



# **Altas temperaturas y presiones en sistemas solares térmicos: Estancamiento.**

Pedro Galione



Informe técnico

Montevideo, año 2022.

Actividad Específica “Actividades de asesoramiento y evaluación respecto de las Especificaciones Técnicas Uruguayas para Instalaciones Solares Térmicas (ETUS)”, en el marco del Convenio de cooperación entre la Dirección Nacional de Energía (MIEM) y la Facultad de Ingeniería (UdelaR) del año 2016 (exp. 060100-002195-15).

## Índice

1 Definiciones:.....	3
2 Introducción.....	3
3 Soluciones de seguridad intrínseca.....	3
3.1 Dimensionamiento adecuado del vaso de expansión.....	4
3.1.1 En caso de que se permita la formación de vapor ( $P < P_{sat}$ a $T_{est}$ ):.....	4
3.1.2 Si no se permite la formación de vapor ( $P > P_{sat}$ a $T_{est}$ ):.....	4
3.2 Diseño de colectores con temperatura de estancamiento limitada.....	7
3.3 Circuito de enfriamiento por convección natural.....	8
3.4 Sistemas de drenaje (Drain-Back).....	9
4 Soluciones de estrategias activas.....	13
5 Conclusiones.....	13
6 Referencias:.....	15

## 1 Definiciones:

- Estancamiento (Frank et al., 2015): Situación en la que el flujo del circuito primario se interrumpe, incluso si hay suficiente radiación como para una operación normal.
- Temperatura de estancamiento ( $T_{est}$ ) (Frank et al., 2015): Temperatura a la que llegan los colectores cuando se interrumpe el flujo de fluido y éstos llegan a una situación estacionaria (se igualan las pérdidas con la energía absorbida). Esta temperatura depende de las condiciones ambientales. La definición de temperatura de estancamiento según la norma internacional EN ISO 9806:2013 define el valor de temperatura de estancamiento para unas condiciones de 1000 W/m<sup>2</sup> de irradiación hemisférica y una temperatura ambiente de 30 °C.

## 2 Introducción

En las instalaciones solares de agua caliente, de uso doméstico o en edificios comerciales y de servicios, es normal que ocurra que la energía solar absorbida por los colectores sea mayor a la que demanda el sistema. Incluso, también es usual que en la época calurosa ni siquiera sea suficiente con acumular el calor para un uso posterior, ya que la captación de energía supera la demanda del día.

En estas situaciones, la bomba del circuito primario (de fluido que circula por los colectores) se apaga, y los colectores dejan de entregar energía al acumulador o a la piscina. Así es que la temperatura en los colectores aumenta hasta llegar a la temperatura de estancamiento. En esta situación es usual que se forme vapor en el circuito, y debido a la gran diferencia de densidades entre las fases líquida y vapor, que se deba acomodar el fluido desplazado por el vapor en un sistema de acumulación auxiliar (vaso de expansión). En ese proceso, tanto la temperatura como la presión en el circuito aumentan (en caso de tratarse de un sistema de expansión cerrado) generando una situación de “estrés” en los componentes sometidos a esas condiciones.

Por lo tanto, es importante considerar estas situaciones en el diseño de las instalaciones solares y prever una solución adecuada para que el sistema soporte la situación de estancamiento.

En este informe se hace un recorrido por distintas estrategias de protección del sistema en estas situaciones.

## 3 Soluciones de seguridad intrínseca

En general, en las diferentes fuentes consultadas (Frank et al., 2015; Hausner y Fink, 2002; Stickney, 2016), se menciona la necesidad de contar con sistema de protección del circuito en situaciones de estancamiento, ya que este es prácticamente inevitable en instalaciones solares de agua caliente sanitaria.

Dado que en sistemas de agua caliente sanitaria, especialmente residenciales, no parece razonable pensar en que la seguridad del sistema dependa de la actuación del usuario o de un operador (dado

que se espera que la instalación solar pueda tener una duración de 20 años), es necesario pensar en protecciones “independientes” de la actuación externa, o sea intrínsecas a la instalación<sup>1</sup>.

Por lo tanto, en este informe se hace especial hincapié en los sistemas de seguridad intrínsecos.

### 3.1 Dimensionamiento adecuado del vaso de expansión

Se basa en un correcto dimensionamiento del vaso de expansión, en conjunto con la elección de materiales adecuados para los componentes del circuito primario, de forma tal que resistan las presiones y temperaturas a las que estarán sometidos.

En caso de que la presión en el campo de colectores sea mayor a la presión de saturación del fluido a la temperatura de estancamiento, no habrá formación de vapor y por ende el volumen a acomodar en el vaso de expansión es únicamente el correspondiente a la expansión del líquido por dilatación térmica.

En caso de que la presión no sea superior a la de saturación a la temperatura de estancamiento, entonces se formará vapor y el vaso de expansión debe ser dimensionado para acomodar no solamente la dilatación térmica del líquido sino también a la expansión debido al cambio de fase líquido-vapor. Este último efecto normalmente es significativamente mayor al de dilatación térmica, debido a la gran diferencia de densidades entre las fases líquida y vapor.

#### 3.1.1 En caso de que se permita la formación de vapor ( $P < P_{sat}$ a $T_{est}$ ):

El vaso de expansión debe estar adecuadamente dimensionado para admitir la totalidad del líquido de colectores y circuito a igual o mayor altura, debido a su desplazamiento por la formación de vapor.

