

# ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON ENERGÍA TÉRMICA SOLAR



*Este documento con especificaciones técnicas de sistemas solares de calentamiento de agua, será considerado dentro del procedimiento de certificación de proveedores del Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) en el suministro, instalación y pruebas de aceptación de Sistemas Térmicos Solares del Proyecto de Energía Renovable para la Agricultura y otros programas que impliquen la utilización de esta tecnología*

**Revisión 1, Diciembre 07 del 2011**



El Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) agradece a la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (Cooperación Alemana al Desarrollo) por la colaboración y asistencia que brindó durante el desarrollo del presente documento. La colaboración de la GIZ se realizó por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de la República Federal de Alemania y en el marco de la cooperación bilateral entre México y Alemania.”

## RENUNCIA DE RESPONSABILIDAD

“Este documento ha sido preparado ha iniciativa del Fideicomiso de Riesgo compartido (FIRCO). Las opiniones expresadas en este documento, no necesariamente representan la opinión de GIZ”.

**FIDEICOMISO DE RIESGO COMPARTIDO**

**PROYECTO DE ENERGIA RENOVABLE PARA LA  
AGROINDUSTRIA**

## Contenido

1	INTRODUCCIÓN .....	4
2	OBJETIVO DEL PROGRAMA.....	4
3	GARANTÍAS .....	5
4	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	6
5	ESPECIFICACIONES DE PARTES Y COMPONENTES.....	13
5.1	GENERALIDADES .....	14
5.2	CAMPO SOLAR .....	15
5.2.1	Colectores.....	15
5.2.2	Estructuras y Cimentación .....	17
5.3	SISTEMA HIDRÁULICO .....	18
5.3.1	Tuberías y conexiones .....	19
5.3.2	Aislante térmico en el sistema hidráulico .....	20
5.3.3	Presión en el circuito.....	22
5.3.4	Bomba(s) .....	23
5.3.5	Fluido de transferencia térmica.....	25
5.3.6	Intercambiador térmico .....	26
5.4	ALMACENAMIENTO DE CALOR.....	26
5.4.1	Termotanque.....	27
5.4.2	Tanque interior.....	29
5.4.3	Base soporte.....	31
5.4.4	Aislamiento térmico.....	32
5.4.5	Tanque exterior ó recubrimiento exterior .....	32
5.5	SISTEMA DE CONTROL.....	34
5.5.1	Sistema de control diferencial de temperatura.....	34
5.5.2	Medición de la presión .....	35
5.5.3	Medición de la temperatura .....	36
5.5.4	Medición de la energía térmica .....	36
5.6	CALENTAMIENTO DE APOYO (OPCIONAL).....	37
5.7	DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA .....	37

6	ESPECIFICACIONES RELATIVAS A LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA .....	39
6.1	GENERALIDADES .....	40
6.2	CONEXIONES HIDRÁULICAS.....	41
6.3	CONEXIONES ENTRE COLECTORES SOLARES - TERMOTANQUE .....	42
6.4	CONEXIONES ENTRE COLECTORES SOLARES .....	43
6.5	EMPALMES Y CONEXIONES ELÉCTRICAS .....	44
6.6	VÁLVULAS .....	45
6.6.1	Válvulas de corte .....	45
6.6.2	Válvulas de seguridad.....	45
6.6.3	Válvulas antiretornos .....	45
6.6.4	Válvulas de equilibrado.....	46
6.6.5	Válvulas de drenado .....	46
6.6.6	Sistema de purga.....	46
6.6.7	Válvula de 3 vías ó válvulas solenoide de 2 vías.....	45
6.7	SISTEMAS DE SEGURIDAD .....	46
7	DOCUMENTOS TÉCNICOS A ENTREGAR AL CLIENTE .....	46
7.1	DOCUMENTOS AL PRESENTAR LA OFERTA TÉCNICA-ECONÓMICA....	46
7.2	DOCUMENTOS A ENTREGAR DESPUES DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA SOLAR.....	47
8	PRUEBA DE ACEPTACIÓN .....	48
9	CAPACITACION BASICA AL USUARIO.....	49
	ANEXO.....	51
A.	HOJAS DE DATOS.....	51
B.	SIMULACIÓN .....	54
C.	REQUISITOS AL AISLAMIENTO .....	56
D.	DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DE AGUA .....	57
E.	RESUMEN DE LOS ENSAYOS REQUERIDOS POR LOS DISTINTOS ORGANISMOS DE CERTIFICACIÓN DE COLECTORES.....	58
F.	PROGRAMAS DE SIMULACION .....	60
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	63

### **Lista de Tablas**

Tabla 1: Perfil mensual de los parámetros a elevar en la simulación.....	55
Tabla 2: Espesor mínimo del aislamiento del termotanque .....	56
Tabla 3: Espesor mínimo del aislamiento de la tubería.....	56
Tabla 4: Temperatura máxima de agua en el sistema solar.....	57

### **Lista de Imágenes**

Imagen 1: Esquema de los componentes de un sistema de térmico solar.....	14
Imagen 2: Esquema simplificado de las conexiones del termotanque .....	28
Imagen 3: Esquema del aislamiento del termotanque.....	31
Imagen 4: conexión en serie invertida de varios Termotanques.....	32

## **1 Introducción**

Uno de los principales usos finales de la energía en la agroindustria es el calentamiento de fluidos, principalmente de agua para procesos de secado, sanitización, higiene, confort, de crianza y de engorda de aves y animales, etc. Actualmente el calentamiento de agua es un proceso que se obtiene todavía, predominantemente, con la quema de combustibles fósiles. Bajo el trasfondo de la irradiación muy alta que llega al territorio mexicano, el calentamiento solar de agua es una alternativa que en muchos casos resulta más económica que los procedimientos que utilizan combustibles fósiles, además de que sus impactos al medio ambiente son prácticamente nulos.

## **2 Objetivo del programa**

Las Especificaciones Técnicas establecen los requisitos de calidad, cantidad, frecuencia y otros aspectos relacionados con los servicios de dimensionamiento, suministro, instalación y pruebas, que deben cumplir los proveedores de sistemas de calentamiento de agua con energía térmica solar, durante el proceso de selección, dimensionamiento o diseño, instalación, pruebas de aceptación, entrega de garantías, capacitación, servicio y mantenimiento.

Estas Especificaciones Técnicas serán de observancia obligatoria para todos los proveedores participantes en este Proyecto y en otros programas a cargo del FIRCO. El proveedor debe entregar todos los documentos especificados en este documento a favor del usuario.

### 3 Garantías

- El proveedor entregará por escrito y a favor del usuario, al término de la instalación y previo a las pruebas de aceptación, las garantías de las partes, componentes, y de la instalación del sistema contra defectos de fabricación, deterioro posterior por intemperismo, incluyendo los vicios ocultos que pudieran ofrecer el equipo o la instalación posteriormente a la entrega. La póliza entrará en vigencia el día de la entrega - recepción oficial del sistema. La garantía de fábrica otorgada para las partes y componentes del sistema, respaldada por el vendedor será de acuerdo a lo siguiente:
- Garantía por 5 años en Colectores, termotanque, controladores e intercambiadores de calor
- Garantía por 2 años en bombas y partes móviles.

Sin embargo, la vida útil de todos los componentes no será inferior a 15 (quince) años. El proveedor o vendedor dará cumplimiento de estas garantías en el sitio de instalación del sistema. El proveedor garantizará que el sistema y suministros a instalar sean aquellos que constituyan las partes y componentes incluidos en la cotización que sirvieron de base para formular el dictamen técnico aprobatorio.

En lo relativo a la instalación del sistema, el proveedor dará una garantía de su buen funcionamiento por un periodo de 2 (dos) años como mínimo. La garantía cubrirá las fallas o defectos en la operación del sistema producto de una mala instalación, o vicios ocultos, o el uso de materiales no adecuados para las condiciones climatológicas del sitio.

En el caso de presentarse alguna falla o defecto, el proveedor procederá a la reparación o reemplazo de las partes y componentes, sin costo alguno para el usuario. El tiempo de respuesta para hacer válida la garantía no será mayor a 5 (cinco) días naturales, contados a partir de la reclamación de la falla. El tiempo de resolución de la falla, por necesitar el sistema una parte mayor o que no se tenga en ese momento, será de 15 días naturales como máximo, tiempo en el cual, se deberá de incluir los 5 días de respuesta inicial.

Se excluyen de éstas garantías daños por fenómenos climatológicos extraordinarios, tales como: terremotos, huracanes, inundaciones, incendios y descargas eléctricas; además por los causados por el factor humano tales como: mal manejo, robo, vandalismo, cambios del sitio ó del uso.

## 4 Glosario de términos

**Aislamiento térmico:** aquellos materiales de bajo coeficiente de conductividad térmica, cuyo empleo en los sistemas solares tiene por objeto reducir las pérdidas de calor.

**Bombas de circulación:** Dispositivo que produce el movimiento forzado de un fluido.

**Calentador de apoyo:** Sistema de calentamiento auxiliar que calienta la cantidad de agua demandada a la temperatura requerida apoyando al sistema solar si es necesario. Es un sistema de calentamiento de agua convencional que utiliza combustibles fósiles o electricidad.

**Calor útil:** Energía que de manera efectiva se aprovecha en un proceso para incrementar la temperatura de un fluido de trabajo, después de convertir la energía solar disponible a energía térmica.

**Capacidad de calentamiento:** Cantidad de calor que aporta el colector solar en un periodo de tiempo.

**Carga térmica:** Cantidad de energía térmica (calor), necesaria para obtener la cantidad y temperatura deseada de agua caliente.

**Circuito primario:** Circuito del que forman parte los colectores solares y las tuberías que los unen, en el cual el fluido recoge la energía solar y la transmite hacia el termotanque, que está conectado directa, o indirectamente por medio de un intercambiador de calor al circuito primario.

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

**Circulación por termosifon o natural:** Movimiento del fluido de trabajo a través del sistema de aprovechamiento de energía solar, inducido por la convección libre generada por la diferencia de densidades del agua fría y el agua caliente.

**Circulación forzada:** Movimiento del fluido de trabajo a través del sistema de aprovechamiento de energía solar, inducido por dispositivos externos o auxiliares, tales como una bomba o recirculador para hacer circular el fluido de transferencia de calor a través de los colectores.

**Colector Solar:** Dispositivo que absorbe la energía solar y la transfiere al fluido de transferencia térmica que está circulando en el circuito primario pasando los colectores. También llamado sistema térmico solar.

**Colector de tubos evacuados:** Colector al vacío que utiliza tubos transparentes básicamente de vidrio, donde se ha realizado el vacío entre la pared del tubo y el absorbedor que está colocado en la parte central, con el propósito de extraer la energía térmica captada. Los tipos principales de este tipo de colectores, son los de tubos evacuados tipo “U” y los tubos evacuados tipo “heat pipe”.

**Colector de tubos evacuados tipo “U”:** Consiste básicamente en dos tubos de vidrio de boro silicato concéntricos. Durante la fabricación del tubo, el aire existente entre los dos tubos es extraído o evacuado del espacio entre tubos para formar el vacío, el cual elimina las pérdidas de calor por conducción y convección.

**Colector de tubos evacuados tipo “Heat Pipe”:** El fluido de trabajo en este tipo de tubo es un glicol de bajo calor específico, que está contenida en un tubo capilar de cobre dentro del tubo al vacío. La placa de absorción del tubo “heat-pipe” está dentro de un tubo de vidrio en el que se ha evacuado el aire para eliminar pérdidas de calor por conducción y convección. La placa de absorción se fabrica con un recubrimiento especial selectivo apropiado para operar en alto vacío, asegurando una alta absorción de energía y bajas pérdidas por radiación.

**Colector solar plano:** Colector en el cual la superficie absorbente es esencialmente plana, la cual consiste de aletas o superficie metálica, que se ha tratado con un recubrimiento a base de pintura o recubrimiento selectivo de alta absorción, y cuya superficie es soldada a los tubos de conducción del fluido de trabajo. El conjunto de placa absorbidora y tubos conductores del fluido se coloca en una caja o carcasa metálica, la cual tiene en su interior un aislante adecuado para minimizar las pérdidas térmicas, y por la parte frontal tiene una cubierta transparente para favorecer la absorción de la radiación solar y crear el efecto invernadero. Los tipos principales de este tipo de colectores, son los de tipo “Arpa” o rejilla, y los de serpentin.

**Combustibles fosiles:** Aquellos no renovables, formados hace millones de años a partir de restos orgánicos de plantas y animales y sujetos a enormes presiones debajo de distintas capas dentro del subsuelo. Son básicamente tres: El Petróleo, el Carbon y el Gas Natural o cualquiera de sus combinaciones.

**Conjunto de colectores:** Todos los colectores interconectados que integran la instalación del Sistema Térmico Solar, destinados al calentamiento del fluido de trabajo.

**Dispositivos de seguridad:** Son la válvula de seguridad, el tanque de expansión y el sistema de purga de aire.

**Deflector:** Dispositivo que reduce la velocidad del agua entrando al termotanque para realizar una velocidad uniforme.

**Energía solar:** Radiación electromagnética emitida por el sol.

**Energía solar disponible:** Cantidad de radiación solar promedio diaria mensual estimada estadísticamente, a partir de mediciones históricas en cierto lugar geográfico.

**Energía eléctrica de autoconsumo:** Energía eléctrica que se utiliza en equipos como bombas, válvulas, sistema de control necesaria para que funcione el sistema térmico solar.

**Fenómenos naturales:** Viento, lluvias, tornados, descargas eléctricas, heladas, granizo o sismos.

**Fluido Anticongelante:** Fluido con propiedades físicas de tener un punto de solidificación más bajo que el agua y es usado para proteger a los colectores solares de daños por congelamiento, aunque no está en contacto con el fluido de servicio (generalmente agua), éste no debe ser tóxico.

