

EL DISEÑO DE LOS TERMOTANQUES RELACIONADO A UN MAYOR RENDIMIENTO DE CAPTACION DE LOS PANELES, OPTIMIZANDO ASIMISMO EL MANTENIMIENTO DE LA MAYOR TEMPERATURA EXISTENTE EN LAS DISTINTAS ZONAS DEL TERMOTANQUE

Victorio Tacchi

Valdiniévole S.C. La Rioja 57, 1er Piso Of. 1 -- 5000 -- Córdoba

RESUMEN

Se consideran pautas de diseño de los termotanques, con la finalidad de mejorar el rendimiento de los mismos evaluando además las características propias que influyen en la eficiencia de los paneles solares térmicos y que permiten incrementar el rendimiento del sistema.

INTRODUCCION

La eficiencia de un determinado colector térmico es función, entre varias otras variables, de su temperatura de trabajo, sea como media instantánea de la superficie del mismo, sea como media de las temperaturas en que trabaja durante un año solar. A mayor temperatura promedio de la superficie expuesta a la insolación, tenemos un menor rendimiento. Es entonces conveniente que los colectores trabajen a la menor temperatura posible durante el mayor tiempo posible para alcanzar cíclicamente, según ciclos de consumo - pico de insolación, las mayores temperaturas concomitantes a las de utilización y precisamente durante los períodos más convenientes de elevada insolación, que a parte de producir más calor con más temperatura, lo hacen con mayor eficiencia, siendo doblemente útil tratar de poner énfasis en aprovecharlos.

Durante las horas de reducida insolación, el calor recolectado de baja temperatura (inferior a la de utilización) se irá acumulando como precalentamiento, en espera que las condiciones de más elevada insolación le permita alcanzar la temperatura de utilización o aquella que los niveles de insolación y consumo se lo consientan. De esta manera se obtendrá el más alto rendimiento de colección de calor a la temperatura de utilización o a la que se pueda alcanzar. Si se pretendiera llegar rápidamente a la temperatura de utilización, durante las primeras horas del día y esto es posible, nos encontraríamos con una "cantidad de calor" muy inferior si la referimos a una misma superficie de paneles, con consiguiente disminución de la eficiencia y un aumento de la relación costo-utilidad.

Esta relación temperatura-rendimiento-insolación, ha sido demostrada en numerosa bibliografía. En [1] se ha realizado un examen cuantitativo ajustado a 18 casos de temperatura de entrada y salida del fluido que recorre los paneles, elegidos como promedio de condiciones reales de trabajo y teniendo en cuenta además distintas condiciones de temperatura media ambiente (10°, 12°, 14° y 18° C) y con insolación de 300, 500 y 700 W/m². Con una disminución promedio

de 5,87° C en la temperatura media de la superficie de un mismo panel, se obtiene un aumento relativo promedio del 19% en su rendimiento, con aumentos que pueden alcanzar, en determinado caso el 46,5% relativo, para no bajar de un siempre apreciable 6,4%. Estos valores se refieren a un panel solar de relativamente buena eficiencia: $\eta = 0,625 - (5,293 \times \Delta T / I)$. Con un panel de menor eficiencia, los resultados positivos se incrementan notablemente.

Con respecto al termotanque conviene:

a) Retrasar en lo posible la tendencia a la uniformidad de la temperatura a través de la altura del mismo, originada sea en la transmisión de calor por conductibilidad, sea por transporte de calor por masa, debido a corrientes convectivas o mecánicas, sea por deficiente estratificación, sucediendo todo esto entre las distintas capas de agua a temperaturas decrecientes hacia la base del termotanque. No es correcto que la mayor temperatura alcanzada durante lapsos de buena insolación, se transfiera rápidamente a los estratos mas fríos del termotanque, siendo conveniente tratar de evitar la degradación de la energía captada y acumulada a un determinado nivel de temperatura, hecho que originaría un no deseado aumento de entropía del sistema. La tendencia a la uniformidad de la temperatura a través de todo el volumen del termotanque (independientemente de pérdidas de calor hacia el medio ambiente) no disminuye el contenido total de calor del mismo, pero si disminuye su capacidad útil con respecto a una determinada temperatura de utilización.

b) Es conveniente acumular la mayor cantidad posible de calor a una temperatura cercana a la temperatura de utilización. Deberá tenerse en cuenta, que ésta se acrecentará para hacer frente a las inevitables pérdidas por insuficiente aislación. De todas maneras la acumulación a la menor temperatura útil significará que habrá menor salto de temperatura con el medio ambiente y por consiguiente menor pérdida de calor con aislaciones semejantes, aparte el ya visto aumento de eficiencia de los colectores por trabajar a menor temperatura.

c) Es necesario obtener una estratificación creciente en la temperatura del agua caliente acumulada, desde la base hacia arriba sin solución de continuidad.

