

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN SISTEMA INTEGRADO INVERNADERO-SECADOR CON CALENTAMIENTO COMBINADO SOLAR-BIOMASA

L. Saravia, R. Echazú,* C. Cadena,° M. Quiroga

INENCO +, Instituto de Investigación en Energía No Convencional

Universidad Nacional de Salta, Buenos Aires 177, 4400 Salta, Argentina

RESUMEN

Se propone la utilización de un sistema que integra un invernadero tipo túnel con una cámara de secado, instalada dentro de la misma estructura.

El invernadero cuenta con un sistema activo de captación de energía solar y acumulación. Un quemador de desechos agrícolas o leña provee la energía auxiliar para el secado o para la calefacción del invernadero cuando la radiación solar no es suficiente.

La figura 1 es una vista en planta del sistema completo.

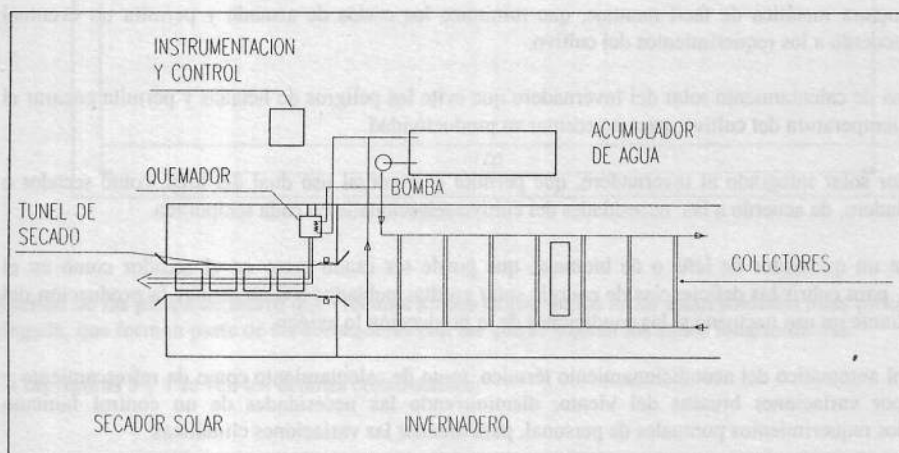


FIGURA 1

INTRODUCCION

En la región Noroeste de Argentina, la producción agrícola se encuentra en crisis por la situación económica de los cultivos tradicionales como el tabaco y la caña de azúcar.

Entre las alternativas de mayor interés se encuentra el cultivo intensivo en invernadero, de hortalizas, frutales, flores etc.

Algunos de estos productos como el pimiento para pimentón o para oleoresinas requieren un secado posterior a su cosecha, para ser comercializados.

* Auxiliar de Investigación del Consejo de Investigaciones de la UNSA

° Profesional Adjunto del CONICET

+ Instituto UNSa - CONICET

El cultivo en invernadero está muy difundido en la zona norte de las provincias de Salta y Jujuy y en los últimos años empezó a extenderse también en los valles templados de estas provincias, tradicionalmente dedicados al tabaco.

En esta zona, por las condiciones climáticas, los invernaderos necesitan calefacción algunos días de invierno en que las temperaturas mínimas alcanzan los 5 a 8 °C bajo cero.

Por otro lado son frecuentes los días de alta radiación que dan lugar a un recalentamiento del invernadero, aún en invierno.

Teniendo en cuenta los requerimientos descriptos, se ha diseñado un sistema integrado de producción bajo cubierta y secado, que utilice la radiación solar como fuente energética básica y tenga la suficiente flexibilidad para adaptarse a las necesidades planteadas por los distintos cultivos, de acuerdo a las urgencias del mercado.