**Fluido (de transferencia térmica):** Agua o cualquier otro medio utilizado para el transporte de energía térmica en un sistema de calentamiento de agua por medio del aprovechamiento de la energía solar.

**Grupo de colectores:** Varios colectores conectados en serie o paralelo, forman un grupo de colectores que se puede aislar del conjunto por válvulas de corte. Si se forman varios grupos de colectores, se pueden conectar en serie o paralelo entre ellos.

**Intercambiador térmico:** Dispositivo que transfiere la energía térmica del fluido del circuito primario, a otro fluido en el circuito secundario, sin que exista contacto físico entre ellos. Por el material y diseño, el intercambiador posee un alto coeficiente de transferencia de calor y se encuentra bien aislado del medio ambiente.

**Medidor de caudal:** Dispositivo que determina el caudal en una sección transversal de un circuito hidráulico. Su unidad es  $m^3/s$ ,  $l/s$ , o equivalente.

**Medidor de presión:** Dispositivo que registra la presión de un fluido en una sección transversal de un circuito hidráulico. Su unidad es el bar, Pascal, o equivalente.

**Medidor, termómetro o sensor de temperatura:** Dispositivo que determina la temperatura de un fluido. Su unidad es el  $^{\circ}C$ , K, o equivalente.

**Presión mínima:** Es la presión atmosférica incrementada entre 0,5 a 1,5 bar en el circuito primario para evitar que entre aire al sistema.

**Presión máxima:** Es la presión más alta que soporten todas las partes y materiales del sistema, y esta ocurre, cuando el tanque de expansión se llena completamente.

**Rendimiento térmico:** Relación de la energía térmica útil que el colector solar entrega, respecto de la energía de radiación solar que incide sobre su área de apertura.

**Resistencia al Intemperismo:** propiedad de los materiales a resistir la degradación debida a efectos de la intemperie, como son el asoleamiento (radiación solar con su componente de UV), la lluvia, el viento, la salinidad, la humedad atmosférica, y hasta los residuos orgánicos de animales (excretas, restos, polilla, etc.).

**Sales:** Es la formación de sedimentos resultante de la precipitación de los carbonatos de calcio que contiene el agua en algunas regiones con agua dura y en combinación con temperaturas arriba de 60°C.

**Sistema de almacenamiento de agua caliente (termotanque):** Depósito en el que se almacena el fluido calentado, mediante el aprovechamiento de la energía solar y que se utiliza para conservar la temperatura del fluido con las menores pérdidas térmicas posibles.

**Sistema de calentamiento solar de agua (sistema térmico solar):** Conjunto formado por los partes principales como el conjunto de colectores solares, el sistema hidráulico, el termotanque o sistema de almacenamiento de agua caliente, el sistemas de seguridad y el sistema de control. El sistema de calentamiento de apoyo no es parte del sistema solar.

**Sistema de drenado:** Válvula o conjunto de ellas, que se utilizan para permitir la salida del fluido y de los sedimentos o partículas sólidas contenidas, de modo que se evite su acumulación.

**Sistema de purga:** Dispositivo que permite la salida del aire acumulado en el circuito. Puede ser manual o automático y se coloca en el punto más alto de todos los circuitos cerrados.

**Sistema no presurizado.** Sistema solar en la cual las instalaciones son del tipo abierto, debido a que el termotanque de almacenamiento del circuito primario está comunicado de forma permanente con la atmosfera.

**Sistema presurizado.** Sistema solar en la cual las instalaciones son del tipo cerrado, debido a que el circuito primario no tiene comunicación directa con la atmosfera.

**Tanque de expansión:** Dispositivo que permite absorber las variaciones de volumen y presión en un sistema cerrado o presurizado, debido a la dilatación volumétrica por un aumento en su temperatura, impidiendo de esta forma daños al sistema por una sobrepresión excesiva.

**Tanque interior:** Es el depósito interno del termotanque. Está aislado del medio ambiente para minimizar pérdidas térmicas. Si el tanque es presurizado, existen requisitos adicionales a considerar.

**Tanque exterior ó recubrimiento exterior:** El tanque o recubrimiento exterior es el envolvente que protege el tanque de impactos externos y de las condiciones climáticas, por lo tanto los requisitos dependen de la ubicación del tanque.

**Temperatura del agua de la red de suministro:** Temperatura promedio anual a la que la red de suministro (municipal) entrega el agua potable a los inmuebles.

**Temperatura mínima:** Es la temperatura mínima de trabajo que puede soportar el sistema térmico solar, antes de que el fluido de transferencia térmica llegue al punto de congelación, lo cual debe ser evitado en regiones propensas a climas gélidos para prevenir daños a los colectores solares y tuberías.

**Temperatura máxima:** Es la temperatura máxima de trabajo que puede soportar el sistema térmico solar, antes de que el fluido de transferencia térmica llegue al punto de ebullición. Con respecto a la seguridad, la temperatura del fluido de transferencia térmica siempre debe ser 5°C inferior a la temperatura al del punto de ebullición. El punto de ebullición depende de la presión del fluido y la altitud del sitio. En circuitos primarios presurizados y/o utilizando mezclas especiales, la temperatura máxima puede superar 100°C. En el circuito secundario, la temperatura se limita a un máximo como se especifica en el ANEXO D.

**Válvula check (anti retorno):** Dispositivo que permita la circulación del fluido en un solo sentido e impide el reflujo del fluido de transferencia térmica.

**Válvula de corte (cierre):** Dispositivo en la entrada y salida de un componente o parte que cierra la conexión de la circulación de agua, de tal forma que permite retirar dicho componente o parte, sin necesidad del drenado o vaciado del líquido del circuito.

**Válvula de equilibrado:** Dispositivo que controla y regula los caudales de manera manual o automática para equilibrar los circuitos hidráulicamente igualando el flujo entre los arreglos de colectores.

**Válvula de llenado/de drene:** Dispositivo que permita el llenado y drene de cada circuito cerrado.

**Válvula de seguridad (sistema de alivio de presión):** Dispositivo de acción pasiva o activa que protege al sistema de calentamiento de agua, de incrementos de presión que pudiesen poner en riesgo su integridad física u operacional, limitando la presión máxima del circuito.

**Válvula de 3 vías y/o válvulas solenoides,** Dispositivo activado o desactivado por el sistema de control para dirigir el flujo del agua caliente en el circuito primario a una vía alternativa.

**Válvula mezcladora:** Dispositivo que mezcla agua caliente con agua fría de la red de suministro para limitar la temperatura.

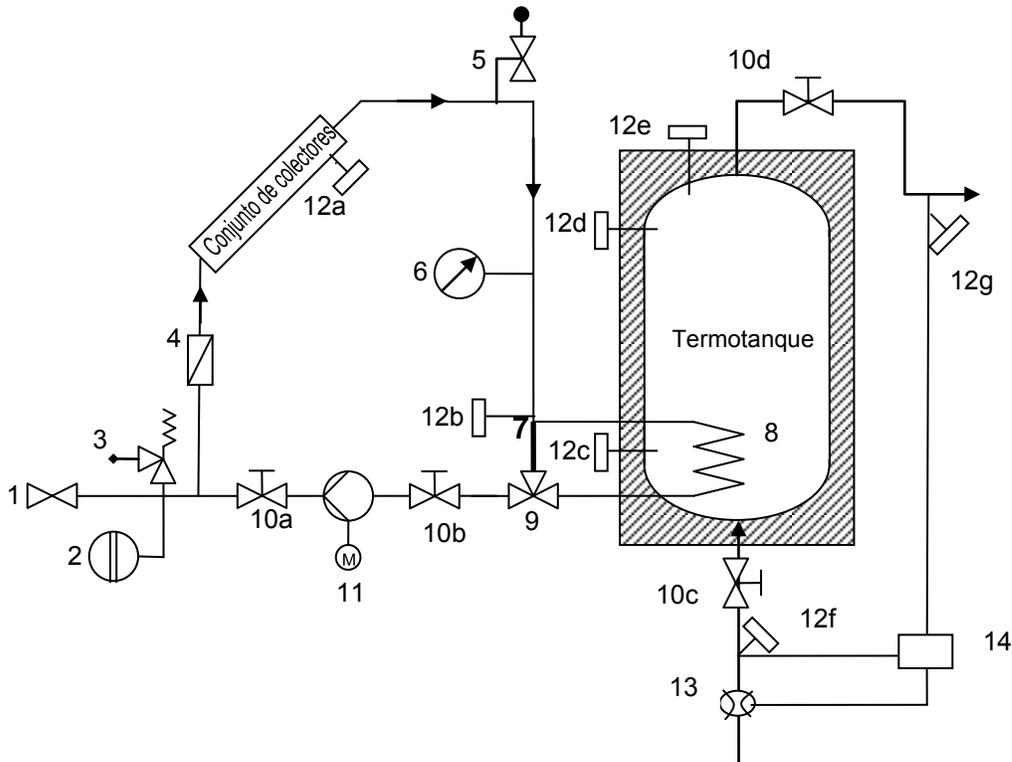
## 5 Especificaciones de partes y componentes

Para la aplicación de las especificaciones técnicas, los sistemas térmicos solares se dividen en cinco sub sistemas, y uno virtual que está embebido en los otros 5 subsistemas:

- a) **Campo solar:** Colectores solares, estructuras y cimentación.
- b) **Sistema Hidráulico:** Bombas, tuberías, válvulas, conexiones y accesorios del circuito primario y secundario.
- c) **Almacenamiento de energía térmica:** Termotanque integrado ó independiente.
- d) **Sistema de control:** Sistema de control diferencial de temperatura y cableado.
- e) **Calentamiento de apoyo (opcional):** Calentador de respaldo externo o integrado al termotanque.
- f) **Sistema de seguridad:** Sistema de protecciones, incluidas en los subsistemas mencionados anteriormente, usados para el buen funcionamiento del sistema en su totalidad, protegiéndolo frente a altas temperaturas, presiones máximas y contra heladas

La siguiente imagen muestra un esquema simplificado de los componentes de un sistema de calentamiento solar.

**Imagen 1: Esquema de los componentes de un sistema térmico solar**



(1) Válvula de llenado / válvula de drene	(8) Intercambiador térmico
(2) Tanque de expansión	(9) Válvula de tres vías
(3) Válvula de seguridad	(10) Válvula de corte
(4) Válvula check	(11) Bomba de circulación
(5) Sistema de purga de aire	(12) Sensor de temperatura
(6) Manómetro	(13) Caudalímetro
(7) Conexión de puenteo (by-pass)	(14) Contador de energía

## 5.1 GENERALIDADES

El objetivo básico del diseño de un sistema térmico solar será el de suministrar al usuario una instalación solar que:

- Optimice el ahorro energético global de la instalación.
- Garantice un uso seguro de la instalación.
- Garantice una durabilidad y calidad suficientes

El diseño del sistema y la selección de materiales deberán cumplir las exigencias cualitativas e higiénicas del fluido de transferencia térmica en el proceso, así como la de evitar la corrosión interna, en especial, la del material del absorbedor de los colectores solares, de la tubería, accesorios, del fluido de transferencia térmica y de las soldaduras. Para tubería de plástico, se deberá consultar las normas NMX-E-226/2-CNCP-2007 y NMX-E-181-CNCP-2006. Se deberá de verificar los materiales mediante la inspección visual final.

Todos los materiales usados, deberán resistir las temperaturas y presiones máximas que puedan ocurrir en el sistema (véase definiciones en el glosario de términos). En la selección de los materiales, se deberá considerar si el componente o parte, estará a la intemperie o dentro de un inmueble, para que en su caso, sea resistente a los diferentes impactos ambientales y meteorológicos.

Todas las partes expuestas al exterior resistirán a la radiación ultravioleta, lluvias, granizadas y otros impactos del medio ambiente. En específico, las partes exteriores de acero como estructuras, equipo para sujeción, tornillería y piezas auxiliares se protegerán mediante galvanizado por inmersión en caliente, pinturas orgánicas de zinc o tratamientos anticorrosivos equivalentes. Las perforaciones en la estructura, se deberán realizar antes de proceder al galvanizado o protección de la pieza. Las instalaciones eléctricas del Sistema Térmico solar deberán cumplir con lo establecido en la norma mexicana NOM-001-SEDE-1999 para garantizar el uso de la energía eléctrica en forma segura.

## **5.2 CAMPO SOLAR**

### **5.2.6 Colectores**

El fluido de transferencia térmica es calentado por la irradiación del sol entrando a la superficie de un colector solar.

Existen varios tipos de colectores que se emplearán en instalaciones de la Agroindustria, como: el colector plano con cubierta, de tubos evacuados o de tubos de calor (tecnología heat-pipe). El tipo de tecnología más adecuado para la aplicación específica se selecciona evaluando los parámetros de la operación ya que la eficiencia de cada tipo de colector es muy diferente dependiendo del rango de temperatura, la presión y del caudal.

Los colectores deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- Deberán de ser nuevos. No se aceptan instalaciones con partes usadas o reacondicionadas.
- Tendrán placa de identificación original indicando las características del mismo y llevar una hoja de datos como se especifica en el Anexo A.1.
- Deberán contar con una válvula de regulación de flujo al final de cada grupo de colectores conectados en serie, paralelo o una combinación de los mismos, Se sugiere evitar en medida de lo posible, los arreglos de colectores en serie, debiéndose usar solamente arreglos de colectores solares distribuidos en paralelo, de lo contrario debe justificarse técnica y económicamente en la memoria de cálculo. Se recomienda también utilizar el retorno inverso en lugar de las válvulas de regulación, usando éstas sólo en caso de que técnicamente no sea posible balancear el sistema con el método del retorno inverso.
- Además, en instalaciones mayores a 50 m<sup>2</sup> de área de colectores solares, cada grupo de colectores deberá contar con una válvula de corte (de esfera) en la entrada y salida, para permitir la reparación y mantenimiento y una válvula de seguridad calibrada a la presión necesaria para proteger el circuito aislado.