Esta solución corresponde al “estado del arte” para sistemas domésticos pequeños de calentamiento de agua y calentamiento de ambientes (Frank et al., 2015) y es la recomendada y exigida por ETUS para instalaciones a medida.

Tiene las ventajas de ser una medida de seguridad intrínseca, sin necesidad de actuar mediante un sistema de electroválvulas o similar. Como desventajas se puede mencionar, sobretudo en instalaciones grandes, que el volumen de los vasos de expansión puede ser considerable y con ello los costos asociados.

Se debe tener en cuenta que la bomba de circulación, en caso de permitir volver a funcionamiento con una bolsa de vapor presente en el circuito, debe poder ser capaz de impulsar la columna de fluido hasta la altura correspondiente a los colectores para poder llenarlos nuevamente de líquido.

#### 3.1.2 Si no se permite la formación de vapor ( $P > P_{sat}$ a $T_{est}$ ):

Para evitar un vaso de expansión de grandes dimensiones, podría pensarse en trabajar con una presión en colectores mayor a la correspondiente a la de saturación a la temperatura de estancamiento, evitando la generación de vapor en el sistema

<sup>1</sup> Esto no es así en instalaciones industriales, en donde se asume que existe un sistema de control adecuado y personal capacitado para actuar en situaciones de falla, o para reparar el sistema en caso de rotura.

La Tabla 1 muestra las presiones de saturación (manométricas) a diferentes temperaturas para agua y agua con anticongelante.

*Tabla 1: Temperaturas de saturación de mezclas de agua y anticongelante, para diferentes presiones manométricas. Extraída de Frank et al., 2015.*

relative pressure	Water	Water / p-glycol (20 Vol-%)	Water / e-glycol (20 Vol-%)	Water / p-glycol (40 Vol-%)	Water / e-glycol (40 Vol-%)
[bar(g)]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
0.0	100	102	102	104	106
0.5	111	113	114	115	118
1.0	120	122	123	124	127
1.5	127	129	130	131	134
2.0	134	135	136	138	140
2.5	139	140	141	143	145
3.0	144	145	146	148	150
3.5	148	149	150	152	154
4.0	152	153	154	156	158
4.5	155	157	158	159	162
5.0	159	160	161	163	165
5.5	162	163	164	166	168
6.0	165	166	167	169	171
6.5	168	169	170	172	174
7.0	170	172	173	174	177
7.5	173	174	175	177	179
8.0	175	177	178	179	182
8.5	178	179	180	182	184
9.0	180	181	182	184	186
9.5	182	184	185	186	188
10.0	184	186	187	188	190

p-glycol: propylene-glycol (Antifrogen L)

e-glycol: ethylene-glycol (Antifrogen N)

Se debe considerar que los colectores solares de tubos de vacío o de placa plana con superficie selectiva, normalmente tienen una temperatura de estancamiento ETUS para el circuito primario.

Parece ser entonces que esta estrategia de seguridad únicamente podría emplearse en campos de colectores de placa plana sin recubrimiento selectivo, que pueden tener temperaturas de estancamiento de 140°C o incluso menores (ver Figura 1).

Para evaluar la conveniencia o no de incorporar colectores de un rendimiento no tan alto, pero simplificando el tamaño del vaso de expansión, habría que hacer un análisis más completo en el que se tenga en cuenta la disminución en el rendimiento anual y por ende el aumento en la superficie de captación, con su costo asociado.

Otra opción que a priori parece interesante para minimizar las opciones de sobrecalentamiento, es la de colocar los colectores con una inclinación “alta”, favoreciendo la captación de la radiación en los meses más fríos y penalizándola en los meses más comprometidos de verano. Si se analiza la modificación temperatura de estancamiento de los colectores cuyas curvas están graficadas en las

figuras 1 y 2, cuando la radiación directa incide con un ángulo de 30°C se constata una reducción de entre 6-12°C para los colectores que no son de tubos de vacío.

Esta opción, sin embargo, requiere de un análisis más detallado de cuál sería una inclinación adecuada para evitar la superación de la temperatura de saturación a la presión de trabajo en colectores, teniendo en cuenta que en meses “intermedios” (marzo por ejemplo), la radiación incidente en el plano inclinado puede ser casi tan alta como la de los meses más calurosos. Asimismo, en estos casos es necesario considerar que la mayor inclinación de los colectores implicará una mayor distancia entre ellos para evitar las sombras, con lo cual puede no ser conveniente desde el punto de vista de la relación costo-beneficio.

En todo caso, igualmente se hace necesaria la inclusión de un vaso de expansión, el cual absorba las variaciones de volumen debido a las variaciones de densidad del líquido con la temperatura, así como el uso de tuberías que resistan presiones y temperaturas relativamente altas.