Los principales elementos incorporados en el diseño son:

- 1) El uso de un invernadero tipo macrotúnel, con un ancho no superior a 7 metros, cortinas laterales levantables y líneas de cultivo transversales, para asegurar una ventilación adecuada que controle los problemas de recalentamiento.
- 2) Una estructura metálica de fácil montaje, que minimice los costos de armado y permita un eventual traslado de acuerdo a los requerimientos del cultivo.
- 3) Un sistema de calentamiento solar del invernadero que evite los peligros de heladas y permita encarar el aumento de temperatura del cultivo, para acrecentar su productividad.
- 4) Un secador solar integrado al invernadero, que permita el eventual uso dual del área, como secador o como invernadero, de acuerdo a las necesidades del cultivo seleccionado en cada temporada.
- 5) El uso de un quemador de leña o de biomasa, que puede ser usado tanto en el secador como en el invernadero, para cubrir las deficiencias de energía solar en días nublados o incrementar la producción del secador mediante un uso nocturno si las condiciones de la producción lo exigen.
- 6) Un control automático del acondicionamiento térmico, tanto de calentamiento como de refrescamiento y protección por variaciones bruscas del viento, disminuyendo las necesidades de un control humano constante y los requerimientos puntuales de personal, para atender las variaciones climáticas.

En este trabajo se describe el diseño y construcción del sistema.

El sistema será monitoreado con el fin de verificar el comportamiento general de los equipos de acondicionamiento térmico, y en particular realizar el balance energético del invernadero y secador y el balance hídrico del invernadero.

Este último es de importancia, tanto para controlar la efectividad de los procedimientos de fertirrigación adoptados, como el cierre del balance energético, dado el peso de los procesos de evapotranspiración en el comportamiento energético del invernadero.

Por tal razón se incorporó un lisímetro gravimétrico al sistema de medidas y otros medidores más sencillos de evapotranspiración, para estudiar la posibilidad de uso de métodos más simples para realizar el balance hídrico.

ESTRUCTURA

La estructura de el macrotúnel está formada por arcos semicirculares, columnas y piezas longitudinales, todo de caño estructural de acero.

Los arcos están formados por dos tubos de 1" de diámetro, separados 20 cm como se indica en la

figura 2. Esta disposición facilita la colocación de una cubierta doble, a la vez que se obtiene una estructura muy resistente. El desarrollo de cada arco es de 8 m para un buen aprovechamiento de el polietileno tipo LDT de 9 m de ancho.

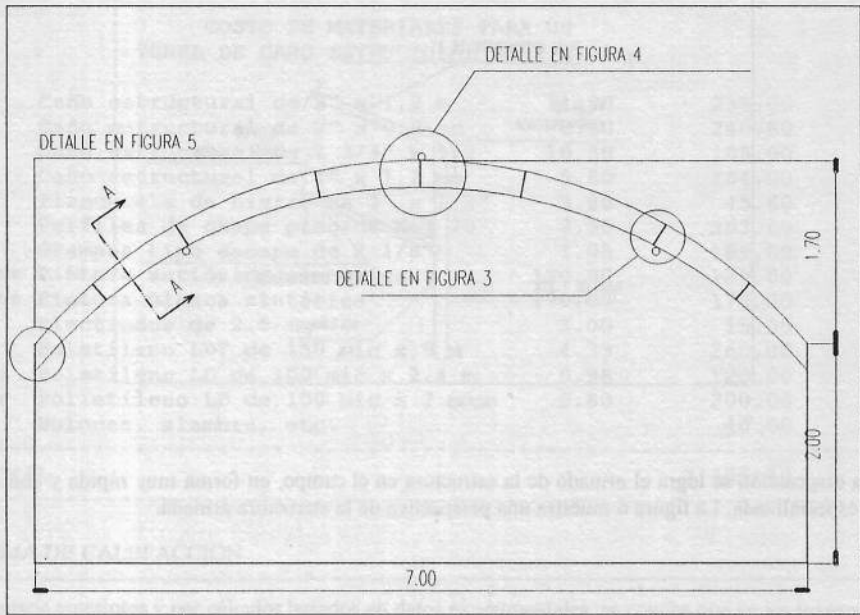


FIGURA 2

Ademas de las piezas de hierro que vinculan ambos caños, en los arcos están soldadas unas piezas de chapa plegada, que forman parte de las abrazaderas con las que se sujetan los caños longitudinales.

En las figuras 3 y 4 se ven los detalles constructivos.