En regiones en las que existen temperaturas de congelamiento, se deberá utilizar alguno de los siguientes métodos que eviten la congelación del fluido de transferencia térmica:

- Protección por recirculación de agua,
- Protección por drenado
- Si el circuito primario está separado del circuito secundario, se recomienda utilizar una mezcla anticongelante en el circuito primario para evitar la congelación del fluido de transferencia térmica.

Si los colectores solares son del tipo de tubos evacuados, los métodos anteriores pueden ser sustituidos por el apropiado aislante en las tuberías de conducción del fluido de trabajo, siempre y cuando el proveedor certifique por escrito que los tubos evacuados a emplear resisten temperaturas gélidas. Si se usan colectores planos y la región es susceptible a heladas, se deberá escoger alguno de los métodos citados anteriormente.

Los colectores planos con cubierta, de tubos evacuados o de tubos de calor, deberán estar certificados por algún organismo de certificación internacional ampliamente reconocido, como Solar Keymark, SRCC (OG-100), SPF, CENSOLAR, NMX-ES-001-2005 etc., pudiendo ser más organismos nacionales o internacionales de certificación, pero que tengan la aceptación del FIRCO, cuyo logotipo estará impreso en la placa de identificación. Además, deberá existir rastreabilidad con el número de certificado otorgado así como las curvas de rendimiento obtenidas por el citado

laboratorio, y el organismo certificador. No se aceptan certificados que vengan en otro idioma distinto al español o al inglés.

## 5.2.7 Estructuras y Cimentación

Será responsabilidad del proveedor, que la estructura y las cimentaciones para el arreglo térmico solar sean diseñadas y construidas con materiales apropiados para evitar que, por causa de operación del sistema o por fenómenos naturales como el viento, granizo, heladas o descargas eléctricas, presenten corrosión, deformaciones, hundimientos, fallas de cimentación y problemas relacionados con la aerodinámica del arreglo, con lo cual la estructura y cimentación tendrán una vida útil de 15 años como mínimo.

El anclaje a la azotea o área destinada al calentador solar de agua debe diseñarse para soportar ráfagas de viento de acuerdo a los reglamentos de construcción de la localidad, en caso de no existir dichos reglamentos, se considerará una velocidad de diseño igual al récord máximo reportado para la localidad de acuerdo al Servicio Meteorológico Nacional (SMN), no siendo en ningún caso inferior a 27.78 m/s (100 km/h).

La estructura será de metal, por ejemplo de aluminio anodizado, acero galvanizado con acabado de pintura electrostática ó acero inoxidable. En regiones costeras o salobres o con influencia de brisas marinas, la estructura será de aluminio anodizado, acero inoxidable, acero galvanizado con inmersión en caliente. Se deberán utilizar muretes de concreto para anclar los colectores al techo, para evitar la perforación de la loza del techo y así evitar filtraciones de agua futuras. En todo caso, si no se puede evitar las perforaciones al techo del inmueble, se deben sellar adecuadamente las perforaciones hechas en las azoteas (cuando se fijen a las mismas) para no perjudicar la impermeabilización del inmueble.

En general, se recomienda un ángulo de inclinación del colector igual a la latitud del sitio más un incremento de aproximadamente entre 7 y 10° para tener la máxima captación durante los meses de invierno, si el sistema no es de carácter marcadamente estacional. La orientación deberá ser hacia el sur geográfico (azimut). Sin embargo, en algunos casos el perfil de uso requiere una orientación y/o inclinación diferente, por lo que el azimut y/o ángulo de inclinación deberá ser optimizado en consideración del consumo anual, y bajo los lineamientos de instalación del punto 6.1.

### 5.3 SISTEMA HIDRÁULICO

La energía térmica captada en el conjunto de colectores se transfiere indirectamente al resto del sistema por los diferentes circuitos del sistema hidráulico. Existen diferencias entre un circuito primario y un circuito secundario (véase definiciones en el Capítulo 4).

En los circuitos, la circulación del fluido de transferencia térmica puede ser por circulación natural, en ese caso se usa el término de termosifón, o por circulación forzada utilizando bombas de circulación. El fluido se mantiene presurizado o no presurizado dependiendo si está en contacto con la atmósfera o no.

- El diseño del sistema hidráulico deberá garantizar que el flujo inverso del fluido se impida en cualquier parte del circuito.
- El sistema hidráulico se diseña para tener un flujo de agua igual en cada colector solar del conjunto o subconjuntos, tomando en cuenta los diámetros y bomba de recirculación seleccionadas de acuerdo con los puntos 5.3.1 y 5.3.4.
- El sistema hidráulico deberá contar con medidas para la protección del sobrecalentamiento y la sobrepresión que evitará exceder la temperatura y presión máxima.
- La temperatura en todos los circuitos que llevan agua se limitará a una temperatura como se especifica en el ANEXO D. Si el agua caliente distribuida del sistema solar se prevé para el uso de personas, la temperatura se limitará a un máximo de 60°C.
- Los sistemas con una superficie total de colectores superior a 15 m<sup>2</sup>, deberán contar con circulación forzada.

En sistemas grandes con intercambiador térmico que cuentan con una tubería larga entre el conjunto de colectores y el termotanque, se recomienda contar con una conexión de puenteo (by-pass), entre los colectores y el termotanque (véase 7 en imagen 1) para precalentar el fluido en el circuito primario antes de alimentar el termotanque y que entre en funcionamiento de acuerdo al sistema de control.

Por las mañanas, antes de que se alcance una condición mínima, la conexión de puenteo deberá estar abierta y el fluido calentado en los colectores solares circulará por convección natural. El termotanque estará desconectado. Esta condición mínima puede ser una temperatura mínima prefijada en la entrada de la conexión de puenteo (véase 12b en imagen 1).

Cuando se supera esa condición mínima, la bomba se activará, y la válvula de 3 vías conectará también el intercambiador al circuito primario entrando el sistema en el modo de circulación forzada. Como alternativa, en lugar de válvula de 3 vías podrían ser 2 válvulas solenoides con la misma funcionalidad.

En cuanto el sistema de control detecte la diferencia mínima de temperatura (véase cap. 5.5.1), la conexión de puenteo se cerrará y el termotanque estará alimentado con agua caliente.

### 5.3.6 Tuberías y conexiones

El conjunto de tubería y conexiones deberá cumplir con las siguientes características:

- El diseño deberá ser optimizado en cuanto a distancias entre las partes del sistema de tal forma que sean lo más corto posible, con el fin de reducir las pérdidas energéticas y abatir costos. En cada circuito cerrado, la tubería se instalará de tal forma que ascenderá continuamente y habrá un solo punto más alto donde se localizará el sistema de purga de aire (véase 5 en Imagen 1). Si el techo de las estructuras existentes no permite una instalación así, se preverá un sistema de purga de aire en cada uno de los puntos elevados de la tubería.
- El diámetro será adaptado al área total del conjunto de colectores. El cálculo de los diámetros de las tuberías de toda la red hidráulica se determinan en base al flujo nominal especificado por el fabricante del colector solar.
- Las tuberías principales y sus ramales se dimensionan de tal forma que la velocidad del fluido sea mayor a 0.3 m/s y menor a 2.4 m/s.
- El agua usada deberá tener una dureza comprendida en un rango de 5 a 9. Cuando el agua tenga un valor de pH menor a 5 (altamente corrosiva) o cuando ésta ha sido suavizada a dureza cero mediante un suavizador, la velocidad máxima no debe ser mayor de 1.2 m/s.
- Este límite de 1.2 m/s aplicará también cuando la temperatura del agua en las tuberías sea superior a 60°C ya que a esas temperaturas el agua se vuelve altamente corrosiva.
- Se recomienda prevenir la sedimentación de sales en las tuberías, para evitar taponamientos, por ejemplo mediante un sistema de tratamiento de agua o suavizador de agua dura.
- En función de las condiciones climatológicas y salobres del sitio, el diseño de las tuberías deberá soportar el rango de temperatura, presión y flujo de operación, para garantizar la calidad del fluido del proceso.

- El flujo en cada colector solar, deberá estar de acuerdo a las especificaciones del fabricante, dentro del rango de  $0.012 \text{ l/s/m}^2$  y  $.02 \text{ l/s/m}^2$ .

Dependiendo del rango de temperaturas y presiones de operación deseado, se recomienda tubería de:

- Cobre.
- Polipropileno copolímero random (PP-R).
- Acero inoxidable.
- Tubo ondulado.
- Tubo multicapa (Pex-Al-Pex).

Las temperaturas y presiones máximas de la tubería serán indicadas por el fabricante. Las indicaciones se entregan juntas con las hojas de datos de los componentes para verificar que la tubería es apta para las condiciones de operación. En el caso de tuberías de materiales plásticos utilizadas en el circuito primario, se deberán verificar si soportan las condiciones extremas de presión y calor del circuito. En caso de tuberías de cobre, las interconexiones deberán estar soldadas con soldadura 95-5 % relación estaño – plomo en la primera capa y serán cerradas con soldadura 50-50 % relación estaño – plomo en la segunda capa para sellarlas.

Además:

- Todos los tornillos de sujeción deben ser galvanizados en frío o de acero inoxidable.
- Las abrazaderas deben ser de acero inoxidable o plástico, y aisladas.
- Los cinturones de amarre (cinchos o corbatas) para ajustar o amarrar los cables a la estructura deben ser de plástico negro resistentes a los rayos solares ó metálicos tipo abrazadera sin fin.

### **5.3.7 Aislante térmico en el sistema hidráulico**

Todo el sistema hidráulico deberá contar con un aislamiento térmico, para la conservación de la energía térmica y cumplir con las siguientes condiciones:

- Evitar que las pérdidas de calor en los ramales no supere el 10% de la energía captada por el campo de colectores solares. Se debe incluir en el dimensionamiento del sistema un análisis detallado de todos los ramales.
- Los aislantes térmicos deben resistir sin sufrir degradación, la temperatura de estancamiento del colector solar considerando la irradiación solar y temperatura ambiente más alta del año.

- El aislamiento térmico debe protegerse exteriormente de la intemperie, y contar con una buena resistencia al intemperismo, debiendo estar selladas de tal forma que no penetre la humedad del medio ambiente o del agua de lluvia.
- Cumplir con las especificaciones en el ANEXO C.2.
- Contar con un recubrimiento como acabado final en lámina lisa de acero inoxidable ó aluminio calibre 26 como mínimo y deberá estar rolada y biselada.
- Estar revisado para evitar puentes térmicos y por aislamiento incompleto.

Las partes de fijación del material aislante deberá ser la apropiada para asegurar la vida útil del aislante térmico. Sin embargo, existen en el mercado tubería que ya viene con aislamiento térmico integrado. Se permite el uso de estas tuberías, siempre y cuando su conductividad térmica y espesor del aislamiento cumplan con los requisitos del ANEXO C.2.

### 5.3.8 Presión en el circuito

En el siguiente apartado, se detallan las recomendaciones de las partes que deben considerarse en los sistemas que trabajan con o sin presión.

#### 5.3.8.1 Sistemas presurizados

Si el circuito primario está presurizado, se requiere:

- Una válvula check o anti retorno (véase 4 en Imagen 1) antes del conjunto de colectores para evitar el flujo inverso que puede ocurrir por ejemplo por circulación natural en la noche cuando el fluido en el colector se enfría.
- Un sistema de purga de aire (o válvula de alivio) (véase 5 en Imagen 1) en el punto más alto para purgar el sistema.
- Para proteger el sistema contra sobrepresiones, se deberá contar con una válvula de seguridad (véase 3 en Imagen 1) calibrada al 110% de la presión máxima de diseño, y colocada en cada arreglo de colectores en la parte más alta del mismo.
- Un tanque de expansión (véase 2 en Imagen 1). Su volumen deberá ser mayor que la expansión máxima del fluido de transferencia térmica en el circuito primario más el contenido de los colectores. Incluyéndose su cálculo en la memoria correspondiente.
- Una válvula de llenado, o de drene respectivamente (véase 1 en Imagen 1).

- Se asegurará que los dispositivos de seguridad siempre estén operando. El diseño y conexión garantizará que se impiden taponamientos por contaminación o depósito de sales.

Todos los componentes y partes del circuito primario deberán resistir 1.5 veces la presión máxima especificada por el proveedor. El diseño resultante deberá asegurar que quede un margen de presión de 0,5 a 1,5 bar por encima de la presión atmosférica para evitar la entrada de aire.

### 5.3.8.2 Sistemas no presurizados

Si el circuito primario se maneja sin presión y el movimiento del líquido se hace por termosifón, o por medio de una bomba, se requiere:

- Una válvula check (véase 4 en Imagen 1) a la entrada del grupo de colectores para evitar el flujo inverso.
- Un sistema de purga de aire (véase 5 en Imagen 1) en el punto más alto.
- Un tanque de expansión (véase 2 en Imagen 1). Su volumen deberá ser mayor que la expansión máxima del fluido de transferencia térmica en el circuito primario y el contenido de los colectores.
- Una válvula de llenado, o de drene respectivamente (véase 1 en Imagen 1).
- Se asegurará que los dispositivos de seguridad estén operando permanentemente. El diseño y conexión garantizará que se impiden taponamientos por contaminación o depósito de sales.

Si el fluido de trabajo es agua, la temperatura se limitará a un máximo de 80 °C.

### 5.3.8.3 Válvulas

Las válvulas que se utilicen, deberán ser de construcción robusta, y resistentes a la corrosión, a las presiones y a las temperaturas máximas que puedan ocurrir con una vida útil de 5 años como mínimo.