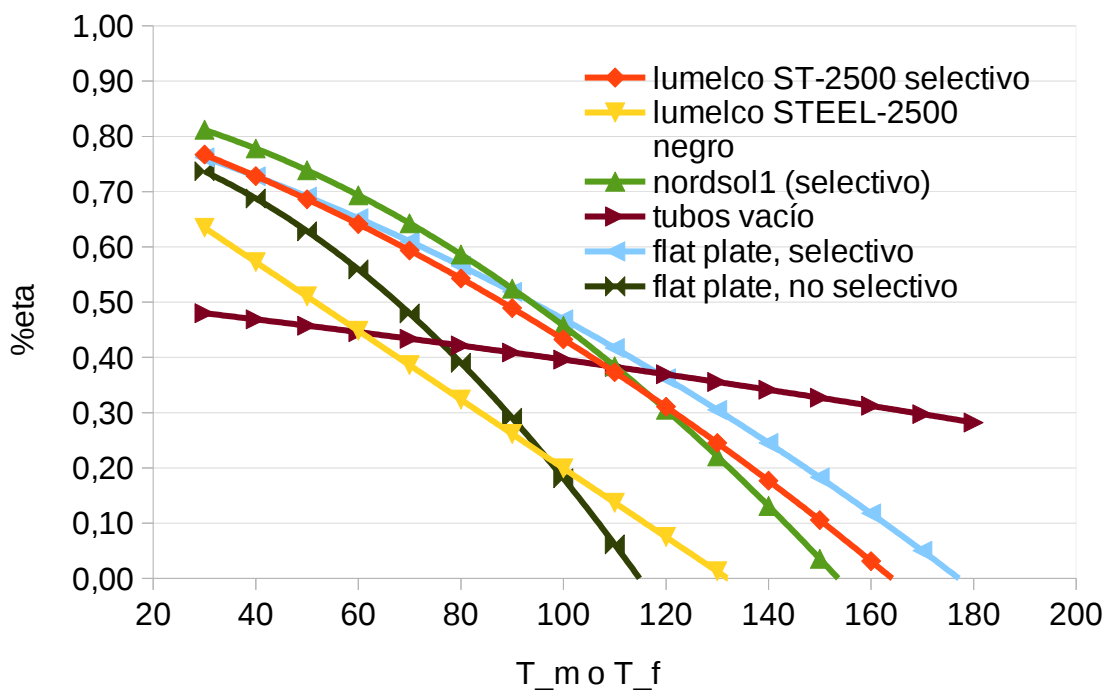


Figura 1: Curvas de rendimiento con  $T_{amb}=30^{\circ}C$ ,  $G_h=1000 W/m^2$ , 15% fracción difusa, radiación directa con incidencia normal sobre el colector

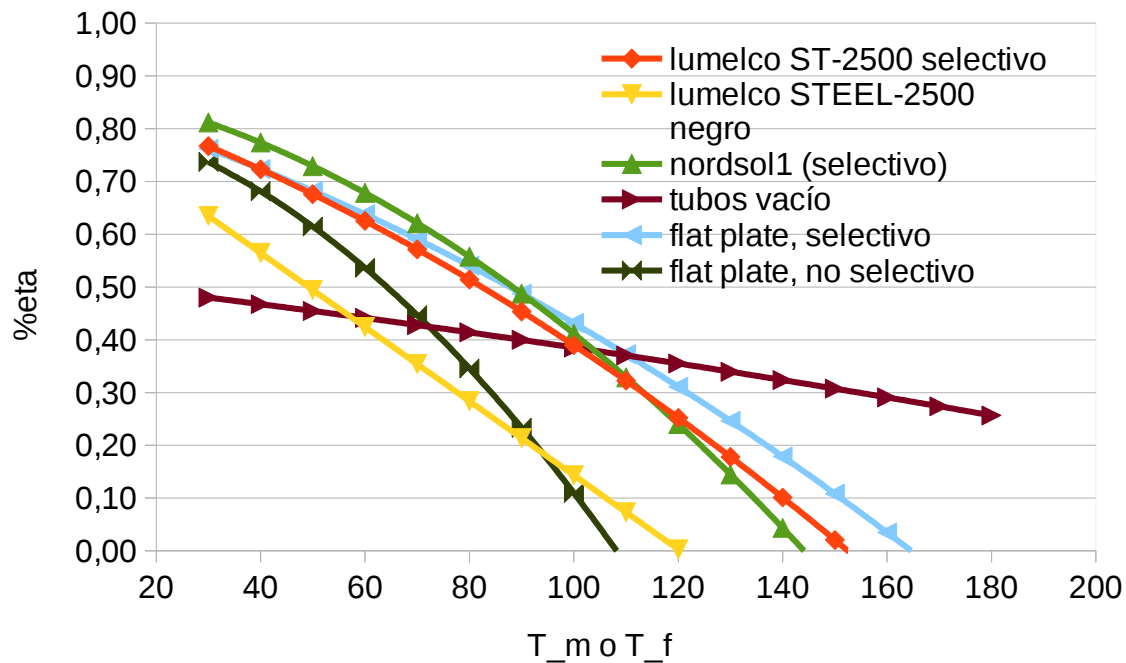


Figura 2: Curvas de rendimiento con  $T_{amb}=30^{\circ}C$ ,  $G_h=1000 W/m^2$ , 15% fracción difusa, radiación directa con ángulo de  $30^{\circ}$  de incidencia sobre el colector

### 3.2 Diseño de colectores con temperatura de estancamiento limitada

Esta estrategia se puede combinar con la anterior, pero implica que los colectores son diseñados de tal manera que su temperatura de estancamiento sea más baja, a partir de alguna modificación o diseño del recubrimiento especial.

