

# SISTEMA SOL - GAS PARA LA CALEFACCION DE INVERNADEROS DESTINADOS AL CONTROL FISIOLOGICO Y SANITARIO DE PLANTAS \*

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

L. Saravia<sup>#</sup> y D. Hoyos  
INENCO - UNSa. - Salta

## RESUMEN

El cultivo bajo cubierta, especialmente referido a la producción de plantas, o al estudio del control fisiológico y sanitario de diferentes especies vegetales, requiere de condiciones controladas de temperatura y humedad. Para lograr las condiciones óptimas se propone la calefacción de un invernadero de cubierta de vidrio mediante 20 m<sup>2</sup> colectores intercambiadores de plástico, combinado con el uso de un sistema de calentamiento de agua con gas como combustible, apoyado para casos muy extremos con dos acondicionadores de aire.

En el presente trabajo se describen las componentes del sistema utilizado, así como los resultados obtenidos en los ensayos realizados, donde se explicitan las variaciones de temperaturas en las cubierta, piso, ambiente interior, exterior, etc. Se detalla la rutina de funcionamiento de la computadora que controla el proceso y se realiza el balance térmico del módulo en experimentación.

## INTRODUCCION

En un invernadero sin ningún sistema de calefacción, es decir en régimen "espontáneo", las plantas no alcanzarían la temperatura necesaria para cumplir con los objetivos de producción que se pretende lograr en cultivos bajo cubierta y por lo tanto, en general dependiendo de la ubicación geográfica y del tipo de cultivo, es necesario corregir aquella temperatura a fin de evitar la temperatura mínima letal y lograr el funcionamiento del sistema a la temperatura óptima del cultivo.

En sistemas invernaderos que cumplen las funciones de laboratorio de experimentación, particularmente para el estudio del desarrollo y comportamiento de las plantas frente a sus enemigos naturales, análisis de ciclos biológicos, condiciones predisponentes, transmisibilidad de microorganismos, propagación de especies a partir de estacas, medición de velocidad de crecimiento, etc., las condiciones de temperatura y humedad son mucho más estrictas y las variaciones térmicas permitidas más pequeñas. En consecuencia, deben existir sistemas de control que garanticen los intervalos de variación preestablecidos.

El objetivo de este trabajo es poner a punto un sistema de calefacción combinado entre energía solar y gas, implementado mediante colectores intercambiadores de calor con agua como fluido de intercambio y como fuente auxiliar complementaria, dos sistemas acondicionadores de aire.

## DEMANDA ENERGETICA

El invernadero tiene una superficie cubierta total de 135 m<sup>2</sup> y esta dividido en tres módulos de 45 m<sup>2</sup> cada uno. Cada módulo está conformado por mampostería perimetral de ladrillo cerámico, asentados sobre cimientos de hormigón ciclópeo. Sobre el muro se ha instalado un cerramiento con carpintería metálica de tubos estructurales con porta vidrios. La cubierta se construyó con cabreada de perfiles metálicos, con cerramiento de vidrio transparente de 4 mm de espesor. Los divisores interiores son de tabiques estructurales con vidrio transparente y las paredes oeste y este son de mampostería de ladrillo cerámico, siendo éstas partes de las habitaciones destinadas a cámaras frigoríficas y de germinación respectivamente, que se encuentran en los extremos del invernadero [1].

Las temperaturas de operación nocturna del sistema de calentamiento del invernadero, por el tipo de cultivo que se desea ensayar y las características de los tratamientos, fueron fijadas en el intervalo comprendido entre 20 °C y 16 °C, estableciéndose una temperatura óptima de 18 °C, con niveles de humedad entre 60 y 80 %. De esta manera, la demanda de energía necesaria para obtener los 18 °C, durante el periodo nocturno y suponiendo una temperatura del ambiente exterior de 4 °C es de 16,7 kW. Esta temperatura mínima de referencia (4 °C) fue obtenida como el promedio de la mínima del