### 5.3.9 Bomba(s)

La bomba o el sistema de bombas (véase 11 en Imagen 1) que se instalarán, deberán de cumplir con los siguientes requisitos:

- La selección y cálculo de la potencia de la bomba se debe realizar conociendo el flujo total de agua requerido por todos los colectores solares y la carga dinámica total (CDT) de la red hidráulica, con ayuda de las curvas características proporcionadas por el fabricante de bombas.
- Si es necesario, las bombas deberán de estar protegidas contra la intemperie, mediante una cubierta o gabinetes adecuados que garanticen su operación.
- Estarán situadas en la zona más fría del circuito y, si es posible, en tubería vertical.
- Todas las bombas tendrán una placa con las características eléctricas del motor, así como los datos del fabricante.
- La bomba de circulación deberá compensar la pérdida de presión total de todo el sistema. En el dimensionamiento del cabezal de bombeo se deberán tomar en cuenta también las pérdidas de presión causadas por los accesorios y la tubería, por ejemplo por curvaturas, conexiones y/o la rugosidad de la pared del material.
- El consumo de energía máximo de la bomba deberá ser menor o igual que el 1% de la potencia máxima calorífica que pueden suministrar los colectores en total.
- Deberá ser controlada automáticamente por el sistema de control.
- La bomba podrá ser retirada para reparación o mantenimiento, sin drenado o vaciado del líquido del circuito. Esto se realizará por la instalación de válvulas de corte o, como mínimo, por tuercas uniones a la entrada y a la salida de la bomba (véase 10a y 10b en Imagen 1).
- Para sistemas con una superficie de colectores total superior a 50 m<sup>2</sup>, se recomienda contar con una segunda bomba de respaldo que esté conectada en paralelo a la bomba operando.

Se deberán de considerar filtros con capacidad de tamaño de partícula adecuada para proteger el equipo de sedimentos que resulten de la corrosión de las tuberías y de las sales debido a la dureza del agua en, su caso, sobre todo al principio de operación. La bomba deberá soportar sedimentos que se pudieran llegar a pasar por el filtro.

El cuerpo de la bomba y los impulsores deberán ser de material de alta resistencia y anticorrosivos, tales como acero inoxidable, bronce o polímeros de alta resistencia.

### 5.3.10 Fluido de transferencia térmica

En sistemas que cuentan con intercambiador de calor en el circuito primario, se puede utilizar un fluido de transferencia térmica alternativo al agua. No deberá de ser tóxico, ni contaminar el medio ambiente. Deberá tener una viscosidad baja y un calor específico superior a 3 kJ/(kg K) y ser estable para todo el rango de presiones y temperaturas.

En regiones que corren con peligro de heladas, en el circuito primario se deberá utilizar una mezcla anticongelante como fluido de transferencia térmica, como propilenglicol mezclado con agua, si se utiliza un fluido diferente que el agua, se deberá asegurar que no escape al medio ambiente por fugas, conexiones incorrectas o similares en ninguna parte del sistema. Es obligatorio que el intercambiador de calor impida la mezcla del anticongelante con el agua de consumo.

En aplicaciones que superan los 60°C, es necesario proteger los equipos del circuito primario de agua dura. Por tal motivo, en regiones con agua dura, en el circuito primario se debe utilizar un fluido de transferencia térmica especial que cumple con los demás requisitos de estas especificaciones y que está separado de los otros circuitos. En instalaciones que utilizan la misma agua en toda la circulación del sistema, se deberá prever un tratamiento del agua que reduzca las sales (iones) de magnesio y calcio del agua de la red de suministro.

En el circuito secundario siempre se usa agua. Si se requiere que el agua de servicio sea de ciertas características y calidad, se deberán realizar las medidas necesarias para asegurar estas condiciones. En regiones con agua dura, en el circuito secundario se deberá realizar medidas contra la incrustación y el depósito de sales (p. ej. una limpieza frecuente).

### 5.3.11 Intercambiador térmico

Un intercambiador térmico (véase 8 en Imagen 1) transfiere indirectamente la energía térmica absorbida en el conjunto de colectores, del circuito primario al termostanque. Se necesita si se utilizan diferentes fluidos en el circuito primario y secundario como anticongelantes o si los circuitos se manejan a diferentes presiones y/o temperaturas. Especialmente en regiones de agua dura es muy importante separar el circuito primario por medio de un intercambiador para proteger los colectores de depósitos de sales. Si el sistema cuenta con intercambiadores térmicos internos o externos, se deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- Serán dimensionados de tal manera que la razón de su superficie útil [m<sup>2</sup>] y el área total de colectores [m<sup>2</sup>] no sea inferior a 0.2.
- Deberán soportar las diferencias de presiones que puedan ocurrir.
- Los intercambiadores térmicos podrán ser retirados para reparación o mantenimiento, sin drenado o vaciado del líquido del circuito. Por tanto, se preverán válvulas de corte en todos los orificios del intercambiador, además se recomienda instalar las válvulas de purga de aire y drene necesarias.

En regiones con agua dura y temperaturas del fluido de transferencia térmica que excedan los 60°C, se necesita tomar medidas contra incrustación, por ejemplo la ampliación de la superficie del intercambiador y permitir su limpieza.

Especialmente intercambiadores de placas y de tubos lisos se prestan para estas condiciones porque son menos propensos a la incrustación.

### 5.4 ALMACENAMIENTO DE CALOR

Los sistemas térmico solares cuentan con un sistema de almacenamiento de energía térmica llamado termostanque ya sea independiente o bien integrado.

La alimentación igual que la toma de agua se puede realizar, ya sea de forma indirecta mediante un intercambiador térmico, o de forma directa. Cada una de las conexiones de alimentación, y de toma respectivamente, tiene una entrada y una salida del termostanque.

#### 5.4.6 Termotanque

El termotanque o los termotanques tienen como principal función el almacenamiento de agua a altas temperaturas. Estos recipientes se deberán diseñar de acuerdo a la norma mexicana NOM-020-STPS-2002, Recipientes sujetos a presión y calderas – Funcionamiento -Condiciones de seguridad. Termotanques no presurizados deberán cumplir con las normas mexicanas NMX-C-374-ONNCCE-CNCP-2008 sobre tinacos prefabricados.

La capacidad de almacenamiento deberá ser apropiada a la cantidad de metros cúbicos circulando en el circuito primario y necesario en el proceso. En general, se recomienda un volumen del tanque de 1,5 más la cantidad del consumo de agua o 50-180l por metro cuadrado de área de apertura del colector. Además deberán de cumplir con las siguientes especificaciones:

- Tener una vida útil de 15 años como mínimo.
- Llevar una hoja de datos como está indicado en el Anexo A.2.
- Deberá soportar una presión de 1,5 veces de la presión máxima de operación indicada por el fabricante. Se entregarán los resultados del ensayo juntos con la hoja de datos.
- Llevar una placa indicando datos básicos.
- Deberán soportar las presiones y temperaturas máximas que pueden ocurrir. Por motivos de seguridad, la temperatura se limitará como se especifica en el ANEXO D.
- Deberá contar con una válvula de corte manual en la salida (véase 10d en Imagen 1) u otras medidas para evitar el derrame del termotanque en caso de cualquier peligro en el sistema. Sin embargo, se recomienda prever una válvula de corte automática, que se activa en cuanto el sistema de control detecte una pérdida de presión. Además deberá contar con otra válvula de corte en la entrada (véase 10c en Imagen 1).
- Todos los tanques de almacenamiento deberán estar provistos de orificios adecuados en la(s) entrada(s) y en la(s) salida(s); en el drene (con o sin sumidero), en los venteo(s) y en las conexiones para sensores, indicadores y/o controles de nivel.
- Deberá instalarse una válvula en la parte más baja del termotanque de almacenamiento que permita drenar periódicamente los sedimentos.
- Los tanques de almacenamiento con un volumen mayor a 1000 l, deberán contar con una forma de acceso adecuado, que generalmente es una brida desmontable, para permitir al personal de mantenimiento realizar limpieza, revisiones o reparaciones en el interior del tanque.

- El fabricante deberá garantizar por un periodo de al menos 5 años, la calidad de las soldaduras aplicadas.
- De preferencia se deberán de usar Termotanques verticales, para permitir una mejor estratificación de temperaturas en el agua almacenada. Sólo en caso de restricción de poca altura del techo del inmueble donde se aloje o alguna restricción técnica justificable se pueden usar del tipo horizontal.

Debido al fenómeno de estratificación del fluido dentro del termotanque y con el propósito de conservarlo, las posiciones de las conexiones del termotanque deberán cumplir con los siguientes requisitos:

Conexión con el circuito primario:

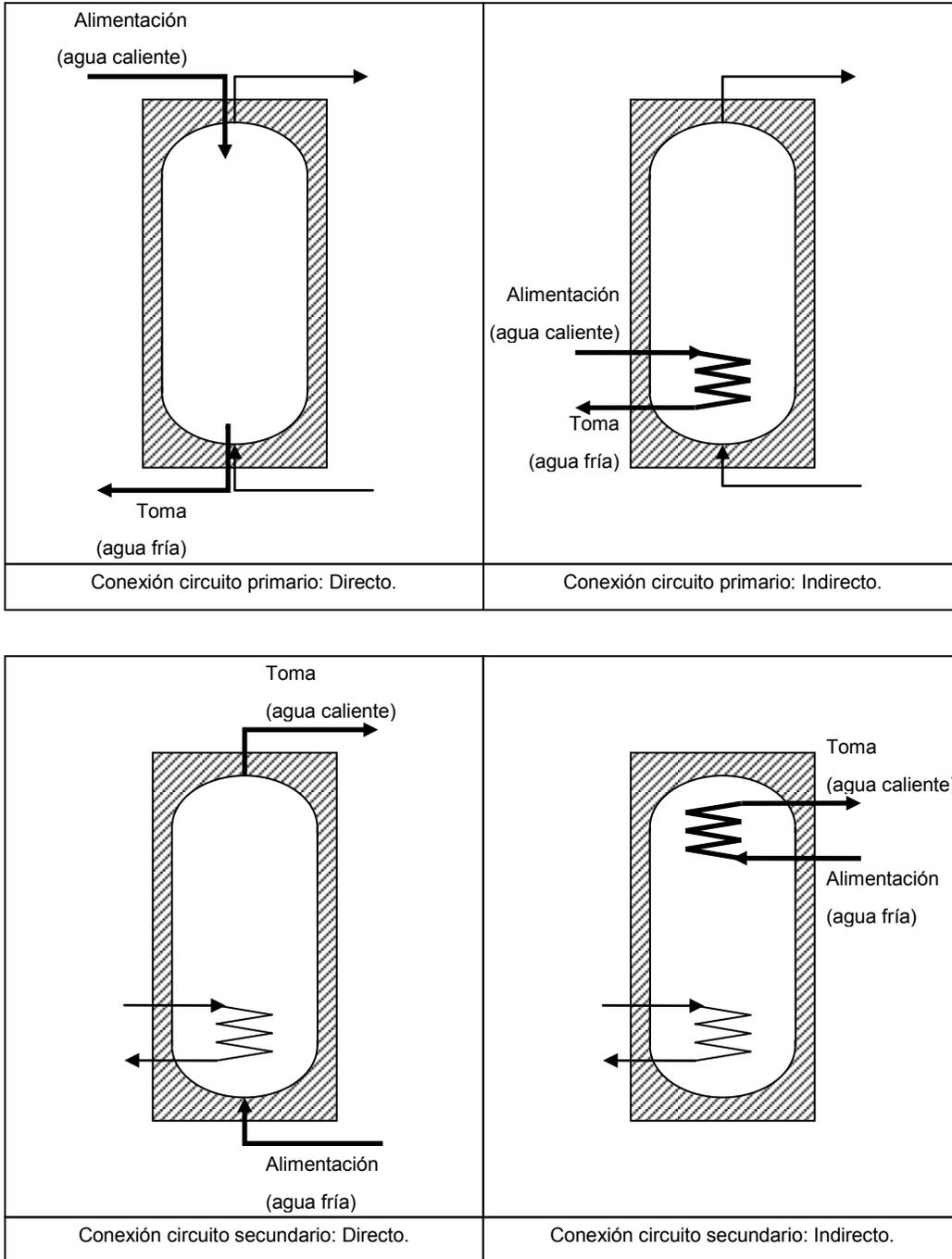
- Conexión directa: La alimentación del agua caliente se ubicará entre el 90% al 100% de la altura en la parte superior del tanque y la toma del agua fría se ubicará en la parte inferior entre el 5% y 10% de la altura del tanque.
- Conexión indirecta mediante un intercambiador térmico: La alimentación del agua caliente estará entre el 10 % y el 50 % de la altura en la parte superior y la toma del agua fría estará ubicada en la parte inferior entre el 5% y el 10% de la altura del tanque.

Conexión con el circuito secundario:

- Conexión directa: La toma del agua caliente se ubicará entre el 90% al 100% de la altura del termotanque, siendo la conexión más alta; y la alimentación con agua fría se realiza en el parte inferior.
- Conexión indirecta (vía intercambiador): La toma de agua caliente se realizará entre el 90% al 100% y la alimentación con agua fría entre el 50% al 75% de la altura en la parte superior.
- Con el propósito de evitar la pérdida de la estratificación de temperatura, se deberá asegurar que el regreso de agua caliente proveniente de los colectores solares ingrese al termotanque en un punto localizado entre el 50% y 75% de la altura del tanque de almacenamiento, o bien incorporar difusores interiores en el termotanque.

Lo anterior deberá ser indicado mediante el marcaje o etiquetado correspondiente en el termotanque.

**Imagen 2: Esquema simplificado de las conexiones del termotanque**



Con el propósito de afectar al mínimo la estratificación de temperaturas, los Termotanques deben tener difusores en la entrada del agua fría de alimentación y deberán estar colocados en la parte inferior del termotanque. Un diseño delgado y cilíndrico del termotanque favorece también una buena estratificación.

En sistemas presurizados, se deberá contar con una válvula de seguridad en la parte superior del termotanque, calibrada al 110% de la presión máxima definida por el proveedor. Deberán contar con un orificio exclusivo para venteo, que garantice la purga de aire, en la parte más alta del tanque. Para termotanques a alta presión en posición horizontal, se deberá contar con cubiertas toriesféricas por ambos lados, de acuerdo al código ASME sección VIII en el apartado “tipos de tapas de recipientes bajo presión interna”. Para termotanques verticales sólo la tapa inferior podrá ser plana, siempre y cuando cumpla con las condiciones de presión del sistema.

