

COMPORTAMIENTO DE COLECTORES SOLARES - INTERCAMBIADORES DE CALOR EN UN INVERNADERO *

S. Bistoni y A. Iriarte #
INENCO - Catamarca
Fac. de Ciencias Agrarias - UNCa.
M. Quiroga N° 93 - 4700 - Catamarca
Email: inenco@unctcc.edu.ar.

L. Saravia #
INENCO - UNSa. - Salta

RESUMEN

Para la calefacción de invernaderos se ha propuesto la utilización de un sistema compuesto por bolsas plásticas colocadas en la parte superior de los mismos. Por éstas circula agua que se calienta durante el día con la radiación incidente y se acumula en un depósito aislado. Durante la noche, se hace circular el agua caliente por el mismo sistema, logrando calefaccionar el invernadero. El objetivo de este trabajo es evaluar el rendimiento de la instalación en forma global y de los colectores - intercambiadores en su comportamiento como colector y como intercambiador, sin aporte auxiliar de calor.

INTRODUCCIÓN

En trabajos anteriores [1], [3], [4] se ha propuesto, para la calefacción de invernaderos, un sistema que aprovecha la radiación solar excedente durante el día, acumulando el calor en un depósito de agua. Durante la noche este calor es transferido al invernadero utilizando la misma instalación. El sistema está compuesto por colectores fabricados en bolsas de polietileno transparente de 100 micrones de espesor, que se colocan en la parte superior del invernadero y un reservorio, adecuadamente aislado, para almacenar el agua caliente.

Ensayos realizados en laboratorio para determinar la eficiencia instantánea de este tipo de colector permitieron estimar los factores $FR(\tau\alpha) = 0,108$ y $FRU_L = 8,16 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ y un coeficiente global de transferencia de $8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Pero en condiciones operativas el rendimiento de toda la instalación no se puede calcular utilizando las ecuaciones en su forma original.

La diferencia entre el rendimiento predicho cuando se testea un solo colector y el medido en una instalación se debe a varias causas:

- a) El caudal a través de los colectores puede no ser uniforme.
- b) La radiación solar incidente sobre cada colector depende de la ubicación que tengan y de la sombra de unos sobre otros.
- c) Las pérdidas no son las mismas en una instalación completa que para un sólo colector.

De lo expuesto anteriormente se deduce que para determinar el rendimiento de instalaciones solares hay que tener presente el diseño de las instalaciones y el clima. El parámetro climático que mayor influencia tiene en la prestación de una instalación es la radiación global diaria en el plano del colector y la temperatura ambiente, ya que las pérdidas ocasionadas dependen de la diferencia entre esta temperatura y la temperatura del sistema.

Teniendo en cuenta ésto, es posible calcular la eficiencia global utilizando una correlación lineal entre la energía útil máxima aportada por el sistema solar, la energía incidente sobre el plano de colección, H y la diferencia entre la temperatura ambiente media diaria T_a y la temperatura inicial del agua en el tanque de acumulación T_p [2]. Esta correlación puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_u = \alpha_1 H + \alpha_2 (T_a - T_p) + \alpha_3 \quad (1)$$

en donde los coeficientes α_1 , α_2 y α_3 caracterizan la eficiencia global del sistema. El coeficiente α_1 se relaciona con la energía solar incidente utilizada por el sistema. Por lo tanto está relacionada con la superficie de colección, el coeficiente de ganancia del colector y con la capacidad calorífica del sistema. El coeficiente α_2 está relacionado con las pérdidas de calor del sistema completo y el α_3 introduce el efecto de aportes externos al sistema reduciendo la energía solar aportada.

El objetivo de este trabajo es evaluar el rendimiento de la instalación en forma global y de los colectores - intercambiado-

* Parcialmente financiado por:
INENCO, BID - CONICET N° 307
SEDECyT - UNCa

Miembro de carrera del CONICET

res, en su comportamiento como colector y como intercambiador.

DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

La experiencia se realizó en el sector este del invernadero, con cubierta de vidrio, ubicado en la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca. Este sector tiene 7,5 m de largo por 6 m de ancho y su pared este es de mampostería, mientras que la oeste es de vidrio y separa con otro sector del invernadero. Se colocaron 4 filas de 10 colectores - intercambiadores cada una, en un arreglo paralelo - paralelo, con una separación de 0,50 m entre fila y fila, dirección este - oeste, y con un área de colección de 20 m².