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

# Miembro de carrera del CONICET

mes más frío del año, promedio de los últimos tres años, medidos por el Servicio de Meteorología Urbana de la Facultad de Ciencias Agrarias, ubicado próximo al invernadero. Asimismo como el promedio de velocidad máxima de viento, durante la noche, en los mismos meses fue muy bajo, no se tuvo en cuenta en el cálculo. Además se consideró que las temperaturas de la cubierta, paredes y suelo, durante la noche, son próximas a la temperatura del aire en el interior del invernadero. Así se obtuvo: Pérdidas por radiación nocturna:  $q_r = 10,5 \text{ kW}$ ; Pérdidas por convección-conducción:  $q_{c-c} = 4,3 \text{ kW}$ ; Pérdidas por renovación e infiltraciones:  $q_{renov} = 1,9 \text{ kW}$ .

### CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA

Las partes que constituyen el sistema de calentamiento son, Fig.1.: a) Colectores intercambiadores de calor de plástico; b) Calentador de agua a gas natural; c) Acondicionadores de aire frío/calor.

Los colectores intercambiadores de calor son bolsas plásticas colocadas en la parte superior del invernadero. Están fabricados con polietileno transparente de 100 micrones de 1,20 m de longitud y 0,5 m de ancho. Están soldados de modo que el agua que ingresa por el extremo superior al bajar por gravedad hace un recorrido en zig zag. Durante el día actúa como colector solar captando la radiación incidente. El agua que circula por los canales de la bolsa, impulsada por una bomba de 3/4 HP, colecta parte de la radiación infrarroja del espectro solar con una eficiencia del 10 % y extrae el calor del aire del invernadero que convecta y se acumula en la parte superior de la cubierta, lugar donde están ubicadas las bolsas. De noche, estas bolsas actúan como intercambiador de calor devolviendo la energía acumulada durante el día. En ambas situaciones la transferencia se realiza con un coeficiente de transferencia comprendido entre  $8 - 12 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

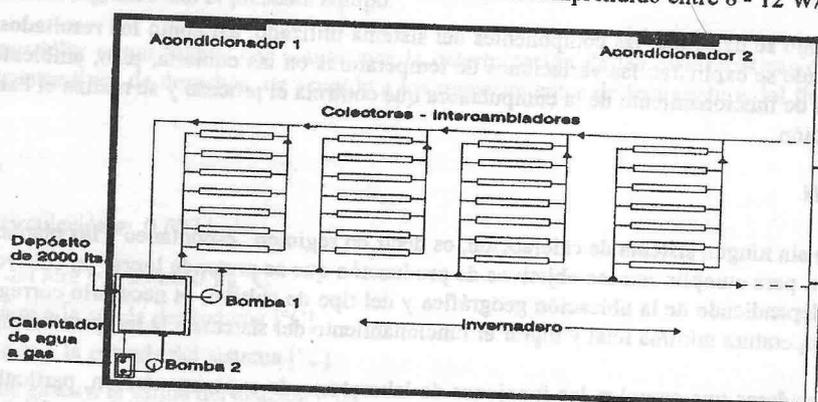


Fig.1. Esquema del sistema de calentamiento Sol - Gas

El calentador de agua a gas natural es una caldera tipo mural para calefacción domiciliar de alto rendimiento con una capacidad térmica nominal de 25,8 kW, capacidad térmica reducida de 10,6 kW, potencia térmica nominal 23,3 kW, potencia térmica reducida de 9,3 kW y un rendimiento directo nominal de 90,3%. Dispone de un vaso de expansión a membrana de 8/0,5 l/bar, regulación en temperatura de agua entre 30 - 85 °C, con una bomba incorporada que permite la circulación del agua con tres velocidades comprendidas entre 200 l/h y 1200 l/h para cargas comprendidas entre 4,5 mH<sub>2</sub>O y 1 mH<sub>2</sub>O. La potencia eléctrica nominal total, ventilador para evacuación de gases en tiro balanceado forzado y la bomba de circulación de agua, es de 170 W. El equipo auxiliar de apoyo para casos extremos está constituido por dos acondicionadores de aire de una potencia térmica nominal de 4,25 kW para calentamiento y 3 kW para enfriamiento, cada uno.