Toda tubería de salida del termotanque, para conectarse a la red de distribución, deberá estar dirigida hacia abajo, y tener una longitud de al menos 0.3 m entre el termotanque y el punto de interconexión de la red. Se recomienda, que de ser posible, se instale un solo termotanque, para minimizar pérdidas térmicas.

#### **5.4.7 Tanque interior**

Materiales de fabricación del tanque interior recomendados:

- Acero inoxidable de grado alimenticio (SUS 304 ó SUS 316).
- Acero al carbón con recubrimiento porcelanizado o acabado vidriado.
- Para sistemas no presurizados, el tanque puede ser de polietileno grado alimenticio, y que no rebase una capacidad de 1 m<sup>3</sup>.

En general, deberán contar con medidas contra la corrosión interna, se recomienda considerar la norma UNE-EN 12499:2003/AC: 2006 sobre la protección de la corrosión de superficies de metal. En tanques que son de acero, esta protección se realiza mediante la instalación de un ánodo de sacrificio.

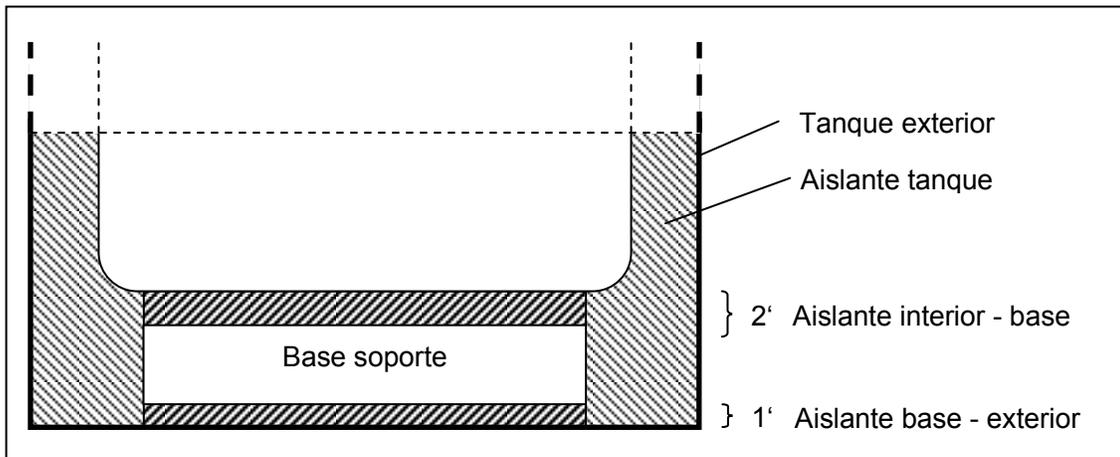
### 5.4.8 Base soporte

La estructura de soporte deberá resistir el peso del termotanque y, la carga hidrostática. Si se instala encima del techo de un edificio, se deberá asegurar que éste soporte el peso completo de todo el conjunto (termotanque-colector). Se deberá asegurar que la instalación del sistema térmico solar, no provoque daños a la estructura existente (filtraciones, cuarteaduras, estética, etc.). Como material se recomienda:

- Acero galvanizado con acabado de pintura electrostática.
- Acero inoxidable.
- Concreto.
- Ladrillo.

La unión entre la base soporte y el termotanque interior deberá estar separada por un material aislante con un espesor mínimo de 2"; y la unión entre el termotanque interior y la lamina del tanque exterior con un espesor mínimo de 1", para evitar pérdidas conductivas (véase la siguiente imagen)

Imagen 3: Esquema del aislamiento del termotanque<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Con motivo de ser más descriptivo, las razones geométricas no son reales. Además, se permiten otros diseños del tanque y la base soporte que cumplan con las especificaciones.

Los materiales podrán ser:

- Madera tratada, por ejemplo de encino.
- Polímeros de alta resistencia.
- Granulo de vidrio expandido (expanded glass granules)
- Grava de vidrio espumoso (foam glass gravel)

#### **5.4.9 Aislamiento térmico**

Un buen aislamiento completo del termotanque es esencial para reducir las pérdidas de calor y lograr una eficiencia alta del sistema solar, manteniendo las pérdidas térmicas no mayores al 10% de la energía captada por el conjunto de colectores solares. El aislamiento se debe seleccionar conforme a los conceptos de diámetro crítico de aislante y se deberá ajustar estrechamente al tanque para evitar pérdidas por aire pasando a lo largo del tanque. Los orificios de conexión, el tanque y todas las tuberías deben contar con un aislamiento térmico completo, para evitar y/o minimizar pérdidas térmicas por conducción.

- El material y espesor del aislante, deberá cumplir con lo especificado en el ANEXO C.1.
- En la tapa del tanque se recomienda un aislante de un espesor 50% mayor al del termotanque.

#### **5.4.10 Tanque exterior ó recubrimiento exterior**

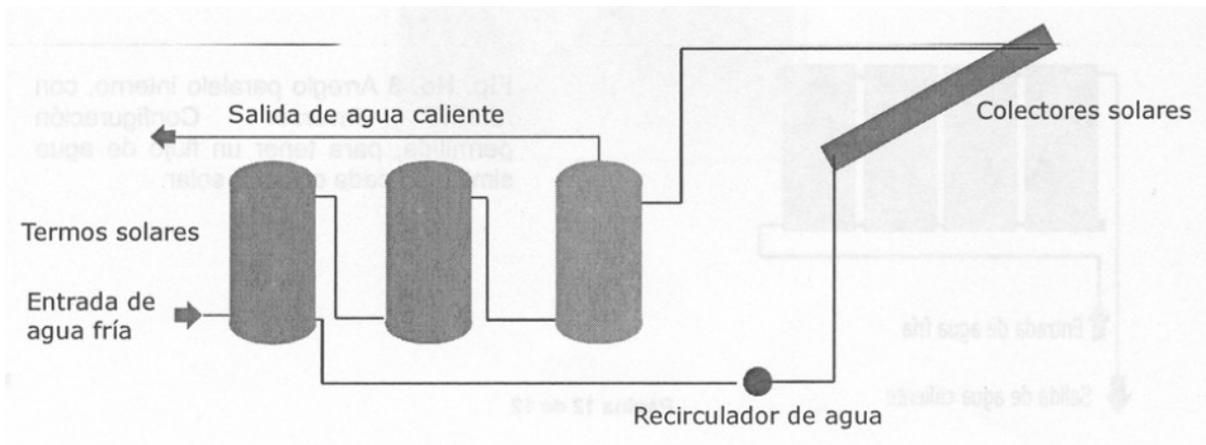
Se recomienda para instalaciones comerciales, que el termotanque se instale en espacios interiores, con el objeto de disminuir las pérdidas de calor en el mismo. Si no es posible lo anterior, el diseño del tanque exterior deberá garantizar una resistencia a cualquier impacto externo, como fenómenos naturales si está localizado fuera de un edificio. Como material de fabricación, dependiendo de la ubicación, se recomienda:

- Acero inoxidable (SUS 304 ó SUS 316).
- Aluminio anodizado.
- Lamina de acero galvanizado con acabado de pintura electrostática.
- Plástico reforzado con vidrio (GFRP) u otros plásticos.

Cuando se instalen en el exterior, deben contar con un recubrimiento exterior que evite la degradación del aislamiento así como la penetración de humedad. En regiones costeras o salobres o con influencia de brisas marinas, la lámina exterior del tanque será de aluminio anodizado, acero inoxidable (SUS 304 ó SUS 316) o GFRP (Glass Frame Reinforced Plastic).

Si se llegan a requerir varios Termotanques, y con el propósito de lograr una estratificación adecuada de temperaturas, éstos se deben de conectar en serie invertida con el circuito de consumo, tal y como se muestra en la siguiente figura:

Imagen 4: conexión en serie invertida de varios Termotanques



## 5.5 Sistema de control

### 5.5.6 Sistema de control diferencial de temperatura

La dinámica del calentamiento solar está dirigida por el sistema de control que maneja a las bombas, si estas existen, así como los mecanismos de seguridad, con la finalidad de hacer más eficiente el proceso de captación solar. El sistema de control diferencial de temperatura como factor de regulación se encarga de controlar el proceso de paro y encendido del sistema, esto se logra de la siguiente manera:

1. El paro y encendido de la bomba de circulación de un sistema de circulación forzada, dependerá de la diferencia entre la temperatura del líquido almacenado en el termotanque y la de la línea de descarga de los colectores solares (véase 12 a y 12c en Imagen 1). Esta se determinará, frecuentemente por sensores térmicos que mandan señales electrónicas al sistema de control diferencial de la bomba. Bajo ninguna circunstancia se deberá controlar manualmente la bomba de recirculación para arrancar y parar el sistema. Por lo anterior y para asegurar un funcionamiento automático, el sistema de control diferencial debe de contar por lo menos con dos sensores de temperatura, uno se coloca en la parte inferior del tanque de almacenamiento solar para detectar la temperatura del agua a calentar y el otro se coloca en la parte superior de los colectores solares.
2. Entre paro y encendido del sistema, se deberá considerar un rango de temperatura específico para dicho control. Para sistemas a temperaturas altas, se recomienda una diferencia mínima de 8 a 10°C para encender y de 2 a 3°C para parar el flujo en el sistema. En aplicaciones a temperaturas bajas, se considerará un rango menor de temperaturas.
3. Para evitar el riesgo por congelación, el control diferencial arrancará la bomba cuando la temperatura de los colectores solares sea de 3°C y la parará cuando llegue a 7°C, exceptuando el caso de sistemas con protección por drenado.
4. Además controlará que la temperatura del fluido de transferencia térmica no exceda el límite en ninguna parte del sistema, especialmente en el termotanque, activando el paro de la bomba o accionando la conexión de puenteo.
5. Sistemas con una superficie de colectores total superior a 15 m<sup>2</sup> deberán contar con una protección al sobrecalentamiento que no sea eléctrico en caso de un corte de electricidad.

6. Si el agua está destinada para uso humano, se deberá controlar la temperatura, para proteger de quemaduras a las personas. En estos casos, la temperatura se limitará a un máximo de 60°C por lo que se preverá una válvula mezcladora regulada por el sistema de control.
7. Si el sistema cuenta con una conexión de puenteo, un sensor de temperatura (véase 12b en Imagen 1), mandará señales al sistema de control y así se conecta o desconecta el by-pass y termotanque al circuito primario mediante una válvula de 3 vías, o válvulas solenoides habilitadas para realizar esta función.

Se prefiere una regulación sencilla con 3 á 4 sensores térmicos en la salida del colector y en diferentes alturas del termotanque. Además, el sistema de control deberá conectarse con un contactor o arrancador termomagnético para evitar que la corriente de la bomba pase directamente por éste y reducir también los riesgos de daño al operador por descargas eléctricas durante las rutinas de mantenimiento. Este interruptor se localizará en la trayectoria o cable de interconexión entre la línea eléctrica y el sistema de control. Este interruptor debe ser calculado según las normas eléctricas mexicanas para soportar la corriente del circuito eléctrico del sistema y deberá estar contenido en un gabinete tipo NEMA 3R o superior. El sistema deberá también contar con protección de sobrecarga y corto circuito, de acuerdo a lo establecido en la NOM-001-SEDE-1999 de Instalaciones eléctricas. Todas las partes metálicas expuestas del sistema de control deberán ser puestas a tierra.

#### **5.5.7 Medición de la presión**

La presión del sistema se determinará por un manómetro instalado por lo menos en cada uno de los circuitos cerrados (véase 6 en Imagen 1). El manómetro será adecuado para el rango de presiones que pueden ocurrir. Normalmente deben disponer de una esfera de 100mm y una escala graduada de 0 a 10 bar.

### 5.5.8 Medición de la temperatura

Todos los sistemas de calentamiento térmico solar, deberán contar con termómetros o sensores adecuados al diámetro de la tubería de tal forma que detecten la temperatura del agua, instalándose un termómetro o sensor en la parte baja del termostanque o en la línea de succión de la bomba, a la entrada de agua fría (véase 12C en imagen 1), y otro termómetro o sensor en el retorno de los colectores solares (véase 12A en Imagen 1). Los termómetros o sensores deberán cumplir con las siguientes características:

- Podrán ser digitales ó analógicos.
- Deberán tener una escala no menor a la temperatura máxima y mínima del sistema. Normalmente se usa un rango de 0 a 200°C.
- Deberán contar con aislamiento térmico para el ambiente.
- Los sensores deberán estar dentro de un termopozo o vaina de inmersión y conectados al sistema de control en el cual se podrá “leer” la temperatura que exista en ese punto.

### 5.5.9 Medición de la energía térmica

La energía térmica producida por el calentador solar de agua se determinará por medio de un contador de energía, el cual será un instrumento obligatorio para los sistemas solares que se instalen en los proyectos del FIRCO. En el caso de no contar con integradores energéticos, se deberá contar con instrumentos de medición de temperatura a la entrada y salida, y del caudal a la entrada del sistema solar. El caudal del fluido se determina con turbinas (sistema rotario volumétrico), medidores de flujo magnético, medidores de flujo de desplazamiento positivo u otros procedimientos. La temperatura se mide con sensores térmicos.

La energía será determinada con estos datos a través de la aplicación de la siguiente fórmula:

$$E = \dot{m} * C_{pa} * (T2 - T1)$$

Donde:

E [kJ/s]	Rendimiento térmico
$\dot{m}$ [kg/s]	Caudal másico del agua
$C_{pa} = 4.186$ [kJ/(kg*K)]	Calor específico del agua
T2[K]	Temperatura de salida del sistema (a proceso)
T1 [K]	Temperatura de entrada al sistema

Los datos obtenidos por cualquiera de los métodos indicados, serán guardados y preparados en una manera que permitirá recabar un balance de energía anual. Se excluirá al sistema de apoyo. Si el sistema cuenta con un calentador auxiliar integrado al tanque, se deberá determinar la energía de apoyo para luego descontar su valor del rendimiento total.

