los termotanques, pero importan los tubos de vacío.</p>   | <p>China, Alemania, Austria, Australia, Inglaterra, etc.</p>   |
| <b>¿Resisten presión?</b>   | <p>Sí. Pueden conectarse a tinaco, hidroneumático o presión municipal sin ningún riesgo</p>   | <p>No. Sólo pueden operarse a presión atmosférica. Hay proveedores que le adicionan un tanque flotador que rompe la presión, pudiendo ocasionar un desbalance en la red hidráulica del domicilio donde se instale</p> | <p>Sí. Pueden conectarse a tinaco, hidroneumático o presión municipal sin ningún riesgo</p>  |
| <b>¿Pueden quedarse sin agua o llenarse cuando están calientes por causa de la radiación solar?</b> | <p>Sí. No hay ningún riesgo si falta el agua en el sistema y resisten choques térmicos sin problemas</p>  | <p>No. Pierden su garantía y los sellos se dañan. Los tubos pueden romperse ya que no son tubos pyrex que resisten choques térmicos</p>   | <p>Sí. No hay ningún riesgo si falta el agua en el sistema y resisten choques térmicos</p>   |
| <b>¿Resisten granizo?</b>   | <p>Sí. Los equipos que cuentan con vidrio templado son resistentes a impactos severos, granizo, pedradas y vandalismo</p>   | <p>En general puede resistir granizo de hasta 25 mm, pero una granizada fuerte rompe los tubos. No son vidrios templados</p>  | <p>En general puede resistir granizo de hasta 25 mm, pero una granizada fuerte rompe los tubos. No son vidrios templados</p>   |
| <b>¿Son fáciles de instalar?</b>  | <p>Tan sencillo como colocar el tanque sobre la base, colocar dos conexiones y conectar entrada y salida de agua fría y caliente</p>  | <p>Requieren una gran cantidad de uniones, una por cada tubo al vacío que contenga el equipo, lo que incrementa la posibilidad de fugas o daños</p>   | <p>Requieren una gran cantidad de uniones, una por cada tubo al vacío que contenga el equipo</p>   |
| <b>Espesor de la cubierta exterior</b>  | <p>Existen equipos con vidrio y policarbonato. En el caso del vidrio, éste debe ser templado y de al menos 3.2 mm. En el caso del policarbonato, éste suele ser de 6 mm</p> | <p>El espesor de la pared de los tubos suele ser de vidrio de 1.6 mm no templado, lo que los hace de frágil manejo. Hay equipos más resistentes con espesores de 2 y hasta 3 mm</p>                                   | <p>El espesor de la pared de los tubos suele ser vidrio de 1.6 mm no templado, lo que los hace de frágil manejo. Hay equipos más resistentes con espesores de 2 y hasta 3 mm</p> |



|  | Sistema con captador solar plano   | Sistema con tubo al vacío de flujo directo   | Sistema con tubo al vacío de flujo indirecto (heat pipe)  |
|--|--|--|---|
|  |   |    |    |
| <b>¿Son fáciles de instalar?</b>                                     | Tan sencillo como colocar el tanque sobre la base, colocar dos conexiones y conectar entrada y salida de agua fría y caliente  | Requieren una gran cantidad de uniones, una por cada tubo al vacío que contenga el equipo, lo que incrementa la posibilidad de fugas o daños                                 | Requieren una gran cantidad de uniones, una por cada tubo al vacío que contenga el equipo   |
| <b>Espesor de la cubierta exterior</b>                               | Existen equipos con vidrio y policarbonato. En el caso del vidrio, éste debe ser templado y de al menos 3.2 mm. En el caso del policarbonato, éste suele ser de 6 mm | El espesor de la pared de los tubos suele ser de vidrio de 1.6 mm no templado, lo que los hace de frágil manejo. Hay equipos más resistentes con espesores de 2 y hasta 3 mm | El espesor de la pared de los tubos suele ser vidrio de 1.6 mm no templado, lo que los hace de frágil manejo. Hay equipos más resistentes con espesores de 2 y hasta 3 mm |
| <b>Conexión entre tanque y captador</b>                              | Conexiones roscadas o soldadas muy seguras   | Vidrio contra empaque de silicón. Si se rompe un sello se vacía el sistema   | Conexiones roscadas o a presión de cobre insertadas al tanque. Muy seguras  |
| <b>Tanque termo</b>  | De acero fabricado en placa robusta con acabado vidriado anticorrosivo. Para operar a presión  | De acero inoxidable fabricado en lámina de espesores bajos, en varios casos inferiores a 0.5 mm  | De acero inoxidable fabricado en placa que les permite operar a presión   |
| <b>Temperatura que entrega el sistema en un día soleado estándar</b> | 50-60 °C. Ningún riesgo de daño en tuberías o quemaduras   | 65-70 °C. Riesgo de quemaduras y daños en tuberías si no son las adecuadas   | 65-70 °C. Riesgo de quemaduras y daños en tuberías si no son las adecuadas  |

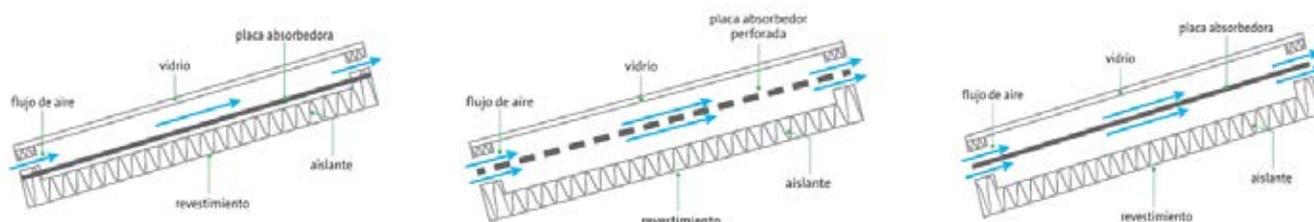
Además de los sistemas termosifónicos, existen en el mercado sistemas autocontenidos (Ilustración 7), útiles en regiones cálidas. Estos son los calentadores solares más simples de producir ya que consisten simplemente en un recipiente (uno grande o varios pequeños, etc.) dispuesto de tal manera que presente su mayor área de exposición al sol. Esta superficie se pinta de negro o se cubre con una superficie selectiva y hace las veces de captador solar. El recipiente se llena con agua, que se calienta directamente por contacto con la cara expuesta al sol. Los lados y el fondo se aíslan térmicamente para evitar las pérdidas de calor. La eficiencia térmica de este tipo de calentadores es relativamente alta, del orden de 45%, si se evalúa únicamente para el período diurno. Esta eficiencia cae drásticamente en general si se toma en cuenta la pérdida nocturna.



**Ilustración 7. Sistemas solares autocontenidos<sup>9</sup>**

### 3.2.2 Otras tecnologías de energía solar térmica existentes

**Captadores solares para calentamiento de aire.** Son captadores solares cuyo fluido de trabajo es el aire en lugar del agua, pero constan básicamente de las mismas partes que los captadores de agua con la única diferencia que en general utilizan conductos más grandes ya que requieren pasar un volumen de aire mucho mayor comparado con los que utilizan agua. Hay muchas aplicaciones basadas en el acondicionamiento térmico de espacios (secado de alimentos, incubación, agricultura protegida, salas climatizadas, calentamiento de espacios habitacionales y laborales), en las cuales el aire puede calentarse de manera directa. Existen diferentes trayectorias de flujo de aire en este tipo de captadores, los más comunes se muestran en la Ilustración 8. Tipos de captadores solares para calentamiento de aire donde (i) el aire pasa entre la cubierta transparente y el absorbedor, (ii) el flujo de aire pasa por debajo del absorbedor y entre el aislamiento térmico, y (iii) el aire fluye a ambos lados del absorbedor.

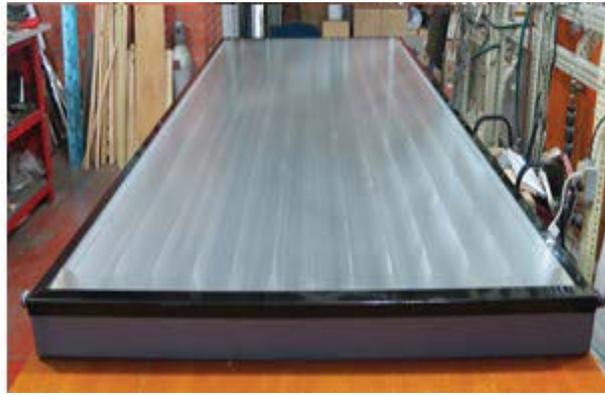
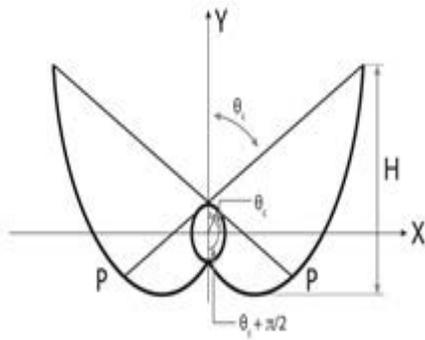


**Ilustración 8. Tipos de captadores solares para calentamiento de aire<sup>10</sup>**

**Captador cilíndrico parabólico (CPC).** Este captador contiene un receptor cilíndrico (Ilustración 9). Captador cilíndrico parabólico (CPC): (izquierda) geometría, (derecha) equipo comercial izquierda) que concentra la radiación solar y puede utilizarse en rangos de baja y mediana temperatura. En la Ilustración 9 (derecha) se muestra un captador plano tipo CPC.

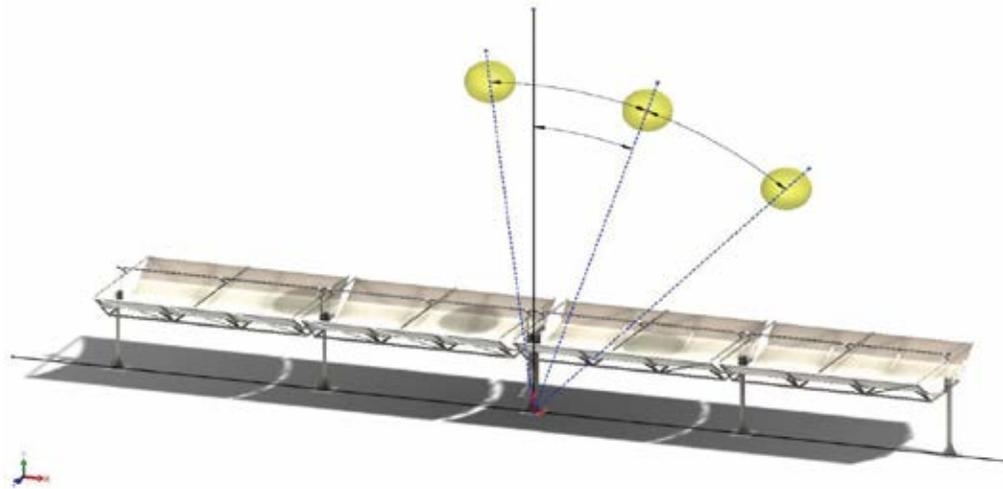
<sup>9</sup> <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/>

<sup>10</sup> <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/>



**Ilustración 9. Captador cilíndrico parabólico (CPC): (izquierda) geometría, (derecha) equipo comercial <sup>11</sup>**

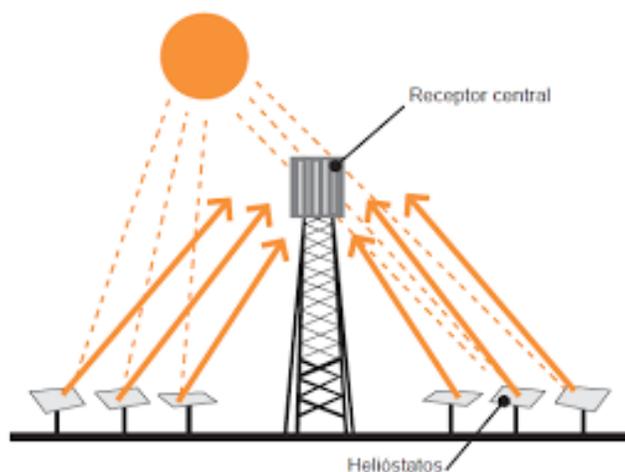
Concentrador de canal parabólico. Los canales parabólicos pueden operar a temperaturas de hasta 400 °C como resultado de la concentración de la radiación solar. El factor de concentración reduce la superficie del absorbedor con relación al área de apertura, y en consecuencia se reducen sustancialmente las pérdidas térmicas. Sin embargo, este tipo de concentradores requiere seguimiento del Sol que típicamente se realiza en un eje. Tanto económica como técnicamente, este tipo de concentradores son los más favorables para aplicaciones de altas temperaturas como los son algunos procesos de calor para la industria y la producción de electricidad (ver Ilustración 10).



**Ilustración 10. Concentrador de canal parabólico**

**Receptor de torre central** (ver Ilustración 11). Es un tipo de horno solar que usa una torre para recibir luz solar concentrada. Usa un conjunto de espejos planos, móviles (llamados heliostatos) para enfocar los rayos del sol sobre una torre colectora (el blanco).

<sup>11</sup> <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/>



**Ilustración 11. Receptor de torre central**

En la Tabla 2 se muestra sistemas de captadores solares térmicos existentes en función de su movimiento, concentración y temperatura de operación.

| Movimiento              | Tipo de captador                        | Tipo de absorbedor | Factor de concentración | Rango de temperatura de operación |
|-------------------------|---|--------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Estacionario            | Captador plano                          | Plano              | 1                       | 30-90                             |
|                         | Tubos evacuados                         | Tubular            | 1                       | 50-120                            |
|                         | Concentrador parabólico compuesto (CPC) | Tubular            | 1-5                     | 60-240                            |
| Seguimiento en un eje   | Concentrador tipo Fresnel               | Tubular            | 10-40                   | 60-400                            |
|                         | Canal parabólico                        | Tubular            | 15-45                   | 60-400                            |
| Seguimiento en dos ejes | Plato parabólico                        | Puntual            | 100-1000                | 100-1000                          |
|                         | Receptor de torre central               | Puntual            | 100-1500                | 150-1000                          |

**Tabla 2. Sistemas de captadores solares térmicos**

### 3.3 Evolución de desarrollo del Mercado Nacional de CSA

El proyecto “Desarrollo del Mercado de Calentadores Solares de Agua en Panamá” (Termosolar Panamá) tiene como objetivo la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> de forma eficiente con el desarrollo de un mercado para sistemas de calentadores solares de agua. El proyecto comenzó el 12 de julio de 2018.

Los componentes principales son:

1) Marco político regulatorio para la promoción de sistemas de calentamiento solar de agua (SCSA) y toma de decisiones políticas informadas. En este componente se pretende como resultados esperados los siguientes: a) un set de regulaciones e instrumentos de políticas para SCSA; b) análisis de mercado de SCSA y su análisis económico; c) plan de acción nacional para energía solar térmica, monitoreo y evaluación.

2) Control de calidad y fortalecimiento del sector de suministro de equipos para SCSA. En este componente se pretende como resultados esperados los siguientes: a) análisis de necesidades de construcción de capacidades en el sector de la oferta, diseño de edificaciones y Q&A para SCSA; b) modificación del currículo de la UTP y el INADEH para incluir SCSA en sus planes de estudio, capacitación y entrenamiento en las instituciones educativas participantes y el sector profesional para el diseño, instalación y mantenimiento de SCSA y proceso de certificación de los mismos; c) establecimiento de normas y estándares de control y aseguramiento de calidad; d) desarrollo de un laboratorio de ensayos para evaluar la calidad de los colectores; e) plan de negocios para la cámara panameña de energía solar.

3) Incremento en la sensibilización y mecanismos de apoyo para el usuario final. En este componente se pretende como resultados esperados los siguientes: a) sensibilización por diferentes medios informativos para tomadores de decisiones, sector financiero, proveedores de tecnología y usuarios finales de los SCSA; b) promover un mecanismo financiero para el usuario final que permita invertir en SCSA; c) campaña publicitaria de mercadeo de SCSA.

4) Implementación de proyectos piloto y demostrativos. En este componente se pretende como resultados esperados los siguientes: a) identificación, auditorías energéticas y estudios de factibilidad de SCSA; b) proyectos piloto de SCSA instalados en sectores públicos y privados.

De acuerdo con datos de la Secretaría Nacional de Energía (SNE) de Panamá, en 2011 se contaba con 300 m<sup>2</sup> de sistemas de CSA instalados de los cuales solo el 10% estaba en funcionamiento<sup>12</sup>. Los resultados de un estudio<sup>13</sup> realizado por Termosolar Panamá muestran la superficie potencial a instalar de SCSA en m<sup>2</sup> (metros cuadrados):

| Sector          | m <sup>2</sup>   |
|-----------------|------------------|
| Hotelero        | 28.184           |
| Salud           | 10.099           |
| Agro-Industrial | 60.000           |
| Residencial     | 917.817          |
| <b>Total</b>    | <b>1.016.100</b> |

**Tabla 3. Superficie por instalar por sector**

El potencial estimado es equivalente a 0.25 m<sup>2</sup> per cápita considerando la población actual de Panamá (4,037,043 habitantes).

### 3.4 Aspectos regulatorios y técnicos sobre CSA

Para impulsar el desarrollo de los SCSA es fundamental la utilización de equipos de calidad y contar con técnicos capacitados para realizar una buena instalación. Se han desarrollado para tal fin una normatividad que está evolucionando y que es importante vigilar su cumplimiento compuesta por 3 normas:

12 ONU Medio Ambiente (2014). Reporte Panama\_CEO Endorsement Document.

13 ONU Medio Ambiente (2019). Reporte de análisis del potencial de desarrollo del mercado de calentadores solares de agua en Panamá.

- Definiciones y terminología.
- Funcionalidad y rendimiento térmico de colectores solares para calentamiento de líquidos-etiquetado y métodos de prueba.
- Sistemas prefabricados: requisitos generales y métodos de ensayo.

Es muy recomendable la elaboración de Normas Nacionales basadas en Normas Internacionales ya existentes para que los importadores y fabricantes de equipos de SCSA cumplan con un mínimo de especificaciones.

### 3.4.1 Normas Internacionales para Captadores Solares (ISO9806:2017)

La Norma ISO9806:2017<sup>14</sup> (Solar Energy – Solar Thermal Collectors – Test Methods) define los procedimientos para probar los captadores solares de calentamiento de fluidos para el rendimiento térmico, la confiabilidad, la durabilidad y la seguridad en condiciones definidas y repetibles.

**Alcance.** Este documento especifica los métodos de prueba para evaluar la durabilidad, confiabilidad, seguridad y rendimiento térmico de los captadores solares de calentamiento de fluidos. Los métodos de prueba son aplicables para pruebas de laboratorio y para pruebas in situ. Este documento es aplicable a todos los tipos de captadores solares de calentamiento de fluidos, captadores solares de calentamiento de aire, captadores solares híbridos que generan energía eléctrica y eléctrica, así como a captadores solares que utilizan fuentes de alimentación externas para funcionamiento normal y/o para cuestiones de seguridad. No cubre aspectos de seguridad eléctrica ni otras propiedades específicas directamente relacionadas con la generación de energía eléctrica. Este documento no es aplicable a aquellos dispositivos en los que una unidad de almacenamiento térmico es parte integral hasta el punto de que el proceso de recolección no puede separarse del almacenamiento. Se mencionarán a continuación las pruebas enfocadas a captadores solares para calentamiento de agua.

#### 3.4.1.1 Pruebas de rendimiento técnico

Las pruebas de rendimiento térmico de los captadores solares incluyen al menos la evaluación de la potencia térmica suministrada por el colector en diversas condiciones operativas (curva de rendimiento térmico), la medida de la dependencia del rendimiento térmico con el ángulo de incidencia de la irradiación sobre el colector y la determinación de la capacidad calorífica del colector. Estos tres conjuntos de parámetros son necesarios para el cálculo de la salida de calor del colector. También proporciona métodos para determinar parámetros importantes adicionales, como la caída a presión y la constante de tiempo.

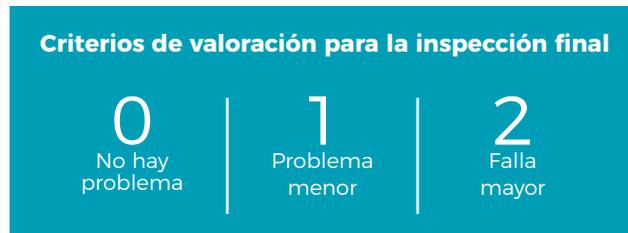
Para todas estas pruebas el colector se monta de acuerdo con las especificaciones el fabricante. A continuación, se describen las pruebas:

- **Rendimiento térmico instantáneo**
- **Determinación de la capacidad térmica efectiva (C)**
- **Determinación de la constante de tiempo ( $\tau_c$ )**
- **Factor Modificador del Ángulo de Incidencia**
- **Caída de presión a través del captador**
- **Prueba de presión interna**
- **Temperatura de estancamiento**
- **Prueba de exposición a la radiación**
- **Choque térmico externo**
- **Choque térmico interno**

---

<sup>14</sup> La Norma se puede descargar de <http://www.iso.org>

- **Penetración de agua de lluvia**
- **Resistencia al congelamiento:** No aplica para Panamá.
- **Carga mecánica (presión positiva y presión negativa)**
- **Resistencia al impacto**
- **Método de impacto con bola de acero (balín)**
- **Impacto con bolas de hielo**
- **Inspección final**



### Orden de secuencia de las pruebas

En la Tabla 4 se propone una secuencia de prueba completa para los captadores solares térmicos, incluida la prueba de durabilidad y las mediciones del rendimiento térmico.

|  |
|--|
| Exposición a la radiación                    |
| Choque térmico externo e interno             |
| Penetración de agua de lluvia                |
| Presión interna                              |
| Carga mecánica (presión positiva y negativa) |
| Prueba de impacto                            |
| Rendimiento térmico                          |
| Caída de presión                             |
| Inspección final                             |

**Tabla 4. Secuencia de pruebas**

### 3.5 Resumen del capítulo

Este capítulo es una introducción a la tecnología de energía solar térmica de baja temperatura. La implementación de esta tecnología permite la sustitución de uso de combustibles fósiles para calentamiento de agua, colaborando a reducir la emisión de gases contaminantes. Existen otras aplicaciones dentro del sector de energía solar térmica de media y alta temperatura, que sirven para generación eléctrica además de aprovechamiento térmico.