### RUTINA DE FUNCIONAMIENTO

El sistema de control se basa en la comparación de tres parámetros: temperatura de referencia, temperatura del ambiente interior al invernadero y la hora del día. La temperatura de referencia ( $T_{ref}$ ), es la temperatura de una placa de hierro pintada de negro de 4 cm de alto, 4 cm ancho y 0,01 cm espesor, colocada en el interior del invernadero sobre un vidrio del lateral norte, aislado del ambiente interior del invernadero por 5 cm de poliestireno expandido.

El sistema de medición y control está compuesto por una computadora PC AT/286, con reloj incorporado y una tarjeta PC Lab 812, sensores de temperatura tipo termistores clase NTH2011C, radiómetro Kipp & Zonnen y circuitos de comando de bombas y acondicionadores de aire.

Durante el día, si hay radiación ( $T_{ref} > 25 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) y la hora está comprendida entre las 9 y las 19 hs., el sistema de control ordena la puesta en marcha del banco de colectores plásticos colgados en el interior del invernadero y controla, cada 10 minutos, si la diferencia de temperatura entre la entrada y salida del agua es positiva o negativa. En caso de ser negativa automáticamente detiene la electrobomba 1 por espacio de 30 minutos; luego de este período, la pone en marcha durante 10 minutos. Si persiste la diferencia negativa la vuelve a detener, caso contrario continua funcionando. Si no hay radiación ( $T_{ref} < 25 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), la hora está entre las 9 y 19 hs y la temperatura es igual o menor que 20 °C, se enciende la electrobomba 1. Si la temperatura desciende a 18 °C se enciende la electrobomba 2. El agua se calienta por la caldera a gas, manteniéndola

a 37 °C mediante el sistema de regulación de llama que la misma dispone. En caso de que la temperatura baje de 16 °C se encienden los acondicionadores de aire hasta que la temperatura supera los 18 °C.

Durante la noche cuando la temperatura del invernadero es igual o menor que 20 °C, se enciende la electrobomba 1 para iniciar la circulación de agua a través de las bolsas. El agua caliente recircula por un depósito de 2000 lts de capacidad, aislado con 5 cm de lana de vidrio, que actúa como un acumulador de calor. Asimismo, cuando la temperatura desciende a 18 °C se produce el encendido de la caldera, iniciando la circulación del agua acumulada en el depósito a través de la misma, mediante la electrobomba 2. Esta permanece encendida manteniendo la temperatura del depósito en 37 °C hasta las 6 a.m.. A partir de esta hora queda funcionando solamente la electrobomba 1 para descargar el calor que todavía queda acumulado. Esta limitación en el funcionamiento del gas a partir de determinado horario, se debe a la necesidad de disponer del agua en condiciones adecuadas (baja entalpía) para iniciar el proceso de calentamiento con energía solar durante el día en el caso que se disponga de radiación.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

A efectos de realizar el balance de energía y comparar los resultados obtenidos con el método usado para calcular las pérdidas, se han instalado sensores de temperatura en la cubierta norte y sur, laterales norte y sur, piso a nivel y a 50 cm de profundidad, en el acumulador en la entrada y salida a los mismos y ambiente interior y exterior. Asimismo se instalaron termopares de Cu-Cn en distintos colectores - intercambiadores a efectos de evaluar su comportamiento [2]. Se usó para la medición del caudal que pasa por los intercambiadores y por la bomba de la caldera, caudalímetros a bolilla, obteniéndose 1320 l/h y 760 l/h, respectivamente.

En la fig. 2, se muestran los flujos de calor correspondientes a las pérdidas reales por radiación, convección - conducción y renovación, como así también el flujo total del calor perdido y el aporte debido al gas durante el período nocturno de un día del ensayo.

