

CONSTRUCCION Y MONITOREO DE UN INVERNACULO Y LOCAL ADYACENTE CON  
CALEFACCION AUXILIAR POR POZA SOLAR

Graciela Lesino, Luis Saravia\*  
Liliana Castro Padula, Daniel Blasco  
y Gustavo Hannecke

INENCO#, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177, 4400 Salta

RESUMEN

En el presente trabajo se describe la construcción de un invernáculo y locales adyacentes.

Para calefaccionar el invernáculo se ha diseñado un intercambiador agua-agua de bolsas de plástico descritas en otro trabajo (1). El agua caliente para los intercambiadores del invernáculo se obtiene por circulación por otro intercambiador colocado en el fondo de la poza. Se analizan los problemas de corrosión, costo y durabilidad de este intercambiador que se halla colocado en una solución salina caliente de alta concentración.

1. INTRODUCCION

Una de las posibles aplicaciones de las pozas solares es la calefacción de edificios. Se ha diseñado un sistema de intercambiadores y bomba para calefaccionar un invernáculo de 24 m<sup>2</sup> y locales adyacentes mediante agua caliente obtenida de la poza de 400 m<sup>2</sup> de sulfato de sodio con que cuenta el Instituto y que se describe en otro trabajo (2). El invernáculo es usado por cátedras de la Facultad de Ciencias Naturales y los locales sirven de depósito y alojamiento del sistema de adquisición de datos.

En las secciones que siguen se describe la construcción del invernáculo, el diseño y dimensionado de los intercambiadores solución salina-agua y agua-agua y los resultados de las mediciones realizadas en días soleados y nublados.

2. CONSTRUCCION DEL INVERNACULO

Se diseñó y construyó una unidad con un invernáculo de 24 m<sup>2</sup>, un local de

11 m<sup>2</sup> para el sistema de adquisición de datos (a calefaccionar) y un depósito de 20 m<sup>2</sup>. La planta de la unidad y su ubicación con respecto a la poza solar y de las construcciones adyacentes se ve en la fig.1. Los muros exteriores y de separación entre locales son muros dobles de ladrillo con una aislación de 3 cm de poliestireno expandido (p.e) en la cámara intermedia, a excepción de la pared de conexión entre el invernáculo y el local a calefaccionar, que es de ladrillo de 20 cm sin aislación y que está perforada en la parte superior e inferior por hileras de 10 caños de 10 cm de diámetro, para permitir la termocirculación de aire durante el invierno. Estos orificios se cierran con discos de p.e. de 5 cm durante el verano. El invernáculo tiene techo de chapa ondulada traslúcida de fibra de vidrio reforzada y tratamiento UV y muros norte, este y oeste de 0,85 cm de altura, aislados como se ha descrito anteriormente y con ventanas de desplazamiento lateral de vidrio común de 4 mm de espesor hasta el techo (1,2m). El techo de los otros locales es de chapa galvanizada ondulada, con cielo raso suspendido de placas de fórmica con aislación de 3 cm de p.e. . La sala de computación tiene una puerta de comunicación con el exterior y otra con el depósito y una ventana de 0,6 m<sup>2</sup> orientada al este. Para favorecer la circulación de aire y el refrescamiento en verano se colocó un ventilador en el muro sur y se previeron aberturas de salida de aire. Durante el invierno dichas aberturas se cubren con placas de aislación para evitar pérdidas térmicas. El depósito tiene un portón metálico con un sector vidriado, de 5,3 m<sup>2</sup> y orientado al oeste para el acceso desde el exterior.