Algunos ejemplos que se pueden citar son:

- Recubrimiento de placa absorbadora que modifica sus propiedades ópticas con la temperatura: En este caso, se logra que la superficie absorbadora selectiva, a partir de cierto valor de temperatura [75°C en el caso del modelo Vitosol de Viessmann (Viessmann, 2016)] la emisividad aumente significativamente, aumentando las pérdidas por radiación y por ende disminuyendo el rendimiento y finalmente la temperatura de estancamiento. En el caso del modelo Vitosol, dado que se trata de un aumento de la emisividad (y no una disminución en la absorptividad, aparentemente) la temperatura de estancamiento debería ser similar a la de un colector plano, si bien no está informada en la hoja de datos disponible; por ende, debe combinarse con algún otro mecanismo de protección como los mencionados anteriormente.
- Colectores con sistemas de ventilación natural: Son colectores que permiten la entrada de aire entre la placa absorbadora y la cubierta, cuando la temperatura dentro supera determinado valor, a partir de la abertura de “puertas”. Dado que implican la inclusión de partes móviles incluidas en el propio colector (tal vez incluyendo la necesidad de actuación “activa”), a priori no parecen la opción más segura.

- **Otros dispositivos de enfriamiento del colector:** En Frank et al., 2015 se menciona un diseño de un enfriador del tipo “heat pipe” el cual conecta térmicamente la placa absorbidora con el ambiente exterior a través de un par “evaporador” (conectado a la placa) - “condensador” (tubo aletado que transfiere calor al aire exterior). Este enfriador se activa a partir de cierta temperatura, debido al diseño adecuado de la mezcla de dos fluidos dentro del heat pipe. Si la temperatura no supera ese valor, el “heat pipe” no funciona como tal y el evaporador y condensador permanecen aislados entre sí, evitando las pérdidas de calor. Por otra parte, en Jack et al., 2014, se observa el diseño de colectores planos utilizando heat pipes en vez de tubos de cobre, los cuales mediante el uso de fluidos orgánicos logran una limitación en la temperatura de funcionamiento de 140°C aproximadamente. En este caso, el funcionamiento es inverso al mencionado anteriormente, ya que el diseño logra que el heat pipe funcione adecuadamente a bajas temperaturas y se “desactive” a partir de cierto valor, aumentando drásticamente la resistencia al pasaje del calor a través del mismo.

Estas soluciones utilizando heat pipes parecen prometedoras, pero se desconoce su difusión a nivel de productos comerciales. En Frank et al., 2015 se menciona que el colector de marca TIGI, incorpora la tecnología de enfriamiento por heat pipe y ha sido certificada por la certificación Solar Keymark.

### 3.3 Circuito de enfriamiento por convección natural

En (Stickney, 2016) se menciona el uso en instalaciones solares reales de un intercambiador de tubo y aletas colocado detrás de la batería de colectores, el cual se activa una vez interrumpido el bombeo del circuito primario, por circulación natural, tal como se muestra en la Figura 3.

Se menciona la presencia de una válvula anti retorno, la cual en operación normal (con el bombeo del primario activado) está cerrada, y cuando la bomba se apaga se abre (por acción de una mayor presión del lado frío que del lado caliente) permitiendo la circulación natural deseada. El diseño adecuado de esta válvula anti retorno parece ser un aspecto a cuidar especialmente. En Wehner, 2016, se encuentra una patente de válvula del tipo diodo fluídico pensada para este tipo de aplicaciones, si bien allí (y en Stickney, 2016) se menciona la existencia de soluciones a partir de válvulas de clapeta, las cuales deberían colocarse de forma horizontal.

Debido a que se trata de una tecnología que depende de la circulación natural de fluido, su correcto dimensionamiento y diseño no parece tan sencillo, al menos como para pensar en que la inclusión de este componente podrá resultar en prescindir del vaso de expansión dimensionado para acomodar la formación de vapor al menos en colectores. Por lo tanto, este tipo de soluciones parece estar pensada y aplicada para minimizar pero no para evitar totalmente la formación de vapor (en Hausner y Fink, 2002 y Frank et al., 2015 se menciona el uso de disipadores para reducir el recorrido del vapor en la tubería del circuito primario).



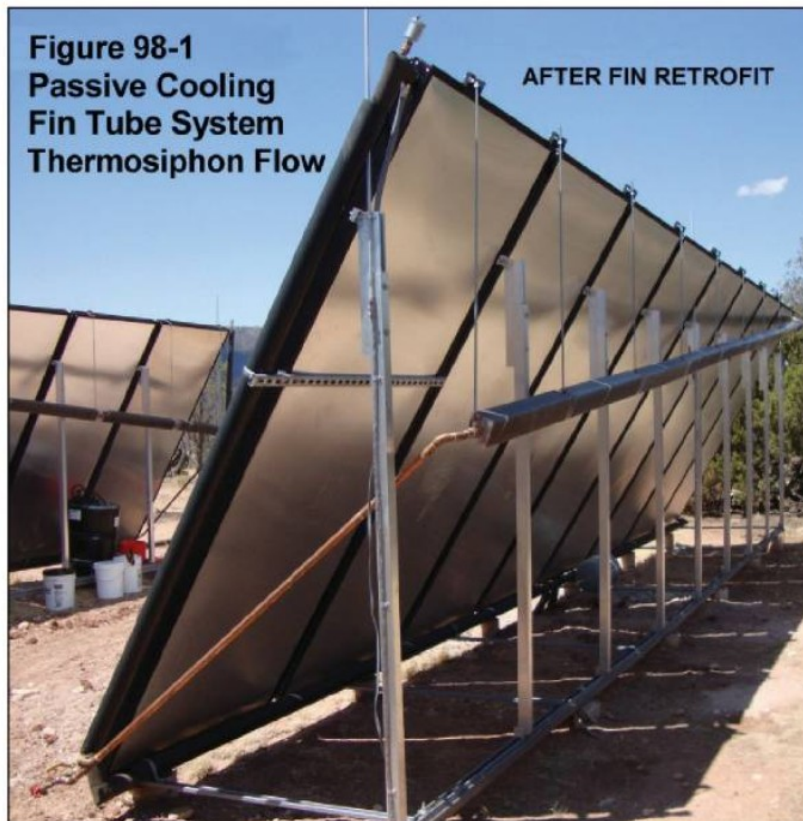


Figura 3: Vista de disipador de tubo aletado conectado a batería de colectores. Extraída de (Stickney, 2016).