OPTIMIZACION EN LA EFICIENCIA DE PANELES Y TERMOTANQUES

Los medios con los cuales se pretende una menor temperatura promedio de los paneles durante el año solar, una menor temperatura de los termotanques compatible con la temperatura de utilización, y el máximo rendimiento del sistema con costos contenidos, son enunciados en los siguientes puntos:

1) Relación entre la altura del termotanque y la superficie de la base.

2) Relación entre la superficie de paneles y volumen del termotanque.

3) Ubicación de la superficie media horizontal del intercambiador con respecto a la altura total del termotanque.

4) Relación entre la superficie de los paneles y superficie de los intercambiadores.

5) Dispositivo estático que evita la mezcla de agua a distintas temperaturas, ocasionada por corrientes convectivas internas, durante la entrega de calor al termotanque.

6) Dispositivo estático que evita la mezcla de agua caliente con agua más fría, durante la reposición del agua caliente consumida.

Esta mezcla de agua a distintas temperaturas y lo mismo sucede en el punto 5) tiende a uniformar la temperatura en todo el termotanque y si bien este hecho no cambia el contenido total de calor, nos encontramos frente a la ya nombrada degradación de energía (mayor entropía) y a una disminución de su capacidad de utilización, es decir una anergia mayor mientras conviene mantener en lo posible, la exergía alcanzada o lo que es lo mismo la energía disponible (para un determinado uso).

1) RELACION ENTRE ALTURA DEL TERMOTANQUE Y SUPERFICIE DE LA BASE

Es conveniente que la relación entre la altura del termotanque (en metros) y la superficie de la base (en metros cuadrados) oscile alrededor del siguiente valor: $h/sup.=3$. Esta relación es aceptable, cuando se trata de evitar que la temperatura del agua de los estratos superiores, se transfiera en el tiempo hacia los estratos inferiores, debido a la conductibilidad del agua, que si bien no es elevada, hace sentir sus efectos, reduciéndose la energía disponible para una determinada temperatura de uso.

Disminuyendo la relación $h/sup.$; nos encontramos con una mayor superficie de conducción hacia las capas inferiores alcanzándose más rápidamente una temperatura mayor, en la zona donde tenemos el intercambiador de calor y consecuentemente tendremos una vuelta del fluido a los paneles más caliente y trabajando éstos a una temperatura mayor tendremos una disminución en su rendimiento.

Algunos sistemas con 3-4 m² de superficie de paneles, suelen tener un termotanque horizontal ubicado arriba de los mismos. La horizontabilidad da una muy baja relación $h/sup.$ y por consiguiente en el breve espacio de dos o tres horas la temperatura tiende a uniformarse, con notable disminución de la capacidad útil del termotanque. No se pretende afirmar otra cosa, de que en éstos casos, ha prevalecido un concepto estético o de economía, que no tiene en cuenta los mejores rendimientos. En el caso de acumulación estacional y debido a los elevados volúmenes de agua, es casi obligatorio una ubicación de los termotanques en forma horizontal, pero los efectos negativos son menores debido a la relación de escala distinta (distinta relación piel-volumen) y a la misma estacionalidad de la colección del calor.

2) SUPERFICIE DE PANELES Y VOLUMEN DEL TERMOTANQUE

En los sistemas de baja capacidad, con acumulación y consumo que se agota prácticamente en el término de 24 horas, conviene disponer de un volumen de termotanque equivalente al consumo diario previsto, con más un volumen tres veces mayor que sirve al precalentamiento del agua, durante las primeras horas del día y últimas de la tarde, dejando las horas centrales para alcanzar, en parte del volumen, las temperaturas necesarias a su uso. Dicho volumen útil quedará agotado alrededor de las 10 horas de la mañana siguiente, pero disponiendo a esa hora de un volumen precalentado se podrá alcanzar con relativa facilidad, durante las horas de mayor insolación, las temperaturas requeridas. Aparte del volumen indicado, esto será posible en mayor medida si se aplican también los puntos 3) a 6) más abajo explicitados.