Se describen de manera general los principales tipos de captadores solares y sus posibles aplicaciones: captador para piscina, captador de placa plana y captador de tubos de vacío o CPC. El captador es el equipo principal de un SCSA y en este capítulo se aborda la certificación de estos equipos, detallando el tipo de pruebas que se hacen según la norma internacional ISO9806:2017.

A nivel de desarrollo de la tecnología, se describe la situación internacional y se resume del desarrollo y evolución de la energía solar térmica en Panamá a través del programa Termosolar Panamá, los componentes principales del mismo y sus objetivos a alcanzar.

Detalla la importancia de contar con aspectos regulatorios y técnicos para los sistemas de calentamiento de agua para brindar al usuario final la seguridad de que los equipos que está adquiriendo cumplen con las normas mínimas de rendimiento y calidad necesarias para su buen funcionamiento y una vida útil de al menos 10 años

### 3.6 Cuestionario capítulo 3

1. **¿Cuáles son los principales causantes del cambio climático?**

- a. El uso de energías renovables.
- b. El uso de combustibles fósiles y emisiones de gases de efecto invernadero.
- c. Los incendios y erupciones volcánicas.
- d. Las tormentas y huracanes.

2. **¿Cuál es el principal gas implicado en el efecto invernadero?**

- a. Vapor de agua.
- b. Óxido nitroso.
- c. Metano.
- d. Dióxido de carbono.

3. **Mencione una estrategia para mitigar de forma importante el cambio climático**

- a. Utilización de fuentes de energías renovables.
- b. Utilización de plantas de energía de carbón.
- c. Crear mayor industria de bienes de consumo.
- d. Incrementar el uso de vehículos de combustión interna.

4. **¿Cuál es la tecnología o tecnologías más usadas para el calentamiento solar de agua?**

- a. Sistemas solares autocontenidos.
- b. Captadores solares planos y tubos evacuados.
- c. Concentradores de canal parabólico.
- d. Captador cilíndrico parabólico.

5. **¿En qué lugar de acuerdo con su capacidad instalada a nivel mundial se encuentra la energía solar térmica, respecto a otras fuentes de energía renovable, según la agencia internacional de energía?**

- a. Primer lugar.
- b. Segundo lugar.
- c. Tercer lugar.
- d. Cuarto lugar.

**6. ¿Por qué son importantes los aspectos regulatorios para los sistemas de calentamiento solar de agua?**

- a. Como barrera para la introducción de productos extranjeros.
- b. Para reducir el costo final de los sistemas.
- c. Para regular la competencia leal entre empresas del ramo.
- d. Para dar certidumbre al usuario final sobre la calidad y eficiencia de los sistemas.

**7. ¿La mayoría de las normas sobre sistemas de calentamiento solar de agua, en qué normas se sustentan?**

- a. En las normas europeas.
- b. En las normas ISO.
- c. En las normas elaboradas en cada país.
- d. En las normas estadounidenses.

**8. ¿Para qué se realizan pruebas de rendimiento térmico a los SCSA?**

- a. Para conocer la energía suministrada por el sistema solar bajo diferentes condiciones de operación.
- b. Para evaluar la durabilidad del sistema solar.
- c. Para evaluar la seguridad del sistema solar.
- d. Para evaluar la confiabilidad del sistema solar.

## 4. IDENTIFICACIÓN Y CÁLCULO DE RECURSO SOLAR, POTENCIAL ENERGÉTICO Y SOMBRAS

La radiación solar es la energía electromagnética que se recibe del Sol en forma natural y que ha permitido la existencia de la vida en la Tierra. Parte de esta energía es la responsable del clima en la Tierra y otra parte origina la mayoría de los procesos biológicos conocidos. Es tan abundante esta energía que puede aprovecharse para satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad.

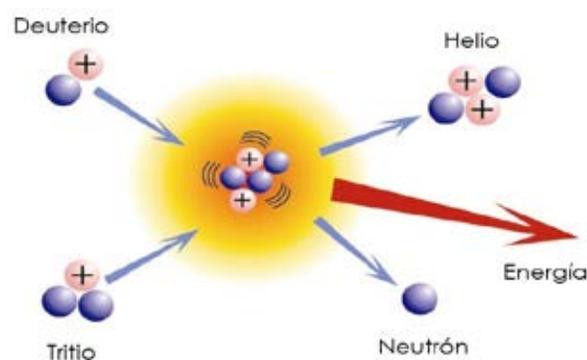
El recurso solar se entiende como la energía que en forma de radiación térmica procedente del Sol llega a la superficie terrestre y puede ser utilizada para algún proceso energético. A diferencia de otras energías renovables, la energía solar es en principio predecible ya que su disponibilidad primaria es función de un buen conocido sistema astronómico Sol-Tierra, cuyos aspectos generales se describirán más adelante. Además del aspecto astronómico, la radiación solar disponible para una determinada región depende del comportamiento de la radiación electromagnética al incidir y penetrar la atmósfera terrestre; varios fenómenos se presentan a lo largo de la trayectoria de los rayos solares antes de llegar a la superficie de la Tierra. Conjuntamente la presencia de humedad (vapor de agua), aerosoles (humo, polvo, smog) y nubes son factores que determinan la transparencia atmosférica y por consecuencia la cantidad de energía solar disponible.

Existen varias formas de estimar la cantidad de radiación solar que se recibe en una determinada región; las dos formas más comunes son: la medición in situ y la estimación mediante imágenes de satélite. Los instrumentos de medición de radiación solar han sido normalizados a nivel internacional, por lo que hay una gran concordancia entre los datos de diferentes estaciones del mundo. Por otra parte, la estimación vía satélite también ha visto avances en los últimos años, y sus estimaciones se van aproximando progresivamente a las mediciones en tierra. Esto ha permitido no sólo que se vayan formando bases de datos de regiones cada vez más amplias sino también que estas bases estén disponibles a un mayor número de usuarios, tanto en el ámbito de la investigación como en el del desarrollo de aplicaciones solares.

### 4.1 Recurso solar

#### El Sol<sup>15</sup>

El Sol es una estrella que genera energía bajo un proceso nuclear de fusión, por medio del cual se convierte hidrógeno en helio, como se observa en la Ilustración 12:

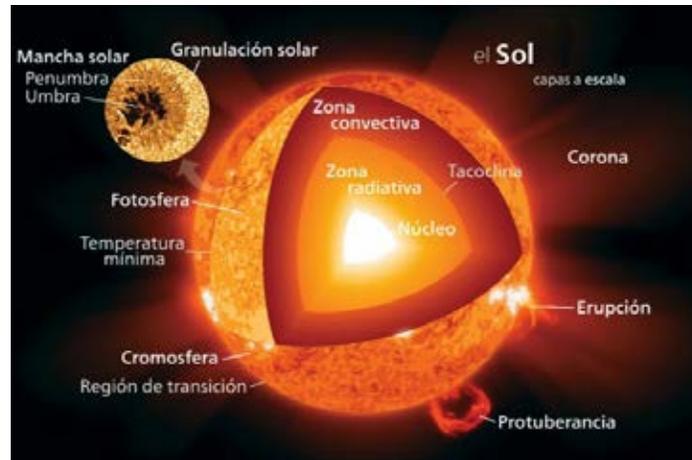


**Ilustración 12. Reacción de fusión nuclear en el Sol**

<sup>15</sup> O. García Valladares and I. Pilatowsky, Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial. UNAM, 1 ed., 2017. ISBN 978-607-02-8952-0

La estructura general del Sol puede dividirse en núcleo, zona convectiva-radiativa y corona. En el núcleo es donde sucede la reacción de fusión, y en la zona convectiva-radiativa es donde ocurre la transferencia de energía a la corona, que es la superficie que observamos desde la Tierra (Ilustración 13).

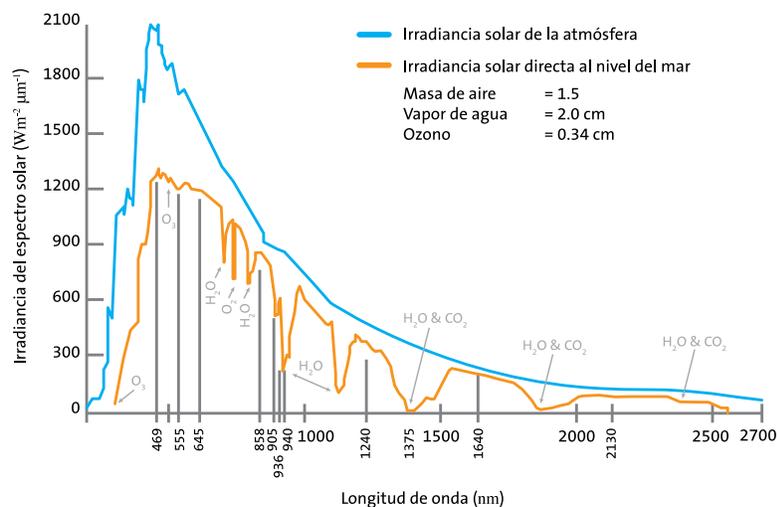
Las temperaturas del interior del núcleo sobrepasan los millones de Kelvin, pero se estima que en la superficie del Sol la temperatura promedio es de casi 5,778 K.



**Ilustración 13. Estructura solar**

La cantidad de radiación por unidad de área que recibe la Tierra en el tope de la atmósfera es casi una constante, puede variar ligeramente a lo largo del año debido a que la órbita terrestre alrededor del Sol es elíptica, por lo que presenta acercamientos o alejamientos del astro, y también a causa de la actividad solar cuyo ciclo es de 11 años. El valor actualizado y más preciso es de  $1,360.8 \pm 0.5 \text{ W/m}^2$ ; este valor se conoce como “constante solar”, pero se sabe que no es precisamente una constante universal en el sentido científico y que esas pequeñas variaciones pueden incidir en el clima terrestre, pero son poco considerables en aplicaciones de energía solar.

La radiación emitida por la superficie del Sol tiene una distribución espectral a 5,778 K, como se observa en la Ilustración 14:



**Ilustración 14. Espectro solar en el tope de la atmósfera y al nivel del mar<sup>17</sup>**

<sup>16</sup> J.A. Duffie, W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, 4a. Edición, 2013.

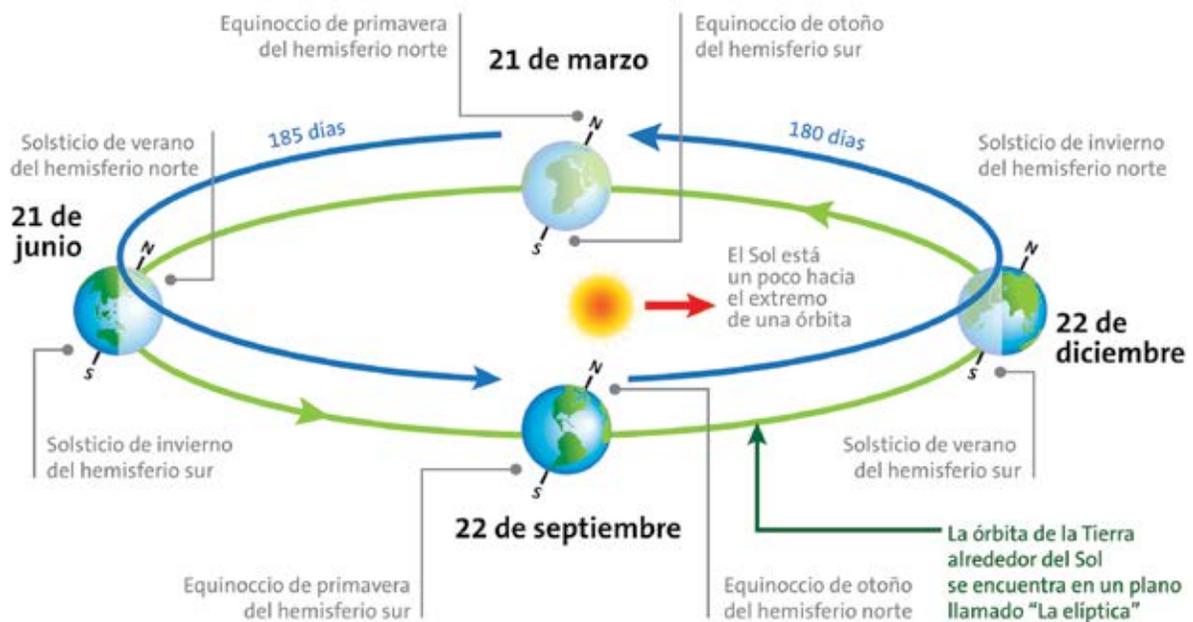
<sup>17</sup> Fuente: imágenes de NASA®

## Sistema Sol-Tierra<sup>18</sup>

La Tierra gira alrededor del Sol en una órbita elíptica, casi esférica, en la que éste está en uno de los focos. Un ciclo se completa en 365 días y se denomina movimiento de traslación (Ilustración 15). A su vez, la Tierra gira alrededor de su propio eje con una duración de aproximadamente 24 horas y este giro se denomina movimiento de rotación. El eje de la Tierra está ligeramente desplazado ( $23^{\circ}26'13.7''$ ) con respecto al plano de la órbita. Este plano recibe el nombre eclíptica. El movimiento de traslación en conjunción con la oblicuidad terrestre produce las estaciones del año; y el de rotación, el día y la noche. De estos dos movimientos depende cuánta energía solar se recibe en una determinada región de la Tierra a lo largo del año.

De esta forma en el solsticio de diciembre los rayos del Sol caen perpendicularmente en el trópico de Capricornio, y en el solsticio de junio en el trópico de Cáncer. De los trópicos hacia los polos los rayos solares nunca caen perpendicularmente sobre la superficie de la Tierra, de modo que esas regiones reciben menos radiación solar (Ilustración 16).

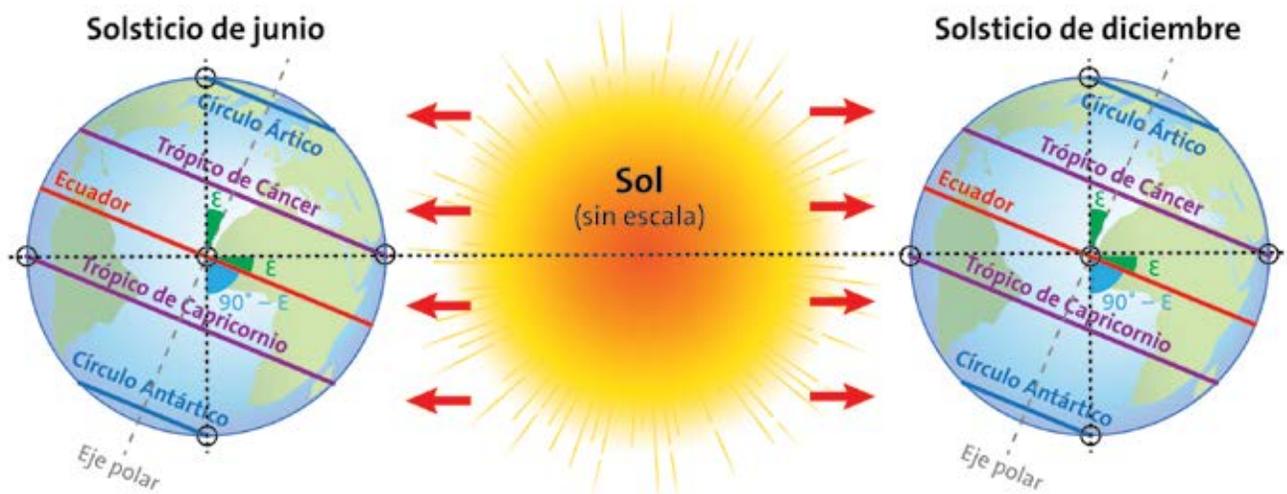
La distancia más grande entre el Sol y la Tierra durante el año sucede en el solsticio de verano, y la más corta en el solsticio de invierno. Esta es una de las razones de que la Antártida sea el lugar más frío del planeta.



**Ilustración 15. Órbita de la Tierra alrededor del Sol a lo largo del año**<sup>19</sup>

18 O. García Valladares and I. Pilatowsky, Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial. UNAM, 1 ed., 2017. ISBN 978-607-02-8952-0

19 O. García Valladares and I. Pilatowsky, Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial. UNAM, 1 ed., 2017. ISBN 978-607-02-8952-0



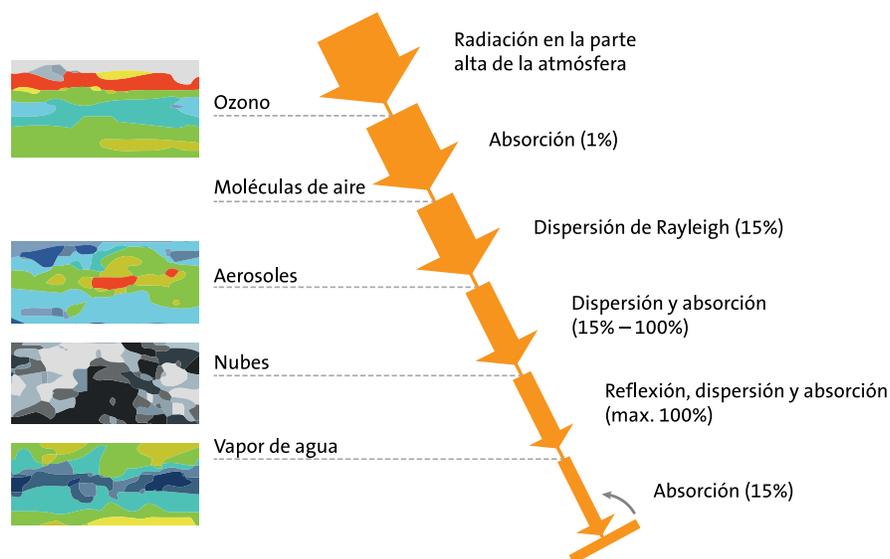
**Ilustración 16. Variación de la dirección de los rayos solares sobre la superficie de la Tierra a lo largo del año**

### Atmósfera

No sólo de la interacción del sistema astronómico Sol-Tierra depende la cantidad de radiación solar que recibe una determinada región sobre la superficie de la Tierra, sino también de las condiciones de la atmósfera. Varios fenómenos se presentan durante la trayectoria de la radiación electromagnética proveniente del Sol a través de la atmósfera: la dispersión, la reflexión y la absorción son los principales factores que atenúan la cantidad de radiación que viaja por las distintas capas atmosféricas (Ilustración 17).

**La dispersión.** Se refiere al fenómeno que ocurre cuando la radiación electromagnética interacciona con partículas o moléculas de los gases presentes en la atmósfera. Una parte de aquella es redireccionada en forma aleatoria sin cambiar la longitud de onda (dispersión de Rayleigh), y otra parte es devuelta al espacio por este fenómeno. El tamaño de las partículas y de las moléculas afectan de diferente manera a las distintas longitudes de onda; dadas las características de la atmósfera terrestre, las longitudes de ondas pequeñas (cercanas al azul) son más dispersadas (esto origina el color del cielo, de lo contrario sería transparente, como en la noche).

### Atenuación de la radiación solar a su paso a través de la atmósfera



**Ilustración 17. Factores que influyen en la atenuación de la radiación solar incidente**

**La absorción.** Se presenta cuando moléculas de ozono ( $O_3$ ), de vapor de agua ( $H_2O$ ) o de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) junto con los aerosoles de partículas de polvo, hielo y otras sustancias, reciben radiación solar que aumenta su temperatura (y que se reemite por radiación térmica). Esta fracción de la energía total puede llegar a ser del 15%, dependiendo de las condiciones atmosféricas.

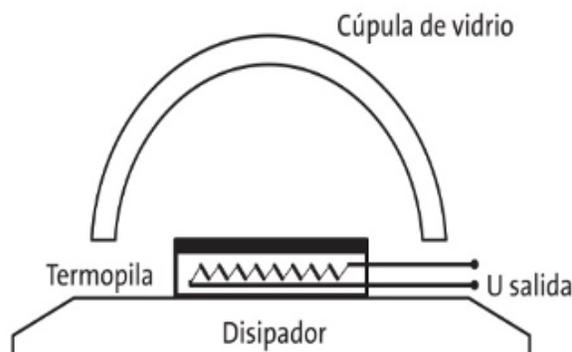
**La reflexión.** Las nubes conformadas por aerosoles de agua y de hielo reflejan una gran cantidad de radiación incidente, por lo que bloquean el paso de esta a la Tierra; dependiendo del espesor de la capa de nube el bloqueo puede llegar a ser total. Las nubes presentan al mismo tiempo el fenómeno de absorción.