Los colectores - intercambiadores se fabricaron con tubos de polietileno transparente de 100 micrones de espesor, de 1 m de largo por 0,50 m de ancho. Están soladados de modos que el agua que ingresa por la parte superior hace un recorrido en zig - zag. Éstos se montaron sobre alambres tensados ubicados en la parte superior del invernadero y las mangueras de alimentación, sostenidas por alambres, pasan a través de las bolsas en cada fila. Cada intercambiador se alimenta mediante pequeñas llaves, de las que se utilizan en los aireadores de pecera. Estas llaves son muy sensibles y permiten regular el caudal deseado en cada bolsa. El agua que sale de cada colector - intercambiador se recoge por medio de caños de PVC de 0,10 m de diámetro y se almacena en dos tanques de 1000 litros cada uno, aislados con lana de vidrio con cubierta de aluminio y colocados dentro del invernadero.

A efectos de la medición de temperaturas se utilizaron termopares de Cu - Cn conectadas a un sistema de adquisición de datos tipo "Delta Logger", que permitió registrar sus valores cada 30 minutos. Se midió la temperatura de entrada y salida del agua en once intercambiadores individualmente, la temperatura ambiente exterior y la temperatura interior del invernadero a 1,2 m de altura desde el suelo. Asimismo se registró la radiación solar horizontal exterior y la radiación solar incidente en los intercambiadores utilizándose dos radiómetros Kipp & Zonne. El caudal circulante se midió con rotámetro de rango entre 4 - 50 l/min, apreciación 2 l/min.

A fin de evaluar el comportamiento global del sistema, durante las horas de sol se hizo circular agua a través de los colectores - intercambiadores, para colectar la energía excedente, acumulándolo como agua caliente. Durante la noche, y para comprobar su funcionamiento como intercambiador, se hizo circular por el mismo sistema el agua caliente.

INFLUENCIA DE LA UBICACIÓN DE LOS COLECTORES - INTERCAMBIADORES.

Debido al diseño de la instalación, no todos los colectores - intercambiadores reciben simultáneamente la misma cantidad de radiación solar, la que también varía debido a las sombras originadas por la estructura del invernadero y por las sombras que se hacen entre ellos. Durante las horas de la mañana los colectores que están en la primera fila hacia el Norte y hacia el Este reciben menor cantidad de energía solar debido a la sombra de la pared este, mientras que durante las horas de la tarde y dado que la pared oeste es de vidrio, no se producen diferencias significativas entre las posiciones este - oeste. En cambio para los colectores ubicados en la fila cuatro, es decir hacia el Sur, se da la situación contraria, y además disminuye la eficiencia debido a que también influye las sombras que se dan los colectores entre sí. Esto puede observarse en la Fig.1 en donde se comparan las eficiencias de cuatro colectores ubicados en los extremos de la primera fila (hacia la Norte) y en los extremos de la cuarta fila (hacia el Sur).

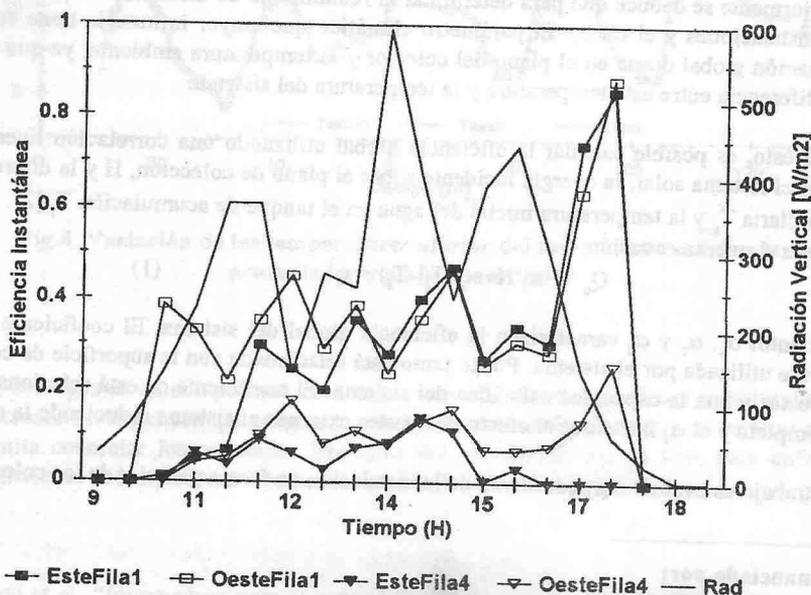


Fig.1. Eficiencia de colección según la ubicación de los colectores durante un día del ensayo

En Tabla N° 1 se comparan el calor útil ganado y la eficiencia que posee cada colector debido a su ubicación, como así también el calor cedido por los intercambiadores durante la noche.