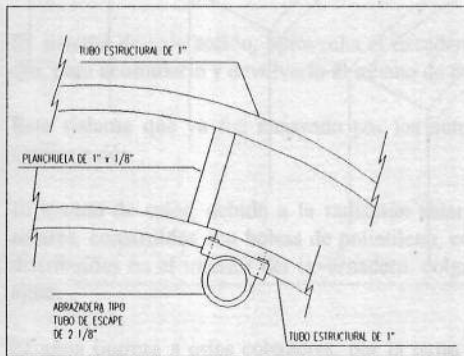


FIGURA 3

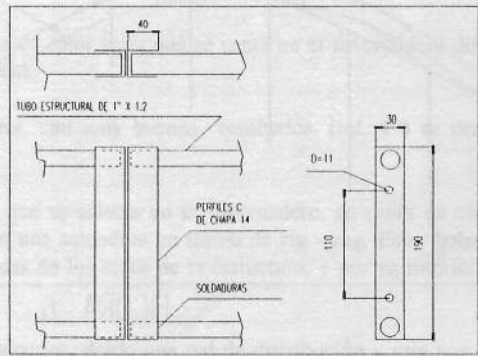


FIGURA 4

El extremo de cada arco está soldado a una pieza corta de caño, que se coloca dentro del caño de cada columna y se fija a ésta con un tornillo. De el mismo modo se fijó la base de cada columna a otra pieza de caño, fundada en el terreno.

Completan la estructura metálica las piezas de chapa plegada que se indican en la figura 5. La exterior sirve para distribuir longitudinalmente la tensión del plástico de la cubierta y para sostener las cortinas mientras

que la de adentro es una canaleta para derivar el agua de condensación que se acumula entre las dos cubiertas.

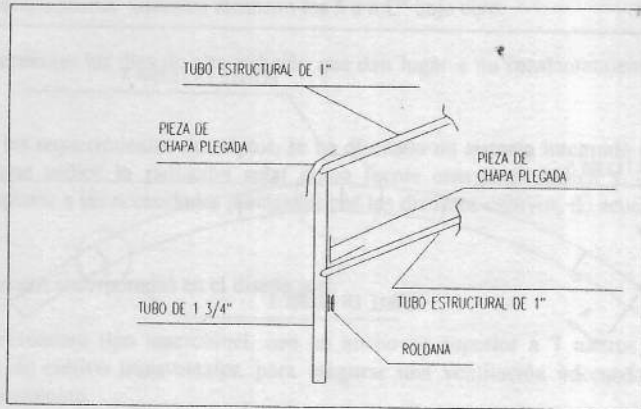


FIGURA 5

Con esta disposición se logra el armado de la estructura en el campo, en forma muy rápida y con mano de obra no especializada. La figura 6 muestra una perspectiva de la estructura armada.