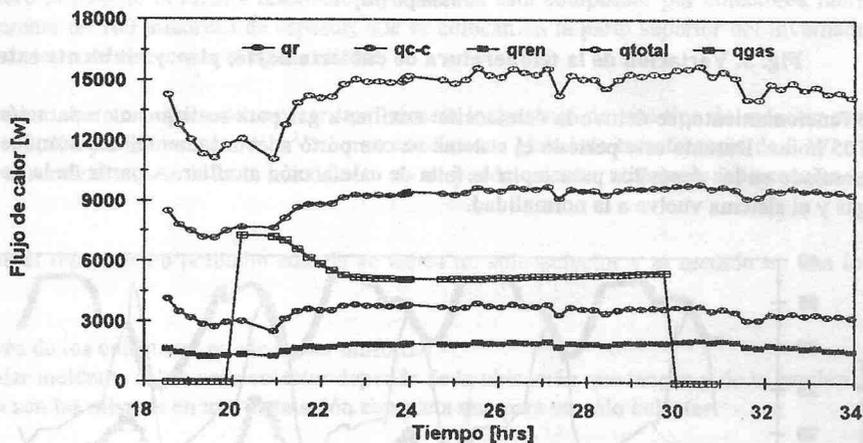


Fig. 2. Flujo de calor perdido y aporte de la caldera de gas

Como puede verse a partir de las 22 horas (10 p.m.) los flujos de calor se mantienen aproximadamente constantes:

$q_r = 9,5 \text{ kW}$ ,  $q_{c-c} = 3,7 \text{ kW}$  y  $q_{renov} = 1,9 \text{ kW}$  y con un flujo total de 14,3 kW. Asimismo, de los datos obtenidos se ve que las pérdidas máximas del invernadero se dan a las 7 a.m. y si se comparan con los cálculos teóricos la diferencia no supera el 10 %. El flujo de calor por radiación, medido experimentalmente es un 86 % del valor calculado teóricamente, con lo cual se valida el método utilizado para el cálculo de la demanda. Del análisis del balance de energía, Tabla I, se destaca lo expresado precedentemente en el sentido que el aporte del suelo, paredes y estructura es muy importante y constituye el 68,4 % del aporte total. Asimismo, el 10 % es aporte solar y el 21,6 % es aporte de la calefacción auxiliar a gas. Por otro lado, el sistema de calentamiento solar con una eficiencia global del 12,5 % ha colectado 61 MJ y tiene una disponibilidad, antes de iniciar el día solar (8 a.m.) de 158 MJ y de 150 MJ al finalizar.

Tabla I: Balance de energía del invernadero calefaccionado

Energía solar incidente: 16,96 MJ/m <sup>2</sup>	Energía total incidente: 763,2 MJ
Energía disponible en el acumulador al inicio: 158 MJ	Energía disponible en el acumulador al final: 150 MJ
Energía solar total colectada: 61 MJ	Energía aportada por la caldera a gas: 173 MJ
Energía solar aportada por el acumulador: 80 MJ	Energía aportada por la estructura, piso y paredes: 547 MJ
Energía perdida por radiación: 505 MJ	Energía perdida por conducción - convección: 196 MJ
Energía perdida por renovaciones de aire: 99 MJ	Energía total perdida: 800 MJ

En la Fig.3 se muestra la evolución de la temperatura del ambiente exterior en comparación con la temperatura de la cubierta norte y la temperatura a nivel de piso y a 50 cm de profundidad. Se puede observar que la temperatura de cubierta para el día más frío no es menor a 13 °C y solo es inferior en 3,3 °C respecto al ambiente interior. En cuanto al comportamiento del piso se advierte que el mismo acumula una cantidad de energía importante, que luego la entrega durante la noche. Durante el día, cuando está en estado de régimen, el agua del tanque eleva su temperatura aproximadamente 5 °C por calentamiento solar y por aporte del ambiente interior al invernadero. A partir de las 20 horas, se enciende automáticamente la caldera a gas y permanece encendida hasta las 6 a.m., para asegurar que la temperatura del agua se mantenga entre 37 y 35 °C, como puede verse en la Fig. 4. Se observa además, que para una temperatura mínima de 3,4 °C, la temperatura interior del invernadero fue de 16,3 °C, manteniéndose siempre superior a 16 °C, razón por la cual en ningún momento de la experiencia se prendieron los acondicionadores de aire.