Posición	Calor útil ganado [MJ]	Eficiencia de colección [%]	Calor entregado [MJ]
Fila N° 1 (hacia el norte)			
Este	51,64	24	85.71
Oeste	43,39	20	58.02
Fila N° 2			
Este	42,82	20	69.40
Oeste	54,36	25	135.08
Fila N° 3			
Este	31,39	14	52.92
Oeste	19,85	9	46.21
Fila N° 4 (hacia el sur)			
Este	27,37	13	133.12
Oeste	38,61	18	151.64

Tabla N° 2. Eficiencia de colección, calor ganado y cedido por los intercambiadores en distintas posiciones

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA GLOBAL DEL SISTEMA COMO CALENTADOR SOLAR DE AGUA

Para determinar los coeficientes α_1 , α_2 y α_3 de la ecuación (1) se tomaron tres días de ensayo con diferentes valores de H , T_a y T_f . De esta forma es posible determinar una familia de rectas que relacionan la radiación (entrada) y la energía útil (salida) para diferentes valores de $T_a - T_f$, Fig. 2 (a) y (b). Primeramente se consideró el sistema completo: intercambiadores, tanques de acumulación y el invernadero en sí mismo. De esta forma las pérdidas estarían dadas debido a la diferencia de temperatura del fluido con el ambiente exterior, $T_a = T_{ext}$. Planteado bajo estas condiciones la ecuación de correlación dio los siguientes coeficientes: $\alpha_1 = 0,60$; $\alpha_2 = 5,23$ y $\alpha_3 = -1,68$. Con estos valores las familias de curvas que relacionan la radiación solar incidente en el plano de colección con el calor útil se muestra en la Fig. 2 (a). Generalmente la diferencia de T_{ext} y T_f es negativa ya que la temperatura del fluido es mayor que la ambiente exterior, por lo tanto si bien el coeficiente α_2 es positivo, el segundo término de la correlación llega a ser negativo, representando una pérdida de calor.

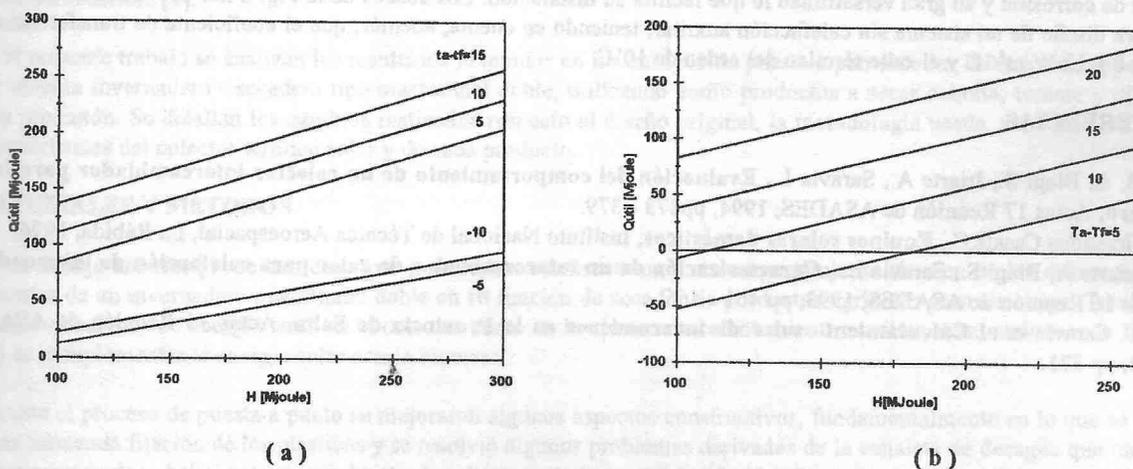


Fig.2. Energía útil en función de la radiación solar incidente sobre 20 m² en el plano de colección. (a) sistema completo, (b) colectores de plástico

