

## EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE UN COLECTOR INTERCAMBIADOR PARA INVERNADEROS

S.B. de Biagi y A. Iriarte°  
INENCO, Catamarca #  
Facultad de Ciencias Agrarias - UNCa.  
Mtro. Quiroga N° 93 - 4700 - Catamarca

L. Saravia y R. Echazú  
INENCO, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires N° 177 - 4400 - Salta

### RESUMEN

En el presente trabajo se evalúa el comportamiento experimental de un sistema colector solar - intercambiador de calor para uso en invernaderos.

La propuesta consiste en utilizar colectores intercambiadores contruidos con bolsas plásticas de 1.20 m x 0.5 m por cuyo interior el agua cae por gravedad dentro de los conductos contruidos en forma de zig - zag. Se colocan dentro del invernadero, durante el día actúan como colectores solares, mientras que durante la noche como intercambiadores de calor. El agua calentada durante el día es acumulada en un depósito y durante la noche es recirculada para calentar el invernadero.

Se muestra la variación de las temperaturas, radiación incidente, eficiencia instantánea, flujo de calor ganado y perdido.

### INTRODUCCION

En la región del NOA, los problemas de calentamiento nocturno en espacios destinados a emprendimientos agrícolas, como ser invernaderos, locales de cría, etc. aún no han sido resueltos a costos razonables. Como durante el invierno existen buenos niveles de radiación solar, es factible buscar soluciones que combinen la captación total o parcial de la energía solar incidente y la acumulación de calor en forma de agua caliente, para ser utilizada durante la noche. Estos niveles de radiación hacen posible la búsqueda de sistemas eficientes que permitan minimizar los aportes externos de energía en esta época.

En un trabajo anterior realizado en el INENCO - Salta (1) se presenta un sistema activo de calentamiento de agua que contempla esta propuesta. El mismo consiste en captar el exceso de energía del invernadero durante el día, almacenarlo en agua para posteriormente utilizarlo durante la noche. Básicamente se pretende la utilización de colectores - intercambiadores de calor, contruidos con bolsas de polietileno de 150 micrones de espesor, transparentes, con tratamiento anti - ultravioleta, especificado técnicamente como de larga duración térmica, de 1.20 m de largo y 0.5 m de ancho.

---

° Miembro de Carrera del CONICET  
# Convenio UNCa. - UNSa. - CONICET  
\* Parcialmente financiado por:  
INENCO - BID CONICET N° 307  
SEDECyT - UNCa.

## EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE UN COLECTOR INTERCAMBIADOR PARA INVERNADEROS

S.B. de Biagi y A. Iriarte°  
INENCO, Catamarca #  
Facultad de Ciencias Agrarias - UNCa.  
Mtro. Quiroga N° 93 - 4700 - Catamarca

L. Saravia y R. Echazú  
INENCO, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires N° 177 - 4400 - Salta

### RESUMEN

En el presente trabajo se evalúa el comportamiento experimental de un sistema colector solar - intercambiador de calor para uso en invernaderos.

La propuesta consiste en utilizar colectores intercambiadores contruidos con bolsas plásticas de 1.20 m x 0.5 m por cuyo interior el agua cae por gravedad dentro de los conductos contruidos en forma de zig - zag. Se colocan dentro del invernadero, durante el día actúan como colectores solares, mientras que durante la noche como intercambiadores de calor. El agua calentada durante el día es acumulada en un depósito y durante la noche es recirculada para calentar el invernadero.

Se muestra la variación de las temperaturas, radiación incidente, eficiencia instantánea, flujo de calor ganado y perdido.

### INTRODUCCION

En la región del NOA, los problemas de calentamiento nocturno en espacios destinados a emprendimientos agrícolas, como ser invernaderos, locales de cría, etc. aún no han sido resueltos a costos razonables. Como durante el invierno existen buenos niveles de radiación solar, es factible buscar soluciones que combinen la captación total o parcial de la energía solar incidente y la acumulación de calor en forma de agua caliente, para ser utilizada durante la noche. Estos niveles de radiación hacen posible la búsqueda de sistemas eficientes que permitan minimizar los aportes externos de energía en esta época.