En un clima medio templado, con paneles no sofisticados y de relativamente bajo precio, se obtiene una producción de agua diaria a 43°C de alrededor de 35 l/m^2 , lo que da un volumen de acumulación según lo expresado arriba de $\sim 140\text{ l/m}^2$. Normalmente por razones de costos, que la experiencia me indica como equivocadas, se acumula alrededor de 50 l/m^2 . Con éstos valores se alcanza más rápidamente temperaturas mayores, siendo esto engañoso porque hay también una disminución mayor, de la cantidad de agua caliente producida y por dos razones: los paneles disminuyen su rendimiento como consecuencia de su temperatura media mayor y los termotanques al ser mayor el salto de temperatura con el medio ambiente se enfrían más rápidamente. La solución adoptada normalmente consiste en disponer de mayor cantidad de m^2 de paneles, cuando sería más económico aumentar la capacidad del termotanque, puesto que un aumento aún considerable de volumen es más económico que una equivalente mayor superficie de paneles, evitando así acumular agua a una temperatura mayor a la de consumo con los efectos negativos ya enunciados.

Por otro lado la relación de 140 l/m^2 deberá reajustarse en más o menos de acuerdo al lugar y circunstancias: a menor costo de los colectores puede convenir un menor volumen de acumulación y lo mismo puede ser cierto en zonas fuertemente asoleadas, pero con paneles relativamente caros y bajos promedios de insolación es más económico en lugar de más superficie de paneles, más volumen de acumulación, llegando aún a 200 ó 300 l/m^2 que en ciertas circunstancias favorables permite hacer frente a más de un día nublado. Creemos que la experiencia señala la conveniencia de aumentar la capacidad volumétrica estándar de los termotanques como solución más económica y conveniente. Otro tanto puede decirse para mayores espesores de aislantes, cuyos mayores costos tienen un repago menor al de dos años. Se puede señalar también que debe considerarse un error, porque tiende a aumentar la temperatura media de los paneles considerablemente, disponer el termotanque en una posición intermedia, no totalmente por encima de los colectores, cuando el transporte de calor se efectúa por termosifón, siendo necesario activar la circulación por medio de sensores y bomba o con uno de los sistemas de termosifón inverso, si se prefiere ocultar el termotanque detrás de los paneles, para así evitar el aumento de temperatura de los mismos.

3) UBICACION DEL INTERCAMBIADOR

Consideremos un termotanque que es cargado de calor por intermedio de un intercambiador. Normalmente, éste está dispuesto en el interior del termotanque a partir de la base del mismo y extendido hacia la parte superior en una medida que puede alcanzar a la mitad de su altura. Personalmente he experimentado intercambiadores que llegaban a las $2/3$ partes de su altura, siendo su superficie de intercambio, proporcional a todo su alto. Un intercambiador así dispuesto daba como resultado una excelente estratificación en la temperatura del agua, porque en cierta medida evitaba durante la entrega de calor la formación de corrientes convectivas violentas y bajo este punto de vista la disposición era conveniente. Pero adolecía de defectos importantes: durante periodos de baja insolación, el fluido llegaba a la parte superior del intercambiador a una temperatura inferior a la del agua que lo circundaba. No entregaba calor al medio en esa parte superior. Por el contrario el fluido era calentado por el agua y funcionando al revés de lo debido llevaba calor desde la parte superior hacia las partes inferiores del

termotanque tendiendo a igualar su temperatura, lo que como hemos visto resulta perjudicial.

Otro defecto es que con una determinada superficie total de intercambio la entrega de calor se realizaba en numerosas ocasiones, solamente en la porción inferior del mismo, lo que reducía la superficie de intercambio a la mitad o aun menos. La solución de duplicar la superficie no es económicamente conveniente y de todas maneras no soluciona el defecto de llevar calor hacia abajo en determinadas circunstancias. La solución es agrupar toda la superficie de intercambio en la parte inferior del termotanque, donde se encontrará siempre con la más baja temperatura. En el punto 5) veremos como se ha intentado solucionar el problema de una correcta estratificación del calor, evitando corrientes convectivas desordenadas.