En términos generales se calcula que alrededor del 23% de la radiación solar extraterrestre incidente en la atmósfera será atenuada por estos fenómenos antes de llegar a la superficie de la Tierra<sup>20</sup>.

### Instrumentos de medición<sup>21</sup>

Los instrumentos utilizados para medir la radiación solar se pueden clasificar en dos tipos: piranómetros y pirheliómetros; ambos pueden denominarse radiómetros solares, pero difieren en sus funciones. Ambos comparten el mismo tipo de sensor que por lo general consiste en una termopila (unión de varios termopares en un arreglo que optimiza la señal de salida). La termopila es de un color negro mate que permite absorber casi toda la radiación solar incidente, prácticamente en todas las longitudes de onda de la radiación térmica. La temperatura de la termopila aumenta con rapidez sobre la temperatura de referencia, y esa diferencia permite estimar la potencia de la radiación solar en un instante determinado, por lo que ambos dispositivos miden la irradiancia comúnmente en  $W/m^2$ .

El **piranómetro** consiste en una termopila montada en una base de gran masa con inercia térmica y está protegida por una cúpula de vidrio transparente para evitar tanto las pérdidas de calor por convección como los efectos de la intemperie (polvo, lluvia, nieve, etc., ver Ilustración 18). Los piranómetros son los instrumentos utilizados para medir la radiación global sobre una superficie plana. Con los accesorios especiales también miden la radiación difusa y la total sobre una superficie no horizontal incluyendo la reflejada por otras superficies.



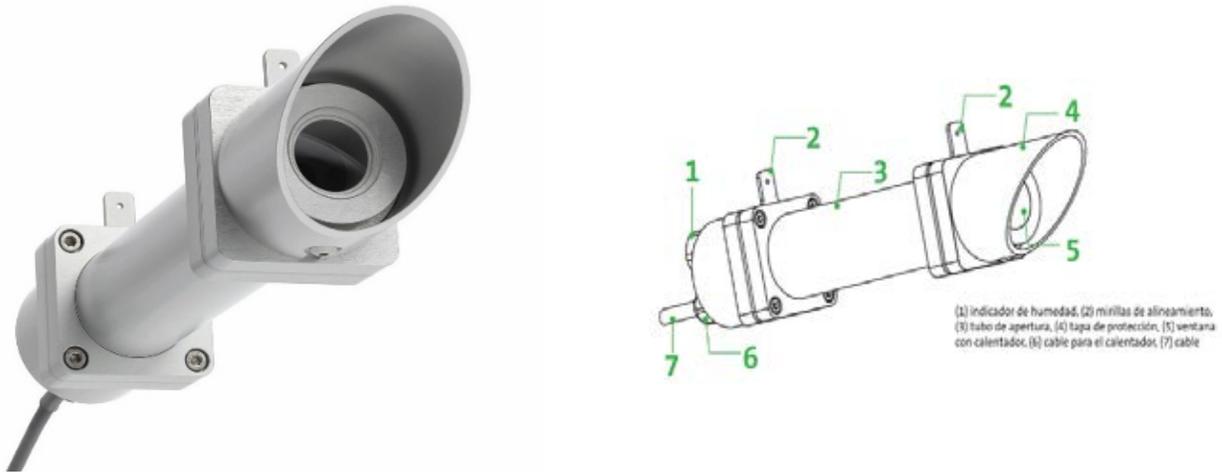
**Ilustración 18. Diagrama y foto de un piranómetro**

El **pirheliómetro** es un instrumento diseñado para medir la radiación solar directa, y consiste en una termopila, al igual que el piranómetro, pero con la diferencia de que ésta se encuentra colocada al final de un cilindro a fin de permitir únicamente la entrada al sensor de los rayos que vienen

20 <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page6.php>

21 O. García Valladares and I. Pilatowsky, Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial. UNAM, 1 ed., 2017. ISBN 978-607-02-8952-0

directamente del Sol, como se observa en la Ilustración 19. La apertura de la lente es de sólo 5° como lo marca la norma respectiva (Norma Internacional ISO 9060 y la Organización Meteorológica Mundial).



**Ilustración 19. Diagrama y foto de un pirheliómetro**

Ambos equipos miden irradiancia en  $W/m^2$  que son las unidades internacionales para la medición de la radiación solar.

Otros equipos que también se utilizan, pero en aplicaciones donde no se requiere gran precisión incorporan sensores fotovoltaicos, que son muy prácticos y de bajo costo. Su principal inconveniente es que no son sensibles en todo el rango de radiación solar por lo que sus lecturas arrojan una incertidumbre que varía entre 3 y 5%, contra el 1% en el caso de los térmicos.

En la Ilustración 20 se muestra una estación solarimétrica común donde se observan los distintos sensores de radiación, tanto de global horizontal, difusa, directa normal y otros parámetros climatológicos.



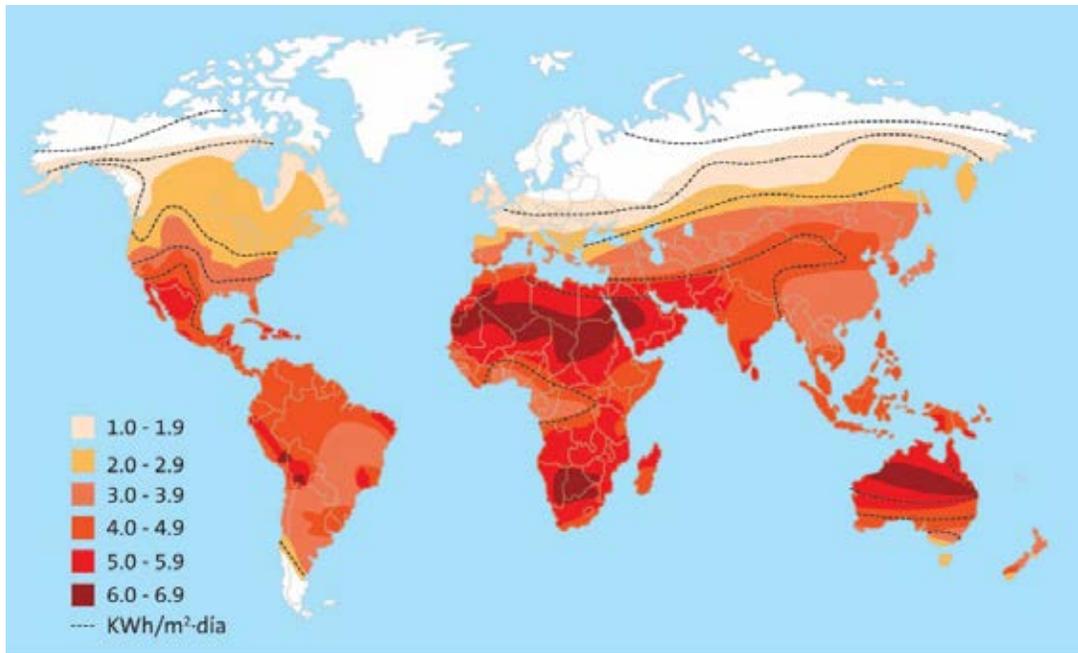
**Ilustración 20. Estación solarimétrica automatizada**

## 4.2 Bases de datos climatológicos

En los últimos años se han dedicado muchos esfuerzos a determinar con mayor precisión la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre. Los instrumentos a nivel de la superficie terrestre miden la radiación en un punto determinado. Dado esto, mientras más sensores se tengan más precisa será la estimación del recurso solar. Pero resulta imposible disponer de una densa red de estos equipos debido a sus elevados costos y sus requerimientos de operación, manutención y calibración, además de la inaccesibilidad para instalaciones remotas. Por ende, para un país o una región determinados sólo se podrá contar con algunas estaciones solarimétricas colocadas en puntos que pudieran no ser los idóneos, sino lugares donde se garantice cierta seguridad de operación. Por lo tanto, se requiere desarrollar otras formas de estimar el recurso solar en áreas entre puntos de medición; dos son los métodos más empleados: mediante modelos matemáticos que extrapolen desde esos puntos de medición hasta cubrir áreas más extensas, y mediante lecturas de satélites. Ambos métodos han mostrado ser consistentes y sus algoritmos de cálculo son cada vez más sofisticados y han mejorado sustancialmente en los últimos años. No es el objetivo de este texto profundizar en estos métodos, sino presentar al lector aspectos de importancia general para aprovechar la información del recurso solar disponible.

La información sobre la radiación solar puede obtenerse a partir de bases de datos de diversas formas; si la información es medida instantáneamente (irradiancia) o si es integrada en un periodo de tiempo (irradiación); la primera es en unidades de potencia,  $W/m^2$ , y la segunda en unidades de energía, ya sean  $MJ/m^2$  o  $kWh/m^2$ .

Con mucha frecuencia estos datos se reportan en forma de promedios diarios, por lo que las unidades están en  $MJ/m^2$  día o  $kWh/m^2$  día. También pueden encontrarse integrados en todo el año. En la Ilustración 21 se observa un mapamundi con los valores de radiación solar en unidades de energía por área, expresadas en promedio diario y anual, basados en un modelo llamado GeoModel.



**Ilustración 21. Radiación solar promedio diaria ( $kWh/m^2$ -día)**<sup>22</sup>

<sup>22</sup> O. García Valladares and I. Pilatowsky, Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial. UNAM, 1 ed., 2017. ISBN 978-607-02-8952-0

De la Ilustración 21 se pueden desprender varias observaciones; primero, las áreas del mundo donde se cuenta con mayor recurso solar (gran parte de América, todo el continente Africano, buena parte de Asia y toda Oceanía y algunas regiones de Europa); segundo, los valores más altos de radiación global horizontal pasan ligeramente de 6.9 kWh/m<sup>2</sup>-día; tercero, la limitante de este modelo de cálculo del recurso solar es que no funciona en los polos, ni en lugares con nieve, obsérvese al norte y al sur de América, donde aparecen franjas sin color, y que el mapa se trunca en los círculos polares. Los modelos satelitales acusan una limitación en el ángulo de vista del satélite, por lo que en la actualidad no se puede discriminar en la información satelital entre nieve-hielo y nubes. Finalmente, el valor de esta información, al ser calculada en promedios y en forma muy agregada, debe manejarse como información indicativa general, para determinar extensiones con mayor o menor radiación.

Para cálculos de aplicaciones solares, ya sean de instalaciones fotovoltaicas o térmicas, regularmente se requiere mayor cantidad de datos. El procedimiento actual para el cálculo de diseño de sistemas fotovoltaicos recurre a software de simulación matemática que requiere información de radiación solar horaria a lo largo de todo un año. Muchos de estos programas acceden a sus propias bases de datos y otros permiten que el usuario incluya información del lugar para el cual se está realizando la simulación. Es frecuente que estos programas o paquetes comerciales requieran la información en un formato especial; entre los más comunes se encuentran los conocidos como el año típico meteorológico, que además de la radiación solar incluyen otras variables climatológicas imprescindibles para realizar las simulaciones. Los años típicos meteorológicos están disponibles para una gran cantidad de ciudades de Panamá<sup>23</sup>.

Una base de datos muy utilizada, por la gran cantidad de información que se puede obtener y por ser de libre acceso, es la del sitio web de la NASA mediante el programa Surface Meteorology and Solar Energy (SSE)<sup>24</sup>, el cual está basado en un mínimo de 10 años de información tanto satelital como de mediciones en Tierra. Esta base de datos está pensada para usarse en los cálculos de diseño de sistemas solares, tanto fotovoltaicos como térmicos, es de fácil manejo y cuenta con varias opciones dependiendo de la información requerida. La única información que se necesita introducir son las coordenadas del lugar objeto de estudio, en donde las tres componentes principales de la radiación solar (global, directa y difusa) se pueden obtener para superficies horizontales o inclinadas a varios ángulos determinados. La malla del mapa no es muy refinada lo que presenta algunos inconvenientes sobre todo en zonas con orografías pronunciadas. Aparentemente para cualquier ubicación del mundo la irradiancia puede estimarse en este sitio, lo que resulta especialmente ventajoso para los usuarios latinoamericanos dada la limitada información confiable del recurso solar disponible.

Otras fuentes de información pueden ser el Atlas Solar Global<sup>25</sup> realizado con el financiamiento de banco mundial, algunos softwares comerciales como es el caso del METEONORM<sup>26</sup> en el que se pueden obtener series de tiempo de irradiación y temperatura o se puede obtener información también de los servicios meteorológicos de cada país (aunque hay que revisar la información disponible en este caso y el formato en que se presenta).

Cabe señalar que la información sobre el recurso solar para una determinada localidad debe ser evaluado en sitio ya que es la forma más segura y confiable de obtener esta información, sin embargo, los métodos antes expuestos pueden suplir o complementar considerablemente la información requerida para la elaboración de un proyecto de aplicaciones solares.

### 4.3 Cálculo de sombras

Las sombras que proyecta un objeto sobre un captador solar reduce el efecto de la irradiación sobre el captador y disminuye su rendimiento. Por este motivo, es necesario minimizar lo máximo posible el efecto de sombras sobre los captadores.

---

23 <https://sam.nrel.gov/weather>

24 <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

25 <http://globalsolaratlas.info/>

26 <http://www.meteonorm.com>

En las instalaciones solares es muy importante realizar un análisis de la proyección de sombras sobre el sistema debido a los obstáculos adyacentes, así como la posibilidad de nuevas construcciones anexas y el crecimiento de árboles y plantas. También se debe tener en cuenta la distancia entre hileras de captadores y termotanques.

El criterio generalmente aceptado es que las sombras proyectadas sobre los captadores entre el total de la instalación no deben superar el 10% de la superficie de captación al mediodía del solsticio de invierno (en el hemisferio norte). Este criterio debe ser ajustado por el diseñador para cada caso particular.

La distancia entre filas de captadores no deberá ser inferior a la obtenida por la siguiente expresión (ver Ecuación 1):

$$d = kh$$

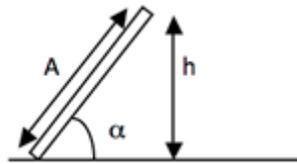
**Ecuación 1. Distancia entre filas**

Donde  $h$  es la altura máxima del captador u obstáculo y  $k$  es un coeficiente en función de la latitud del lugar.

La altura máxima del objeto ( $h$ ) se calcula como,

$$h = A \text{ sen } \alpha$$

**Ecuación 2. Ecuación para definir h (altura)**

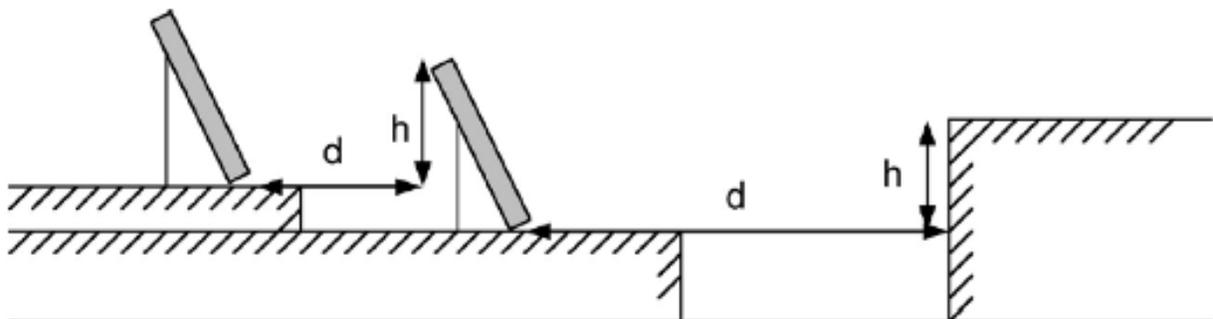


**Ilustración 22. Descripción gráfica de la ecuación de h (altura)**

Y el coeficiente  $k$  como,

$$k = 1 / \tan (61 - \text{latitud del lugar})$$

**Ecuación 3. Ecuación para definir el coeficiente k**



**Ilustración 23. Distancia entre captadores u obstáculos**

Existen páginas en internet donde mediante sencillas calculadoras pueden dar también valores estimados para el cálculo de la separación entre captadores solares como es el caso de la de Monsolar<sup>27</sup>, que lo calcula tanto para superficies horizontales como para planos inclinados.

También se pueden calcular mediante softwares para el diseño e instalación de sistemas solares como es el PV\*SOL [13] o muchos especializados como es el de diseño en 3D "SketchUp"<sup>28</sup> que te permite el cálculo de sombras en estructuras más complejas y para cada hora y día del año.

#### 4.4 Resumen del capítulo

En este capítulo se explicó que es el Sol, su estructura y los procesos que se realizan dentro de él, así como el valor de la energía que recibe la atmósfera terrestre y como es el espectro solar para diferentes longitudes de onda. El sol es la fuente de energía que se aprovecha en la tecnología de CSA en forma de energía térmica a través de la irradiación que llega a la Tierra.

El conjunto Sol-Tierra y los movimientos entre ambos cuerpos se puede analizar como geometría de manera detallada; para simplificar el análisis y comprensión, se utilizan herramientas informáticas para obtener los valores meteorológicos necesarios. Se explica el movimiento de la Tierra con respecto al Sol, y cómo debido a esto, los rayos solares caen con diferentes inclinaciones con respecto a la hora del día o a la época del año. Se analizan los fenómenos que se presentan durante la trayectoria de la radiación electromagnética proveniente del Sol a través de la atmósfera, como son: la dispersión, la reflexión y la absorción, que son los principales factores que atenúan la cantidad de radiación que viaja por las distintas capas atmosféricas.

Se presentan definiciones importantes en el área de la energía solar, como son los conceptos de radiación directa, radiación difusa, radiación total. Se explica la diferencia entre irradiancia e irradiación solar y los conceptos de tiempo solar y tiempo civil.

Se describe los principios de funcionamiento de los instrumentos de medición de la radiación solar como son el piranómetro y el pirheliómetro. Se mencionan las fuentes o bases de datos que se utilizan para la estimación del recurso solar, que se aplican tanto modelos matemáticos, lecturas satelitales o estaciones de medición para obtener sus predicciones. Mediante estas predicciones se calcula el potencial energético solar para un lugar o región de la Tierra.

Finalmente, dada las diferentes trayectorias de los rayos solares, se describen las ecuaciones o softwares que se requieren para calcular la distancia entre un obstáculo y un captador solar para que este no se sombree.

#### 4.5 Cuestionario del capítulo 4

1. **¿Cuál es el valor de la llamada constante solar, qué es la energía por unidad de área que recibe la atmósfera de parte del Sol?**

- a. 1,100.0 W/m<sup>2</sup> K
- b. 1,360.8 W/m<sup>2</sup> K.
- c. 1,580.8 W/m<sup>2</sup> K.
- d. 900.0 W/m<sup>2</sup> K.

<sup>27</sup> <https://www.monsolar.com/separacion-paneles-solares>

<sup>28</sup> <https://www.sketchup.com/es>

2. **¿Cuál es la distancia más larga entre el Sol y la Tierra durante el año?**
- a. Solsticio de verano.
  - b. Al inicio de la primavera.
  - c. Al inicio del verano.
  - d. Solsticio de invierno.
3. **¿Qué porcentaje aproximado de la radiación solar extraterrestre se atenúa debido a su paso por la atmósfera?**
- a. 23%.
  - b. 50%.
  - c. 33%.
  - d. 72%.
4. **Está definido como la cantidad de energía por unidad de área ( $J/m^2$ ) que incide del Sol en un periodo dado.**
- a. Radiación directa.
  - b. Irradiación.
  - c. Irradiancia.
  - d. Radiación difusa.
5. **Instrumento que se utiliza para medir la irradiancia global sobre una superficie plana**
- a. Pirheliómetro.
  - b. Anemómetro.
  - c. Piranómetro.
  - d. Contador Geiger.
6. **Calcular la distancia mínima a la que requiere estar un captador solar que dé un obstáculo que se encuentra hacia el Ecuador y que tiene una altura de 1 m para que no se sombree. Esto para la ciudad de Panamá que se encuentra a una latitud de  $9^\circ$  y considerando el ángulo de inclinación del captador solar es de  $10^\circ$ .**
- a. 0.78 m.
  - b. 0.14 m.
  - c. 1.28 m.
  - d. 0.65 m.

## 5. VERIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE MONTAJE<sup>29</sup>

Previo a iniciar los trabajos se debe verificar la disponibilidad de los equipos de seguridad o protección personal correspondientes. No se debe realizar ningún trabajo en caso de que alguno de los equipos de seguridad o protección personal falte o esté en mal estado.

Se recomienda que el responsable del grupo emita una boleta de entrega de equipos de seguridad personal, especificando qué elementos están incluidos, nombre y fecha. La boleta se firma por el instalador, quien, a su vez, tendrá la obligación de verificar que se le entregaron todos los equipos en buen estado de funcionamiento.