En un trabajo anterior realizado en el INENCO - Salta (1) se presenta un sistema activo de calentamiento de agua que contempla esta propuesta. El mismo consiste en captar el exceso de energía del invernadero durante el día, almacenarlo en agua para posteriormente utilizarlo durante la noche. Básicamente se pretende la utilización de colectores - intercambiadores de calor, contruidos con bolsas de polietileno de 150 micrones de espesor, transparentes, con tratamiento anti - ultravioleta, especificado técnicamente como de larga duración térmica, de 1.20 m de largo y 0.5 m de ancho.

---

° Miembro de Carrera del CONICET

# Convenio UNCa. - UNSa. - CONICET

\* Parcialmente financiado por:

INENCO - BID CONICET N° 307

SEDECyT - UNCa.

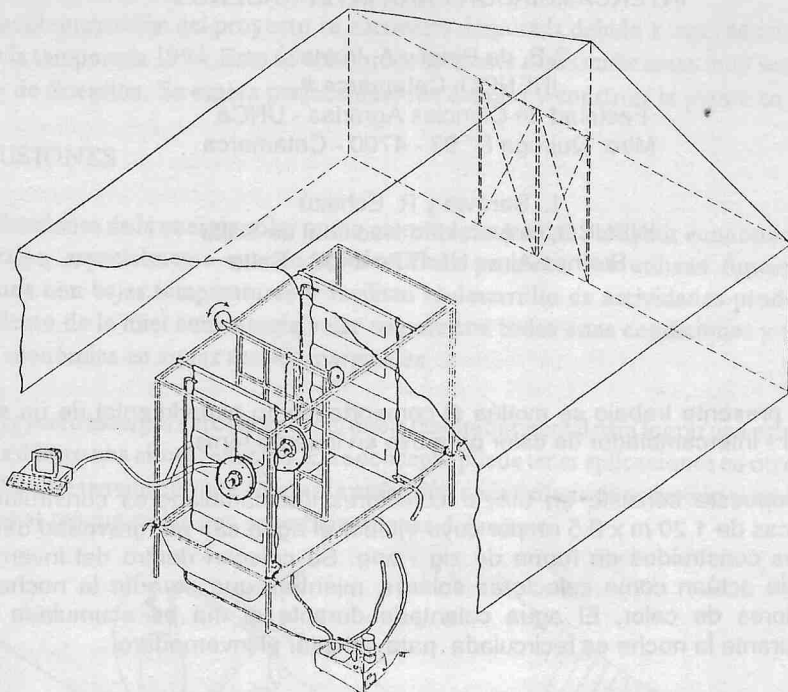


Fig.1. Vista General del Sistema de Ensayo

Los ensayos realizados permiten determinar el calor útil, la eficiencia instantánea de colección y el balance térmico global del colector. Asimismo, en su funcionamiento como intercambiador se determinó la variación espacial de la temperatura, para lo cual se utilizó una grilla de madera deslizante sobre rieles y donde se colocaron quince termocuplas.

## ANALISIS DE LOS RESULTADOS

La Fig. 2, muestra la evolución de la temperatura de entrada y salida del agua del colector durante un ensayo, como así también la radiación exterior sobre superficie horizontal y la interior al invernadero sobre superficie vertical. Se puede observar en las primeras horas del día donde la radiación es baja, la temperatura de entrada supera a la temperatura de salida de agua y se advierte claramente su funcionamiento como intercambiador de calor. Sin embargo, esta situación se revierte cerca del mediodía, para valores de radiación mayor, comportándose como un colector solar. Esta situación continúa hasta aproximadamente las 16hs. , donde nuevamente cambia.

Los colectores están fabricados con bolsas de polietileno que se sellan transversalmente de manera tal que el agua que entra por arriba cae por gravedad y circula por su interior en los canales que están contruidos en forma de zig-zag en la dirección vertical del intercambiador. Las mismas se colocan dentro del invernadero en la parte superior, de manera que recogen el exceso de radiación solar, no fotosintéticamente activo, que llega al invernadero durante el día. En esta situación las bolsas actúan como colectores solares colocados verticalmente.