### 3.4 Sistemas de drenaje (Drain-Back)

Estos sistemas consisten en dotar la posibilidad de drenar el fluido de los colectores, llevándolo a un tanque, y llenando los colectores con aire. En funcionamiento (con la bomba del primario prendida), este aire se encuentra en el tanque. Cuando la bomba del primario se apaga, debido al diseño hidráulico adecuado tanto del circuito como del tanque, el fluido escurre naturalmente (por gravedad) hacia el tanque, y el aire (menos denso que el líquido) va ocupando su lugar en los colectores.

Este tipo de sistemas es muy atractivo desde varios puntos de vista:

- Permite la protección ante situaciones de estancamiento del circuito primario. En este caso, no se da la formación de vapor debido a que el agua no se encuentra en los colectores. Sin embargo, los colectores sí que llegan a la temperatura de estancamiento, con lo cual es necesario que sean capaces de soportarla (si bien esta condición ya se exige en la normativa actual). Debido a que se trata de escurrimiento natural, por gravedad, funciona en casos de que haya cortes de energía eléctrica o paradas de mantenimiento, por ende, se considera una protección “pasiva”.<sup>2</sup>

2 Permanece la duda de si considerarla como seguridad “intrínseca”, dado que podría pensarse en que se llegue a condiciones de alta temperatura incluso con la bomba en funcionamiento (sin demanda y con condiciones de radiación alta). En ese caso podría suceder que si el sistema de control falla y no actúa a tiempo, podría darse la formación de vapor y aumento de presión en el sistema.

- Permite la protección ante situaciones de congelamiento, por la misma razón. Debido a esto, no sería (a priori) necesario que el fluido de trabajo fuera una mezcla de agua y anticongelante, pudiendo utilizarse agua “pura”.
- Podría permitir un diseño del circuito primario utilizando materiales plásticos como PEX (HTP, 2018), no aptos para trabajar a altas presiones y temperaturas, dado que se podría trabajar a presiones cercanas a la atmosférica en el circuito, limitando la temperatura de funcionamiento al entorno de los 100°C.
- Asimismo, hace innecesaria la inclusión de un vaso de expansión, debido a que las dilataciones sufridas por el fluido de trabajo son absorbidas en el volumen del tanque de drenaje. También se hace innecesario incluir válvulas antirretorno para evitar la circulación inversa y válvulas de purga de aire (ya que el aire es necesario dentro del tanque de drenaje).

Todos estos aspectos aportan en el sentido de simplificar el diseño del circuito primario (desde el punto de vista de la cantidad de componentes y de la resistencia a presiones y temperaturas) y de hacerlo potencialmente más económico.

Sin embargo, es necesario considerar las siguientes limitaciones y/o advertencias (Frank et al., 2015; Botpaev et al., 2016):

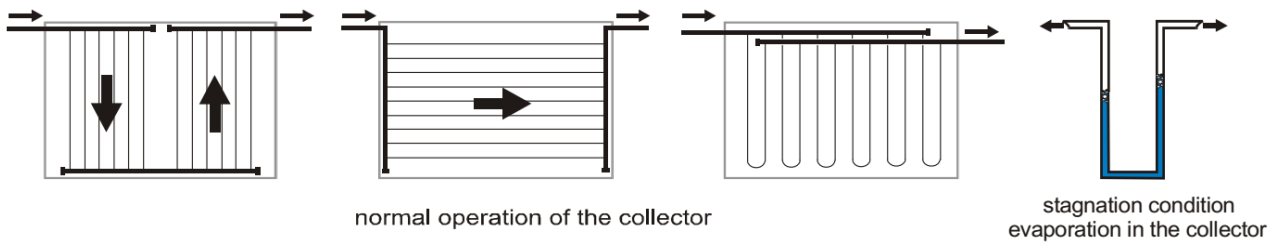
- Vaciado:

En situaciones en que pueda darse la formación de hielo, es necesario asegurar un vaciado perfecto del fluido de todo el sistema, ya que de otra manera, el fluido atrapado puede congelar y provocar obstrucciones y roturas. Esto genera dificultades en sistemas grandes a medida, debido a cada caso es diferente, con lo cual requiere diseño e instalación muy cuidados. Una porción importante de los sistemas grandes de este tipo han presentado problemas por congelamiento. (Frank et al., 2015)

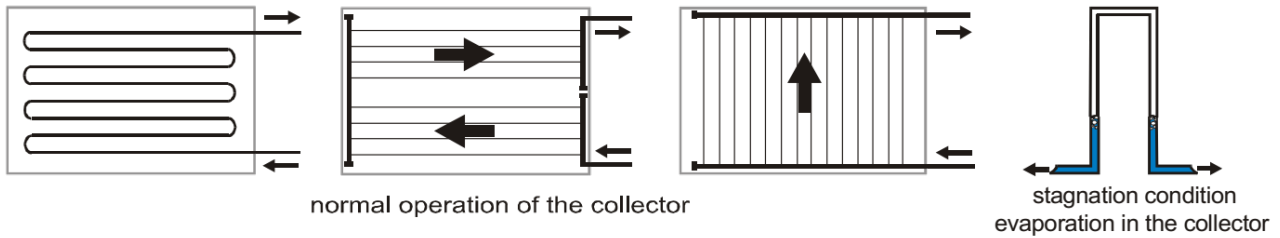
Sin embargo, este problema puede minimizarse si se utiliza una mezcla de agua con glicol, tal como en sistemas convencionales.