En los casos en que el agua domiciliaria circula por los paneles, será conveniente que tanto los conductos de llegada como de vuelta lleguen al termotanque en su parte inferior, sea que el flujo sea activado por una bomba y sensores, sea que el transporte de calor por masa se obtenga por termosifón a partir de los paneles ubicados más abajo del termotanque.

En el caso de transporte de calor con líquido caloportador en circuito estanco y circulación forzada con bomba y sensores y con el intercambiador ubicado en la parte inferior del termotanque, conviene que el sensor que revela la temperatura del agua, esté ubicado también en esa parte inferior, obteniéndose que la bomba de circulación se active, aún con bajas temperaturas de aporte de calor, semejantes a las que se encuentran en esa zona del termotanque.

4) RELACION ENTRE SUPERFICIES DE PANELES E INTERCAMBIADORES

La menor temperatura de trabajo de los colectores durante el mayor tiempo posible dependerá también de la relación entre las superficies de los paneles y la superficie del intercambiador, a paridad de las otras condiciones. De acuerdo a la experiencia recogida, la relación entre superficies debe oscilar alrededor del valor: sup. paneles/sup. intercambiadores = 3 (para 4 m² de paneles 1,3 m² de intercambiador) lo que permitirá la transferencia de todo el calor recolectado por los paneles, con un salto de apenas 2-4° C, durante periodos de baja potencia de insolación (200-350 W/m²) y encontrándose el intercambiador en la base del termotanque donde tenemos una temperatura baja, hará que el fluido caloportador vuelva a los paneles a la temperatura más baja posible, asegurando a los mismos una buena eficiencia, con esas bajas potencias de insolación y precalentando el agua, mientras llegan mejores condiciones de insolación. Cuando esto sucede (I=500-700 W/m²) el salto necesario en el intercambiador para transmitir la totalidad del calor recabado por el panel, será de 8-12° C y de 14-20° C con I = 800-1000 W/m², puesto que la superficie del intercambiador no ha variado, pero si aumentó considerablemente la cantidad de calor producido.

Si el agua en contacto con el intercambiador estuviera a 18° C, con I = 1000 W/m², tendremos una producción de agua caliente a 18+20 = 38° C que convectivamente se ubicará en la altura del termotanque correspondiente a esa temperatura y el fluido volverá a los paneles aproximadamente a 20° C y saldrá de los mismos a ~40° C. Sabemos que los paneles aumentan su eficiencia con el aumento de I, tanto más si

esto sucede a temperaturas medias relativamente bajas: $(20+40) / 2 = 30^{\circ} \text{ C}$. Cuando el agua de la parte inferior del termotanque haya alcanzado una temperatura, de digamos 24° C y siendo siempre necesario con esa elevada insolación un salto de 20° C , nos encontraremos con una producción de agua caliente a 44° C , ya suficiente para el uso doméstico, claro está la colección de calor la tendremos con una eficiencia menor, por la mayor temperatura media de los paneles.

Consideremos ahora un intercambiador de menor superficie con respecto a los paneles, manteniendo en un todo las otras variables: relación altura-base, relación entre superficie de paneles y volumen del termotanque y ubicación del intercambiador. Resulta evidente que tendremos una respuesta más rápida al conseguimiento de una más elevada temperatura de agua, pero también un aumento durante más tiempo de la temperatura media de los paneles con disminución de su rendimiento. Si en cambio se aumenta la superficie del intercambiador, tendremos si un aumento de la eficiencia de los paneles, pero la obtención de la necesaria temperatura de utilización del agua, tarda tal vez más de un día solar en conseguirse, obligando a esperar más tiempo a la entrada en régimen del termotanque, cosa negativa en invierno o en regiones de clima frío y que deben balancearse con más volumen de acumulación y más aislación. La experiencia nos indica que una primera aproximación al problema en zonas templadas, está dada por la relación consignada en este punto, siendo necesario experimentar con un mismo equipo relaciones distintas para distintos climas.