Por otro lado se consideró el sistema compuesto solamente por los intercambiadores y tanques y entonces la temperatura t_a se refiere ahora a la temperatura diaria ambiente interior al invernadero. En este caso la temperatura ambiente interior es siempre mayor que la del fluido y por lo tanto el término de pérdida debido a la diferencia de temperatura es en realidad ganancia. Los coeficientes de correlación son en este caso los siguientes: $\alpha_1 = 0,64$, $\alpha_2 = 8,98$ y $\alpha_3 = -161$. El último término puede considerarse como el aporte que todo el invernadero hace y en realidad si queremos considerar solamente el Q útil solar conseguido evidentemente debe tener signo negativo y de valor grande, ya que este aporte es significativo. La

familia de curvas en este caso se muestra en la Fig. 2.(b). Este aporte externo al sistema se debe a que además de coleccionar parte de la energía que procede del sol, está absorbiendo energía del aire que lo circunda y también de la energía térmica que proviene del piso del invernadero.

A efectos de medir dicho coeficiente se hizo circular, durante la noche por los intercambiadores agua a menor temperatura que el ambiente, de manera que el flujo de calor fuera desde el aire al agua. Para lograr estas condiciones se ingresó agua a los intercambiadores a 25°C y se calefaccionó el invernadero con acondicionadores de aire a 28°C. Los resultados se muestran en la Fig.3, donde se advierte que durante las primeras horas de la noche, mientras el aire estuvo en condiciones de entregar calor, el agua absorbió a un promedio de 800 W con un coeficiente entre 8 y 12 W/m²·C. En consecuencia durante el proceso de colección de energía solar, si se establecen las condiciones adecuadas, también se produce transferencia de calor del aire al agua con el mismo coeficiente.

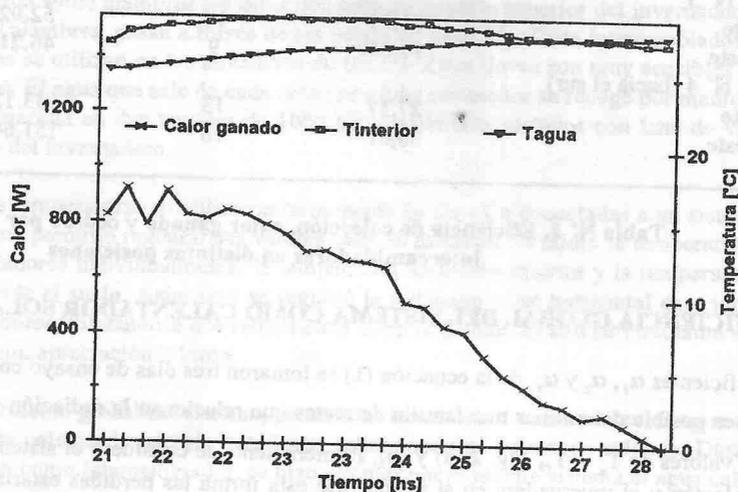


Fig.3. Calor ganado por el intercambiador, temperatura ambiente interior y temperatura del agua.

CONCLUSIONES

El análisis de los datos obtenidos permiten concluir que el funcionamiento del sistema colector - intercambiador es óptimo y responde a los requerimientos de energía de sistemas productivos como son los invernaderos. Es de destacar su bajo nivel de corrosión y su gran versatilidad lo que facilita su instalación. Los ábacos de la Fig. 2 nos proveen una herramienta para diseño de un sistema sin calefacción auxiliar, teniendo en cuenta, además, que el coeficiente de transferencia está entre 8 y 12 W/m²·C y el salto térmico del orden de 10°C.

REFERENCIAS

- [1] B. de Biagi S., Iriarte A., Saravia L., **Evaluación del comportamiento de un colector intercambiador para invernadero**, Actas 17 Reunión de ASADES, 1994, pp373 - 379.
- [2] Granados Casals,C., **Equipos solares domésticos**, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, La Rábida, 1996.
- [3] Iriarte A, Biagi S., Saravia L. , **Caracterización de un intercambiador de calor para calefacción de invernaderos**, Actas 16 Reunión de ASADES, 1993, pp 461 - 465.
- [4] L. Saravia et al **Calentamiento solar de invernaderos en la Provincia de Salta**, Actas 15 Reunión de ASADES, 1992, pp 371.