

# INVERNADERO CALEFACCIONADO CON ENERGIA SOLAR Y/O CONVENCIONAL

Jorge A. Follari

Laboratorio de Energía Solar - Universidad  
Nacional de San Luis  
Tecno Solar S.R.L.

Chacabuco y Pedernera - 5700 San Luis  
Raúl B. Díaz 2938 - 5700 - San Luis.T.E.0652-28925

## 1-RESUMEN

En un trabajo anterior (1) presentamos la propuesta de un invernadero calefaccionado con energía solar para el cultivo contraestación de especies tales como tomates, pimientos, flores ect..

Se componía de una cisterna aislada y un colector plástico horizontal. En la faz experimental se determinó la demanda térmica utilizando energía convencional (kerosene) comparándolo con los previos cálculos teóricos. Se obtuvieron en dicha experiencia resultados positivos respecto del cultivo, tanto desde el punto de vista de la cantidad como de la calidad.

En el presente trabajo se experimentó la calefacción solar del invernadero en todos sus aspectos.

## 2-COLECTOR SOLAR

El colector solar construido se muestra en el esquema. Sobre terreno nivelado se colocan 5 cm de telgopor. Luego un film de polietileno negro con los bordes sobreelevados 20 cm, constituyendo así una balsa contenedora del agua. Sobre ésta flota otro film de polietileno transparente, calida U.V.de 100 micrones y finalmente un último film de polietileno / U.V.como el anterior, pero de 150 a 200 micrones va apoyado sobre un alambre / que va de punta a punta

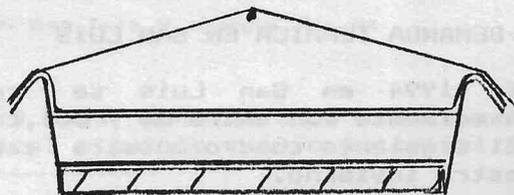


Fig. 1-Esquema del colector  
plastico horizontal

por la línea central del colector a unos 60 a 70 cm de altura tensado desde los bordes y luego enterrado, dejando solo los caños de ingreso y salida del agua. Este último plástico mantiene una cámara de aire entre el polietileno flotante en el agua y el exterior. El alambre puede ser reemplazado por una pila de ladrillos, como lo hicimos nosotros.

Como puede apreciarse es un colector que cualquier persona que construye un invernadero puede realizar con las necesarias instrucciones. Esto permite una rápida difusión entre los usuarios.

///

///

El rendimiento fue evaluado a través de mediciones diarias durante todo el invierno, tomando para ello las temperaturas ingreso y salida a la tarde del agua del colector, temperatura ambiente, radiación y cantidad de agua. Seleccionando las mediciones más confiables construimos la siguiente curva:

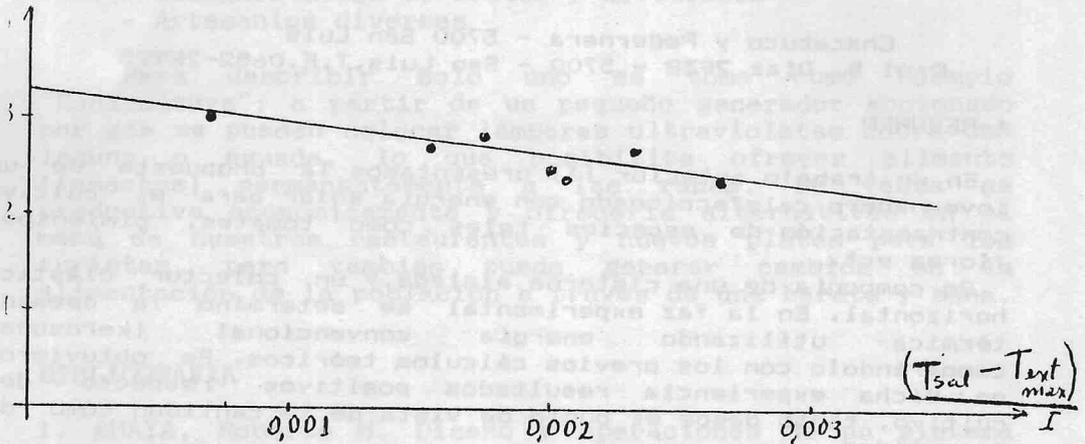


Fig. 2-Rendimiento del colector en función de la diferencia de temperaturas de salida menos la temperatura ambiente máxima sobre la radiación. -