No todos los colectores son aptos para funcionar con sistemas Drain-Back, ya que pueden no estar previstos para ser vaciados de forma sencilla (ver Figura 4).

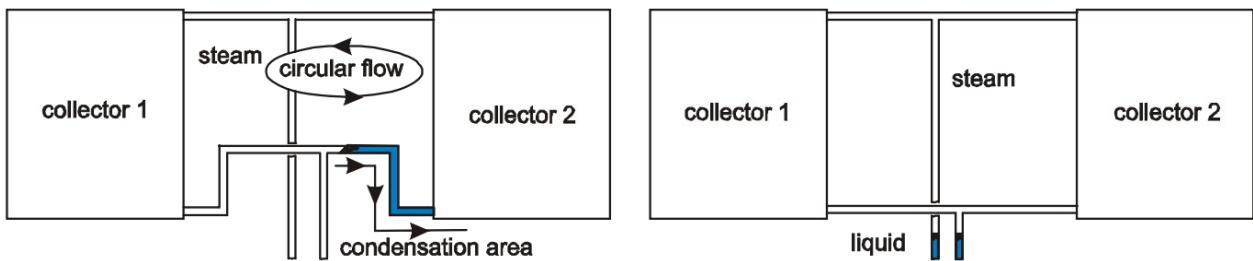
Además, para el correcto vaciado, debe tenerse en cuenta el dimensionado adecuado de la tubería de la porción caliente del circuito primario (desde colectores hasta el tanque de drenaje), evitar zonas de estancamiento de agua (las tuberías deben ser colocadas con cierta pendiente), y en sistemas con varias baterías de colectores en paralelo asegurar que todas las baterías se puedan vaciar simultáneamente (por ejemplo mediante el funcionamiento de la tubería de salida de colectores parcialmente llena de aire y agua), lo cual puede no ser sencillo debido a la presencia de aire (tal como se observa en Figura 4). En Botpaev et al., 2016, se menciona que en este tipo de instalaciones se recomienda diseñar el sistema para que el tramo de tubería entre colectores y tanque de drenaje tenga presencia de aire de forma continua (parcialmente lleno), tal como se muestra en la Figura 5.



a) Vaciado inadecuado



b) Vaciado adecuado



c) Interconexión de colectores con comportamiento de vaciado inadecuado (izquierda) y adecuado (derecha)

Figura 4: Diferentes configuraciones de colectores (a y b) y de interconexión entre ellos (c) con comportamientos de vaciado adecuados e inadecuados. El color celeste indica la presencia de líquido. (Extraídas de Hausner y Fink, 2002)

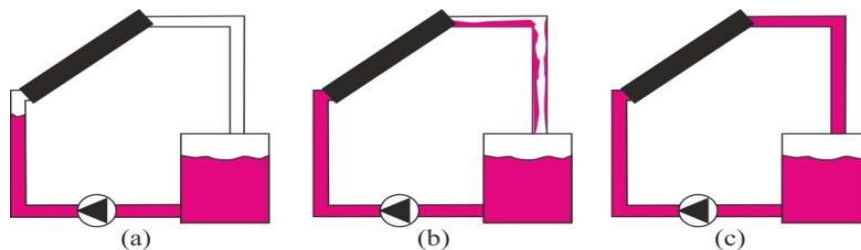


Figura 5: Distintas situaciones de llenado del sistema Drain-Back. La zona coloreada indica la presencia de fluido de trabajo, y la no coloreada indica la presencia de aire. a) La bomba no fue capaz de sobrellevar la carga de elevación; b) El sistema se llenó pero parcialmente en el tramo entre colectores y tanque de drenaje (velocidad no suficiente en este tramo para desplazar el aire); c) llenado completo. (Extraída de Botpaev et al., 2016)

- Bombeo:

El modo de operación normal del sistema se divide en 3 estados diferentes: llenado, operación, vaciado. La bomba (o sistema de bombeo) de circulación debe diseñarse para sobrellevar el llenado periódico del sistema (carga adicional), lo cual implica una carga adicional en este proceso. Esto puede lograrse sobredimensionando la bomba, poniendo dos en serie, o trabajando a diferentes velocidades (p.ej. utilizando un variador de frecuencia) (Botpaev et al., 2016).

Para minimizar el sobredimensionamiento, es necesario minimizar la diferencia de altura entre el nivel de líquido en el tanque de drenaje y la máxima en el sistema (típicamente la de colectores). Es decir, colocar el tanque de drenaje a una altura no muy inferior a la de colectores.

- Corrosión:

Debido a la presencia de aire en el circuito, y especialmente en casos de sistemas abiertos, se debe considerar especialmente el aspecto de corrosión. Se debe tener en cuenta que, según el diseño del sistema, todo el circuito primario por encima del tanque de drenaje (si este es atmosférico) queda en depresión, generando la posibilidad de ingreso de aire al sistema. Si bien este aire debería fluir hacia el tanque de drenaje, debido al diseño adecuado del circuito, habrá presencia de oxígeno en el circuito.