5) DISPOSITIVO ESTÁTICO UBICADO EN EL TERMOTANQUE, PARA MEJORAR LA ESTRATIFICACIÓN, DURANTE LA ENTREGA DE CALOR AL MISMO

En el punto 3) ha sido descripta la ubicación que creemos más conveniente para el intercambiador y que asegura durante mayor tiempo la temperatura media más baja posible en el panel, favorable sobre todo durante las horas de baja insolación. Cuando ésta es alta los paneles entregan energía al termotanque bajo forma de calor a un nivel de temperatura más alto. En estas circunstancias las corrientes convectivas de agua adentro del termotanque serán más violentas y desordenadas, originándose remolinos que producen mezcla de agua caliente con la fría, de tal manera que encontraremos agua caliente también en las zonas bajas del termotanque, aún con un peso específico menor de la masa allí existente y como consecuencia la temperatura tenderá a unificarse aumentando en las zonas inferiores y disminuyendo en las superiores. Nos encontramos frente a un innecesario aumento de entropía del sistema, que llevará a los paneles a trabajar durante más tiempo a más temperatura, para alcanzar el nivel de temperatura útil pero con menor rendimiento, con menor cantidad de calor producido al fin del ciclo. Conviene encontrar la manera para que la energía producida a distintas temperaturas por el panel, según las distintas potencias de insolación, se almacenen como agua caliente en el termotanque, en el nivel que le corresponde por su temperatura y peso específico, sin mezclarse con agua de menor o mayor temperatura.

Para alcanzar ésta finalidad se ha imaginado una falda aplicada sobre el intercambiador al que cubre totalmente, dejando abierta la parte inferior y construida posiblemente con polipropileno. Esta falda tiene aplicado en su parte superior un tubo vertical que llega a la parte alta del termotanque, tubo en el cual ha sido practicada

una hendidura longitudinal en toda su altura o alternativamente una serie de orificios radiales, también a lo largo de todo el tubo. El agua en íntimo contacto con el intercambiador se calentará, quedando pero contenida adentro de la falda e iniciará un movimiento ascendente por el tubo. A medida que asciende entra nueva agua fría por la parte inferior de la falda proveniente de las zonas inferiores del termotanque, falda que como se recordará está abierta en su parte inferior. El agua calentada con menor peso específico del agua que circunda exteriormente a la falda y al tubo, subirá por el conducto vertical hasta encontrar agua con su mismo peso específico y por ende la misma temperatura. Allí saldrá del tubo por la hendidura o por los orificios para ubicarse en un estrato cada vez más espeso, hasta que su temperatura cambie, sea porque ha entrado agua fría al termotanque como reposición de agua caliente consumida, sea porque han cambiado las condiciones de insolación o ambientales (viento, temperatura) o bien si las condiciones permanecen estables, hasta que el termotanque se sature hacia abajo de energía a esa temperatura.

Con nuevas condiciones, el agua dentro del tubo vertical, buscará su nuevo nivel de peso específico-temperatura y allí se irá estacionando horizontalmente. El tubo funciona como ordenador de la corriente convectiva, que se forma únicamente en el interior del mismo, evitando que se originen vórtices, excepto los reducidos a la hendidura o a los orificios, pero dando como resultado una estratificación notable de la temperatura en el termotanque, como se ha comprobado experimentalmente y preservando la más baja temperatura posible del fluido que vuelve al panel, con ventajas para la eficiencia de los mismos. Ver figura 1.