## **5.6 CALENTAMIENTO DE APOYO (OPCIONAL)**

Un sistema térmico solar es un sistema que convierte la energía del sol en energía térmica transferida a un fluido de trabajo, aplicado a los agronegocios. Sin embargo, como sabemos, el recurso solar no siempre está disponible debido a las condiciones climáticas que prevalezcan en el lugar, limitando dicho recurso solar haciendo el servicio intermitente, debido a nublados que se pudieran presentar en varios días consecutivos, o por fenómenos atmosféricos extraordinarios, como tormentas tropicales o huracanes. Por lo anterior, para garantizar siempre la cantidad de agua caliente a la temperatura requerida, se recomienda instalar un sistema de calentamiento de apoyo el cual apoyará al sistema térmico solar, en caso de las eventualidades explicadas anteriormente. Este sistema de calentamiento de apoyo, deberá estar dimensionado de tal manera que sea capaz de suministrar la demanda completa del proceso para el caso de una indisponibilidad completa del sistema solar térmico, por ejemplo por una falla, mantenimiento o condiciones climáticas desfavorables. Se clasifica en sistemas integrados al termotanque y de respaldo externo o combinados. Puede ser eléctrico, de gas LP u otros combustibles. Para permitir su operación independiente, se deberá prever una conexión de puenteo al sistema solar.

Para evitar reducir significativamente la eficiencia del sistema, no se recomienda usar el tanque de almacenamiento de agua caliente del sistema convencional de apoyo como tanque de almacenamiento del sistema de colectores solares.

Cuando el sistema de calentamiento convencional tenga una bomba recirculadora de retorno para mantener la tubería caliente, el regreso no deberá descargarse al Termotanque, para evitar que se reduzca la eficiencia del sistema.

## 5.7 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

El diseño y dimensionamiento del sistema es un proceso iterativo que se deberá basar y comprobar mediante un programa informático de simulación. Dicho programa deberá tomar en cuenta como mínimo, los siguientes parámetros de entrada para el diseño y dimensionamiento:

- El consumo de agua caliente en su perfil diario y la temperatura prefijada.
- La inclinación y orientación de los colectores.
- La eficiencia de los colectores
- El clima del sitio.
- El volumen del termotanque.
- La longitud de la tubería.
- El tipo de calentador de respaldo.
- La temperatura del agua de la red
- Las coordenadas geográficas del sitio
- Los niveles de irradiación solar en base mensual

El diseño y dimensionamiento se realizará por parte del proveedor utilizando un programa de simulación, como los que se sugieren a continuación:

- f-chart.
- TRNSYS.
- SIMSOL.
- TRANSOL.
- ACSOL.
- T\*Sol.
- Polysun.
- GetSolar.
- CENSOL
- O programas similares que usen el mismo concepto de dimensionamiento y cálculo para efectuar la simulación.

No todos los programas son aplicables en cualquier proyecto. Algunos programas llevan configuraciones predefinidas de sistemas y su adaptación es limitada. En estos casos, se deberá verificar si el programa de simulación utilizado está calificado. Se deberán atender las recomendaciones en el Anexo F. Además se recomienda una evaluación crítica de los resultados de la simulación debido a que asume condiciones óptimas e artificiales. Además, unos programas requieren una cierta experiencia del proveedor y periodos de varios meses de familiarización. Se deberá llenar el formulario mostrado en el ANEXO B y aparte entregar el reporte original de la simulación. Dado que el usuario final es el que conoce con exactitud las características tanto del fluido que desea almacenar y el lugar donde se ha de instalar dicho sistema, el proveedor no deberá suponer estas condiciones, y si así fuera, el proveedor tiene la obligación de informar al usuario, quien tiene la responsabilidad de autorizar o no las condiciones expuestas por la compañía proveedora.

## 6 Especificaciones relativas a la instalación del sistema

### 6.1 GENERALIDADES

En la instalación se deberán evitar obstáculos que proyecten sombra sobre el arreglo solar así como entre ellos mismos a lo largo del día y a lo largo del año. En caso de no poder evitarse, las pérdidas de energía por sombreado no deben sobrepasar el 15% de la energía total anual ganada por el sistema solar en ausencia de sombras. En caso necesario, se ajustará la altura del arreglo, en lo posible evitando la tala de árboles. En general, se recomienda un ángulo de inclinación del colector igual a la latitud del sitio más un incremento de aproximadamente entre 7° y 10°. Si se aumenta el ángulo de inclinación del colector se obtiene la máxima captación durante el invierno y si se inclina con un ángulo menor a la latitud del lugar se obtiene la máxima captación en verano. La orientación (azimut) sea hacia el sur geográfico. Sin embargo, en algunos casos el perfil de uso requiere una orientación diferente debido a que el área disponible para instalar los colectores no permite orientarlos estrictamente hacia el Sur y/o inclinarlos con el ángulo correcto. En estos casos se pueden instalar los colectores solares desviados del Sur e inclinados con un ángulo diferente al óptimo, de acuerdo a las siguientes restricciones:

- La pérdida de irradiación solar incidente en su superficie no sobrepase el 30% anual del valor máximo captado en condiciones normales.
- La desviación máxima del azimut del colector no deberá superar 10° hacia el este y 30° hacia el oeste.

Al final del cálculo se debe incrementar el área de colectores solares para compensar las pérdidas de irradiación solar debidas a su orientación e inclinación alejadas de la posición ideal, así como de suciedad o pérdida térmica en la superficie del sistema, en caso de zonas muy sucias. Hay que tomar en cuenta que algunos de los colectores del tipo de tubos evacuados pueden absorber mayor radiación solar sin afectar demasiado la desviación del azimut, debido a que son de carácter “omnidireccional”.

La estructura deberá quedar debidamente fijada y anclada para evitar cambios indeseables en la orientación del arreglo solar. Los colectores solares deberán sujetarse bien cada uno con 4 sujeciones a la estructura como mínimo, por lo que no se permite soportar los colectores en los cabezales de las tuberías, ni se permiten sujeciones de éstos con alambres. En la instalación eléctrica, los cables conductores o ductos de conducción deberán quedar protegidos de la luz solar directa, buscando su mejor ubicación para minimizar el calentamiento por la exposición a los rayos solares. Los conductores ó el ducto para los conductores deberán estar ajustados firmemente a la estructura mediante cinturones de amarre (cinchos o corbatas de plástico de color negro) o abrazaderas tipo sin fin de acero inoxidable. Las

perforaciones en estructura de acero se deberán realizar antes de proceder al galvanizado o protección de la estructura.

## 6.2 CONEXIONES HIDRÁULICAS

Las conexiones hidráulicas deberán satisfacer los requerimientos siguientes:

- En todas las conexiones hidráulicas roscadas deberá aplicarse cinta de teflón ó cualquier compuesto que selle juntas hidráulicas. No serán soldadas, para permitir la desconexión de cualquier pieza de tubería.
- Se deberá usar una tuerca unión u otras medidas que permitan la desconexión de la tubería entre cada elemento del sistema tanto en la entrada como en la salida.
- Todas las conexiones a la bomba y accesorios deben ser roscadas con acoplamiento.
- Cada elemento del sistema deberá estar sujeto firmemente para evitar movimientos.
- La tubería deberá fijarse mediante abrazaderas colocadas convenientemente, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. En tramos aéreos horizontales la distancia de fijación debe impedir que la deflexión de la tubería sobrepase 1.0 cm, tomando en cuenta la pérdida de rigidez que pueda tener por llegar a la temperatura de estancamiento, permitiéndose el uso de abrazaderas tipo uña en tramos verticales cuando el peso de la tubería y el agua sea mayor de 50 kilogramos se debe considerar un anclaje del tipo unicanal. Se deberá de contar con las especificaciones del proveedor, para que los elementos de fijación (abrazaderas, uñas, etc), de tal forma que garanticen una fijación adecuada y segura de las tuberías.
- Para evitar los daños debidos a los esfuerzos por desplazamientos causados por la continua contracción y expansión de los tubos por los cambios de temperatura, las tuberías hidráulicas deben instalarse apropiadamente, colocándose juntas de expansión horizontal o juntas de expansión en las secciones de las líneas donde se requiera.
- Se deberán de usar juntas de expansión en recorridos de tubería mayores a 30 metros en línea recta. En caso de no poder usar juntas de expansión horizontales, solamente se aceptan juntas de expansión verticales en conjunto con válvulas eliminadoras de aire.
- Si las tuberías atraviesan muros o cimentaciones se deberán usar chaquetas de tubería de acero cuyo diámetro sea el doble del tubo a proteger, o se deberán construir arcos de cemento sobre el tubo. Se deberá de rellenar el

espacio libre entre las chaquetas o los arcos de cemento y la tubería de algún material sellador flexible.

- Para tuberías enterradas se debe abrir una zanja y colocar la tubería rodeada ya sea de arena o tierra fina sin piedras. Se debe colocar cuando menos 10 centímetros de relleno compactado alrededor de la tubería.

### 6.3 CONEXIONES ENTRE COLECTORES SOLARES - TERMOTANQUE

La interconexión entre el termotanque independiente (en caso de contar con él) ó la línea de suministro y los colectores solares cubrirá los siguientes requisitos:

- El diseño de la tubería, deberá asegurar particularmente la impermeabilidad completa y la durabilidad.
- Será de un diámetro que garantice el flujo ideal entre colectores solares especificados anteriormente en el apartado tuberías, conexiones y accesorios.
- Se debe realizar una pendiente mínima ascendente de 1% en el sentido de la circulación del fluido en los tramos horizontales de la tubería, hasta llegar al punto más alto donde se unan a la tubería principal para ir evacuando las burbujas de aire, o bien, deben de contar con válvulas eliminadoras de aire en los puntos elevados de la red.
- Se deberá emplear el método del retorno inverso para la conexión del arreglo de colectores en paralelo, de tal forma de lograr un flujo de agua equilibrado en todo el subconjunto, teniendo en el mejor de los casos la misma longitud de recorrido del fluido calo portador por diferentes caminos. Cuando esto no sea posible, se deberán instalar válvulas de control para el equilibrado de flujo.
- Se deberá verificar que todas las conexiones se instalen correctamente y en el lugar previsto.

Cada línea de conducción proveniente de la línea hidráulica del termotanque o de suministro a dichos colectores así como la de retorno al termotanque deberá contar con las siguientes características:

- Se recomienda conexiones de cobre.
- Contará con elemento de conexión y desconexión (tuerca unión).
- Contará con elemento de apertura y cierre (válvula esfera).
- Contará con elemento anti retorno (válvula check).

Cada uno de los elementos mencionados deberán ser de un diámetro no menor al diámetro de la toma hidráulica del colector solar utilizando las conexiones necesarias para la reducción en el caso de conexión de la línea proveniente de la toma principal a la línea de colectores solares así como de ampliación en caso de línea de colectores solares a línea principal. Cada línea de colectores solares; en la conexión de la salida del último colector deberá contar con una válvula de seguridad calibrada a la presión máxima.

La tubería deberá ser aislada térmicamente bajo el siguiente criterio:

- El aislamiento térmico deberá cumplir con los requisitos anteriormente especificados.
- Deberá tener recubrimiento como acabado final en lámina lisa de acero inoxidable ó aluminio, calibre 26 como mínimo y deberá estar rolada y biselada.

#### **6.4 CONEXIONES ENTRE COLECTORES SOLARES**

La conexión entre equipos solares se realizará cumpliendo con los siguientes criterios:

- Deberá ser preferentemente de tubería de cobre de un diámetro no menor al diámetro de la conexión de los colectores solares.
- Se deberá procurar que la distancia entre los colectores sea la mínima necesaria para que entre ellos exista un elemento de conexión y desconexión (tuerca unión) para labores de mantenimiento.

La tubería deberá ser aislada térmicamente bajo el siguiente criterio:

- El aislamiento térmico deberá cumplir con los requisitos anteriormente especificados.

- Deberá tener recubrimiento como acabado final en lámina lisa de acero inoxidable ó aluminio calibre 26 como mínimo y deberá estar rolada y biselada.

## 6.5 EMPALMES Y CONEXIONES ELÉCTRICAS

Los elementos que utilizan una conexión eléctrica en un sistema térmico solar son: El sistema de control, la puesta a tierra y la bomba. En términos generales, estos se deberán apegar a lo indicado en la NOM-001-SEDE-1999, y satisfacer los siguientes requerimientos: Todos los cables deberán ser continuos sin empalmes intermedios, a excepción de los siguientes casos:

- la conexión a la bomba, en la que se permite un solo empalme soldado entre la bomba y el sistema de control.
- Si se usan sensores de temperatura, también se deberá permitir solo 1 empalme soldado, si la longitud del sensor es insuficiente para realizar la conexión (ubicación del sensor) y el punto de uso de la lectura (unidad de control). Se deberá asegurar que el calibre del cable conductor de la señal de los sensores sea de un diámetro suficiente para evitar pérdidas de señal o caídas de tensión, siguiendo las especificaciones técnicas del fabricante.

Se deberá de respetar el código de colores para los cables a usar entre el sistema de control y la bomba incluyendo los cables de puesta a tierra, de acuerdo a la norma eléctrica. Si se difiere del código, se deberá apuntar claramente y explicar los colores usados en las instrucciones de operación y mantenimiento. El cable conductor hacia la bomba, así como los cables de los sensores deben estar firmemente sujetos a la tubería, usando cinturones de amarre (cinchos o corbatas) cada 1.5 metros. En todos los puntos de conexión y empalmes se dispondrá de un excedente de cable para permitir ajustes o reparaciones futuras, siempre y cuando el espacio físico lo permita. Todas las conexiones en donde no exista terminal con conectores de compresión deberán contar con terminales tipo ojillo estañadas para tornillo de tamaño adecuado. En todos los puntos de conexión se deberá usar grasa conductora anticorrosiva entre la terminal y el punto opresor.