Como se aprecia en la gráfica el rendimiento es  $\eta = .35 - 40\Delta T/I$  o sea que en el rango de interés trabaja entre 25 y 30 %, inferior al medido en un prototipo, anteriormente la causa principal es el polvillo que se deposita sobre el plástico, que no fue removido por que se supone que en uso real no se lo limpiaría, y queríamos medir en esas condiciones.

#### -DEMANDA TERMICA EN SAN LUIS

En 1994 en San Luis se registraron veinte heladas (normalmente van entre 20 y 30), con mínimo absoluto de  $-8,5^{\circ}\text{C}$ . El siguiente cuadro muestra características climáticas de nuestro invierno.

Temperaturas	N° de Días	Temp. Promedio de Mínimo
Heladas	20	$-2,3^{\circ}\text{C}$
$\geq 0^{\circ}\text{C}$ hasta $5^{\circ}\text{C}$	59	$0,7^{\circ}\text{C}$
$\geq 5^{\circ}\text{C}$ hasta $8^{\circ}\text{C}$	18	$6,2^{\circ}\text{C}$

///

La medición de la demanda térmica realizada en el trabajo de referencia nos dio que para mantener el invernadero 9,4°c por encima de la temperatura exterior, se requieren 501 MJ por noche para el invernadero de 100 m<sup>2</sup> (160 m<sup>2</sup> de cubierta plástica).

Si trabajamos con temperatura de salida de 15°c por encima de la máxima media, o sea en julio entre 30°c y 33°c tendremos un rendimiento del 28 % para radiaciones de 11.000 MJ, lo que nos proveerá de 462 MJ para una superficie de colector de 1,5 m<sup>2</sup> para cada m<sup>2</sup> de superficie del invernadero.

La radiación en San Luis presenta la siguiente estadística entre el 15 de Mayo y el 15 de Septiembre y la energía obtenida por m<sup>2</sup> sería:

RADIACION MJ/m <sup>2</sup> -día	% DE DIAS	APORTE DE LA ENERGIA M <sup>2</sup> /M <sup>2</sup> de INVERNADERO	ΔT OBTENI- BLE
Mas de 11.000	59,6 %	Mas de 46,2	Mas de 8,6°
De 7250 a 11.000	22,7 %	De 30,4 a 46,2	De 5,65° a 8,6°c
De 3625 a 7250	13,7 %	De 15,2 a 30,4	De 2,8°c a 5,6°c
Debajo de 3625	10 %	Menos de 15,2	Menos de 2,8°c

CUADRO 2.-Estadística de radiación en San Luis y energía por m<sup>2</sup> de Invernadero.

Esto significa que de los 120 días considerados el aporte solar se puede caracterizar en el siguiente cuadro estadístico:

NUMERO DE DIAS	TEMPERATURAS QUE SE ALCANZAN CON EL APORTE SOLAR
59	Mas de 8,2°c
32	Mas de 6,2°c
18	Mas de 4,2°c
12	Mas de 2,2°c
5	Mas de 0°c

Esto nos permite calcular el requerimiento de energía convencional para mantener los  $8^{\circ}\text{C}$  de temperatura máxima en el invernadero durante toda la temporada. El requerimiento es de  $1,6 \text{ l/m}^2$  de invernadero por la temporada (o sea  $\$0,4/\text{m}^2$ ).