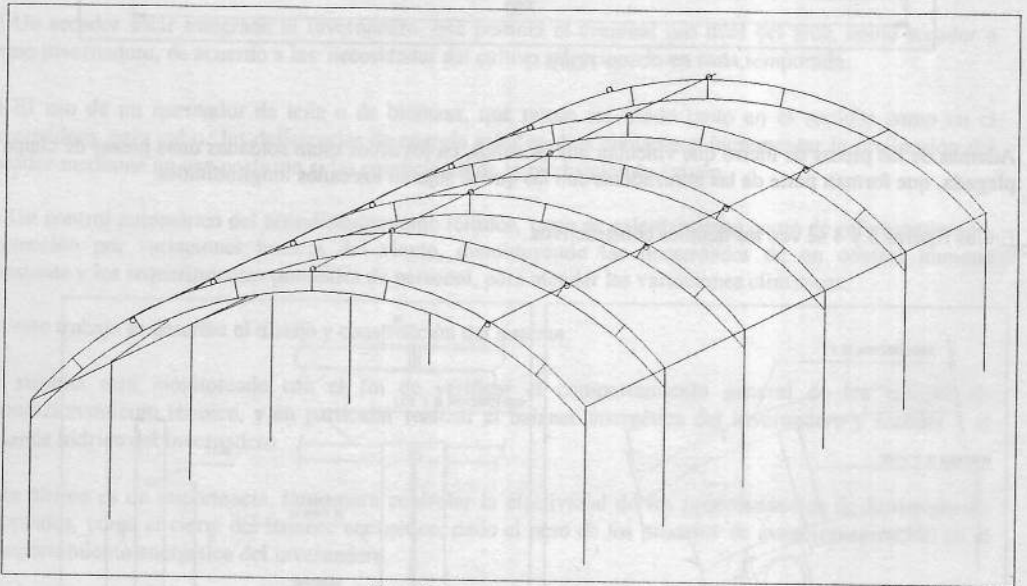


FIGURA 6

Las cortinas laterales, de polietileno LD de 100 mic, están fijadas a la estructura por su lado superior, mientras que abajo están unidas a una pieza de hierro redondo de 10 mm, y pueden levantarse para ventilar el invernadero cuando la temperatura es excesiva. Este movimiento se realiza con un mecanismo formado por un cable de acero unido a sogas de nylon con una roldana en cada columna. El extremo inferior de cada soga está atado al hierro de 10 mm y el superior al cable de acero, el que está extendido por todo el largo de el invernadero.

Un motor con una caja de engranajes, enrolla y desenrolla el cable para subir y bajar las cortinas.

COSTOS

Como dato ilustrativo, presentamos una tabla de costos de los materiales del invernadero. Los precios son a consumidor final, en Salta, en agosto de 1993.

COSTO DE MATERIALES PARA UN TUNEL DE CAÑO ESTRUCTURAL DE 7 x 55 m

20	Caño estructural de 2" x 1.2 m	11.80	236.00
28	Caño estructural de 2" x 0.9 mm	8.60	240.80
10	Caño estructural de 1 3/4" x 1.2	10.50	105.00
80	Caño estructural de 1" x 1.2 mm	5.80	464.00
12	Planchuela de hierro de 1" x 1/2"	3.80	45.60
58	Perfiles de chapa plegada No. 20	3.50	203.00
180	Grampas tipo escape de 2 1/8"	1.05	189.00
20 lts	Pintura antióxido sintética	120.00	120.00
20 lts	Pintura blanca sintética	170.00	170.00
5 Kg	Electrodos de 2.5 mm	3.00	15.00
60 m	Poletileno LDT de 150 mic x 9 m	4.33	260.00
125 m	Poletileno LD de 100 mic x 2.4 m	0.96	120.00
250 m	Polieltileno LD de 100 mic x 2 m	0.80	200.00
	Bulones, alambre, etc.		40.00

SUBTOTAL			2.408.40

SISTEMA DE CALEFACCION

Por ensayos anteriores y por cálculos basados en datos experimentales, se conoce que en un invernadero con una sola cubierta plástica, en el valle de Lerma, la temperatura interior puede descender hasta 0 °C, en invierno, cuando la temperatura ambiente exterior llega a -2 ó -3 °C.

Puesto que estas temperaturas son letales para las plantas, es imprescindible contar con un sistema de calefacción para llevar a buen término el cultivo.

Si además el sistema de calefacción permite mantener el interior del invernadero a una temperatura mayor, es conocido que esto favorecerá el desarrollo de las plantas y se aumentarán los rendimientos. Para el caso del pimiento, las temperaturas óptimas son de 17 °C de día y 11 °C de noche.

El sistema de calefacción, aprovecha el excedente de calor solar que se capta en el invernadero durante el día, para acumularlo y devolverlo al mismo de noche.

Este sistema que ya fué ensayado por los autores, con muy buenos resultados, (ref. 1) se describe a continuación :

El exceso de calor, debido a la radiación solar, que se colecta en el invernadero, se capta en colectores solares, contruídos con bolsas de polietileno, con una soldadura en forma de zig - zag. Estas bolsas están distribuídas en el interior del invernadero, colgadas de los arcos de la estructura, y por su interior circula agua.