Uso de equipos de seguridad

| Nombre de equipo                     | Características que debe cumplir   |
|--------------------------------------|--|
| <b>Botas de seguridad</b>            | Refuerzo de zona delantera<br>Suela anti resbalante<br>Usar durante todo el trabajo  |
| <b>Casco</b>                         | Zona de amarre o ajuste de posición<br>Usar durante todo el trabajo  |
| <b>Lentes de seguridad</b>           | Protección frontal y lateral de los ojos<br>Sistema ajustable o elástico<br>Usar durante todo el trabajo   |
| <b>Guantes</b>                       | Simple y que permitan manipular herramientas<br>Segundo par más resistente para otro tipo de trabajo<br>Usar durante todo el trabajo                                       |
| <b>Chaleco u otro reflectante</b>    | Sin desgaste o rasgaduras<br>Puede ser parte de la vestimenta<br>Usar durante todo el trabajo  |
| <b>Arnés para trabajo en altura</b>  | Amarres en buen estado<br>Con línea de vida con sistema de amortiguación<br>Usar solo en trabajo en altura   |
| <b>Equipo para espacio confinado</b> | Con protección facial total y respirador<br>Usar solo en situaciones específicas, por ejemplo, trabajos dentro de un sótano sin ventilación y salida limitada al exterior. |

**Tabla 5. Equipos de seguridad**

<sup>29</sup> CENCER, GIZ y BMZ, México. Manual para el participante Estándar de Competencia Laboral EC0473: Instalación del Sistema de Calentamiento Solar de Agua por Circulación Forzada con termotanque.

## 5.2 Verificación herramientas

El instalador debe tener un mínimo de herramientas básicas y específicas a su disposición para la realización de los trabajos que se detallan a continuación:

| Tipo de herramienta                        |
|--|
| Juego de desarmadores                      |
| Pinzas mecánicas y de corte                |
| Llave tipo "Steelson"                      |
| Juego de llaves                            |
| Matraca con dados                          |
| Arco con segueta                           |
| Taladro con brocas de diferentes diámetros |
| Martillo de cabeza metálica y de goma      |
| Máquina de termofusión (por calor)         |
| Tijera de corte de tubería PPR             |
| Máquina de soldadura eléctrica             |
| Pinza para sujetar tubería                 |

**Tabla 6. Herramientas de trabajo**

El responsable del grupo debe disponer una lista de herramientas y se recomienda que el instalador revise los equipos antes y después de cada jornada de trabajo, para verificar que están completas y en buenas condiciones.

## 5.3 Revisión de planos y esquemas

El instalador debe revisar los planos de montaje, así como los esquemas de la instalación con el responsable del grupo y consultar acerca de cualquier duda o parte de la instalación que no esté clara. Los planos de montaje deben incluir los siguientes detalles:

- Distribución del campo de colectores.
- Sistema de fijación de la estructura de soporte de los captadores.
- Ubicación del sistema de acumulación (termotanque).
- Sistema de fijación de la estructura de soporte del sistema de acumulación.
- Acometida de agua de red.
- Diámetro de tubería del sistema de distribución.
- Tipo de material de la tubería del sistema de distribución.
- Puntos de conexión entre distintos tipos de materiales de tubería.
- Detalle de interconexión en cuarto de máquinas.
- Detalle de conexión eléctrica del sistema de control, cuando corresponda.
- Detalle de conexión eléctrica del sistema de bombeo, cuando corresponda.

## 5.4 Verificación del sistema de distribución

En esta fase, el instalador debe verificar el sistema de distribución en todo su recorrido: desde los captadores hasta el cuarto de máquinas e interconexión con la acometida actual.

Tomar en consideración las siguientes indicaciones:

- **Indicar si la tubería tiene que ir sobre muro, sobre piso, o dentro de alguna trinchera existente.**
  - En el caso de existir trincheras será necesario tomar fotos y medidas, y describir el material con el que está hecha la trinchera.
  - En el caso de existir muros, describir tipo y materiales de ellos.
- **La descripción de materiales tiene el propósito de verificar el tipo de soporte adecuado en cada caso.**
- **Verificar con el cliente si las líneas pueden ir por el recorrido propuesto. Es importante que esta información quede reflejada en un plano y firmada por ambas partes, cliente y responsable del grupo.**
- **Es necesario verificar las tomas que alimentarán nuestro sistema, para ello se deberá realizar lo siguiente:**
  - Se deberán identificar los recorridos y conexiones de agua fría y caliente de acuerdo con lo establecido en el proyecto.
  - Se deberá señalar físicamente en el área de instalación la entrada y salida del suministro de agua caliente y fría de acuerdo con el plano de instalación hidráulica.
- **Verificación en el manómetro rango de presión según proyecto:**
  - Es muy importante verificar las unidades en que el manómetro entrega la información.
- **Verificación visual:**
  - Se deberá verificar visualmente en el manómetro si la presión de agua se encuentra dentro del rango especificado en el proyecto.
- **Identificación de la red**
  - Se deberá identificar la red hidráulica a la que va conectado el sistema de calentamiento solar, ya sea tanque elevado / tinaco / hidroneumático / presurizador / presión municipal.

## 5.5 Verificación ubicación de componentes

### Ubicación de los equipos en la cubierta

Identificar el tipo de losa de la cubierta que puede ser de concreto, metálico, u otros. Es importante tomar fotos y describir la cubierta para determinar la mejor opción de fijación de los paneles.

Verificar qué tipo de impermeabilizante tiene la losa y el tiempo que lleva instalado o si será renovado pronto. Verificar si se puede perforar la losa y qué medidas a tomar en caso de que se pueda perforar para proteger la capa de impermeabilización.

Para losa inclinada es necesario medir la pendiente. Para losas inclinadas que miran hacia el norte no deben tener más de 3% de pendiente (pendiente pluvial), de lo contrario no se recomienda su uso.

Realizar diagrama con las medidas y la orientación de la cubierta, que se puede realizar sobre una imagen tomada de Google Earth e incluir las coordenadas del sitio.

El proceso de validación de la ubicación de los equipos incluye los siguientes pasos: medir áreas asignadas en el proyecto, marcar área de colectores solares, señalar elementos de sombreado, señalar obstáculos y riesgos para el instalador, marcar la orientación del proyecto y acordar la ubicación con el cliente.

Algunos consejos y recomendaciones para este proceso:

- En caso de que los planos de montaje no tengan el detalle necesario, se deben realizar algunas observaciones y mediciones en sitio para obtenerlos.
- Usar ley de sombras.
- Corroborar orientación del proyecto y retroalimentar si existe una mejor posición del campo de colectores.
- Medir para evitar errores graves de espacio, como en que no quepa el termostato o que el bypass del sistema de respaldo tenga inconvenientes por altura del cuarto de máquinas. Es muy importante pues un termostato no puede "ajustar" su tamaño, así que el proyecto se detiene completamente si la selección del lugar no es apropiada.
- Describir los obstáculos que pueda haber en la azotea/cubierta: (equipos de aire acondicionado, altura de obstáculos, tuberías y líneas eléctricas sobre la cubierta, etc.). Incluir fotos representativas de los obstáculos.
- Verificar el tipo de acometida eléctrica que tiene el cuarto de máquinas (voltaje, configuración eléctrica: monofásica o trifásica).
- Incluir un diagrama del cuarto de máquinas, con sus dimensiones aproximadas y la ubicación de los equipos. Incluir fotos representativas del cuarto de máquinas para estimar los espacios disponibles para la ubicación de líneas y otros equipos como bombas e intercambiadores, así como la ubicación de la acometida eléctrica.
- Incluir un diagrama de las tuberías de succiones y retornos incluyendo sus diámetros
- Ubicar el lugar donde se pueda hacer la interconexión del sistema solar con el sistema convencional (bypass). Incluir fotos de la posible ubicación e incluir medidas de los espacios disponibles (longitud del tramo de la línea donde se interconectará y diámetro).
- Verificar con el responsable por parte del cliente la ubicación de bombas e intercambiadores a instalar.
- Hacer un listado de los equipos que interactuarán con el sistema solar.
- Tomar nota de las especificaciones de los equipos del cuarto de máquinas: caldera(s) de respaldo, intercambiadores de calor, bomba(s). Tomar una foto del equipo y de su placa. En el caso de bombas ver verificar el diámetro de succión y de descarga. Describir de qué material están hechas las tuberías de filtrado en el cuarto de máquinas.

- Para la mayoría de los sistemas de agua caliente, la interconexión del sistema solar con el convencional se hace como precalentamiento del tanque de las calderas existentes. Anexar un diagrama de las conexiones que tiene el tanque de la caldera, identificar cual corresponde a cada uso (salida a la caldera, retorno de la caldera, alimentación de agua fría, salida de agua caliente hacia servicios). Mencionar los diámetros de estas tuberías y los materiales de los que están hechos.
- Revisar la presión hidráulica de la red de suministro. Si no hay manómetro, consultar con el responsable por parte del cliente.
- Registrar en bitácora toda la información
- Preguntar al responsable por parte del cliente sobre los horarios de operación de los sistemas convencionales, (a qué hora prenden o apagan las calderas) así como los consumos estimados de agua caliente. Es deseable tener un diagrama conceptual del proceso para entender mejor la operación, o al menos una descripción de proceso que involucrará el agua caliente solar.
- La ubicación de los tanques es un tema importante: el espacio que ocupan y el peso de los tanques.
- Ubicar los lugares posibles para instalar el tanque (azotea, cuarto de máquinas, exterior del cuarto de máquinas). Tomar una fotografía del lugar, indicar las dimensiones del sitio disponible. Anexar un diagrama de las distancias desde esta ubicación al cuarto de máquinas.
- Verificar con el responsable por parte del cliente la ubicación de tanque a instalar, con mención de pesos y dimensiones.
- Para definir el mejor lugar para la ubicación del tanque hay que tener en cuenta las dificultades de la maniobra para colocarlo en ese lugar.
- Por facilidad de la maniobra, el lugar más sencillo es a nivel de piso.
- Una vez definidos los detalles del lugar de cada elemento: firmar el acuerdo en bitácora con responsable por parte del cliente.

## 5.6 Resumen del capítulo

Este capítulo es una introducción a la instalación y montaje de un SCSA. De manera previa a iniciar los trabajos, se debe revisar la entrega de equipos de protección personal a los operadores y montadores de una instalación. Además de eso, se debe verificar que se dispone de las herramientas necesarias para desarrollar correctamente los trabajos.

Además, se deberá realizar una verificación de los equipos y la ubicación de estos en el sitio de instalación. Para ello, el instalador deberá disponer de los planos de montaje e interpretarlos.

## 5.7 Cuestionario del capítulo 5

1. **¿Cuándo se deben usar los equipos de protección personal?**
  - a. Al comenzar los trabajos.
  - b. En trabajos con peligro.
  - c. En todo momento.
2. **¿Son obligatorios los equipos de protección personal?**
  - a. En trabajos con peligro.
  - b. Siempre.
  - c. Nunca.

3. **¿De quién son responsabilidad el buen uso y mantenimiento de las herramientas de trabajo?**
  - a. Del responsable del grupo.
  - b. De cada instalador.
  - c. Del cliente.
4. **¿Cuáles son los componentes principales?**
  - a. Captador, termotanque e inversor.
  - b. Captador, termotanque y bomba recirculadora.
  - c. Captador, termotanque y fusibles.
5. **¿Qué es un manómetro?**
  - a. Equipo para medir la temperatura.
  - b. Equipo para añadir presión al circuito.
  - c. Equipo para medir la presión.

## 6. INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS

### 6.1 Verificación equipos y componentes

A continuación, se detallan los equipos y las principales características de cada equipo. Revisar cuidadosamente que estos estén completos y en buen estado, en caso de omisión o deterioro de alguno de los componentes, contactar al proveedor para que la situación del equipo no represente una dificultad.

#### 6.1.1 Ejemplo de tipo de captadores solares

Los captadores solares se suministran convenientemente asegurados y embalados con distintos elementos de protección para evitar posibles desperfectos durante el transporte y posterior almacenamiento.

Los equipos pueden suministrarse principalmente con captadores de tres tipos: captadores planos con absorbedor recubierto de pintura negra, captadores planos con recubrimiento selectivo o captadores de tubos de vacío. Como ejemplo se presentan las principales características de tres captadores:

| Referencia                             | Plano Pintura Negra               | Plano selectivo      | Tubo de vacío       |
|--|-----------------------------------|----------------------|---------------------|
| Tipo de captador                       | Plano                             | Plano                | Tubo de vacío       |
| Dimensiones AxHxE (mm)                 | 1,030 x 2,030 x 87                | 1,030 x 2,030 x 92.5 | 1,640 x 1,390 x 100 |
| Superficie del captador m <sup>2</sup> | 2.09                              | 2.09                 | 2.28                |
| Peso Kg                                | 43                                | 48.20                | 37                  |
| Área apertura m <sup>2</sup>           | 1.92                              | 1.92                 | 2.00                |
| Número de tubos de vacío               | No aplica                         | No aplica            | 12                  |
| Material / Recubrimiento superficial   | Lámina Al y tubo Cu/Pintura negra | Sunselect            | Selectivo           |
| Volumen de fluido caloportador l       | 2.1                               | 1.4                  | -                   |
| Fluido anticongelante                  | No aplica                         | No aplica            | No aplica           |
| Presión de trabajo bar                 | 6 b                               | 10                   | 6                   |
| Presión máxima bar                     | 10                                | 15                   | 10                  |
| Diámetro de conexiones bar             | 22                                | 22                   | 15                  |

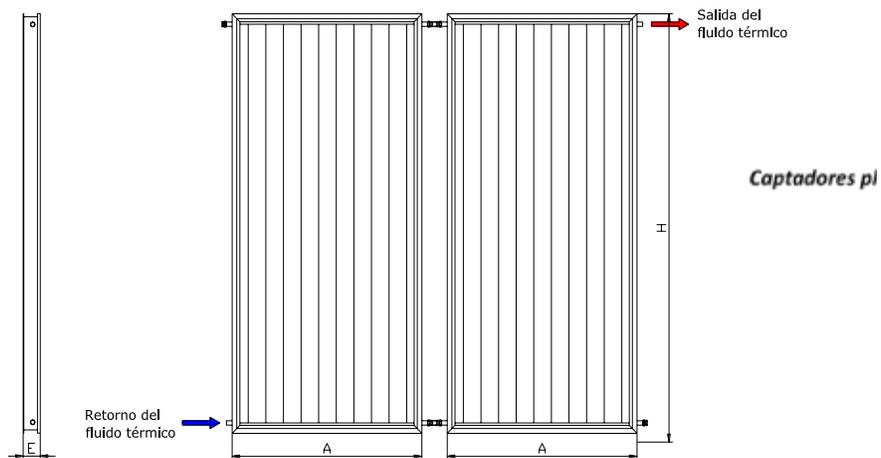
**Tabla 7. Características de captadores solares**

Tabla de conversión de unidades:

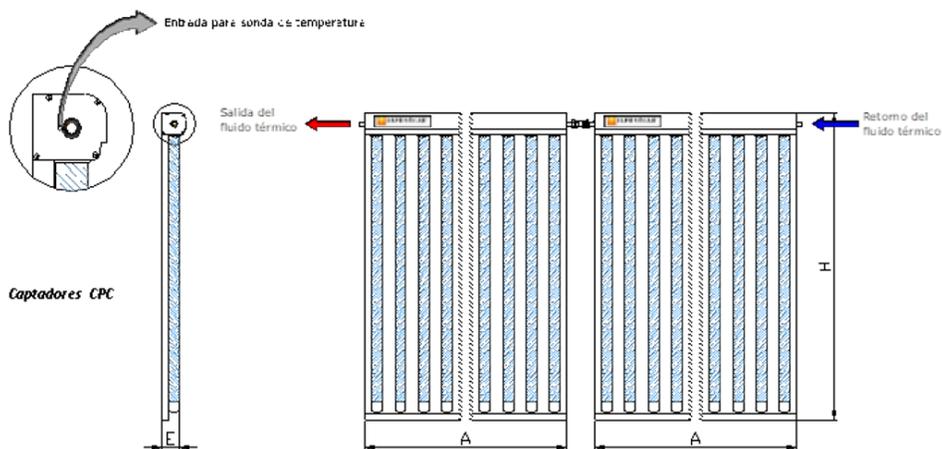
| Unidades Tabla anterior |     | SI                           | Conversión a sistema US | Conversión de sistema US |
|-------------------------|-----|------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Longitud                | mm  | 1 mm = 0.001 m               | 1 mm = 0.0394 inch      | 1 inch = 25.4 mm         |
| Volumen                 | L   | 1 l = 0.001 m <sup>3</sup>   | 1L = 0.2642 galón int.  | 1 galón int. = 3.785 l   |
| Peso                    | kg  | kg                           | 1 kg = 2.2 libras       | 1 libra = 0.4563 kg      |
| Temperatura             | °C  | 1 °C = 273 K                 | tF = 9/5 · tC + 32      | tC = 5/9 · (tF - 32)     |
| Presión                 | bar | 1 bar = 100,000 Pa = 0.1 MPa | 1 bar = 14.5038 psi     | 1 psi = 0.0689 bar       |

**Tabla 8. Tabla de conversión de unidades**

Descripción gráfica de los captadores:



**Ilustración 24. Imagen de las conexiones del captador plano**



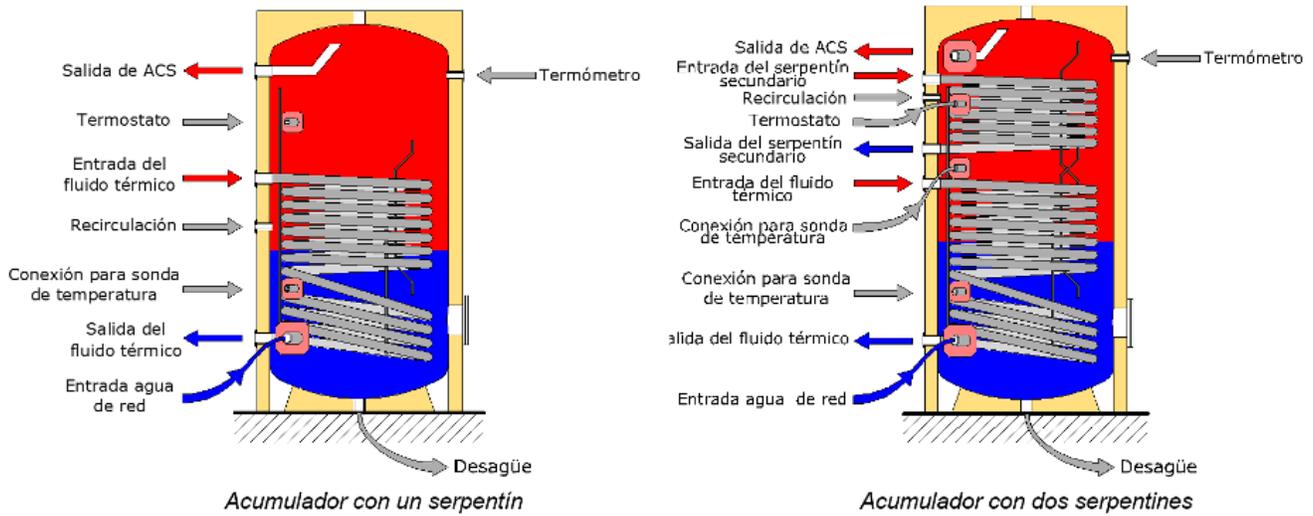
**Ilustración 25. Imagen de las conexiones del captador de tubo de vacío**

### 6.1.2 Termotanque o tanque acumulador

El termotanque o tanque acumulador puede contener diferentes volúmenes de acumulación y debe colocarse en una zona cubierta. Como ejemplo se presentan las principales características de cuatro termotanques de diferentes tamaños:

| Referencia   | 100 litros | 200 litros | 300 litros | 500 litros |
|--|------------|------------|------------|------------|
| Volumen l  | 150        | 200        | 300        | 500        |
| Entrada y salida serpentín 1 (primario)                                    | 1" hembra  | 1" hembra  | 1" hembra  | 1" hembra  |
| Entrada y salida serpentín 2 (secundario)                                  | -          | 1" hembra  | 1" hembra  | 1" hembra  |
| Superficie intercambio acumulador de 1 serpentín m <sup>2</sup>            | 0,74       | 0,95       | 1,3        | 2,15       |
| Superficie intercambio acumulador de 2 serpentín (S1/S2) [m <sup>2</sup> ] | -          | 0.6/0.5    | 0.7/0.6    | 1.2/1.0    |
| Entrada de agua fría   | 1" macho   | 1" macho   | 1" macho   | 1" ½ macho |
| Salida agua caliente   | 1" macho   | 1" macho   | 1" macho   | 1" ½ macho |
| Peso en vacío 1 serpentín / 2serpentines kg/kg                             | 80 / -     | 88 / 85    | 127 / 160  | 165 / 215  |
| Recirculación  | ½" hembra  | ½" hembra  | ½" hembra  | 1" hembra  |
| Presión máxima de trabajo bar  | 8          | 8          | 8          | 8          |
| Presión máxima de prueba bar   | 25         | 25         | 25         | 25         |
| Temperatura máxima de trabajo °C   | 95         | 95         | 95         | 95         |
| Diámetro [ø] mm  | 550        | 550        | 650        | 750        |
| Altura [H] mm  | 1,070      | 1,340      | 1,410      | 1,710      |

**Tabla 9. Características de termotanques**



**Ilustración 26. Ejemplos de acumulador con 1 y 2 serpentines**

### 6.1.3 Estructura de soporte del captador

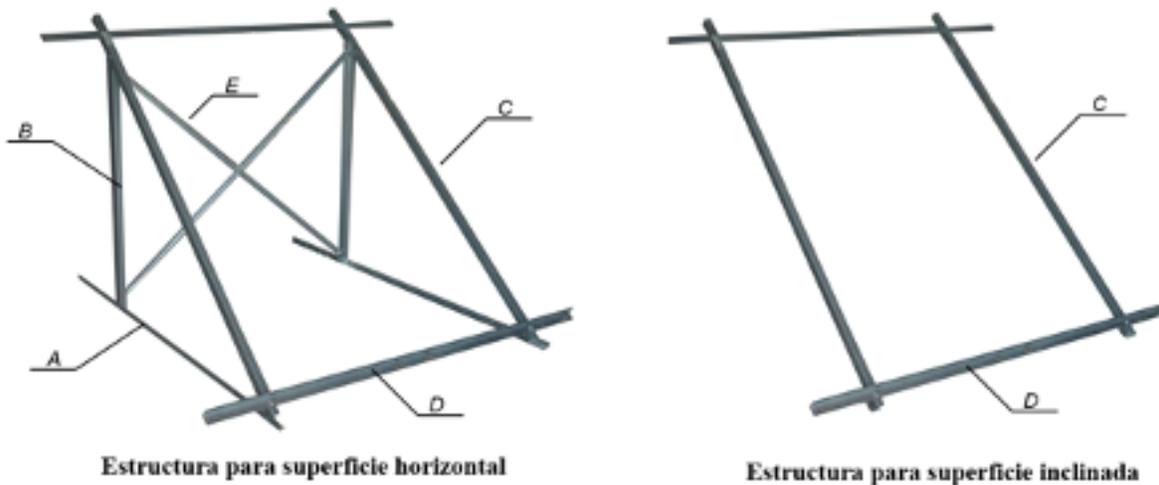
Para una mayor facilidad y rapidez de instalación la estructura de soporte se suele suministrar ya pre-montada y cada grupo de piezas se suministra en una bolsa con su correspondiente tornillería.