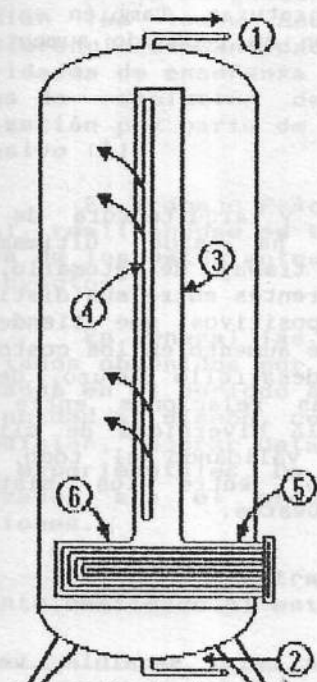


Figura 1

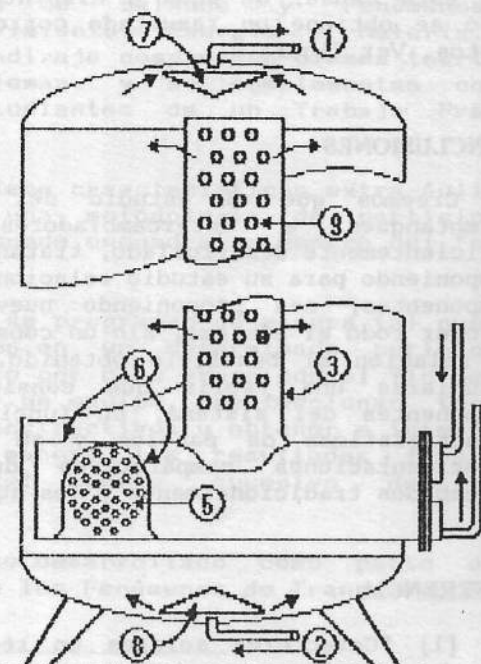


Figura 2

- 1- Salida agua caliente. 2- Entrada agua fría. 3- Tubo vertical. 4- Hendidura longitudinal.
5- Intercambiador. 6- Falda envolvente. 7- Cono superior. 8- Cono inferior. 9- Orificios radiales alternativos

6) DISPOSITIVO ESTÁTICO QUE EVITA VÓRTICES Y MEZCLA DE AGUA A DISTINTAS TEMPERATURAS, DURANTE LA REPOSICIÓN DEL AGUA CONSUMIDA

El conducto de agua fría proveniente de la red, que repone en el termotanque el agua caliente consumida, tiene normalmente un diámetro, que origina una velocidad en el agua que entra al mismo, que puede alcanzar en el caso de más canillas abiertas contemporáneamente, valores del orden de 58 cm/seg. o más, velocidad que anula su energía cinética produciendo vórtices y remolinos, hasta una distancia de un metro de su entrada, pero con efectos que interesan prácticamente toda la masa de agua del termotanque, mezclando agua caliente con agua fría, efecto acrecentado también por el conducto de salida de agua caliente, que también origina vórtices y mezclas de temperaturas.

La consecuencia de todo esto es una tendencia a uniformar la temperatura en todo el termotanque, con el consabido aumento de entropía y de anergia o disminución de la energía disponible para un determinado uso. Para evitar este efecto negativo es suficiente contener la producción de vórtices y corriente más o menos violentos, en una cámara de volumen reducido, ubicada en la entrada y salida de los conductos de agua fría y caliente, espacios que comunican con el termotanque por medio de una hendidura de elevado desarrollo y mayor sección que disminuye drásticamente las velocidades de entrada y salida. Estas cámaras pueden materializarse con dos conos de unos 27 cm. de diámetro, colocadas contra los fondos inferiores y superiores en correspondencia y opuestos a los respectivos tubos de entrada y salida, conos que están separados del termotanque con una hendidura alta 1 cm., formando una sección que asegura una velocidad 30 veces inferior, alrededor de 2 cm./seg. suficiente para evitar toda mezcla, por ésta causa, de agua a distintas temperaturas. También en éste caso se obtiene un resultado correcto, con un reducido aumento de costos. Ver figura 2.

CONCLUSIONES

Creemos que el estudio del diseño y arquitectura de los termotanques e intercambiadores, no ha sido últimamente suficientemente desarrollado, tratando éste trabajo de retomarlo, sea proponiendo para su estudio relaciones diferentes entre sus distintos componentes, sea proponiendo nuevos dispositivos que tienden a mejorar todo el sistema, sin un considerable aumento en los costos, y en relación al beneficio obtenido. Como desarrollo futuro, deberá estudiarse una teoría que considere las relaciones entre los componentes del sistema, en función de la diversidad de climas, características de paneles y su costo, validando el todo, con experimentaciones comparativas de campo, entre los sistemas concebidos tradicionalmente y los aquí propuestos.

REFERENCIA

- [1] "Colectores solares en régimen de calor sensible, versus colectores solares en régimen evaporativo"
V. Tacchi Valdiniévole S.C. y A. Rapallini Dpto. División Energía Solar.
Actas 5° CONGRESO LATINO AMERICANO DE ENERGÍA SOLAR, VIÑA DEL MAR, CHILE año 1986.