El agua caliente que sale de los colectores se acumula en un depósito excavado en el suelo recubierto con plástico negro, aislado térmicamente y con una cubierta de plástico transparente para captar radiación solar. Durante la noche, el agua tibia vuelve a circular por las bolsas para calentar al invernadero, por lo que las mismas actúan ahora como intercambiadores de calor.

En un trabajo anterior (2) se describieron las características de funcionamiento para distintas condiciones de uso, su comportamiento térmico y físico y se determinaron: peso del intercambiador, volumen de agua acumulado, velocidad promedio de circulación de agua, coeficiente de transferencia global y pelicular y eficiencia del intercambiador.

En el presente trabajo se evalúa el comportamiento experimental del sistema como colector solar y como intercambiador de calor. Como colector solar se determinan los parámetros que caracterizan su funcionamiento y como intercambiador se realiza un estudio de la distribución espacial de temperatura, a fin de determinar la distancia óptima entre ellos.

## ENSAYOS REALIZADOS

Los estudios realizados sobre el sistema en funcionamiento como colector y como intercambiador se efectuaron en un invernadero ubicado en la Estación Experimental Agropecuaria del INTA - Catamarca y en el laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Catamarca respectivamente.

Para la determinación de los parámetros característicos como colector solar se midieron la temperatura de entrada y salida del agua de las bolsas de plástico, así como la distribución de temperatura en su parte posterior. Estas temperaturas se midieron con termocuplas de tipo cobre - constantán.

La radiación solar que incide sobre la superficie vertical y la transmitida se midieron con radiómetros tipo Kipp & Zonne, instalados dentro del invernadero. La radiación exterior horizontal con un radiómetro tipo Black and White.

Los radiómetros se instalaron sobre una estructura, Fig. 1, que permite el movimiento lineal y rotacional de los mismos, lo que posibilita girarlos 180 grados para la determinación de la radiación solar reflejada.

Las termocuplas y los radiómetros se conectaron a un sistema de adquisición de datos automática tipo Delta - Logger. Los datos fueron tomados cada cinco minutos y medidos durante un minuto, de manera que el resultado final fue promediado. Para el control de temperatura y velocidad de circulación del agua se instaló un baño termostático tipo Lauda, que permite regular la temperatura entre el ambiente y 70 C y el caudal de circulación entre 0 y 3 l/min.

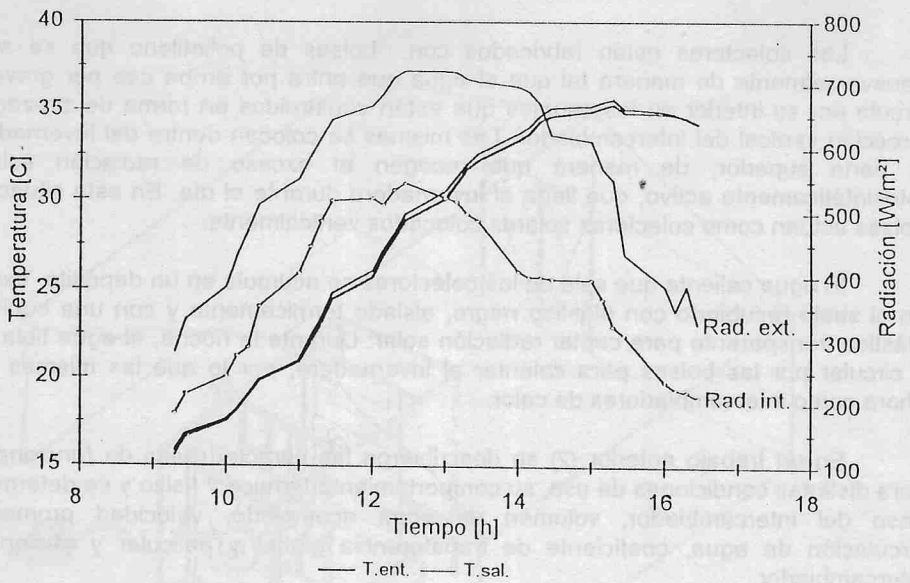


Fig. 2. Variación de las temperaturas y radiación en función del tiempo para el colector - intercambiador

Cabe destacar que la radiación interna no supera los  $550 \text{ W/m}^2$ , siendo su componente difusa alta, en razón de que debe primero atravesar la cubierta del invernadero.