Se debe revisar que en la caja se encuentran la totalidad de los componentes listados en la hoja de entrega de la estructura.

A continuación, descripción de una estructura de soporte como ejemplo:

| Referencia | Descripción   | Cantidad       |                    |
|------------|---|----------------|--------------------|
|            |   | Cubierta plana | Cubierta inclinada |
| A          | Barra de fijación al suelo                                    |                |                    |
| B          | Barra vertical  | 2              | -                  |
| C          | Apoyo de captadores   | 2              | 2                  |
| D          | Fijación de captadores  | 2              | 2                  |
| E          | Riostra   | 2              | -                  |
| F          | Tornillo de montaje de captadores (M8)                        | 4/8            | 4/8                |
| G          | Tornillo y rosca de montaje de estructura la (M10)            | 15             | 8                  |
| H          | Tornillo (M8x50) y taco de fijación de estructura             | 4              | -                  |
| I          | Arandela plana  | 19             | 12                 |
| J          | Fijación a cubierta   | -              | 4                  |
| K          | Tornillo (M8x50 rosca chapa) y taco de fijación de estructura | -              | 4                  |

**Tabla 10. Partes de una estructura de soporte**



**Ilustración 27. Ejemplo de estructura de soporte**

#### 6.1.4 Grupo de bombeo

Los grupos de bombeo suministrados están generalmente diseñados para aplicaciones de energía solar térmica. El resultado es un equipo compacto, seguro, de fácil instalación incluso en espacios reducidos y aislado del exterior para minimizar las pérdidas térmicas.

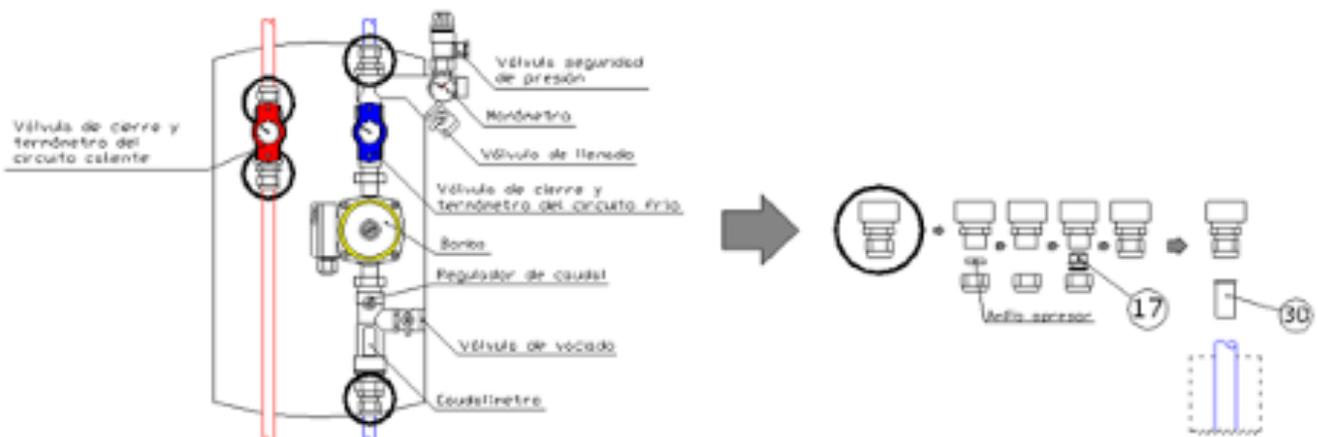
Los principales elementos que incorporan los grupos de bombeo son los siguientes:

- Bomba específica para aplicaciones solares que ofrece varias velocidades de funcionamiento, que junto con el regulador de caudal permite fijar con precisión el caudal circulante deseado.
- Válvulas de corte independientes para el lado frío y caliente.
- Los termómetros del lado frío y caliente; permitiendo conocer en todo momento y de forma directa los parámetros de funcionamiento de la instalación.
- Válvulas de llenado y vaciado para el fácil desempeño de estas tareas.
- Válvula de seguridad con manómetro.
- Tubo de acero flexible para conexión del vaso de expansión.
- Válvula de retención bidireccional para la entrada del vaso de expansión.
- Soporte para sujeción del vaso de expansión.

A continuación, ejemplo de las características de un grupo de bombeo:

| Referencia              | Grupo de bombeo bicolumna |
|-------------------------|---------------------------|
| Configuración           | Bicolumna                 |
| Dimensiones carcasa A/H | 300/480                   |
| Bomba                   | Modelo solar 15-60        |
| Material conexiones     | Latón                     |
| Material cerramientos   | EPDM                      |
| Material aislamiento    | EPP                       |
| Presión máxima          | 10 bar                    |
| Temperatura máxima      | 130 °C (160 °C)           |
| Válvula de seguridad    | 6 bar                     |
| Manómetro               | 0-6 bar                   |
| Conexiones              | 18 mm                     |

**Tabla 11. Características de grupo de bombeo**



**Ilustración 28. Detalle y conexionado del grupo de bombeo bicolumna (ejemplo)**

### 6.1.5 Regulador, sistema de control

El regulador cubre prácticamente todas las funciones de control de circuito primario de la instalación de agua caliente sanitaria. Incluyendo los esquemas de montaje más habituales programados. Dispone, asimismo, de funciones antihielo y de vacaciones.

El regulador tendrá una pantalla para favorecer la óptima legibilidad, normalmente iluminada, de fácil lectura y con un extenso modo gráfico y de texto completo. El uso de texto completo permite no usar abreviaturas, evitando tener que recordarlas y reduciendo confusiones al usuario.

El manejo del regulador es muy sencillo e intuitivo y no requiere de conocimientos especiales, para ello dispone de un manejo a través de sus teclas de entrada, que le permiten ordenar de forma inequívoca todas las funciones.

El regulador le ofrece la posibilidad de controlar y supervisar el funcionamiento de la instalación pudiendo detectar con facilidad defectos y averías gracias al registro y a la evaluación de datos que realiza. Almacena las estadísticas de días, semanas meses y años, pudiéndose consultar cuando se desee.

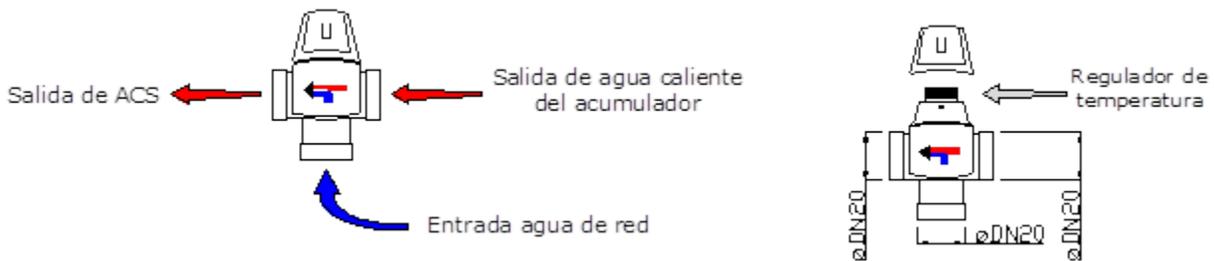
| Referencia                                      | Ejemplo regulador |
|---|-------------------|
| Tensión nominal                                 | 120 ±10% (60Hz)   |
| Consumo de energía                              | 2 VA              |
| Potencia de conmutación relé electrónico (R1)   | 20VA - 120VA      |
| Potencia de conmutación relé mecánico (R2)      | 460VA             |
| Grado de protección                             | IP40              |
| Sensores  | 3 x Pt1000        |
| Rango de temperatura permisible del regulador   | 0°C - 40°C        |
| Rango de temperatura permisible de la caja      | 0°C - 60°C        |
| Humedad   | 85% a 25°C        |
| Dimensiones                                     | 163 x 110 x 51mm  |
| Pantalla  | 128 x 64 píxeles  |
| Led   | policromático     |
| Estrada de sensores Pt1000                      | 2-3               |
| Salidas de relé 230V CA conectado/desconectado  | 1                 |
| Relé de control eléctrico de revoluciones       | 1                 |
| Número de usos                                  | 14                |
| Sencilla detección térmica con sensor de tercio | Sí (sólo pr.1)    |

**Tabla 12. Características de sistema de regulación**

### 6.1.6 Válvula mezcladora

La válvula mezcladora es el elemento que limitará la temperatura del agua de entrada a la red de distribución para evitar accidentes derivados de un exceso de temperatura del ACS (Agua Caliente Sanitaria). Esto lo consigue mezclando (en cada caso en la proporción adecuada dependiendo de la temperatura del agua almacenada en el acumulador) el agua de salida del acumulador con agua fría de red.

Bajo la tapa de la parte superior, dispone de un regulador que nos permite ajustar la temperatura de salida del ACS en un rango de 35 a 60°C. El regulador de temperatura está graduado, de manera que cada número supone un aumento de 5°C. La temperatura máxima de salida que permite la válvula mezcladora en función de la posición del regulador es la siguiente:



**Ilustración 29. Imagen representativa de válvula mezcladora**

| Posición del regulador | Tmax salida [°C] |
|------------------------|------------------|
| 1                      | 35               |
| 2                      | 40               |
| 3                      | 45               |
| 4                      | 50               |
| 5                      | 55               |
| 6                      | 60               |

**Tabla 13. Ajustes de válvula mezcladora**

La válvula mezcladora debe ser instalada por debajo del productor de agua caliente (en nuestro caso, por debajo del acumulador) siempre que sea posible.

Si se instala al mismo nivel o por encima del productor, es importante prevenir la circulación por gravedad en el caso en que no haya demanda de agua. Este se puede evitar instalando tramos verticales en la tubería, o una válvula de retención en la tubería de retorno.

También hay que instalar una válvula de retención en caso de que exista una salida directa de agua caliente y cuando la válvula esté instalada en una salida de agua de servicio directo.

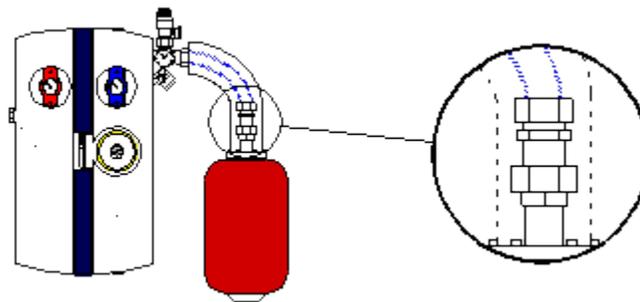
### 6.1.7 Vaso de expansión

El vaso de expansión es el elemento de seguridad destinado a absorber los cambios de volumen del fluido causados por la dilatación de este manteniendo la presión del circuito dentro del rango de presiones admisibles.

Los vasos de expansión que incorporan los equipos disponen de una membrana resistente a altas temperaturas y están especialmente recomendados para sistemas solares.

| Referencia      | Vaso expansión 24 l | Vaso expansión 35 l | Vaso expansión 50 l | Vaso expansión 80 l |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Capacidad       | 24                  | 35                  | 50                  | 80                  |
| Presión máxima  | 8                   | 5                   | 6                   | 6                   |
| Conexión        | ¾"                  | ¾"                  | ¾"                  | ¾"                  |
| Dimensiones ø/H | 260/485 mm          | 380/450 mm          | 380/590 mm          | 460/690 mm          |

**Tabla 14. Características de tipos de vaso de expansión**



**Ilustración 30. Imagen representativa de vaso de expansión**

### 6.1.8 Conjunto de válvulas y tuberías

Los elementos y accesorios necesarios para la instalación hidráulica son diversos y debe revisarse de manera detallada que se encuentran en su totalidad, por lo que es importante tenerlos listados para su revisión. A continuación, se presenta un listado de ejemplo:

| n° | Descripción                                 | Cantidad            |                 |
|----|---|---------------------|-----------------|
|    |   | Captadores planos   | Captadores CPC  |
|    |   | Purgador automático | Purgador manual |
| 1  | Captador solar                              | *                   | *               |
| 2  | Acumulador                                  | 1                   | 1               |
| 3  | Grupo de bombeo bicolumna                   | 1                   | 1               |
| 4  | Tapón ø22mm anillo opresor                  | 2                   | -               |
| 5  | Codo ø22mm anillo opresor                   | 1                   | 1               |
| 6  | Unión flexible ø22mm anillo opresor         | 2(n-1)              | n-1             |
| 7  | Unión en cruz ø22mm anillo opresor          | 1                   | -               |
| 8  | Vaina para sonda de temperatura de captador | 1                   | -               |
| 9  | Sonda de temperatura                        | 2                   | 2               |

|    |  |              |              |
|----|--|--------------|--------------|
| 10 | Termómetro   | 1            | 1            |
| 11 | Vaina para termómetro                                      | 1            | 1            |
| 12 | Unión recta ½" - 22mm liso                                 | 1            | -            |
| 13 | Llave de corte macho de ½"                                 | 1            | -            |
| 14 | Purgador automático macho de ½"                            | 1            | -            |
| 15 | Anillo de reducción de cobre de ø22mm a ø15mm              | 6            | 8            |
| 16 | Tubería de cobre d ø15mm con aislante y cable de señal     | 1 (opcional) | 1 (opcional) |
| 17 | Anillo de reducción de cobre de ø18mm a ø15mm              | 4            | 4            |
| 18 | Válvula mezcladora   | 1            | 1            |
| 19 | Vaina para sonda de temperatura de acumulador              | 1            | 1            |
| 20 | Regulador  | 1            | 1            |
| 21 | Racor ø15mm anillo opresor - 1" macho                      | 4/2**        | 4/2**        |
| 22 | Racor ø15mm anillo opresor - 1" ½ macho                    | -/2**        | -/2**        |
| 23 | Válvula de retención bidireccional hembra de ¾" - ¾" macho | 1            | 1            |
| 24 | Vaso de expansión  | 1            | 1            |
| 25 | Tubería de acero flexible hembra de ¾"                     | 1            | 1            |
| 29 | Válvula de seguridad                                       | 1            | 1            |
| 30 | Racor anti-compresión interno para tubería de 15mm         | 10           | 6            |
| 31 | Anillo de reducción de cobre de ø22mm a ø18mm              | -            | -            |
| 32 | Codo con Purgador Manual                                   | -            | 1            |
| 35 | Garrafa de propilenglicol                                  | *            | *            |

**Tabla 15. Conjunto de válvulas y accesorios**

\* Según modelo

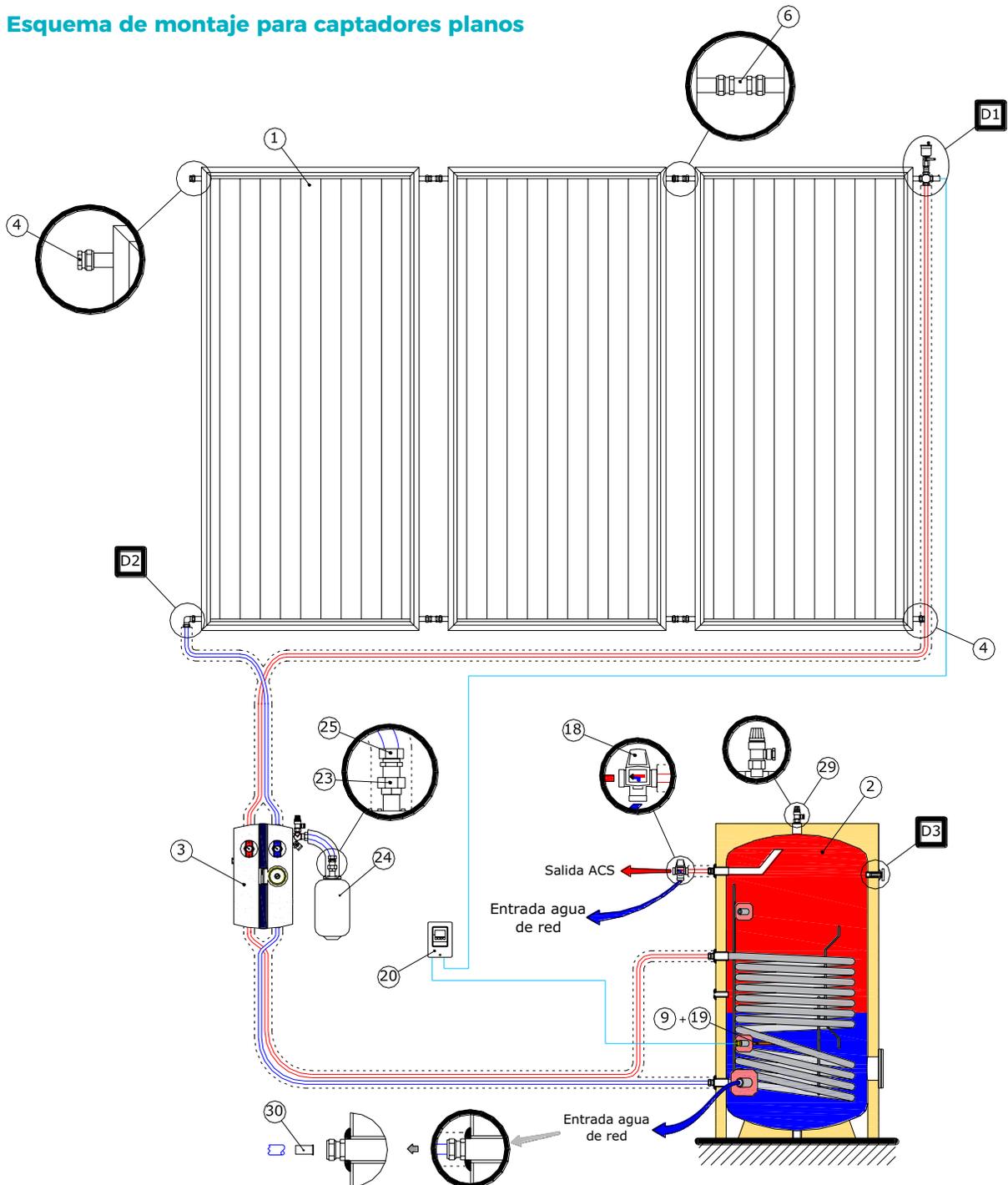
\*\* Sólo para acumuladores de 500 l

n = número de captadores

### Notas:

- Las conexiones de los CPC de 15 mm vienen con unas protecciones por seguridad.
- En equipos con acumuladores de doble serpentín, se añade al despiece anterior 2 unidades del artículo nº21 Racor  $\varnothing 15\text{mm}$  anillo opresor - 1" macho.
- En equipos de dos captadores CPC se añade al despiece anterior 2 unidades del artículo nº15 anillo de reducción de cobre de  $\varnothing 22\text{mm}$  a  $\varnothing 15\text{mm}$ .