## 6.6 VÁLVULAS

En términos generales, las válvulas se deben seleccionar de acuerdo a las condiciones de presión y temperatura máximas que pueda alcanzar el sistema.

### 6.6.6 Válvulas de corte (esfera)

Como requerimiento mínimo, para aislar un componente o parte del sistema se puede realizar por tuercas uniones. Sin embargo, se recomienda ampliamente instalar válvulas de corte en la salida y entrada de

- Cada grupo de colectores de tamaño superior de 100m<sup>2</sup>.
- Termotanques, intercambiadores y bombas.
- Instalación solar para aislar el sistema de apoyo.

La ventaja de utilizar este tipo de dispositivos, es que el componente o parte se puede desconectar sin tener que vaciar el circuito o sistema.

### 6.6.7 Válvulas de seguridad (válvula de alivio)

Como mínimo, se deberá instalar una válvula de seguridad en cada uno de los circuitos cerrados del sistema. Siempre deben ir instaladas acompañadas de un manómetro y próximos al sistema de expansión si lo hubiera. La válvula de seguridad estará ajustada al 110% de la presión máxima del sistema.

Sin embargo, se recomienda instalar válvulas adicionalmente en cada uno de los grupos de colectores y termotanques.

### 6.6.8 Válvulas anti retornos (check)

Se deberá instalar una válvula anti retorno (Check) del tipo columpio en:

- La alimentación de agua fría.
- Todos los circuitos cerrados.
- Cada una de las bombas.

### **6.6.9 Válvulas para equilibrado de circuitos**

Donde sean necesarias, se recomienda instalar válvulas de globo (asiento) o válvulas de esfera para equilibrar los flujos en las entradas a cada subconjunto de colectores solares, en el caso de que no se pueda tener un flujo equilibrado por el método del retorno inverso.

### **6.6.10 Válvulas de drenado**

Se deberán prever válvulas de drenado para permitir el desagüe total y parcial del sistema. Los Termotanques deben tener en la parte inferior una válvula de esfera de cuando menos 1.25 cm de diámetro, para poder evacuar los sedimentos o vaciarlos en forma periódica.

### **6.6.11 Sistema de purga (válvulas eliminadoras de aire)**

En el punto más alto se instalará un sistema de purga de aire en cada uno de los circuitos cerrados. Si la tubería no presenta una línea vertical ascendente continua, se instalará un sistema de purga en cada uno de los puntos elevados (puntos máximos de altura).

### **6.6.12 Válvula de 3 vías ó válvulas solenoide de 2 vías.**

Se deberá de utilizar una válvula de 3 vías, o dos válvulas solenoides con la misma funcionalidad; en sistemas grandes con intercambiador térmico que cuentan con una tubería larga entre el conjunto de colectores y el termotanque, para habilitar el puenteo y así precalentar el fluido en el circuito primario antes de alimentar el termotanque y que entre en funcionamiento de acuerdo al sistema de control, de acuerdo a la descripción y condiciones de funcionamiento descritas en la página 18.

## **6.7 SISTEMAS DE SEGURIDAD**

Los sistemas de seguridad están compuestos por las válvulas reguladoras y de seguridad, el interruptor de desconexión, la tierra física y el anclaje de los colectores. Estos componentes deben satisfacer los requerimientos explicados con anterioridad. Deberán proteger frente a altas temperaturas, presiones máximas y contra heladas, si es necesario. Se deberá verificar que todos los medidores se encuentren fijamente y correctamente instalados.

## 7 Documentos técnicos a entregar al cliente

### 7.1 DOCUMENTOS AL PRESENTAR LA OFERTA TÉCNICA-ECONÓMICA

El vendedor o proveedor debe presentar al potencial comprador la siguiente documentación:

- Al respecto de partes y componentes del sistema de calentamiento solar: Los formularios en el ANEXO A llenados completamente con los datos básicos del colector, termotanque y sistema.
- Dimensionamiento del sistema de calentamiento (colectores, tanque, intercambiador de calor, tubería principal y ramales, tanque de expansión) y memoria de cálculo, incluyendo las curvas de eficiencia de operación de sistema y un pronóstico del rendimiento térmico anual y mensual. También se deben presentar las simulaciones de la carga y los datos climáticos. En el ANEXO B se presenta el formulario y el reporte original de la simulación.
- Cotización de las partes y componentes, desglosando las características, cantidades, precios unitarios de cada parte y componente, así como el costo de la instalación, el monto de los impuestos correspondientes y el costo total. No se aceptan propuestas que indiquen un sistema o “paquete”, sin desglose y características de sus componentes. Además, se deberán indicar los costos, en su caso, para el entrenamiento y capacitación del usuario y del servicio de mantenimiento.
- Período de vigencia de la cotización.
- Tiempo de entrega e instalación del sistema para su puesta en operación.
- Garantías que se otorgarán al comprador.

## 7.2 DOCUMENTOS A ENTREGAR DESPUES DE LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA SOLAR.

Como parte inicial del procedimiento de aceptación del Sistema Solar, el proveedor deberá entregar al usuario la siguiente documentación:

- 1) Manual de operación del sistema y de recomendaciones de uso, incluyendo métodos de operación manual y automática, operación con apoyo de energía de fuente convencional, protocolo de inspección y mantenimiento, información técnica relevante del equipo, descripción de los ajustes de seguridad y de regulación y relación de posibles causas de falla con procedimiento de chequeo y soluciones. También se entregarán los datos al cliente para contactarse en el caso de necesidad del servicio de mantenimiento o para hacer valida la garantía.
- 2) Manual de instalación del sistema, recomendaciones generales sobre la instalación, especificación de instalación de los arreglos de colectores solares (posición de líneas de alimentación de agua fría y descarga de agua caliente), especificación del diseño de las redes hidráulicas, temperaturas de operación recomendadas, definición de las superficies de soporte de los arreglos solares, especificación del acoplamiento entre arreglos de colectores solares, y de éstos con el termotanque y el sistema hidráulico, especificación de sus protecciones.
- 3) Diagrama simplificado de la instalación indicando claramente todos los componentes y partes del sistema incluyendo el sistema de control y un esquema detallado del termotanque y del arreglo de colectores solares, incluyendo la orientación, anclaje y su fijación.
- 4) Resultados de las pruebas de aceptación.

## 8 PRUEBA DE ACEPTACIÓN

De acuerdo con éstas Especificaciones Técnicas, el proveedor deberá realizar las pruebas de aceptación del sistema solar ante la presencia del usuario y del técnico designado por la Gerencia Estatal del FIRCO. El procedimiento de revisión del sistema solar consistirá en las siguientes pruebas, siguiendo el formato y orden establecido a continuación:

- Inspección visual del sistema solar de calentamiento de agua. Se deberá verificar que todos los componentes y accesorios del sistema, correspondan a los especificados en el manual de instalación, y se verifiquen visualmente para comprobar que están libres de daños, roturas, etc que puedan demeritar su funcionamiento. También se deberá verificar visualmente que el sistema hidráulico cumpla con las premisas asentadas en esta especificación.
- Prueba de estanqueidad. Se deberá efectuar una prueba hidrostática a un valor de 1.5 veces la presión de trabajo del sistema manteniéndola por lo menos una hora y observando que no existan fugas, deformaciones ni daños permanentes en los componentes del sistema; durante este tiempo la presión no debe caer más del 10% de su valor inicial.
- Prueba de rendimiento de energía a corto plazo. También llamada prueba de funcionamiento o calentamiento. Verificar que en un día claro con suficiente irradiación, sin efectuar consumos de agua, la bomba o bombas arrancan por la mañana en un tiempo prudencial, y paran al caer la tarde, obteniéndose una elevación correcta de la temperatura del agua en el depósito. La prueba puede acortarse reduciéndola a las 3 o 4 horas centrales del día, partiendo con agua fría en el tanque, debiéndose detectar un incremento de la temperatura en un día claro no inferior a 20°C ( $\Delta t > 20^{\circ}\text{C}$ ).
- Prueba de circulación del fluido. La prueba consiste en alimentar eléctricamente la bomba, bien directamente o bien con accionamiento manual cuando éste exista, comprobando que entran en funcionamiento y que el incremento de presión indicado por el manómetro del sistema, o uno conectado exclusivamente para esta prueba, es el que corresponde, según la curva de desempeño de la bomba, al caudal de diseño del circuito.
- Prueba de accesorios. Comprobar que las válvulas de seguridad funcionan y que sus tuberías de conexión a la atmosfera no están obstruidas. El proceso se realizará durante la prueba de estanquidad, incrementando la presión delante de la válvula de seguridad hasta alcanzar un valor de 1.1 veces la presión de trabajo, comprobando que la válvula se acciona y abre.

Debe verificarse también que las válvulas de corte, llenado, vaciado y purga de la instalación actúan correctamente.

Protocolo de pruebas y de aceptación. Antes de realizar el acto de recepción se efectuará una completa y cuidadosa limpieza de toda la instalación, retirando los restos de materiales que hayan quedado en los alrededores de la obra. En el momento de la entrega de la instalación, el proveedor hará también la entrega al cliente de la documentación mencionada en el punto 7.2. Una vez comprobado el buen funcionamiento de la instalación, se procederá a firmar el protocolo de pruebas – recepción del sistema, en donde la responsabilidad sobre el uso y mantenimiento de la instalación recaerá sobre el cliente o usuario final, sin perjuicio de las responsabilidades contractuales que, en concepto de garantía, hayan sido pactadas y que obliguen al proveedor.

## 9 CAPACITACION BASICA AL USUARIO

Sustentado en el Manual de Operación del sistema solar y en las recomendaciones de uso, el proveedor deberá dar una explicación clara al usuario, en el sitio de la instalación y como parte de las pruebas de aceptación, sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento preventivo del sistema, indicando cuales son las partes y componentes del mismo, así como las causas probables de falla y posible corrección inmediata. La explicación deberá de incluir temas de seguridad del equipo y para la protección del usuario.

## 10 SERVICIO DE MANTENIMIENTO

En caso de falla del sistema solar durante la vigencia de la garantía del sistema, el proveedor en un período no mayor a 5 días naturales, después de haber recibido el reporte, enviará a un técnico capacitado al sitio de la instalación con el fin de corregir la falla.

## ANEXO

### A. Hojas de datos

#### A.1 COLECTOR

##### Placa de identificación:

- Nombre del fabricante.
- Año de fabricación.
- Tipo del colector (cubierto, tubo vacío, tubo de calor, etc.).
- Número de serie.
- Dimensiones del colector solar (largo, ancho y espesor)
- Área bruta y de apertura.
- Presión de trabajo del colector.
- Volumen del fluido de transferencia por cada modulo de colector.
- Tipos de fluido de transferencia permitidos.
- Peso en vacío y peso lleno
- Temperatura de estancamiento (indicando irradiación y temperatura del ambiente).
- Flujo recomendado
- Presión máxima de operación (a 45°C y a la temperatura máxima).
- Características máximas de viento que soporta la estructura.

##### Hoja de datos:

- Conjunto completo de dibujos (incluyendo medidas y estructuras).
- Lista de materiales (materiales de fabricación).
- Certificado indicando las siguientes características físicas y ópticas.

- Curva de eficiencia del colector (de un modulo) basada en el área o apertura del absorbedor y de la temperatura del fluido promedio, indicando también las condiciones y las ecuaciones utilizadas.
- Constante del tiempo.
- Rendimiento térmico efectivo (J/K).
- Factor(es) modificador(es) por efectos del ángulo de incidencia de la radiación solar, indicando también el ángulo consultado.
- Resultados del ensayo de la resistencia al impacto (por si se determina su ejecución).
- Daños observados antes, durante y después de los ensayos.

## A.2 TERMOTANQUE

### Placa de identificación

- Nombre del fabricante.
- Año de fabricación.
- Presión de trabajo del termotanque.
- Volumen nominal.
- Temperatura máxima.
- Presión máxima de operación (a 45°C y a la temperatura máxima).

### Hoja de datos

- Conjunto completo de dibujos (incluyendo medidas y estructuras).
- Lista de materiales.
- Características físicas e hidráulicas.
  - Pérdida de calor en espera (W/m<sup>2</sup>s).
  - Capacidad térmica del tanque completo.

Si cuenta con calentador eléctrico integrado:

- Voltaje de trabajo de la resistencia eléctrica.

- Capacidad térmica nominal del calentador.
- Detalles de la conexión.

Si cuenta con intercambiador térmico

- Volumen del intercambiador.
- Material del intercambiador.
- Tipo de tubería del intercambiador.
- Tamaño de superficie transmisora de calor del intercambiador.
- Ubicación en el tanque.
- Presión de operación permisible del intercambiador.
- Temperatura de operación permisible del intercambiador.
- Detalles de la conexión.

## **B. SIMULACIÓN**

### **B.1 PERFIL ANUAL**

- a) Carga térmica \_\_\_\_\_ [kWh]
- b) Rendimiento \_\_\_\_\_ [kWh]
- c) Fracción solar \_\_\_\_\_ [%]
- d) Eficiencia del sistema \_\_\_\_\_ [%]
- e) Coeficiente de rendimiento \_\_\_\_\_ [-]

## B.2 PERFIL MENSUAL

**Tabla 1: Perfil mensual de los parámetros a elevar en la simulación.**

Mes	a) Carga térmica	b) Rendimiento	c) Fracción solar	d) Eficiencia del sistema	e) Coeficiente de rendimiento
	[kWh]	[kWh]	[%]	[%]	[-]
Ene					
Feb					
Mar					
Abr					
May					
Jun					
Jul					
Ago					
Sep					
Oct					
Nov					
Dic					

### B.3 ECUACIONES

a) Fracción solar  $f = E_s / D$

b) Eficiencia del sistema  $\eta_{\text{Sys}} = E_s / (S * I_{\text{col}})$   
Donde:  $I_{\text{col}} = \sum I_{\text{glob}} * \Delta t$

c) Coeficiente de rendimiento  $\beta_{\text{Sys}} = E_s / P_{\text{el}}$

Donde:

$E_s$ [kWh]	Energía térmica suministrada por el sistema solar.
$D$ [kWh]	Demanda Energética o Carga térmica.
$S$ [m <sup>2</sup> ]	Superficie Colectora o Área de apertura de los colectores.
$I_{\text{col}}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	Irradiación solar que incide sobre una cierta superficie durante cierto tiempo y por unidad de área.
$I_{\text{glob}}$ [W/m <sup>2</sup> ]	Irradiación solar recibida por un objeto por unidad de tiempo y por unidad de superficie.
$P_{\text{el}}$ [kWh]	Energía parásita.