#### 4.-CISTERNA AISLADA

Vemos en la referencia citada que la cisterna requiere construirse con pala mecánica. La superficie debe ser suave para no romper el plástico, lo que requiere terminación. Luego se colocan las aislaciones, el polietileno, los caños para sacar y poner el agua, luego el agua y después otro film de polietileno flotante. A continuación va la aislación superior y otro film negro tapando éste. La realización mostró varias dificultades no fáciles de resolver para un constructor de invernaderos.

Evaluamos las pérdidas térmicas de la cisterna construídas con aislación de 5cm en costados y arriba y capacidad de 60.000 litros.

La superficie aproximada es de  $190 \text{ m}^2$ . Esto significa una superficie por unidad de volumen de  $3,16 \text{ m}^2/\text{m}^3$ , mayor a la cisterna prevista para invernadero real de  $1.000 \text{ m}^2$ , que era de  $333 \text{ m}^2$  y  $2 \text{ m}^2$  de profundidad, con una relación superior por unidad de volumen de  $1,3 \text{ m}^2/\text{m}^3$  (teniendo en cuenta que los plásticos disponibles tienen hasta 8 metros de ancho).

Para un día bueno, el calor recibido del colector de  $60 \text{ m}^2$  se usa en un 61 % para aumentar la temperatura de la cisterna y el 39 % restante lo pierde a través de sus paredes. O sea que las pérdidas resultaron ser de  $26 \text{ KJ}/\text{día} \cdot \text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$  con vientos de  $40 \text{ Km/h}$  presentes en el invierno un 20 % del tiempo en promedio.

Esto significa en la práctica un promedio de  $36,8 \text{ KJ}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{día}$  de pérdida de calor, frente a  $35 \text{ KJ}/\text{día} \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2$  sin viento que había sido estimada previamente.

Si damos la pérdida por  $\text{m}^3$  de agua almacenada, que es lo que interesa para un acumulador de calor, entonces el valor que nos da es de  $116,5 \text{ KJ}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^3$  para la pérdida de la cisterna construída, frente a un valor de  $82 \text{ KJ}/\text{día} \cdot \text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$  de una cisterna igual pero de las dimensiones previstas para un invernadero de  $1.000 \text{ m}^2$  o sea un 42 % de mayores pérdidas por  $\text{m}^3$ .

Se presentaron también problemas con el movimiento del plástico superior que mueve la aislación, provocando puentes térmicos en lugares pocos accesibles, aumentando las pérdidas de calor por encima de los valores dados.

#### 5.-CAMBIO DE ESTRATEGIA

Teniendo en cuenta las dificultades constructivas de la cisterna, su incidencia en los costos, los puentes térmicos/

que se producen y el porcentaje de días en que presenta utilidad se replanteó la estrategia de funcionamiento prevista originalmente por la siguiente.

El agua es calentada en el colector y a la tarde (16:00 17:00 horas) se envía al interior del invernadero y queda almacenada en mangas colocadas a lo largo de los surcos como se aprecia en la figura 3 de diámetro a determinar.

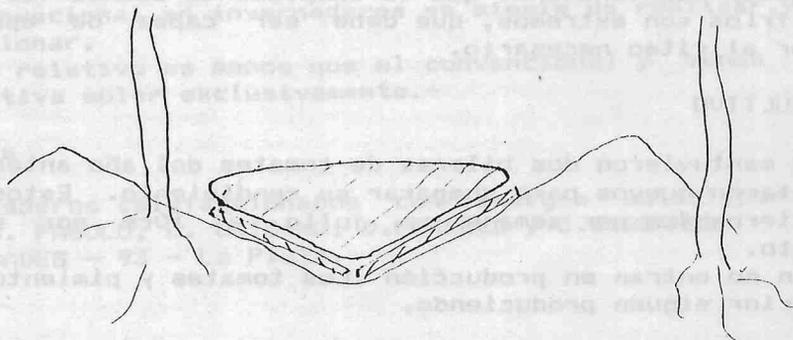


FIG. 3.- Esquema de ubicación de las mangas calefactoras.