### 6.1.9 Esquema de montaje para captadores planos

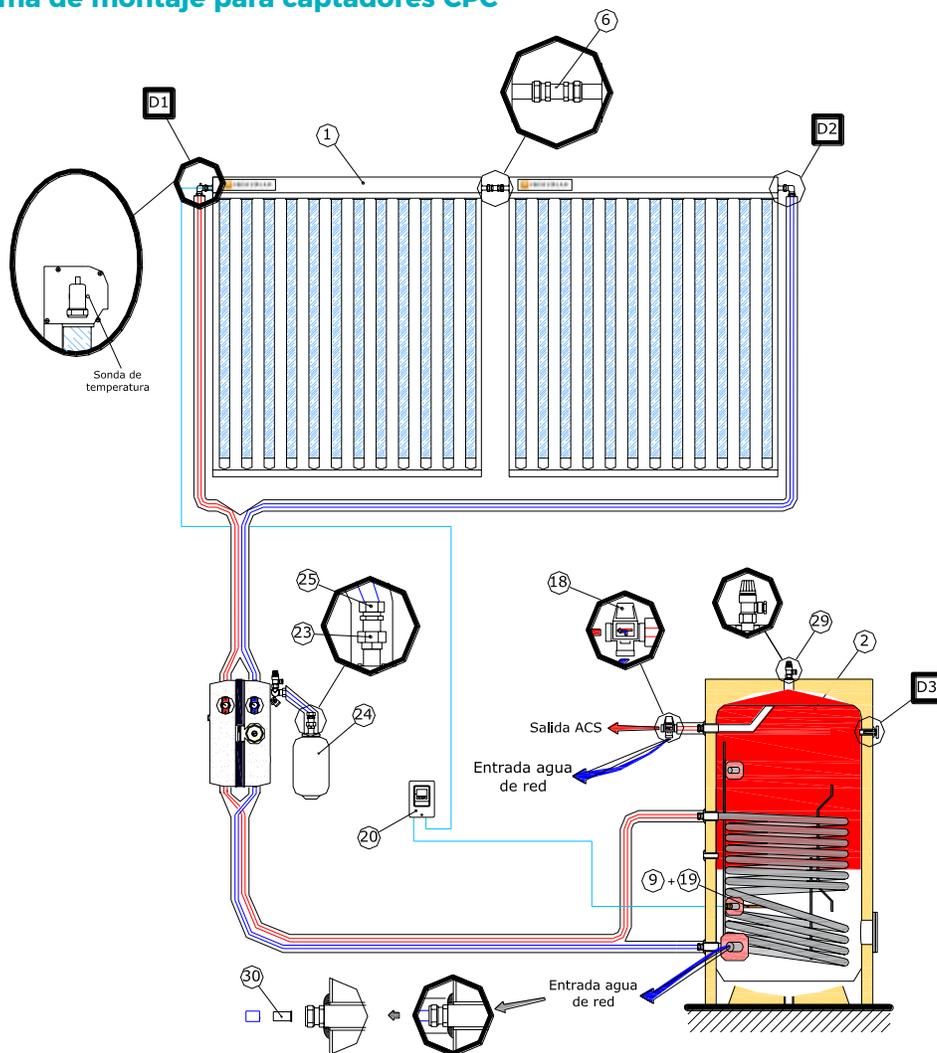


**Ilustración 31. Esquema de montaje para captadores planos**

|    |                                     |    |  |
|----|-------------------------------------|----|--|
| 1  | Captador solar                      | 19 | Vaina para sonda de temperatura de acumulador              |
| 2  | Acumulador                          | 20 | Regulador  |
| 3  | Grupo de bombeo bicolumna           | 23 | Válvula de retención bidireccional hembra de ¾" - ¾" macho |
| 4  | Tapón ø22mm anillo opresor          | 24 | Vaso de expansión  |
| 6  | Unión flexible ø22mm anillo opresor | 25 | Tubería de acero flexible hembra de ¾"                     |
| 9  | Sonda de temperatura                | 29 | Válvula de seguridad del circuito secundario               |
| 18 | Válvula mezcladora                  | 30 | Racor anti-compresión interno para tubería de 15mm         |

**Tabla 16. Equipos que componen el sistema de captadores planos**

### 6.1.10 Esquema de montaje para captadores CPC

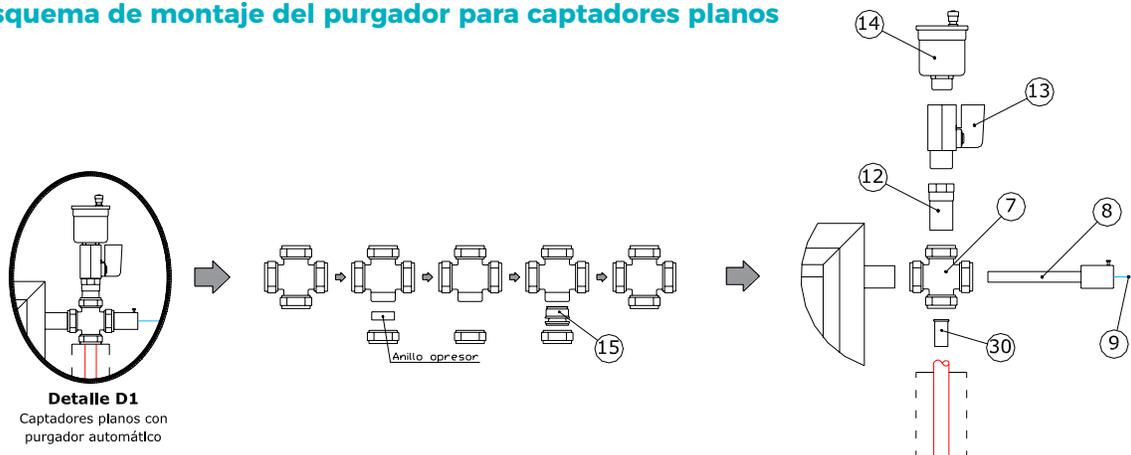


**Ilustración 32. Esquema de montaje para captadores CPC**

|    |   |    |  |
|----|---|----|--|
| 1  | Captador solar                                | 20 | Regulador  |
| 2  | Acumulador                                    | 23 | Válvula de retención bidireccional hembra de ¾" - ¾" macho |
| 3  | Grupo de bombeo bicolumna                     | 24 | Vaso de expansión  |
| 6  | Unión flexible ø22mm anillo opresor           | 25 | Tubería de acero flexible hembra de ¾"                     |
| 9  | Sonda de temperatura                          | 29 | Válvula de seguridad del circuito secundario               |
| 18 | Válvula mezcladora                            | 30 | Racor anti-compresión interno para tubería de 15mm         |
| 19 | Vaina para sonda de temperatura de acumulador |    |  |

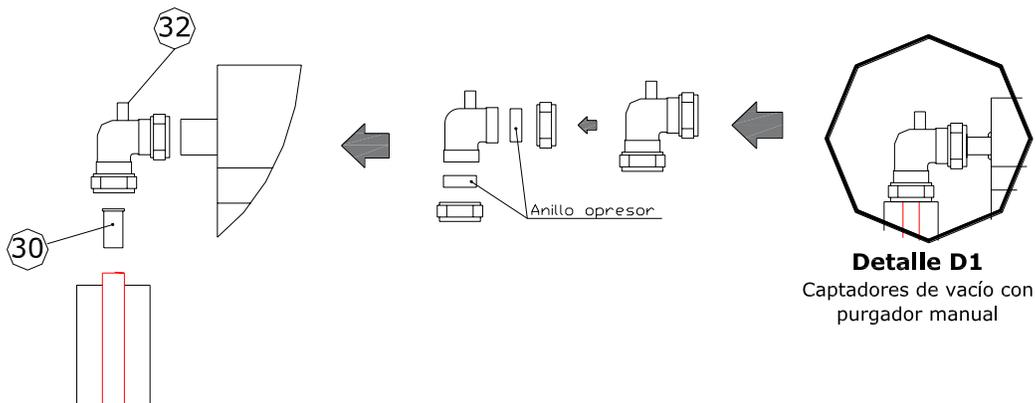
**Tabla 17. Equipos que componen el sistema de captadores planos**

### 6.1.11 Esquema de montaje del purgador para captadores planos



**Ilustración 33. Montaje de purgadores para captadores planos**

### 6.1.12 Esquema de montaje del purgador para captadores CPC



**Ilustración 34. Montaje de purgadores para captadores CPC**

## 6.2 Colocación de la estructura de soporte de los captadores

### 6.2.1 Estructuras de acero galvanizado para captadores CPC

#### 6.2.1.1. Montaje sobre cubierta plana

Unir las fijaciones, que se encuentran en la parte inferior de la estructura, al suelo, mediante la tornillería adecuada. Debido a que el tornillo de fijación al suelo lleva doble rosca, es importante colocar la doble arandela, una a cada lado de la estructura soporte.



**Ilustración 35. Montaje sobre cubierta plana (1) captadores CPC**

Colocar los protectores de captador y las pinzas de sujeción a la estructura, que irán colocadas con tornillo y rosca de montaje de estructura y con la arandela plana.



**Ilustración 36. Montaje sobre cubierta plana (2) captadores CPC**

Fijar el captador a la estructura mediante las pinzas de sujeción.

#### 6.2.1.2 Montaje sobre cubierta inclinada

##### Montaje con salvateja

Revisar que se disponga de todo el material para realizar el montaje.



**Ilustración 37. Montaje sobre cubierta inclinada (1) captadores CPC**

Montar el salva tejas. Introduciremos el tornillo cabeza de martillo con la arandela por el hueco de sujeción del salvateja a la guía, y lo enroscaremos con su respectiva rosca y arandela. Luego, lo introduciremos en la guía de la parte posterior de la estructura donde irá apoyado el captador. Se debe pasar la arandela por dentro de la guía también.



**Ilustración 38. Montaje sobre cubierta inclinada (2) captadores CPC**

Realizar el mismo proceso con los salvatejas restantes.

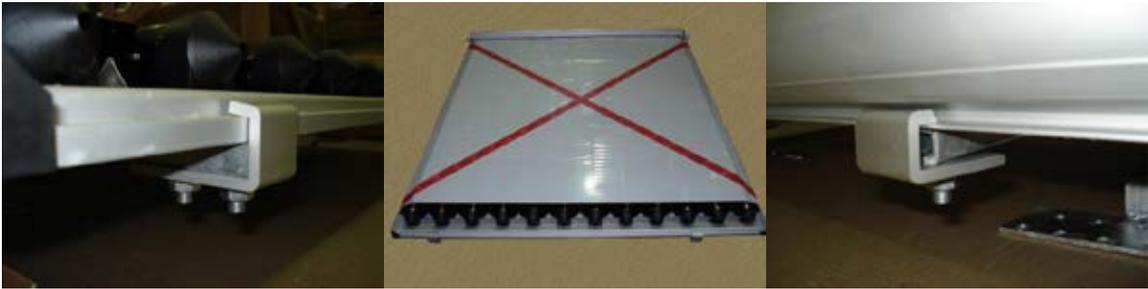
Montar las pinzas de fijación del captador a la estructura. De la misma forma que el salvatejas, la arandela que está con la cabeza del tornillo del tipo “cabeza-martillo” ha de quedar por dentro de la guía.



**Ilustración 39. Montaje sobre cubierta inclinada (3) captadores CPC**

Fijar los salvatejas al tejado, dejando visible por fuera del tejado la estructura donde va el captador.

Fijar el captador a la estructura con las pinzas de fijación. Comprobar que queda bien sujeto.



**Ilustración 40. Montaje sobre cubierta inclinada (4) captadores CPC**

**Nota:** Las piezas de madera que vienen con el kit de cubierta inclinada son para utilizar entre el salvateja y la cubierta en el caso que ésta no sea completamente plana o sea irregular.

### **Montaje con tornillo goloso**

Atornillar alineadamente los tornillos golosos al tejado, dejando como parte visible desde la goma negra hasta el tornillo de cabeza de martillo. La goma negra es la que dará estanqueidad al tejado para que no se filtre el agua de lluvia.



**Ilustración 41. Montaje sobre cubierta inclinada (5) captadores CPC**



**Ilustración 42. Montaje sobre cubierta inclinada (6) captadores CPC**

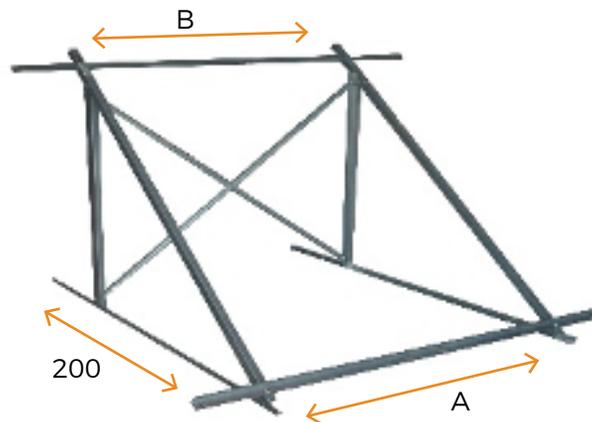
Finalmente, sujetar el captador a la estructura mediante las fijaciones que se han instalado en las guías.



**Ilustración 43. Montaje sobre cubierta inclinada (7) captadores CPC**

## 6.2.2 Estructuras de acero galvanizado para captadores planos

### 6.2.2.1 Montaje sobre cubierta plana

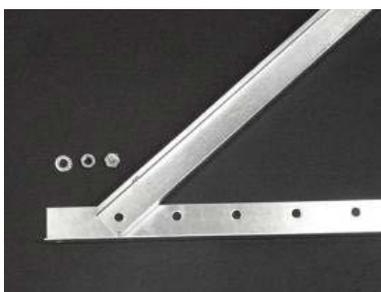


**Ilustración 44. Dimensiones de la estructura de un captador plano**

| Captadores   | A [mm] | B [mm] |
|--------------|--------|--------|
| 1 captador   | 950    | 1000   |
| 2 captadores | 1350   | 2000   |

**Tabla 18. Dimensiones de estructura para captador plano**

Sobre el suelo, colocar una barra de fijación al suelo apoyada por el lateral con cuatro agujeros. Colocar sobre el suelo una barra de apoyo de captadores, inclinada y orientada de forma que quede el extremo con la ranura en la parte superior y el agujero en la inferior. Tal y como se muestra en la imagen 54.



**Ilustración 45. Montaje sobre cubierta plana (1) captadores plano**

Unir ambas piezas con tornillo, rosca y arandela. Apretar la unión con la mano, no emplear herramientas.

Colocar una barra vertical de manera que la ranura encaje en la barra de apoyo de captadores y el agujero encaje en la barra de fijación al suelo. Tal y como se muestra en la imagen 55. Unir con tornillo, rosca y arandela:



**Ilustración 46. Montaje sobre cubierta plana (2) captadores plano**

**Nota:** Los distintos agujeros de que disponen las barras de fijación al suelo, ofrecen la posibilidad de regular la inclinación de los captadores.

Apretar con herramienta adecuada las tres uniones.



**Ilustración 47. Montaje sobre cubierta plana (3) captadores plano**

Repetir el proceso con las otras barras.



**Ilustración 48. Montaje sobre cubierta plana (4) captadores plano**

Poner de pie las estructuras montadas. Colocarlas paralelas de manera que los huecos de los perfiles de las estructuras queden enfrentados. Unir las dos estructuras empleando las riostras. Estas deben unirse a la parte trasera de las barras verticales y de forma diagonal. Unir con tornillo, rosca y arandela. Apretar las uniones con la mano.

Unir el punto medio de las riostras y apretar:



**Ilustración 49. Montaje sobre cubierta plana (5) captadores plano**

Apretar con herramienta adecuada las uniones de las riostras:



**Ilustración 50. Montaje sobre cubierta plana (6) captadores plano**

Comprobar que las barras de fijación al suelo están situadas paralelas

Fijar la estructura al suelo empleando los tornillos y tacos de fijación de estructura.

Colocar una de las fijaciones de colectores en la parte inferior de la estructura, tal y como se muestra en la imagen 60. Prestar atención a la correcta orientación de la fijación. Unir con tornillo, rosca y arandela. Apretar con herramienta adecuada.

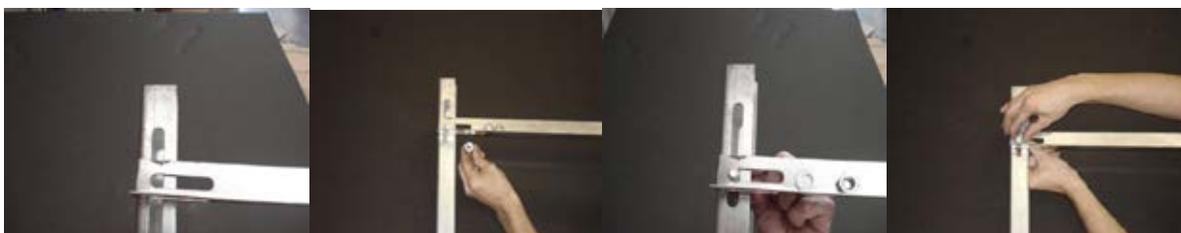


**Ilustración 51. Montaje sobre cubierta plana (7) captadores plano**

Colocar la otra fijación de colectores en la parte superior de la estructura, tal y como se muestra en la imagen X. Prestar atención a la correcta orientación de la fijación. Unir con tornillo, rosca y arandela. Apretar con la mano. Hasta que no esté el captador colocado no apretar la unión de la fijación de captadores y el apoyo de captadores.

Situar el/los captador/es sobre la estructura. Comprobar que se encuentran centrados.

Fijar el captador a la estructura empleando los tornillos y rosca de fijación de captadores y arandelas. Los tornillos deben introducirse por el agujero de las fijaciones de captadores y unirlos a las roscas que los captadores llevan en la ranura superior e inferior.

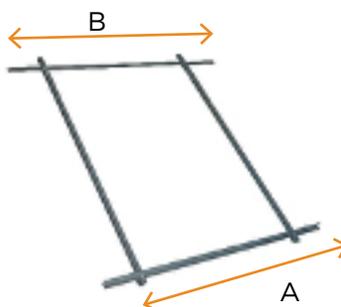


**Ilustración 52. Montaje sobre cubierta plana (8) captadores plano**



**Ilustración 53. Montaje sobre cubierta plana (9) captadores plano**

### 6.2.2.2 Montaje sobre cubierta inclinada



**Ilustración 54. Dimensiones de la estructura de un captador plano**

| Captadores   | A [mm] | B [mm] |
|--------------|--------|--------|
| 1 captador   | 950    | 2200   |
| 2 captadores | 1350   | 2200   |

**Tabla 19. Dimensiones de la estructura de un captador plano**

### Montaje para 1 colector

Colocar las barras de apoyo de captadores paralelas y con los huecos de los perfiles enfrentados.

Fijarlas al suelo empleando los tornillos y tacos de fijación de estructura y las fijaciones de cubierta:



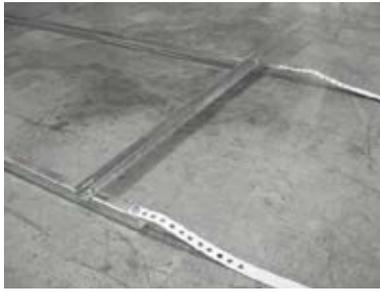
**Ilustración 55. Montaje sobre cubierta inclinada (1) captadores plano**

Detalle de la fijación de cubierta superior.



**Ilustración 56. Montaje sobre cubierta inclinada (2) captadores plano**

Colocar una de las fijaciones de colectores en la parte superior de la estructura, tal y como se muestra en la imagen. Prestar atención a la correcta orientación de la fijación. Unir con tornillo, rosca y arandela. Apretar con herramienta adecuada.



**Ilustración 57. Montaje sobre cubierta inclinada (3) captadores plano**

Detalle de la fijación de la cubierta, de la parte inferior.



**Ilustración 58. Montaje sobre cubierta inclinada (4) captadores plano**

Prestar atención a la correcta orientación de la fijación. Unir con tornillo, rosca y arandela. Apretar con herramienta adecuada.

Situar el/los captador/es sobre la estructura. Comprobar que se encuentran centrados.

Fijar el captador a la estructura empleando los tornillos y rosca de fijación de captadores y arandelas. Los tornillos deben introducirse por el agujero de las fijaciones de captadores y unirlos a las roscas que los captadores llevan en la ranura superior e inferior.



**Ilustración 59. Montaje sobre cubierta inclinada (5) captadores plano**

### **Montaje para 2 colectores**

El montaje de la estructura es exactamente igual que el montaje para 1 captador. La única variación serán las dimensiones de la barra de fijación de los colectores.

Una vez montada la estructura, procederemos a unir los captadores con dos uniones flexibles de  $\varnothing 22\text{mm}$  con anillo opresor (nº6 del circuito hidráulico).



**Ilustración 60. Montaje sobre cubierta inclinada (5) para dos captadores**

### 6.3 Montaje de los captadores

Poner el/los captador/es en posición vertical. Si son captadores planos, colocarlos con el distintivo “Parte Superior” en la parte superior. A veces, se trata de un distintivo del fabricante, en otras, la palabra arriba o “up” en inglés.

Sin girar el captador, colocarlo apoyando la parte inferior sobre la barra para soporte de los captadores inferior y apoyar la parte trasera del captador sobre el carril de soporte de captadores.

#### Para equipos con un captador

Comprobar que se ha situado centrado respecto a la estructura de soporte.

#### Para equipos con dos captadores

Sitarlo desplazado hacia un lado en la estructura de soporte.

Repetir la operación con el resto de los captadores situándolos en su posición sobre la estructura.

#### Captadores planos

Unir las salidas enfrentadas de los captadores con dos uniones flexibles de  $\varnothing 22\text{mm}$  con anillo opresor (nº6 del circuito hidráulico).

Colocar los tapones suministrados con el kit al inicio y al final de la bancada de colectores, en la entrada y en la salida que no se utilizan.



**Ilustración 61. Montaje de los captadores (2)**

## Captadores CPC

Unir las salidas enfrentadas de los captadores con una unión flexible de  $\varnothing 22\text{mm}$  con anillo opresor (nº6 del circuito hidráulico) a la que se le sustituirá los anillos opresores por sendos anillos de reducción de cobre de  $\varnothing 22\text{mm}$  a  $\varnothing 15\text{mm}$  (nº15 del circuito hidráulico)

Asegurarse que los captadores se encuentran centrados respecto a la estructura.