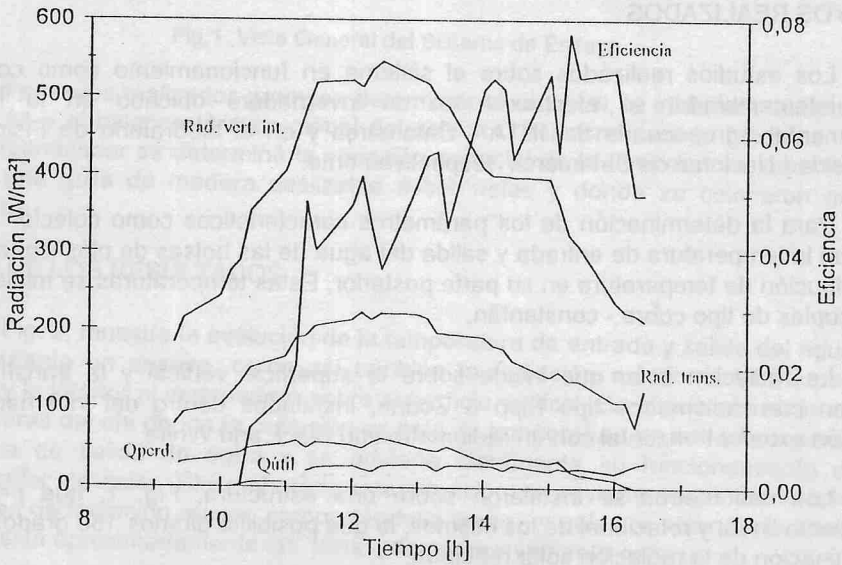


Fig. 3. Variación de la eficiencia y de los flujos de calor incidente, transmitido, perdido y ganado

La fig. 3, muestra el flujo de radiación solar incidente, la ganancia del colector, el calor perdido, el flujo de energía transmitida y la eficiencia del colector en función del

tiempo durante un día. La eficiencia se calculó teniendo en cuenta la radiación interior del invernadero.

La pérdida de calor es muy grande como consecuencia de que no posee cubierta ni aislación, lo que disminuye la eficiencia respecto a los otros tipos de sistemas de colección. Sin embargo, para este tipo de utilización las pérdidas tienen ventajas ya que son aprovechadas por el invernadero reteniendo además las longitudes de onda que no son fotosintéticamente activas. En el gráfico se advierte la importancia de la radiación transmitida.

En la Fig. 4, se muestra la curva de eficiencia según las Normas ASHRAE para el colector - intercambiador. De acuerdo a los datos medidos, el producto  $\tau\alpha$  promedio para el colector es 0.40, el FR = 0.3 y el UL = 28 W/m<sup>2</sup> C.