Por lo general, se prevé el uso de cobre o de materiales plásticos, pero no de acero, ya que este se ve afectado por la presencia de oxígeno (HTP, 2018). También en Botpaev et al., 2016 (haciendo referencia a Perers et al., 2015), se menciona el uso de tubos corrugados de acero inoxidable (con la desventaja de que puede quedar algo de líquido atrapado en el vaciado).

La minimización de la diferencia de alturas entre colectores y tanque de drenaje, impacta positivamente en minimizar la depresión de la parte superior del circuito.

Una medida para minimizar la entrada de oxígeno es la de presurizar el sistema, por ejemplo utilizando un compresor que incluso podría inyectar  $N_2$ , cuando se detecta una reducción del gas en el circuito (Frank et al., 2015).

- Ruido:

El ruido que se genera por la caída del líquido en el tanque, atravesando el colchón de aire, en general puede ser muy molesto. Para minimizarlo se proponen soluciones en las que el tubo de entrada se sumerge en el líquido (Botpaev et al., 2016).

Asimismo, puede haber ruido importante en el momento de llenado, si este se da con una temperatura de colectores suficiente como para provocar la evaporación repentina del fluido (Caleffi, 2016). Este efecto puede ser minimizado optimizando el funcionamiento del sistema, por ejemplo, mediante la combinación de medidas de enfriamiento activas (por ejemplo enfriamiento nocturno), con la presurización del sistema (para aumentar la temperatura de evaporación) y la determinación adecuada del momento del arranque (en función de la temperatura de colectores).

- Sistema de control:

Se debe asegurar que el sistema no sea llenado en condiciones en que pueda producirse congelamiento. Asimismo, se debe tener en cuenta las diferentes fases de operación (llenado,

operación “en régimen” y vaciado). Considerar minimizar la formación de vapor en el momento de llenado (y consecuente ruido intenso).

- Problemas de instalación:

Debido a las especificidades de estos sistemas, sería recomendable que la instalación se hiciera con personal con experiencia en la tecnología. En caso de que no sea así, es importante que el diseño, instalación y supervisión del trabajo se realice en cooperación con el fabricante. (Frank et al., 2015)

## 4 Soluciones de estrategias activas

Estas estrategias son útiles no para basar la seguridad del sistema en ellas, sino más bien para minimizar las posibilidades de estar en situaciones de estancamiento. Esto disminuye la posibilidad de ocurrencia de formación de vapor y consecuente aceleramiento en la degradación del fluido de trabajo (si es mezcla de agua con anticongelante), favoreciendo el funcionamiento normal al comienzo del día (y evitando estancamientos en este momento en el que tal vez no hay demanda).

- Enfriamiento nocturno

Esta estrategia es muy interesante ya que no requiere equipamiento adicional para su aplicación. Simplemente se trata de hacer circular el fluido por la noche por el campo de colectores, momento en el cual este actuará como un enfriador. Esta estrategia puede aplicarse al final de un día en que se estima que no habrá demanda al día siguiente, o al menos en las primeras horas de sol.

En [1] se mencionan enfriamientos del 80% del total acumulado en condiciones de cielo favorables (claro, frío), o del 20-25% en condiciones desfavorables (nublado, templado).

- Enfriadores

Intercambiadores fluido-aire con circulación activa para evacuar calor en momentos de sobrecarga.

## 5 Conclusiones

En este informe se han repasado varias estrategias tecnológicas para que las instalaciones solares de calentamiento de agua puedan sobrellevar exitosamente las situaciones de estancamiento.

Se observa que la estrategia más difundida es la de un dimensionamiento adecuado del vaso de expansión, el cual debe tener en cuenta si es posible la formación de vapor en colectores en función de su temperatura de estancamiento y de la presión de trabajo. Esta estrategia es la prevista por ETUS para las instalaciones a medida.

Como una alternativa al dimensionamiento del vaso de expansión para acomodar el volumen de líquido desplazado por el vapor, se puede evitar la formación de vapor combinando el uso de colectores con temperatura de estancamiento no muy elevada (típicamente colectores planos de superficie absorbadora no selectiva, de Test de 140°C o menor), con una presión de funcionamiento que asegure que no se formará vapor a esta temperatura y eventualmente optar por una inclinación de colectores elevada para minimizar la radiación incidente. Las ETUS prevén la posibilidad del diseño con una presión mayor a la correspondiente a la de saturación a la temperatura de estancamiento. Esta estrategia impacta en un tamaño sensiblemente menor de vaso de expansión y

en que se evita la formación de vapor, aunque el uso de colectores de superficie no selectiva y mayor inclinación seguramente también impacta en una mayor superficie de captación. Por otra parte, el hecho de que la instalación pueda estar sometida a presiones y temperaturas relativamente altas, limita el tipo de materiales que es adecuado utilizar en el circuito primario a aquellos que puedan soportar dichas condiciones.

Como complemento a la estrategia anterior, existen diversas soluciones tecnológicas que operan sobre el diseño de los colectores para reducir su temperatura de estancamiento, sin necesidad de prescindir de la superficie absorbidora selectiva (y así mantener alto desempeño a temperaturas de operación). Se mencionan las soluciones de propiedades ópticas de la superficie absorbidora con la temperatura (aumento de la emisividad), enfriamiento de colectores por circulación natural de aire y utilización de heat pipes diseñados de tal forma que cambian su efectividad para transferir calor una vez que la temperatura supera cierto valor. Estas estrategias son atractivas (especialmente aquellas que no requieren partes móviles), ya que son pasivas y de seguridad intrínseca. Existen productos comerciales (colectores) que incorporan algunas de ellas. Dado que implican un diseño particular de los colectores, parecen no entrar en conflicto con lo que establecen las ETUS.