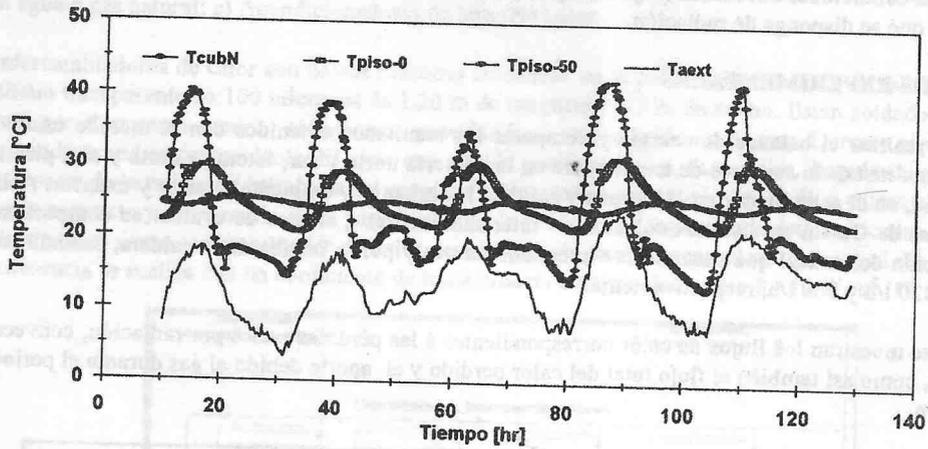


Fig. 3. Variación de la temperatura de cubierta norte, piso y ambiente exterior

A las 90 horas de funcionamiento, se detuvo la calefacción auxiliar a gas para realizar una reparación en la cañería, reanudándose a las 105 horas. Durante este periodo el sistema se comportó adecuadamente, destacándose que el sistema recurrió al calor acumulado en los depósitos para suplir la falta de calefacción auxiliar. A partir de la hora 112 se restablece el suministro de gas y el sistema vuelve a la normalidad.

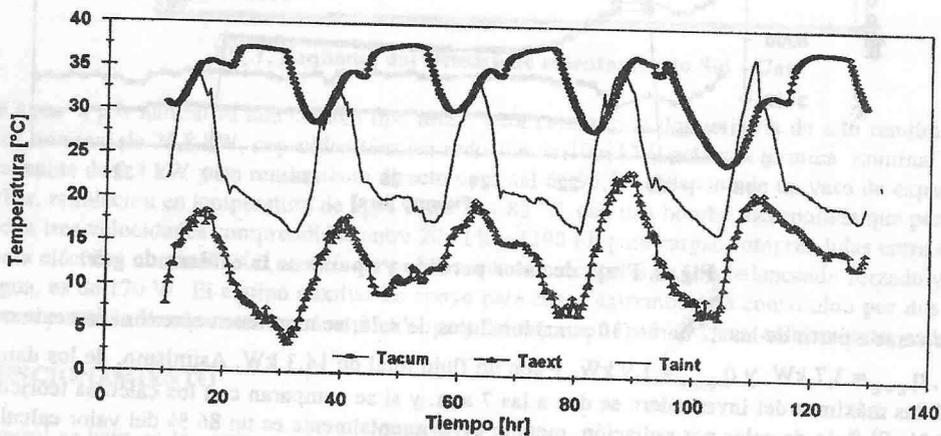


Fig.4. Variación de las temperatura interior del invernadero calefaccionado, acumulador y ambiente exterior

## CONCLUSIONES

El sistema combinado sol - gas se ha comportado de acuerdo con los cálculos previos y permite disponer de un sistema adecuado para calefaccionar invernaderos que tengan acceso al gas natural. Es necesario mejorar el sistema de control de manera tal, que permita conmutar los comandos frío/calor del acondicionador de aire, para enfriar automáticamente cuando en los días de invierno la temperatura interior supere los 30 °C.

## REFERENCIAS

- [1] A. Iriarte, S. Bistoni et al "Invernadero para el control fisiológico y suministro de plantas: Comportamiento experimental ASADES'95 San Luis.
- [2] S. Bistoni, et al, "Comportamiento de un colector solar - intercambiador de calor en un invernadero". ASADES'96.