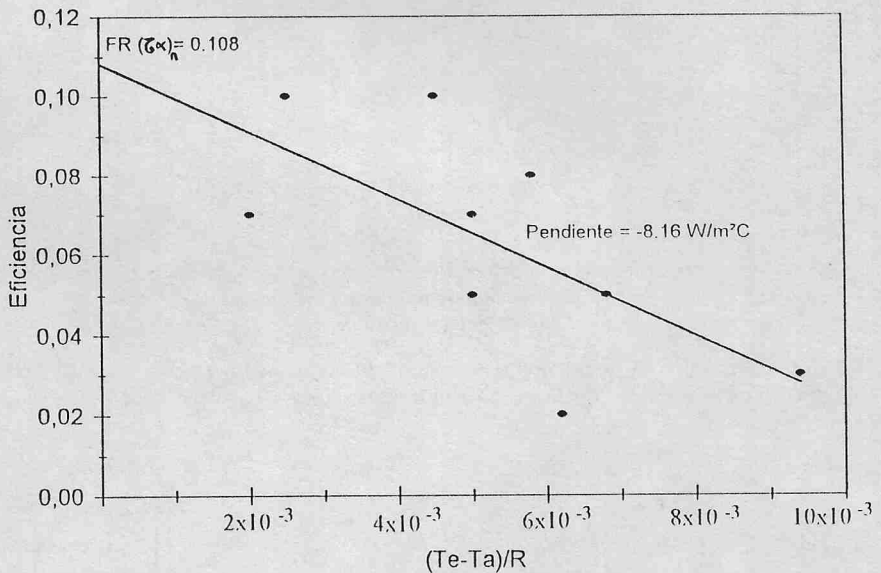


Fig. 4. Eficiencia instantánea representativa del colector - intercambiador

En la Tabla I se muestra el balance de energía para cuatro ensayos realizados y se advierte lo señalado precedentemente en el sentido de la importancia de la energía transmitida (60%), la energía reflejada (25%) y la pérdida (12%), siendo la energía útil disponible para la acumulación del orden del 10%.

TABLA I: BALANCE DE ENERGIA - VALORES TOTALES -						
ENSAYO	G [l/min]	Er [KJ/m <sup>2</sup> ]	Et [KJ/m <sup>2</sup> ]	Eu [KJ/m <sup>2</sup> ]	Eref [KJ/ m <sup>2</sup> ]	Ep [KJ/m <sup>2</sup> ]
1	0.6	2677	1606	91	669	311
2	1.0	3890	2334	189	972	395
3	1.8	3397	2039	77	849	432
4	2.0	3919	2370	405	979	165

La distribución de temperatura a lo largo del colector - intercambiador cuando el mismo actúa como intercambiador para tres caudales se muestra en la Fig. 5, notándose que el salto térmico entre la entrada y la salida es del orden de 10 C.

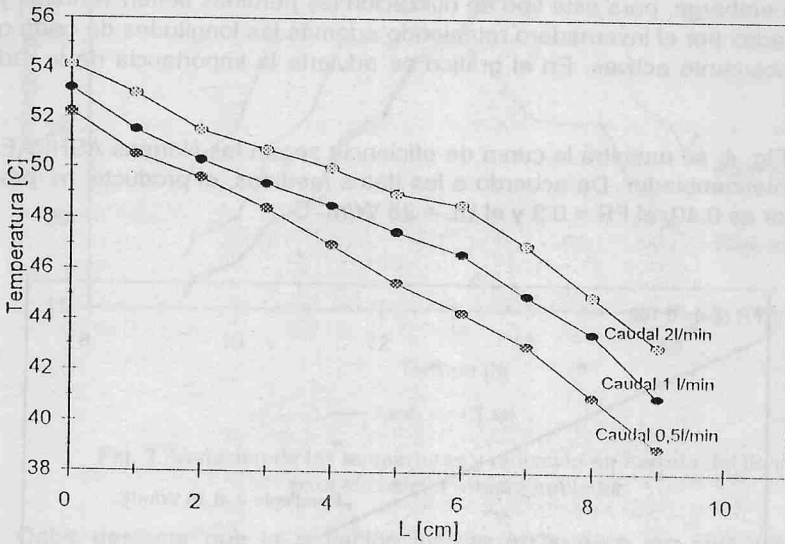


Fig. 5. Distribución de temperaturas a lo largo del intercambiador

La Fig. 6 muestra la distribución espacial de temperatura para distintos caudales de circulación. Como se ve la influencia del intercambiador no es significativa mas allá de 5 cm.