Otra estrategia similar a la anterior, pero ya como parte de la instalación y no de una modificación a los colectores, se menciona la inclusión de enfriadores que funcionan por convección natural (típicamente disipadores de tubos aletados). Dado que se trata de una solución no incorporada a los colectores y que implica la circulación natural del fluido por el disipador en situación de estancamiento, se entiende que su diseño implica cierta complejidad. Si bien puede ser de ayuda para minimizar la formación de vapor (o eventualmente evitarla), a priori no se observa como una solución definitiva y única que permita diseñar el vaso de expansión sin considerar formación de vapor. En ETUS se menciona la posibilidad de incluir enfriadores para utilizarlos en situaciones de exceso de irradiación, como medida complementaria pero no sustitutiva del vaso de expansión considerando formación de vapor.

Como última estrategia de seguridad pasiva, se mencionan los sistemas de drenaje automático interior o Drain-Back. Estos sistemas son una alternativa a priori muy atractiva ya que presentan varias ventajas, entre las cuales se encuentra la posibilidad de trabajar a presiones cercanas a la atmosférica y temperaturas limitadas (p.ej. cercanas a 100°C), con la consecuencia de permitir el uso de materiales menos robustos en el circuito primario (p.ej. plásticos) y disminuyendo la cantidad de componentes (vaso de expansión, válvula antirretorno, purgadores de aire). Si bien las ventajas son varias, se menciona la necesidad de tomar precauciones en el diseño (asegurar buen comportamiento de vaciado y llenado, presencia de oxígeno en el circuito, ruido, etc.). Asimismo, no todas las tecnologías de colectores son compatibles con estos sistemas, y si bien la tecnología está establecida a nivel de instalaciones pequeñas, existe relativamente poca experiencia en sistemas grandes. Se recomienda que en caso de realizar instalaciones Drain-Back a medida, se realicen en contacto con, y con el asesoramiento continuo de, la empresa proveedora de los equipos. Debido a la cantidad de ventajas potenciales, esta alternativa de diseño parece muy interesante a ser explorada.

Finalmente, como complemento, se mencionan un par de estrategias activas para minimizar la posibilidad de formación de vapor en la instalación, como el enfriamiento nocturno y la instalación de enfriadores de aire forzado. El enfriamiento nocturno es muy atractivo ya que no implica la

instalación de equipamiento adicional. Debido a que estas estrategias son activas, no parece adecuado considerarlas como única estrategia para el aseguramiento del buen funcionamiento de la instalación en situaciones de exceso de radiación.

## 6 Referencias:

- Botpaev, R., Louvet, Y., Perers, B., Furbo, S., y Vajen, K. (2016). Drainback solar thermal systems: A review. *Solar Energy*, 128, 41-60.  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.10.050>
- Caleffi. (2016). *Pumped Glycol vs. Drainback Revisited* [Video]. Caleffi Hydronic Solutions. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=n9ACeaxXCUg>
- Frank, E., Mauthner, F., y Fischer, S. (2015). *Overheating prevention and stagnation handling in solar process heat applications – Technical Report A.1.2*. IEA SHC Task 49, SolarPaces Annex IV – Solar Process Heat for Production and Advanced Applications.
- Hausner, R. y Fink, C. (2002). *Stagnation behaviour of solar thermal systems*. IEA SHC Task 26, Solar Combisystems, Technical Report of Subtask A.
- HTP. (2018). Drain Back Solar System [Ficha técnica de producto]. HTP.  
<https://htproducts.com/literature/lp-585.pdf>
- Jack, S., Parzefall, J., Luttmann, T., Janßen, P. y Giovannetti, F. (2014). Flat plate aluminum heat pipe collector with inherently limited stagnation temperature. *Energy Procedia* 48 (2014), pp. 105 – 113.
- Perers, B., Furbo, S., Fan, J., Kong, W., Chen, Z. (2015). Drain Back Systems in Laboratory and in Practice. *Energy Procedia* 70, 300–310. International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, SHC 2014.  
doi:10.1016/j.egypro.2015.02.127
- Stickney, B. (2016). Solar collector overheat prevention. *PHC news*, 16 (11), 70-72.  
[https://now.dirxion.com/PHC\\_News/library/PHC\\_News\\_11\\_01\\_2016.pdf#page=1&zoom=100](https://now.dirxion.com/PHC_News/library/PHC_News_11_01_2016.pdf#page=1&zoom=100)
- Viessmann. (2016). *Colectores planos Vitosol 200-FM y Vitosol 100-FM* [Ficha técnica de producto]. Viessmann.  
[https://www.viessmann.es/content/dam/vi-brands/ES/PDFs/Vitosol/KP\\_Vitosol%20200-FM\\_100-FM%20para%20web.pdf/\\_jcr\\_content/renditions/original./KP\\_Vitosol%20200-FM\\_100-FM%20para%20web.pdf](https://www.viessmann.es/content/dam/vi-brands/ES/PDFs/Vitosol/KP_Vitosol%20200-FM_100-FM%20para%20web.pdf/_jcr_content/renditions/original./KP_Vitosol%20200-FM_100-FM%20para%20web.pdf)
- Wehner, T.R. (2016) US Patent No. 10274227. <https://patents.justia.com/patent/10274227>