### Para estructuras sobre cubierta plana

Colocar la barra de fijación en L en la parte inferior de la estructura, de forma que los huecos queden enfrentados para poder sujetar el captador con los tornillos y arandelas de sujeción.



**Ilustración 62. Montaje de los captadores (3)**

Colocar la otra barra de fijación en L en la parte superior de la estructura, teniendo en cuenta que los huecos queden enfrentados con los huecos de sujeción del captador para poder sujetarlo con los tornillos y arandelas de sujeción.



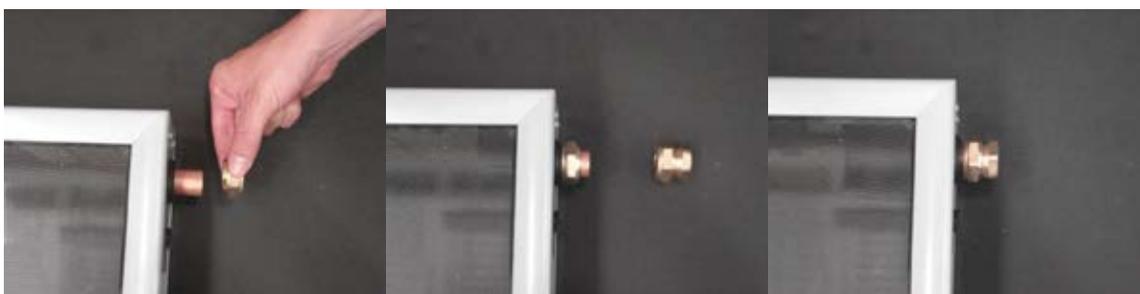
**Ilustración 63. Montaje de los captadores (4)**

Apretar la tornillería de fijación de la estructura y de la sujeción del captador.

## 6.4 Conexión hidráulica de los captadores

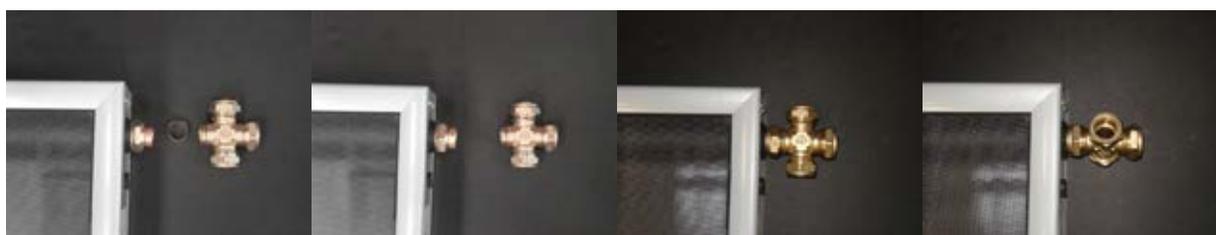
### 6.4.1 Captadores planos

Conectar los tapones en las salidas superior izquierda e inferior derecha del campo de captadores.



**Ilustración 64. Conexión hidráulica entre captadores planos (1)**

Conectar la unión en cruz a la salida superior derecha del campo de captadores, orientándola en posición vertical.



**Ilustración 65. Conexión hidráulica entre captadores planos (2)**

Roscar a la llave de corte el purgador y la unión recta empleando material adecuado para sellar la unión. Fijar el conjunto a la salida superior de la unión en cruz dejando la válvula en posición cerrada (horizontal).



**Ilustración 66. Conexión hidráulica entre captadores planos (3)**

Introducir la vaina para la sonda de temperatura del captador en la salida horizontal de la unión en cruz. Fijar la vaina a la cruz.



**Ilustración 67. Conexión hidráulica entre captadores planos (4)**

Conectar la tubería de salida de fluido caliente del campo de captadores a la salida inferior de la unión en cruz.

Sustituir el anillo opresor de la unión por un anillo de reducción de cobre de  $\varnothing 22\text{mm}$  a  $\varnothing 15\text{mm}$ .

Introducir en el extremo de la tubería un racor anti-compresión interno (30).



**Ilustración 68. Conexión hidráulica entre captadores planos (5)**

Conectar el codo en la salida inferior izquierda del campo de captadores.



**Ilustración 69. Conexión hidráulica entre captadores planos (6)**

Conectar la tubería de retorno de fluido frío al campo de captadores al codo instalado.

Sustituir el anillo opresor de la unión por un anillo de reducción de cobre de  $\varnothing 22\text{mm}$  a  $\varnothing 15\text{mm}$ .



**Ilustración 70. Conexión hidráulica entre captadores planos (7)**

**Nota:** Los puntos de conexión de los tapones, la unión en cruz y el codo pueden variar si así lo requiere la instalación. En este caso se han de seguir los siguientes criterios:

- Los tapones deben colocarse en los extremos diagonalmente opuestos del campo de captadores. Superior-derecha e inferior-izquierda o inferior-derecha y superior izquierda.
- La unión en cruz (puesto que lleva asociada la ubicación del purgador) siempre debe instalarse en la parte superior del campo de captadores.

## 6.4.2 Captadores CPC

Proceder a la instalación del purgador manual en el montaje con captadores CPC.

Sustituir el anillo opresor de la te por un anillo de reducción de cobre de  $\phi 18\text{mm}$  a  $\phi 22\text{mm}$

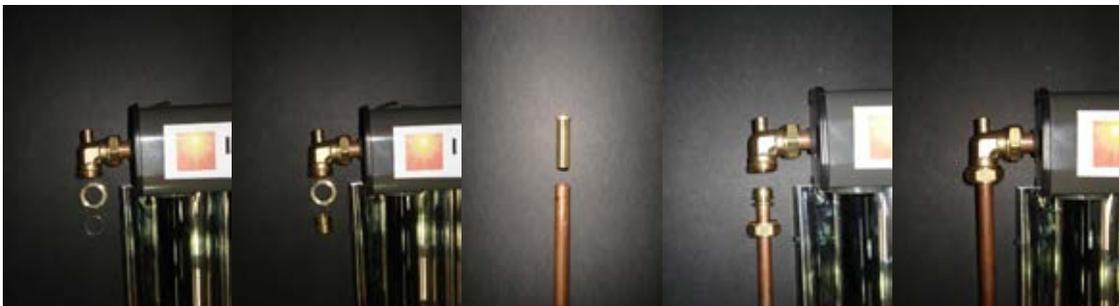
Roscar el purgador manual con la tubería de salida del fluido caliente del captador empleando material adecuado para sellar la unión.



**Ilustración 71. Conexión hidráulica entre captadores CPC (1)**

Conectar la tubería de salida de fluido caliente del campo de captadores a la salida inferior del purgador manual.

Sustituir el anillo opresor de la unión por un anillo de reducción de cobre de  $\phi 22\text{mm}$  a  $\phi 15\text{mm}$ .



**Ilustración 72. Conexión hidráulica entre captadores CPC (2)**

Introducir en el extremo de la tubería un racor anti-compresión interno.

Conectar el codo en la salida derecha del campo de captadores.

Sustituir el anillo opresor del codo por un anillo de reducción de cobre de  $\phi 22\text{mm}$  a  $\phi 15\text{mm}$ .



**Ilustración 73. Conexión hidráulica entre captadores CPC (3)**

Conectar la tubería de retorno de fluido frío al campo de captadores al codo instalado.  
Sustituir el anillo opresor de la unión por un anillo de reducción de cobre de  $\varnothing 22\text{mm}$  a  $\varnothing 15\text{mm}$ .



**Ilustración 74. Conexión hidráulica entre captadores CPC (4)**

## 6.5 Instalación del Termotanque / acumulador

Situar el acumulador en su ubicación dejando accesibles las conexiones.

### Conexiones del acumulador

Roscar en "Entrada serpentín" un racor macho 1"-22mm. Conectar la tubería que lleva el fluido caliente procedente de la salida inferior izquierda del grupo de bombeo. Sustituir el anillo opresor por una reducción de cobre de  $\varnothing 22\text{mm}$  a  $\varnothing 15\text{mm}$ .



**Ilustración 75. Instalación del termotanque (1)**

Roscar en "Salida serpentín" un racor macho 1"-22mm. Conectar la tubería que lleva el fluido frío hasta la entrada inferior derecha del grupo de bombeo. Sustituir el anillo opresor por una reducción de cobre de  $\varnothing 22\text{mm}$  a  $\varnothing 15\text{mm}$ .

Roscar en ENTRADA AGUA FRÍA y SALIDA AGUA CALIENTE un racor macho 1"-22mm. Para equipos con acumulador de 500L el racor será de 1" $\frac{1}{2}$ -22mm. Sustituir el anillo opresor por una reducción de cobre de  $\varnothing 22\text{mm}$  a  $\varnothing 15\text{mm}$ .

Roscar la vaina para termómetro en TERMÓMETRO e introducir el termómetro en el interior de esta.



**Ilustración 76. Instalación del termotanque (2)**

Roscar la vaina para sonda de temperatura de acumulador en CAPTADOR:



**Ilustración 77. Instalación del termotanque (3)**

Conectar en la parte superior del acumulador la válvula de seguridad. Para efectuar esta conexión se precisa un racor macho-macho de 1" que no está incluido en el equipo. Este deberá ser suministrado por el instalador.



**Ilustración 78. Instalación del termotanque (4)**

Colocar tapones para cerrar las salidas del acumulador no empleadas, estos serán suministrados por el instalador.

Para todos los montajes, emplear material adecuado para sellar la unión.

## **6.6 Instalación de sistema hidráulico**

### **6.6.1 Grupo de bombeo**

Determinar la posición del grupo de bombeo considerando el espacio necesario para colocar el vaso de expansión.

Quitar los termómetros y la tapa delantera del aislamiento.

Fijar el grupo de bombeo a la pared con los tacos y tornillos adjuntos.

Conectar la tubería de salida del serpentín del acumulador a la entrada inferior derecha del grupo de bombeo. Sustituir el anillo opresor de la unión por un anillo de reducción de cobre de  $\varnothing 18\text{mm}$  a  $\varnothing 15\text{mm}$ .



**Ilustración 79. Montaje de grupo de bombeo (1)**

Conectar la tubería de entrada al serpentín del acumulador a la salida inferior izquierda del grupo de bombeo. Sustituir el anillo opresor de la unión por un anillo de reducción de cobre de  $\varnothing 18\text{mm}$  a  $\varnothing 15\text{mm}$ .

Conectar la tubería con fluido caliente procedente de los captadores en la entrada superior derecha del grupo de bombeo. Sustituir el anillo opresor de la unión por un anillo de reducción de cobre de  $\varnothing 18\text{mm}$  a  $\varnothing 15\text{mm}$ .

Conectar la tubería con fluido frío de entrada al campo de captadores a la salida superior derecha del grupo de bombeo. Sustituir el anillo opresor de la unión por un anillo de reducción de cobre de  $\varnothing 18\text{mm}$  a  $\varnothing 15\text{mm}$ .

Aislar todas las tuberías de conexión con el grupo de bombeo.



**Ilustración 80. Montaje de grupo de bombeo (2)**

Fijar a la pared el soporte para el vaso de expansión, considerando la longitud de la tubería de acero flexible de conexión con el grupo de bombeo.

Roscar la válvula de retención bidireccional al vaso de expansión y fijar el conjunto al soporte ya instalado.



**Ilustración 81. Montaje de vaso de expansión (1)**

Roscar un extremo de la tubería flexible de acero a la salida del grupo de bombeo situada junto al manómetro. Roscar el otro extremo a la válvula de retención bidireccional. Emplear material adecuado para sellar las uniones.



**Ilustración 82. Montaje de vaso de expansión (2)**

## 6.7 Circuito hidráulico

En la instalación de las tuberías que forman el circuito hidráulico de conexión del campo de captadores con el grupo de bombeo y de conexión del grupo de bombeo con el acumulador, deben seguirse las siguientes directrices:

- La impulsión del grupo de bombeo (salida fría, superior derecha) debe conectarse a la entrada del campo de captadores a través del codo de 90°.
- Captadores planos: salida inferior izquierda del campo de captadores (o derecha, en la que se haya instalado el codo de 90°).
- Captadores CPC: salida superior derecha del campo de captadores.

El retorno de fluido caliente del campo de captadores al grupo de bombeo (entrada caliente, superior izquierda) debe conectarse a:

- Salida inferior de la unión en cruz para equipos con captadores planos.
- Salida inferior de la unión en te para equipos con captadores CPC.

La salida de fluido primario caliente del grupo de bombeo (salida caliente, inferior izquierda), debe conectarse a ENTRADA SERPENTÍN del acumulador. Como entrada al serpentín siempre se considerará la situada a mayor altura.

El retorno del serpentín del acumulador al grupo de bombeo SALIDA SERPENTÍN debe conectarse al grupo de bombeo (entrada fría, inferior derecha).

Sustituir en todas las conexiones del grupo de bombeo, el anillo opresor por un anillo de reducción de cobre de  $\varnothing 18\text{mm}$  a  $\varnothing 15\text{mm}$ .

Conexión de la válvula mezcladora. Esta debe ubicarse tan cerca como sea posible del punto de consumo.

Conectar la SALIDA AGUA CALIENTE del acumulador con la válvula mezcladora.

Conectar a la entrada inferior de la válvula mezcladora, una entrada de agua de red.

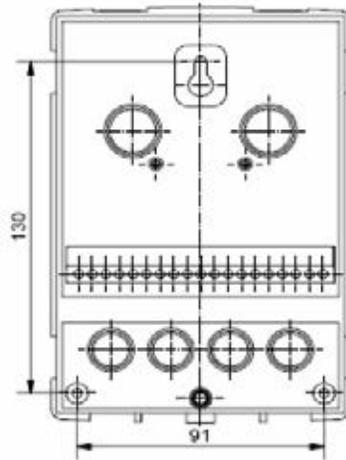
Los racores de conexionado de la válvula mezcladora serán suministrados por el instalador.

Aislar todas las tuberías y sus uniones con los elementos para minimizar las pérdidas térmicas.

## 6.8 Regulador

Fijar el regulador a la pared en la ubicación seleccionada. Tener en consideración que no debe situarse en un lugar a la intemperie o con influencia directa de la radiación solar y que requiere de un punto de conexión a la red eléctrica.

Colocar una sonda de temperatura en el fondo de la vaina para sonda de temperatura de captador y alargar los cables de salida hasta el regulador. Para captadores CPC, la sonda de temperatura se coloca directamente en el orificio que el captador tiene destinado a tal uso en la parte superior izquierda, junto a la entrada de fluido primario.



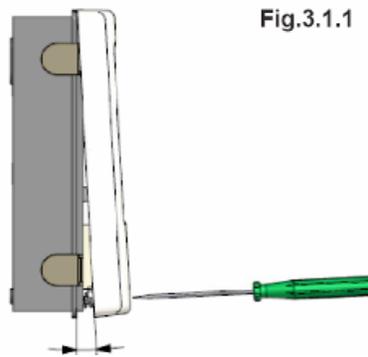
**Ilustración 83. Montaje de regulador (1)**

Colocar la otra sonda de temperatura en el fondo de la vaina para sonda de temperatura de acumulador y alargar los cables de salida hasta el regulador.

| Borne | Elemento por conectar               |
|-------|-------------------------------------|
| S1    | Sonda de temperatura del captador   |
| S2    | Sonda de temperatura del acumulador |
| L     | Cable de red de fase                |
| N     | Cable de red neutro                 |
| R1    | Bomba                               |
| PE    | Toma de tierra                      |

**Tabla 20. Conexión de regulador**

Destapar la carcasa del regulador y conectar las sondas, el cable de toma de tierra y la alimentación en sus correspondientes bornes.



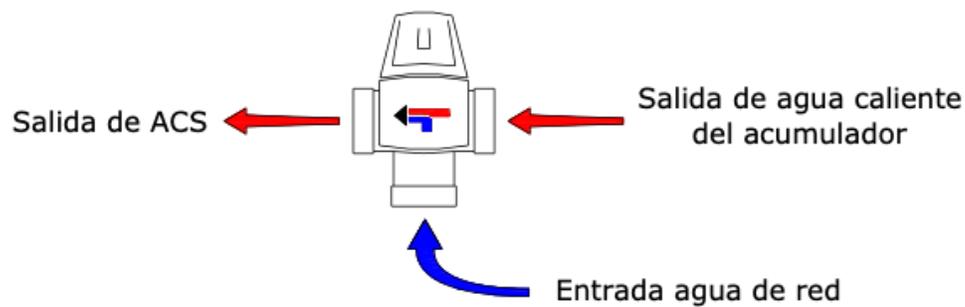
**Ilustración 84. Montaje de regulador (2)**

Para más información acerca de la instalación, programación y otros aspectos relacionados con el regulador, consultar el manual de instalación que proporcione el fabricante.

### 6.9 Conexión a red de consumo

A la entrada de la válvula mezcladora, debe conectarse la tubería que proviene de SALIDA AGUA CALIENTE del acumulador y la salida de la válvula a la entrada del sistema de apoyo elegido (típicamente una caldera modulante). La salida del sistema de apoyo se conectará a la red de distribución de ACS.

Por la entrada inferior de la válvula mezcladora se conectará una toma de agua de red.



**Ilustración 85. Conexión a la red**

Nota: en caso de que la red de tuberías de la vivienda sea de acero galvanizado u otro material susceptible de generar diferencia de pares galvánicos con los componentes del equipo, se intercalarán antes de conectar la entrada de agua de red al equipo manguitos electrolíticos, a fin de evitar degradaciones de los materiales.

### 6.10 Resumen del capítulo

En este capítulo se describen los equipos principales: captadores y estructura de soporte, acumulador o termotanque, grupo de bombeo, regulador, válvula mezcladora y vaso de expansión. La explicación comienza con una definición de los equipos y sus características, el montaje y colocación de estos y finalmente, el conexionado de los componentes para asegurar un óptimo funcionamiento y operación del SCSA.

También se detallan los equipos de seguridad y herramienta mínimo para poder realizar la instalación de un sistema solar de calentamiento de agua.

El interconexión puede existir entre los colectores solares dependiendo si lo que se requiere es una mayor cantidad de agua o una mayor temperatura. Con lo que su conexión puede ser en serie, paralelo o serie-paralelo. Se explican las ventajas y desventajas de cada uno de ellos y se detalla la importancia de utilizar para estas instalaciones un retorno invertido.

Un plano de instalación de este tipo de sistemas debe incluir, los criterios para un correcto montaje del sistema hidráulico, donde se detallan las válvulas a utilizar y el conexión para un sistema de convección forzada.

## 6.11 Cuestionario del capítulo 6

1. **¿Con este interconexión se obtiene un mayor volumen de agua recirculando en la instalación?**
  - a. Interconexión paralelo.
  - b. Interconexión serie.
  - c. Interconexión serie-paralelo.
  - d. Retorno invertido.
2. **¿Con este interconexión se obtiene una mayor temperatura del agua en la instalación?**
  - a. Interconexión paralelo.
  - b. Retorno invertido.
  - c. Interconexión serie.
  - d. Interconexión serie-paralelo.
3. **¿Con este interconexión se obtiene una mayor caída de presión en el agua y la eficiencia de los captadores también se disminuye?**
  - a. Interconexión paralelo.
  - b. Interconexión serie.
  - c. Interconexión serie-paralelo.
  - d. Retorno invertido.
4. **¿En qué parte del tanque se entrega la línea de agua caliente de salida del sistema de colectores solares?**
  - a. En la parte inferior.
  - b. Es indistinto.
  - c. En la parte intermedia.
  - d. En la parte superior.
5. **En el hemisferio norte hacia donde tienen que estar orientados los captadores solares**
  - a. Hacia el este.
  - b. Hacia el oeste.
  - c. Hacia el sur.
  - d. Hacia el norte.

## 7. COMISIONADO Y PUESTA EN MARCHA

Una vez haya concluido el montaje de todos los elementos de la instalación y se hayan hecho las pertinentes comprobaciones de seguridad y de valores límite, procederemos al llenado del circuito primario y poner en funcionamiento el equipo.

Algunos parámetros del agua deben encontrarse dentro de límites razonables para no dañar la instalación, es recomendable revisarlos antes de la puesta en marcha y adecuarlos en la medida de lo posible. Los valores recomendados serían los siguientes:

- Presión del agua de red no exceda los 90°C y 6 bares de presión.
- Recomendación de empleo de agua con valores de composición inferiores a:
  - 500 mg/l totales de sales solubles (salinidad),
  - 200 mg/l de carbonato cálcico (cal),
  - 50 mg/l de dióxido de carbono libre.

### 7.1 Revisar funcionamiento sensores y equipos de medición

Antes de proceder al llenado del sistema, se recomienda hacer algunas comprobaciones previas que permitan asegurar que las condiciones son óptimas:

- Apertura de las válvulas de conexión al Termotanque, permitiendo purga de aire en ese tramo del circuito.
  - Al abrir la válvula de alimentación de la red hacia el Termotanque, se puede escuchar cómo la válvula expulsa el aire desplazado por el agua, hasta que el Termotanque queda completamente lleno. Si la válvula liberadora tira agua continuamente (se escucha un ruido parecido a un lloro), significa que no funciona adecuadamente y debería ser reemplazada sin ser usada.
- Verificación de ausencia de goteo de agua en los diferentes puntos del circuito hidráulico:
  - Termotanque y sus conexiones.
  - Conexiones del sistema hidráulico en general.
  - Tuberías.
  - Grupo de bombeo y sus conexiones.
- Revisión de la medida de los instrumentos de medición:
  - Se debe asegurar que la medida esté dentro del rango establecido en el proyecto en cuanto a temperatura y presión. Para la temperatura, se recomienda que los sensores puedan medir hasta 100°C y para la presión, hasta un 30% más de la presión de trabajo como mínimo.
  - En caso de sobrepresión, se debe parar el sistema de manera inmediata.