El agua ingresa a estos colectores, por la parte superior, desde una red de distribución y sale por la parte inferior, siendo recogida en una canaleta formada con el mismo material que las bolsas. Una red de tuberías recoge esta agua, la que por gravedad circula hacia un depósito. En la figura 7 vemos en detalle el colector.

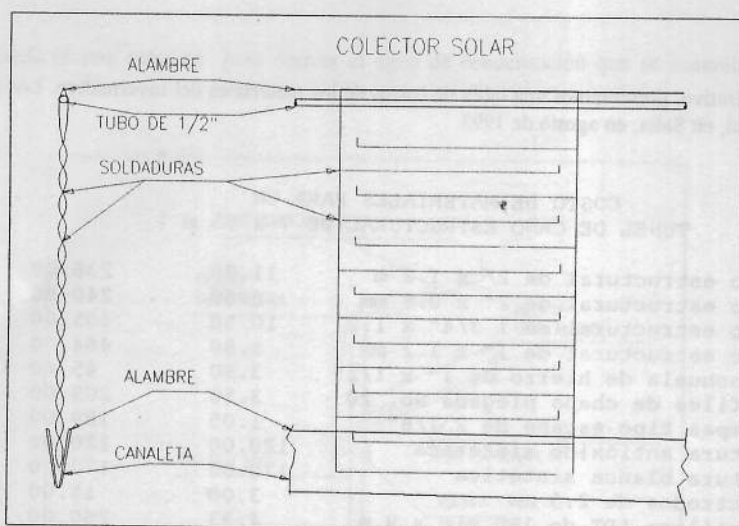


FIGURA 7

Una bomba eléctrica, succiona el agua de el fondo del depósito y la envía a la red primaria de distribución, cerrando el circuito.

Durante el día, el agua aumenta su temperatura al atravesar la bolsa, por dos efectos: 1) - El aire del invernadero, transfiere calor a las bolsas y éstas al agua. 2) - El agua en el interior de las bolsas absorbe parte de la radiación solar, lo que aumenta su temperatura.

El agua absorbe radiación solar infrarroja, como es muy transparente en la zona visible, no compite por radiación con el cultivo.

Durante la noche, cuando es necesario aportar calor al invernadero la bomba hace circular agua por el sistema, en el mismo sentido, pero el calor acumulado en el depósito, se transfiere ahora desde el agua al ambiente.

SECADOR

Un extremo de la estructura, de 13 m de largo separado por un tabique de plástico, está destinado al secador. La cámara de secado es un túnel de 1.20 m de ancho y 1.90 de altura, ubicado en el centro de este sector. Los sectores laterales se usan como colectores solares.

El aire proveniente del exterior, circula primero por esta zona de colección solar y luego por dentro del túnel impulsado por un ventilador axial. En el interior del túnel, están los carros con las bandejas que contienen el producto a secar.

Una forma alternativa de aplicación es utilizando la zona de cultivo como colector solar y enviando el aire desde ésta, directamente al túnel. Para esto se cambia la ubicación del ventilador, lo que está previsto en su montaje.

QUEMADOR E INTERCAMBIADORES DE CALOR

En uno de los sectores laterales del secador se instaló un horno de leña o de desechos agrícolas. Esta construido en ladrillo y se le agregó un pequeño ventilador tangencial para forzar la combustión.

Por medio de un juego de registros se controla la circulación de los gases de combustión hacia el intercambiador de calor que calienta la corriente de aire para secado, o a un intercambiador aire-agua para calentar el agua del acumulador de calor.

SISTEMA DE MEDICIONES Y CONTROL

Se utiliza un sistema autónomo de captación y control que consta básicamente de una computadora personal, de una plaqueta de captación de datos, algunas interfases de acondicionamiento de las señales provenientes de sensores tales como: medidores integrados de temperatura, de humedad, de velocidad y de dirección del viento, radiación solar, etc.

La plaqueta tiene también salidas, que por medio de un tablero de potencia, controlan la bomba y el mecanismo de cierre y apertura de las cortinas laterales.

El sistema mide los parámetros, los evalúa y en base a algunas subrutinas especialmente calculadas, actúa sobre las interfases de control.