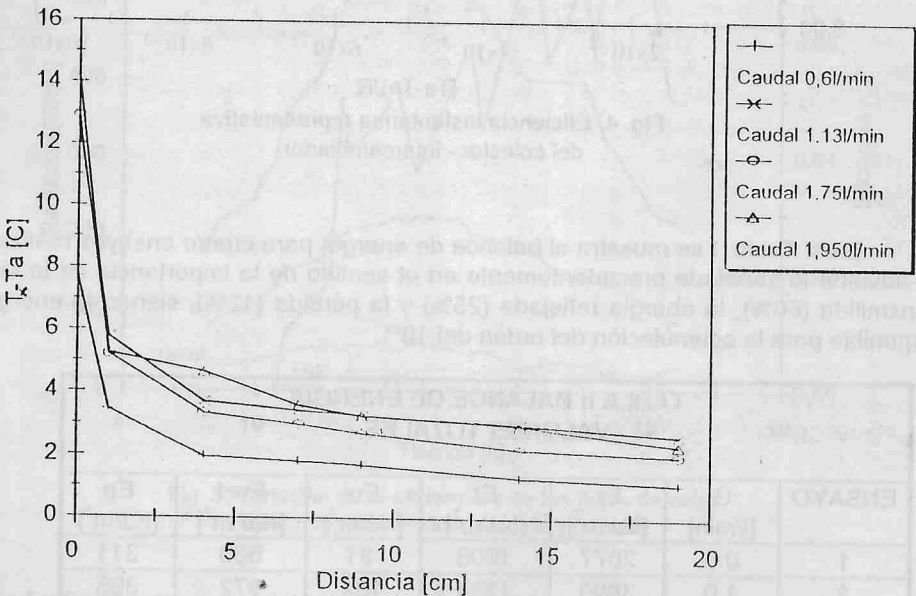


Fig. 6. Variación espacial de la temperatura en función de la distancia al intercambiador

## CONCLUSIONES

El sistema en general funciona adecuadamente. En su configuración como colector solar es necesario determinar sus parámetros característicos bajo condiciones controladas, fundamentalmente la temperatura ambiente y las pérdidas por su parte posterior. Esto permitirá determinar sus aptitudes como colector solar para otro tipo de emprendimientos. A efectos de mejorar la captación solar y disminuir la fracción de la radiación perjudicial para las plantas se estudiará el comportamiento con la utilización de líquidos coloreados como fluido caloportador.

Por otra parte es necesario desarrollar un simulador computacional del comportamiento del sistema que permita por un lado ajustar los parámetros de diseño y por otro planear estrategias de funcionamiento del sistema para distintas condiciones climáticas, así como para los diversos usos que se le puedan dar.

## Referencias:

- $\alpha\tau$ : Producto transmitancia - absorbancia.
- FR: Factor de remoción de calor.
- UL: Coeficiente de pérdida por el colector [ $W/m^2$ ]
- Qperd.: Flujo de calor perdido por el colector [ $W/m^2$ ]
- Qútil: Flujo de calor útil. [ $W/m^2$ ]
- G: Caudal [ $l/min$ ]
- Er: Energía incidente sobre el intercambiador [ $kJ/m^2$ ]
- Et: Energía transmitida a través del intercambiador [ $kJ/m^2$ ]
- Eu: Energía útil [ $kJ/m^2$ ]
- Eref: Energía reflejada por el intercambiador [ $kJ/m^2$ ]
- Ep: Energía perdida [ $kJ/m^2$ ]
- Te: Temperatura de entrada del agua al colector [C]
- Ta: Temperatura ambiente dentro del invernadero [C]
- R: Radiación vertical dentro del invernadero [ $W/m^2$ ]
- L: Longitud del intercambiador [cm]
- T<sub>x</sub>: Temperatura promedio a una distancia x del intercambiador [C]

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la valiosa colaboración de los Sres. Chaile, Ramón y Vargas Rubén, para la realización del presente trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] L. Saravia, R. Echazú, et. al. "Calentamiento solar de invernaderos en la Provincia de Salta". ASADES'92 - Catamarca.
- [2] A. Iriarte, S. B. de Biagi et al, "Caracterización de un intercambiador de calor para calefacción de invernaderos", presentado en la 16° Reunión de Trabajos de ASADES, La Plata, 1993.