## C. REQUISITOS AL AISLAMIENTO

### C.1 TABLA MATERIAL-ESPESOR AISLAMIENTO TERMOTANQUE

Tabla 2: Espesor mínimo del aislamiento del termotanque

Material	Espesor mínimo $e_{min}$	
	[mm]	[""]
Poliuretano	80	3 1/4
Lana mineral	100-120	4 1/2

Se toma como referencia una diferencia de temperatura entre fluido y medio ambiente de 40°C.

Generalmente, el espesor del aislante del termotanque no deberá quedar por debajo de:

$$e_{min} = 50 * \lambda / 0.04 ["]$$

Donde:

$\lambda$  [W/(mK)]: conductividad térmica del aislante

### C.2 TABLA MATERIAL-ESPESOR AISLAMIENTO TUBERÍA

Tabla 3: Espesor mínimo del aislamiento de la tubería

Material	Espesor mínimo $e_{min}$			
	[mm]		[""]	
d: Diámetro	d<22	d>22	d< 7/8	d> 7/8
Poliuretano	15	20	5/8	3/4
Lana mineral	20	30	3/4	1 1/4

Se toma como referencia una diferencia de temperatura entre fluido y medio ambiente de 40°C.

Generalmente, el espesor del aislante para tuberías de un diámetro d inferior a 7/8" (22 mm) no deberá quedar por debajo de:

$$e_{min} = 8 * \lambda / 0.035 ["],$$

Respectivamente, para tuberías de un diámetro superior a 7/8" (22 mm), de

$$e_{min} = 12 * \lambda / 0.035 ["]$$

Donde:

$\lambda$  [W/(mK)]: conductividad térmica del aislante

De no existir en el mercado el espesor requerido, se deberá siempre utilizar el espesor inmediato superior y nunca el inferior.

## **D. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DE AGUA**

La temperatura de agua como fluido de transferencia térmica se limitará dependiente de la altitud del sitio como se especifica en la tabla 4.

Sin embargo, en circuitos presurizados, la temperatura máxima se podrá limitar a un valor de 5°C menor de la temperatura del punto de ebullición para alcanzar temperaturas más elevados en aplicaciones de altas temperaturas. En estos casos se deberán prever medidas para garantizar siempre la presión del dimensionamiento de esta temperatura máxima.

**Tabla 4: Temperatura máxima de agua en el sistema solar**

<b>Altitud del sitio<sup>2</sup></b>	<b>Presión atmosférica<sup>3</sup></b>	<b>Temperatura máxima</b>
<b>[m]</b>	<b>[hPa]</b>	<b>[°C]</b>
<500	1,013	95.0
501-1000	955.2	93.5
1001-1500	901.6	92.0
1501-2000	851.8	90.0
2001-2500	805.5	88.5
2501-3000	762.3	87.0
3001-3500	722.1	86.0
>3500	684.6	84.0

---

<sup>2</sup> Sobre el nivel del mar

<sup>3</sup> Temperatura ambiental de referencia: 15°C.

## E. RESUMEN DE LOS ENSAYOS REQUERIDOS POR LOS DISTINTOS ORGANISMOS DE CERTIFICACIÓN DE COLECTORES

Ensayo	Certificación			Objetivo
	SRCC (OG-100)	Solar Keymark	NMX-001	
Inspección visual	X	X	X	Observar y documentar condiciones del colector antes de comprobarlo.
Ensayo resistencia a la presión estática	X	X	X	Detectar fugas o deterioro por el fluido antes de la comprobación.
Ensayo resistencia a altas temperaturas	-	X	-	Comprobar resistencia del colector a alta valores de irradiación.
Ensayo Exposición	X	X	X	Comprobar resistencia de la construcción expuesta a condiciones adverso durante 30 días.
Ensayo Choque térmico externo	X	X	X	Comprobar resistencia de la estructura y la dependencia del rendimiento de expansión y reducción térmica abrupta.
Ensayo Choque térmico interno	X	X	X	Determinar reacción de un colector calentado después el relleno con agua fría.
Ensayo permeabilidad	-	X	-	Comprobar colector por su permeabilidad durante 4 horas de simulación de lluvia fuerte
Ensayo resistencia a heladas	-	X	-	Comprobar resistencia del colector vacío o lleno a heladas y rocío en una cámara frigorífica.
Ensayo resistencia a la presión (estática) repetido	X	X	X	Detectar fugas o deterioro por el fluido después de la comprobación.

Ensayo resistencia a la carga mecánica	-	X	-	Comprobar resistencia de la cubierta y la estructura del colector a cargas mecánicas causado por viento o nieve.
Ensayo resistencia al impacto	-	X	-	Comprobar que cubierta resiste ciertos impactos, por ejemplo de granizos.
Ensayo temperatura de estagnación	-	X	-	Determinar temperatura máxima que puede ocurrir en el colector.
Ensayo determinación constante del tiempo	X	X	X	Determinar reacción temporal del colector al cambio abrupto de la irradiación o temperatura del fluido
Ensayo rendimiento térmico	X	X	X	Determinar la eficiencia instantáneo del colector bajo condiciones de operación
Ensayo factor modificador ángulo de incidencia	X	X	X	Necesario para el pronóstico del rendimiento.
Ensayo perdida de presión	X	X	X	Determinar la perdida de presión por el colector bajo condiciones de operación.
Desmontaje y inspección final	X	X	X	Observar y documentar las condiciones del colector después de la comprobación.

## F. PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

Los distintos programas de simulación se diferencian en programas simplificados de cálculo, y programas de simulación estáticos y dinámicos.

### F.1 PROGRAMAS SIMPLIFICADOS DE CÁLCULO

- Son basados en cálculos de programas de simulación detallados.
- Normalmente utilizan valores medios mensuales.
- No se puede considerar el comportamiento de un sistema en condiciones específicas, determinar configuraciones de instalaciones y usar intervalos de tiempo más pequeños.
- Requieren unos pocos parámetros de la instalación
  - La cantidad y el tipo de colector.
  - El volumen de acumulación.
  - Los caudales y la efectividad del intercambiador.
- Determinan
  - El aporte solar a la demanda.
  - El rendimiento global del sistema.

Ejemplos:

Programa	Descripción	Evaluación
<b>f-chart</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy generalizado.</li> <li>- implantación informática fácil.</li> <li>- basado en simulaciones de TRNSYS.</li> <li>- Insumo: Datos climáticos en su promedio mensual, perfil de demanda predefinido.</li> <li>- Salida: Gráficos o tablas en un informe de tres páginas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Precisión suficiente con respecto al resultado de una simulación anual.</li> <li>- Herramienta básica para empresas de instalación, consultores energéticos y técnicos.</li> <li>- No incluye sistemas con más de un tanque.</li> </ul>

## F.2 PROGRAMAS DE SIMULACIÓN ESTÁTICOS

- Evaluación con frecuencia discreta: La evaluación es más cercana a la dinámica sobre la base de parámetros climáticos y de demanda en una resolución por hora o menos.
- Selección del sistema y de sus componentes adecuados de modelos físicos-técnicos predefinidos de la biblioteca del programa, y entra en los parámetros de la ubicación del sistema y de los componentes.
- Difieren en el período de familiarización requerido.
- Exactitud relativamente alta; el cálculo de los plazos excede con el nivel de la pormenorización.

Ejemplos:

Programa	Descripción	Recomendación
<b>TRNSYS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El programa es basado en numerosos componentes predefinidos.</li> <li>- El código fuente (Fortran y C++) del programa se pueden editar y la descripción matemática es accesible. Además permite interfaces con otros programas (p.ej. CAD).</li> <li>- Interfaz gráfica del usuario.</li> <li>- Diversas presentaciones de resultados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muy flexible y comprobado.</li> <li>- No hay una versión en español disponible.</li> <li>- Requiere mayor capacidad y conocimientos del equipo y del usuario, como una comprensión profunda de modelos de simulación. Es útil contar con conocimiento básico de programación.</li> <li>- Grupos usuarios del programa son las grandes oficinas de diseño y la de investigación.</li> </ul>
<b>SIMSOL, TRANSOL, ACSOL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Configuraciones predefinidas basadas en TRNSYS.</li> <li>- Los resultados del cálculo pueden ser exportables a hojas de cálculo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los parámetros de la instalación son sencillos y amigables.</li> <li>- Aplicación limitada en sistemas a la medida.</li> <li>- Difusión gratuita de ACSOL.</li> </ul>
<b>T*Sol</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programa optimizado para las configuraciones más utilizadas.</li> <li>- No es posible crear ni usar sistemas distintos a los preconfigurados, se reproducen componentes específicos que difieren de las opciones del programa.</li> <li>- Resolución hasta por hora.</li> <li>- Resultados en forma de tablas o gráficos.</li> <li>- Las temperaturas pueden ser observadas durante la simulación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor exigencia de conocimientos al usuario, tiempos más largos de familiarización (meses).</li> <li>- Relativamente flexible, casi cualquier tipo de configuración del sistema está incluido en la base de datos y varias condiciones de funcionamiento pueden ser simuladas.</li> <li>- Sin embargo, la simulación es limitada para sistemas únicos y diferentes del estándar.</li> </ul>
<b>Polysun</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contiene la configuración de varios sistemas estándar, perfiles diarios y modo de operación. Capaz de simular los</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupos usuarios del programa son las empresas de instalación e ingeniería; oficinas de planificación y formación e</li> </ul>

	<p>termotanques grandes y combinados de mejor manera.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- No es posible la Indicación de valores instantáneos de la simulación</li> <li>- Resolución hasta por hora.</li> <li>- Resultados en forma de una presentación, detalle o informe de ingeniería.</li> </ul>	<p>instituciones de educación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- No se pueden mostrar las secuencias de temperatura, por ejemplo en el acumulador, ya sea en el programa o en los resultados. Los resultados solo pueden ser emitidos como valores mensuales.</li> </ul>
<b>GetSolar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programa DOS compatible con Windows.</li> <li>- Se pueden mostrar valores instantáneos. La función cíclica de tiempo permite la observación detallada del sistema en momentos críticos.</li> <li>- Se puede definir el perfil de consumo se para un día normal.</li> <li>- Resolución en distintas bases de tiempo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resultados adecuados de la simulación.</li> <li>- No puede llevar a cabo la viabilidad económica y los cálculos de emisiones.</li> </ul>

### **F.3 PROGRAMAS DE SIMULACIÓN DINÁMICA**

- Está basada en ecuaciones y/o diagramas.
- Los parámetros de componentes y resultados se pueden escoger flexiblemente.
- Son utilizados solamente en cuestiones científicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Para realizar esta especificación, se consultaron las siguientes normas y publicaciones:

I Reporte técnico **ISO/TR 10217** (1989) “Solar energy - Water heating systems - Guide to material selection with regard to internal corrosion”

II Norma Mexicana **NMX-E-226/2-CNCP-2007** (2007) “Industria del plástico – tubos de Polipropileno (PP) para unión por termofusión en instalaciones para la conducción de agua caliente o fría”

III Norma Mexicana **NMX-E-181-CNCP-2006** “Industria del plástico - tubos y conexiones de poli cloruro de vinilo clorado (CPVC) para sistemas de distribución de agua caliente y fría - especificaciones y métodos de ensayo”.

IV Norma Oficial Mexicana **NOM-001-SEDE-1999** (1999) “Instalaciones eléctricas (utilización)”

V Norma Mexicana **NMX-ES-003-NORMEX-2007** “Energía solar – Requerimientos mínimos para la instalación de sistemas térmicos solares para calentamiento de agua”

VI Norma Europea **EN 12975-2:2006** (2006) “Thermal solar systems and components – Solar collectors“

VII Norma Mexicana **NMX-ES-001-NORMEX-2005** (2005) “Energía solar – rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua – métodos de prueba y etiquetado”

VIII Norma de American Petroleum Institute **API Std 520** (2008) “Sizing, Selection, and Installation of Pressure-relieving Devices in Refineries”

IX Norma de American Petroleum Institute **ANSI/API Std 521** (2007) “Pressure-relieving and Depressuring Systems”

X Norma de American Petroleum Institute **API Std 526** (2009) “Flanged Steel Pressure-relief Valves”

XI Norma de American Petroleum Institute **ANSI/API Std 527** (R2007) “Seat Tightness of Pressure Relief Valves”

XII Norma de American Society of Mechanical Engineers **ASME sección VIII** (2010) “Boiler & Pressure Vessel Code - Section VIII - Pressure Vessels”

XIII Norma Europea **EN 12977-3:2008** (2008) “Thermal solar systems and components. Custom built systems. Performance test methods for solar water heater stores”

XIV Especificación Técnica Europea **CEN/TS 12977-4:2010** (2010) “Thermal solar systems and components. Custom built systems. Performance test methods for solar Combistores”

XV Norma Mexicana **NMX-C-374-ONNCCE-CNCP-2008** (2008) “Industria de la construcción – Tinacos y Cisternas prefabricadas – especificaciones y métodos de ensayo”

XVI Norma Europea **UNE-EN 12499:2003/AC:2006** (2006) “Protección catódica interna de estructuras metálicas”