Para eso se construyó un estanque interno en el invernadero de 1m de ancho por 8m de largo y la profundidad necesaria para recibir el agua del colector. Este estanque estaba tapado con polietileno flotante a fin de evitar las evaporaciones.

#### 6.-EVALUACION EXPERIMENTAL DE LA ALTERNATIVA

Dado que en este caso el agua estaba quieta, la transferencia de calor es diferente de la medida para el intercambio de plástico con agua circulando. Las mediciones nos dieron un valor de  $8,3 + 0,3 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Por otro lado vemos que para San Luis es necesario mantener  $9,4^\circ\text{C}$  de máxima diferencia aportada por la energía solar del invernadero con el exterior. Eso nos determina la superficie requerida que resulta ser de  $0,22 \text{ m}^2$  de sup./ $\text{m}^2$  de invernadero. Si usamos mangas de 12" puestas en el fondo del surco, les queda una superficie aproximada de 33cm en contacto con el aire y otros 61cm en contacto con la tierra. La tierra está normalmente húmeda por lo que conviene aislar esa superficie en contacto con la tierra a fin de evitar pérdida de energía en evaporación. Haciendo ésto nos quedan los 33cm de la sección de manga en contacto con el aire a los fines de intercambio. De modo que se requieren 8 mangas a lo largo del invernadero, aproximadamente surco por medio o 2 cada 3 surcos.

Por otro lado, para temperaturas máximas de  $45^\circ\text{C}$ , se

requieren 40 l/m<sup>2</sup> de invernadero, o sea 40 l en 1m de manga.  
 Este es el volúmen aproximado de un triángulo equilátero de base invertida de 33c.

Con este dimensionamiento de las mangas y 1,5m<sup>2</sup> de colector por cada m<sup>2</sup> de invernadero conseguimos entregar la suficiente energía para mantener una diferencia de temperatura máxima de 9,4°c del invernadero con el exterior, en julio.

Es claro que esta alternativa supone alguna estufa o quemador convencional que la complemente cuando falta sol o los fríos son extremos, que debe ser capaz de aportar ese calor al ritmo necesario.

### 7.-CULTIVO

Se mantuvieron dos hileras de tomates del año anterior y se plantaron nuevos para comparar su rendimiento. Estos últimos crecieron 4cm por semana en julio, y 10cm por semana en agosto.

Aún no entran en producción .Los tomates y pimientos del año anterior siguen produciendo.

### 8.-ANALISIS ECONOMICO

Colector: Este colector se puede realizar en un costo total de 3,2\$/m<sup>2</sup>. Se sugiere 1,5m<sup>2</sup> de colector por cada m<sup>2</sup> de invernadero.

Los costos de bomba e intercambiados se estiman en 0,8\$/m<sup>2</sup> de invernadero.

Los costos del invernadero, estructura y plástico colocado se estima en \$4,2/m<sup>2</sup>.

De esta manera la posible comparación de costos, beneficios en el tiempo sería la siguiente: para 1.000m<sup>2</sup> de invernadero

<u>Solar auxiliado con convenc.</u>		<u>Convencional</u>	
Inversión inicial	\$9.800	Invernadero	\$4.200
(Colector inverna- dero Intercambia-/ dor)			
Quemador convenc.	\$ 500		\$ 500
Cultivo y Funcionam.	\$ 1100		\$ 1100
Combustible	\$ 400	(Kerosene)	\$2.140
<u>Segundo Año:</u>			
Mantenimiento	\$ 700		\$ 700
Cultivo y Funcionam.	\$ 800		\$ 800
Combustible	\$ 400		\$2.140
Costo en diez años	\$28.600		\$40.400