La energía eléctrica para este equipo es provista por una batería de 12 V, que puede ser alimentada con paneles fotovoltaicos.

Este sistema de medidas y control ya fué descrito previamente (5)

MEDICION DE EVÁPOTRANSPIRACION

Merece un párrafo aparte la descripción del instrumental de medida de la evapotranspiración.

Los objetivos de su medida son en primer lugar la obtención de datos válidos de evapotranspiración a través de lisimetría para su introducción conjuntamente con otras variables térmicas en un balance energético detallado del sistema, comparando los valores de evapotranspiración que resulten de las mediciones lisimétricas con los obtenidos mediante fórmulas basadas en parámetros físico climáticos, a fin de evaluar la validez de su uso en condiciones de invernáculo.

Estos datos, son además de aplicación práctica inmediata, para optimizar la aplicación de riego y fertirrigación.

La evapotranspiración comprende conjuntamente la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración del cultivo. Se calcula en función de los términos (I) Irrigación, (D) Agua de Drenaje y (Vw) variaciones en el contenido de agua de la masa de suelo.

$$ET= I - D +/- Vw$$

Para medir los términos necesarios para el cálculo de evapotranspiración se construyó un lisímetro gravimétrico de 0.6 x 2.5 x 0.8 m , el que se instaló en el centro de el invernáculo.

El sistema de control y registro de medida es automatizado con registros cada 10 minutos.

El término (I) se mide, como por la variación en el registro de peso del lisímetro en el momento del riego.

El término (D) se mide a través de sensores automáticos de registro de nivel, con control directo diario.

Todas estas medidas se toman con el equipo automático.

(Vw) los cambios de peso (corregidos por precipitación y drenaje) y medidos directa y automáticamente dan los valores de este término.

Los valores de ET (mm/día) se calculan simultáneamente por otros métodos basados en el cálculo de la evapotranspiración de referencia o demanda atmosférica de humedad (ET_o) y coeficientes culturales relativos a la fase fenológica del cultivo (K_c) empíricamente determinados para condiciones de invernáculo, recabados de bibliografía.

$$ET = ET_o \times K_c$$

Para el cálculo de ET_o se emplean:

- 1) Fórmulas basadas en parámetros físico - climáticos, como las de Radiación, Penman y Blaney Criddle.
- 2) Evaporímetro de Piche.

De la comparación de los valores obtenidos por lisimetría y por los métodos mencionados, a lo largo del período de cultivo podrá surgir el método que más se aproxime a las mediciones lisimétricas, o bien el factor de corrección necesario.

Con ello se busca un método más simple, de aplicación futura para la estimación correcta de la evapotranspiración en condiciones similares.

Este estudio se considera sólo una primera aproximación, ya que son necesarios más de un período de cultivo para arribar a resultados concluyentes.

CRONOGRAMA DE OPERACION

Se presenta un posible cronograma de operación para el sistema, con un cultivo de pimiento para oleoresina, el secado de la producción y el aprovechamiento de biomasa excedente de otros productos.

	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV
Almácigo		-----										
Transplante			---									
Crec. Vegetativo				-----								
Cosecha							-----					
Secado de paja de maíz u otros				-----								
Secado de pimiento								-----				

REFERENCIAS

- 1.- "Calentamiento Solar de Invernaderos en la Provincia de Salta", L. Saravia et. al. Actas de la 15a. Reunión de Trabajo de la ASADES, p.p. 371, Catamarca, 1992.
- 2.- "Secador Invernadero de Tipo Túnel", L. Saravia et. al. Idem p.p. 379.
- 3.- "Perfomance y Diseño de Secaderos - Invernaderos de Convección Forzada", L. Saravia, et. al. Actas del IV Congreso Iberoamericano de Energía Solar. Madrid 1990. p.p. 13
- 4.- "Secadero - Invernadero de Doble Cámara": L. Saravia et. al. Idem p.p. 37.
- 5.- "Sistema Autónomo de Adquisición de Datos", L. Saravia, et. al. Actas de la 76a. Reunión de la Asociación de Física de la Argentina. Tucumán, 3 al 7 de octubre de 1991. p.p. 399.