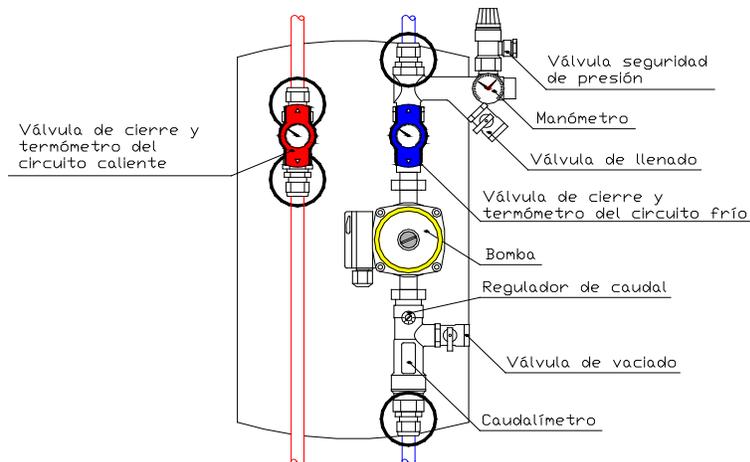
### 7.2 Llenado del sistema

Es importante saber que el fluido con que se llene el circuito primario no puede ser tóxico. Use solamente fluido de grado alimentario y no tóxico.

Seguir la siguiente secuencia para el llenado del circuito primario:

- Tapar el campo de captadores en caso de que esté caliente, esta operación debe llevarse a cabo con los captadores fríos.

- Vierta en un depósito una cantidad suficiente de fluido solar.
- Conecte el tubo de presión de la bomba de llenado a la válvula de llenado situada por debajo del manómetro y abra esta válvula.
- Conecte el tubo de retorno con la válvula de vaciado del caudalímetro y abra esta válvula. El extremo del tubo debe estar sumergido en el fluido solar del depósito.
- Coloque regulador de caudal del caudalímetro en posición horizontal, así se encuentra cerrado.
- Abra ambas válvulas de cierre (y antirretorno) hasta la mitad (45°), así permitimos la circulación bidireccional del fluido.



**Ilustración 86. Llenado del sistema**

Purgar el sistema solar durante el tiempo suficiente hasta que por el tubo de retorno dejen de salir burbujas de aire. Para vaciar el sistema completamente de aire es necesario abrir dos o tres veces el tornillo regulador de caudal durante la purga y llenar de fluido el interior de la bomba.

- ¡No purgar el sistema o haga un ensayo de fuga solamente con agua!
- Cerrar la válvula de vaciado con la bomba de llenado en funcionamiento y aumente la presión del sistema hasta 1.5-2bar aproximadamente. Puede leer la presión en el manómetro.
- Cerrar la válvula de llenado y apague la bomba de llenado. Abra el tornillo del regulador de caudal, para ello póngalo en posición vertical.
- Abrir la válvula de los purgadores automáticos hasta que salga el aire que haya podido quedar retenido. Aumente otra vez la presión del sistema hasta 1.5-2bar. En caso de tener grandes descensos de presión, esto indica que tiene alguna fuga en el sistema.
- Poner la bomba en marcha eligiendo la máxima velocidad de giro y déjela circular por lo menos 15 minutos
- Elegir la velocidad de giro de diseño de la bomba.
- Ajustar el volumen de flujo en regulador de caudal del caudalímetro conforme a los datos de diseño.
- Retirar los tubos de las válvulas de llenado y vaciado.
- Comprobar nuevamente si el sistema tiene alguna fuga y origina por tanto un descenso de la presión del circuito.
- Fijar la caja delantera del aislante del grupo de bombeo y coloque los termómetros. Termómetro azul, circuito de ida, a la derecha y termómetro rojo, circuito de retorno, a la izquierda.

### 7.3 Verificación sistema eléctrico y de control

En el sistema de control y regulación, se debe verificar que el plano de bornes esté conectado en la polaridad que corresponde conforme al manual del fabricante. El plano de bornes debe considerarse en conjunto con el manual del control diferencial.

Se debe programar el control automático de la instalación, ajustando los parámetros de arranque y paro en concordancia con lo establecido en el Proyecto. Se recomienda usar el manual del fabricante de equipo para su configuración. Suele ser un proceso sencillo e intuitivo.

Se pueden realizar algunas pruebas básicas en el sistema de control para asegurar su correcto funcionamiento:

- Revisar la lectura de Temperatura.
- Probar el sistema de arranque, usando el control automático del sistema para arrancar la bomba.

Si el termómetro del Termotanque no entrega una lectura cercana a la que fue definida como setpoint del control diferencial, se deben hacer pruebas de funcionamiento y derivar la razón de por qué no se llega a la temperatura solicitada. Las razones más habituales son el clima, los hábitos de consumo, necesidad de purga en la línea y fugas.

### 7.4 Revisión de la bomba

Se recomienda realizar algunas inspecciones de funcionamiento a la bomba.

Se debe realizar la lectura y registro de amperaje por fase con la bomba en carga, se recomienda usar amperímetro tipo pinza. En caso de que los valores medidos estén fuera del rango, se debe desconectar inmediatamente la bomba para evitar que se queme. Se debe reportar este hecho al responsable del grupo y registrarlo en el Libro de Obra.

Se debe realizar prueba de giro y sentido conforme manual del fabricante; consiste en desacoplar la bomba de la carga y conectarla al sistema, si lanza el agua verticalmente, significa que su funcionamiento es correcto, en caso contrario, se debe cambiar la polaridad.

### 7.5 Revisión de materiales sobrantes y herramientas

Se debe realizar un registro de los materiales que han sobrado durante el proceso de instalación, así como revisar el inventario de herramientas, que sea equivalente con el levantamiento de herramientas realizado previo al inicio de la instalación.

### 7.6 Registro y reporte de puesta en marcha: Libro de Obra o Bitácora

Es necesario realizar un registro de las actividades y mediciones obtenidas durante la puesta en marcha. Estas medidas podrían incluir: presión manómetro y temperatura del termotanque y del sistema hidráulico y valores del punto de partida del sistema de regulación y control.

Las medidas se pueden tomar en intervalos de 15 o 30 minutos durante las primeas horas de funcionamiento una vez llenado el sistema de agua.

También se debe realizar un registro de cualquier incidente, accidente, detección de anomalías como son fugas de agua.

El Libro de Obra o Bitácora debe estar firmado y con nombre del Instalador, Responsable de la Instalación y el Cliente.

## 7.7 Realización de pruebas y ensayos

A continuación, se especifican una serie de pruebas que deben realizarse para comprobar el adecuado funcionamiento del equipo:

- Garantizar la estanqueidad del circuito hidráulico.
- Comprobar las actuaciones de todas las válvulas y accesorios.
- Prueba de funcionamiento diario, ver plan de vigilancia.
- Verificación de las prestaciones de la conexión con el sistema de energía auxiliar.

## 7.8 Protocolo en caso de anomalía

Es recomendable seguir un protocolo establecido en caso de encontrar una anomalía. El propósito final es solucionar la anomalía, pero además, se debe complementar con las siguientes acciones:

- Parada del sistema para evitar daños mayores.
- Cerrar válvulas, igual a como estaban antes del llenado.
- Reportar al responsable.
- Realizar tareas de reparación de la anomalía.
- Registro de la anomalía en el Libro de Obra.
- Realizar tareas para volver a poner en marcha.

## 7.9 Resumen del capítulo

En este capítulo se describe el protocolo para poner en marcha un sistema de CSA. El proceso empieza por la verificación previa para comprobar que la temperatura y presión de entrada esté dentro de los márgenes aceptables y que la calidad del agua esté acorde a unos parámetros que se consideran recomendables para que la instalación alargue su vida útil.

Antes del llenado del sistema, se debe verificar el funcionamiento de los sensores para poder tener información de ciertos parámetros del sistema y que ayudarán a tener mediciones mientras se procede con el protocolo de puesta en marcha. Una vez se desarrollan las actividades descritas en la secuencia de llenado del sistema, se deberán verificar de nuevo los equipos y sensores para verificar y registrar lo observado y medido. El registro deberá reflejarse en la bitácora y formará parte del libro final de documentos que se deberá entregar al cliente o propietario.

Se deberá contar con un protocolo de pruebas y de actuación en caso de anomalía. Este protocolo deberá conocerse previo a iniciar cualquier actividad de puesta en marcha y es recomendable disponer de una copia mientras se realiza todo el proceso para poder consultarlo en caso de que sea necesario.

## 7.10 Cuestionario del capítulo 7

1. **¿Cuáles son los valores máximos recomendables de temperatura y presión del agua?**
  - a. 90°C y 6 bares de presión.
  - b. 60°C y 9 bares de presión.
  - c. 45°C y 6 bares de presión.
2. **¿Cuál es la composición máxima recomendable de cal?**
  - a. 100 mg/l de carbonato cálcico.
  - b. 200 mg/l de carbonato cálcico.
  - c. 200 mg/l de dióxido de carbono libre.
3. **Cuál de los siguientes ensayos no se realizan después de poner en marcha un SCSA.**
  - a. Verificar la estanqueidad del circuito hidráulico.
  - b. Comprobar las actuaciones de todas las válvulas y accesorios.
  - c. Revisar las conexiones eléctricas del inversor.
  - d. Verificación de las prestaciones de la conexión con el sistema de energía auxiliar.
4. **¿Qué actividades se siguen en caso de anomalía?**
  - a. Parar sistema, cerrar válvulas, reportar, reparar, registrar y reiniciar.
  - b. Cerrar válvulas, reparar y reiniciar.
  - c. Reparar, reportar, registrar y reiniciar.

## 8. PROGRAMA DE VIGILANCIA Y MANTENIMIENTO

### 8.1 Plan de Vigilancia

En esta sección se detallan aquellas operaciones previas a la puesta en servicio de la instalación que permitirán asegurar el correcto funcionamiento de la instalación, así como para la conservación correcta del equipo.

Son simples recomendaciones que únicamente requieren tareas de observación, por tanto, pueden ser llevadas a cabo por el propio usuario. El objetivo del plan de vigilancia es realizar tareas del mantenimiento preventivo que sea principalmente de inspección visual y de operación sencilla. Se asigna al usuario como responsable y por ese motivo, el mantenedor de la operación deberá volver a realizar esas tareas bajo su propia supervisión y asegurando la calidad de las operaciones.

| Equipo              | Operación                                 | Frecuencia (meses) | Descripción  |
|---------------------|---|--------------------|--|
| Captadores          | Limpieza de cristales                     | a determinar       | Con agua y productos de limpieza como trapos suaves que no rayen la superficie del captador. |
|                     | Cristales                                 | 3                  | *Condensaciones en las horas centrales del día   |
|                     | Juntas                                    | 3                  | *Agrietamientos y deformaciones  |
|                     | Absorbedor                                | 3                  | *Corrosión, deformaciones, fugas, etc.   |
|                     | Conexiones                                | 3                  | *Fugas   |
|                     | Estructura                                | 3                  | *Degradación, indicios de corrosión  |
| Circuito primario   | Tubería, aislamiento y sistema de llenado | 6                  | *Ausencia de humedad y fugas   |
|                     | Purgador manual                           | 3                  | Vaciar el aire   |
| Circuito secundario | Termómetro                                | diaria             | *Temperatura   |
|                     | Tubería y aislamiento                     | 6                  | *Ausencia de humedad y fugas   |
|                     | Acumulador solar                          | 3                  | Purgado de la acumulación de lodos de la parte inferior del depósito                         |

**Tabla 21. Plan de vigilancia**

\*Inspección visual.

## 8.2 Mantenimiento preventivo

Las acciones aquí indicadas tienen el objetivo de mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas, así como el mantenimiento correctivo.

Las operaciones de mantenimiento que deben realizarse en las instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente, su periodicidad y observaciones se reflejan en las siguientes tablas:

### 8.2.1. Sistema de captación

| Equipo                  | Frecuencia (meses) | Descripción  |
|-------------------------|--------------------|--|
| Captadores              | 6                  | *Diferencias sobre original<br>*Diferencias entre captadores |
| Cristales               | 6                  | *Condensaciones, suciedad                                    |
| Juntas                  | 6                  | *Agrietamientos, deformaciones                               |
| Absorbedor              | 6                  | *Corrosión y deformaciones                                   |
| Carcasa                 | 6                  | *Deformación, oscilaciones, ventanas de respiración          |
| Conexiones              | 6                  | *Aparición de fugas  |
| Estructura              | 6                  | *Degradación, indicios de corrosión y apriete de tornillos   |
| Captadores <sup>1</sup> | -                  | Tapado parcial del campo de captadores                       |
| Captadores <sup>1</sup> | -                  | Destapado parcial del campo de captadores                    |
| Captadores <sup>1</sup> | -                  | Vaciado parcial del campo de captadores                      |
| Captadores <sup>1</sup> | -                  | Llenado parcial del campo de captadores                      |

**Tabla 22. Mantenimiento preventivo, sistema de captación**

<sup>1</sup> En caso de que la instalación no disponga de medios para disipar los excedentes o desvíe a otras aplicaciones

\*Inspección visual.

## 8.2.2. Sistema de acumulación

| Equipo                | Frecuencia (meses) | Descripción                    |
|-----------------------|--------------------|--------------------------------|
| Depósito              | 12                 | Presencia de lodos en el fondo |
| Ánodos de sacrificio  | 12                 | Comprobación del desgaste      |
| Aislamiento           | 12                 | Comprobar que no hay humedad   |
| Válvulas de seguridad | 12                 | Comprobar funcionamiento       |
| Drenado de sedimentos | 6                  | Realizar drenado               |

**Tabla 23. Mantenimiento preventivo, sistema de acumulación**

## 8.2.3 Circuito hidráulico

| Equipo                                     | Frecuencia (meses) | Descripción   |
|--|--------------------|---|
| Fluido refrigerante                        | 12                 | Comprobar su densidad y pH  |
| Estanqueidad                               | 24                 | Efectuar prueba de presión  |
| Aislamiento al exterior                    | 6                  | *Degradación, protección de uniones y ausencia de humedad   |
| Aislamiento al interior                    | 12                 | *Uniones y ausencia de humedad  |
| Purgador automático                        | 12                 | Control de funcionamiento y limpieza  |
| Purgador manual                            | 6                  | Vaciar el aire del botellín y drenar posibles sedimentos  |
| Bomba                                      | 12                 | Estanqueidad (comprobar sellos), vibraciones, integridad de la base, apriete de la sujeción, verificar el rendimiento, medición de amperaje, carga y caudal |
| Vaso de expansión                          | 6                  | Comprobado de la presión  |
| Sistema de llenado                         | 6                  | Control de funcionamiento y actuación   |
| Válvula de corte                           | 12                 | Control de funcionamiento y actuaciones para evitar agarrotamiento  |
| Válvula de seguridad                       | 12                 | Control de funcionamiento y actuación   |
| Válvula de alivio de presión y temperatura | 12                 | Control de funcionamiento y actuación   |
| Válvula drenaje                            | 6                  | Abrir válvula para vaciar posibles sedimentos   |

**Tabla 24. Mantenimiento preventivo, circuito hidráulico**

\*Inspección visual.

## 8.2.4 Sistema eléctrico y de control

| Equipo                             | Frecuencia (meses) | Descripción   |
|------------------------------------|--------------------|---|
| Cuadro eléctrico                   | 12                 | Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo |
| Control diferencial                | 12                 | Control de funcionamiento y actuación                           |
| Verificación del sistema de medida | 12                 | Control de funcionamiento y actuación                           |
| Termómetro y manómetro             | 12                 | Control de funcionamiento                                       |

**Tabla 25. Mantenimiento preventivo, sistema eléctrico y de control**

Además de las operaciones e inspecciones mencionadas, hay otras inspecciones de manera general:

- Prueba de rendimiento diurno a llave cerrada y pruebas de pérdidas nocturnas a llave cerrada.
- Comprobación de existencia de fugas en el circuito hidráulico.
- Observación del estado de las pinturas o protecciones de los diferentes elementos se encuentran.
- Revisión del estado de la estructura (corrosión, deformaciones, etc.) y que los tornillos se encuentran correctamente ajustados.
- Bajo condiciones de aguas duras se pueden crear depósitos de incrustaciones causando daños en las partes internas en casos extremos. Limpiar las partes internas nos asegurarán un correcto funcionamiento de estas, también puede ser necesario limpiar el asentamiento de la válvula y/o cambiar el termostato.
- Revisión del ánodo de sacrificio.

### 8.3 Mantenimiento correctivo

Existen otra serie de tareas de mantenimiento que deben realizarse por personal cualificado que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general.

Estas tareas se realizan cuando existe un daño en algún componente de la instalación. Previo a la realización del cambio o reparación de cualquier equipo, se deberán seguir el procedimiento de parada. Para la sustitución del equipo, se seguirán las instrucciones descritas en este manual. Finalmente, se procederá a seguir al protocolo de puesta en marcha para poner la instalación a funcionar nuevamente.

### 8.4 Resumen del capítulo

Este capítulo describe las actividades a realizar como mantenimiento de una instalación con CSA. Algunas actividades pueden ser realizadas de manera sencilla por el usuario y forman parte del plan de vigilancia. Requieren inspección visual y registro por lo que no es imprescindible que las ejecute un técnico especializado.

El resto de las tareas sí debe realizarlas obligatoriamente un técnico con conocimientos que conozca el sistema. Se dividen en mantenimiento preventivo y correctivo. Las primeras se realizan de manera periódica para detectar problemas antes que ocurran y son importantes para alargar la vida útil de los equipos.

Las tareas de mantenimiento correctivo se conocen a aquellas que se realizan para solventar un problema que se ha encontrado. Pueden ser también tareas programadas y periódicas, aunque en otras ocasiones, se realizan cuando el problema ya ha ocurrido. Es importante que se realicen tomando las precauciones necesarias de seguridad y se siga el procedimiento de parada y puesta en marcha establecido.

## 8.5 Cuestionario del capítulo 8

1. **¿Cuál es la actividad de mantenimiento más habitual en el depósito de acumulación?**
  - a. Limpieza de la parte frontal.
  - b. Regulación del control.
  - c. Vaciado del circuito.
2. **¿Cuál es la actividad de mantenimiento más habitual en el depósito de acumulación?**
  - a. Limpieza de la parte frontal.
  - b. Sustituir el ánodo de sacrificio.
  - c. Purgar el circuito.
3. **¿En qué consiste el mantenimiento preventivo?**
  - a. Actividades son periódicas.
  - b. Se realizan cuando se detecta un problema.
  - c. Se realizan antes que ocurra un problema.
4. **¿En qué equipos puede suceder mantenimiento correctivo?**
  - a. Captadores, termotanque, grupo de bombeo, sistema de regulación.
  - b. Captadores, cableado de media tensión, grupo de bombeo.
  - c. Sistema de regulación, electrónica de potencia, grupo de bombeo.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- 1) <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/cambio-climatico/>
- 2) <https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/sostenibilidad/los-gases-de-efecto-invernadero/>
- 3) W. Weiss, M. Spörk-Dür (2019 edition), Solar Heat Worldwide, Global Market Development and Trends in 2018, Solar Heating and Cooling Programme, International Energy Agency.
- 4) O. García Valladares and I. Pilatowsky, Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicios e industrial. UNAM, 1 ed., 2017. ISBN 978-607-02-8952-0
- 5) IPCC (2019 edition), reporte sobre aumento de temperatura global de 1.5°C, <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- 6) BP Energy Outlook report (2018 edition), <https://www.bp.com › bp › pdf › energy-economics>
- 7) ISO 9806:2017 Solar energy – Solar thermal collectors – Test methods
- 8) J.A. Duffie, W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons, 4a. Edición, 2013.
- 9) <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page6.php>
- 10) <https://sam.nrel.gov/weather>
- 11) <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- 12) <http://globalsolaratlas.info/>
- 13) <http://www.meteonorm.com>
- 14) <https://www.monsolar.com/separacion-paneles-solares>
- 15) <http://pvsol-online.valentin-software.com/>
- 16) <https://www.sketchup.com/es>
- 17) CENCER, GIZ y BMZ, México. Manual para el participante Estándar de Competencia Laboral EC0473: Instalación del Sistema de Calentamiento Solar de Agua por Circulación Forzada con termotanque.

## 10. RESPUESTAS A LOS CUESTIONARIOS DE CADA CAPÍTULO

### Capítulo 3

1. b
2. d
3. a
4. b
5. c
6. d
7. e
8. a

### Capítulo 4

1. b
2. d
3. a
4. b
5. c
6. a

### Capítulo 5

1. c
2. b
3. b
4. b
5. c

### Capítulo 6

1. a
2. c
3. b
4. d
5. c

### Capítulo 7

1. a
2. b
3. c
4. a

### Capítulo 8

1. a
2. b
3. a
4. a