\* Investigador del CNIF

# Instituto UNSa - CONICET

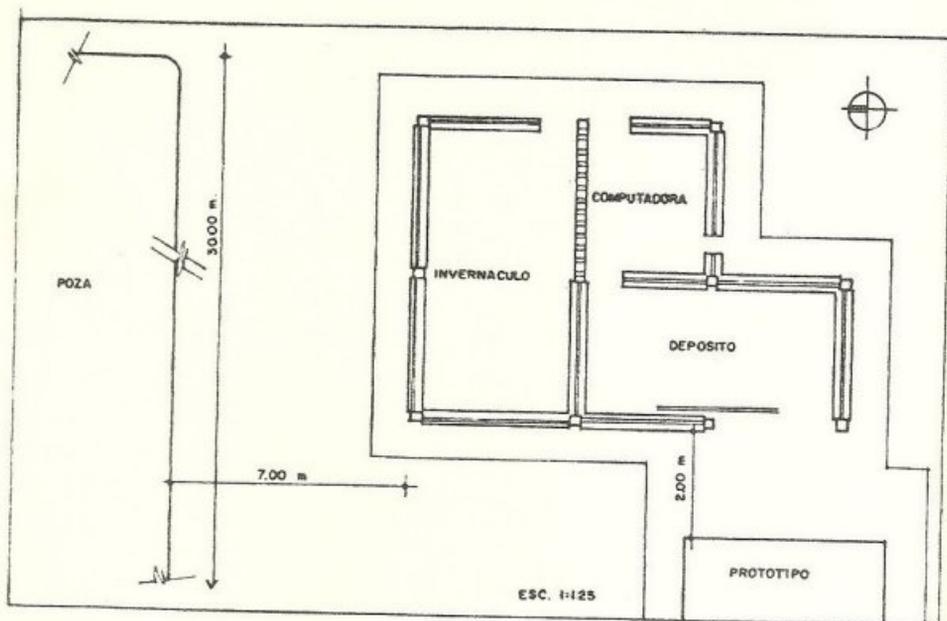


Fig. 1 - Planta del invernáculo y locales adyacentes.

### 3. INSTRUMENTACION

Para el monitoreo de los locales se instalaron termocuplas a) con capuchas metálicas reflectoras perforadas que permiten la circulación de aire y detienen la radiación directa, b) dentro de globos negros para la medida de la temperatura media radiante, c) en los muros con aislación a ambos lados de la misma para estimación de la acumulación y de los flujos de calor, d) en el piso de hormigón, a 1 cm de la superficie y e) en los orificios superiores e inferiores de termocirculación.

Para medir los parámetros climáticos se instaló un solarímetro Kipp & Zonen, un anemómetro de cazoletas con salida analógica y termocuplas en cabilia meteorológica y con las capuchas reflectoras mencionadas.

Para los balances térmicos de los intercambiadores se instalaron termocuplas en las entradas y salidas de agua y solución salina.

El registro y acumulación de los datos se realizó mediante dos sistemas, según los períodos: una PDP 11/03 con multiplexor y salida a disco flexible y un EE 101 de 100 canales con salida

a cinta magnética. Las cintas pueden ser leídas por una PDP 11/23 mediante una interfase adecuada, siendo posible de esta manera verter la información en discos flexibles y procesarla mediante los mismos programas de simulación y dibujo que los anteriores datos.

Se han elegido distintos intervalos de medición: 5 minutos, media hora, una hora. Los datos de cada 5 minutos serán empleados para determinar el intervalo máximo de registro que es posible utilizar al realizar ajustes por mínimos cuadrados de los parámetros térmicos. Es importante seleccionar adecuadamente dicho límite pues es el que termina la capacidad de almacenamiento de los datos por los sistemas portátiles en el caso de su instalación en lugares aislados (3).

### 4. INTERCAMBIADORES DE CALOR

Para determinar la carga térmica a suministrar por los intercambiadores de calor se realizó un modelo sencillo del invernáculo con tres nodos de temperatura, uno en cada local (invernáculo, computadora, depósito). Los coeficientes de transmisión usados fueron:

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| Invernáculo-exterior    | 265 W/ °C |
| Invernáculo-computadora | 17        |
| Invernáculo-depósito    | 15        |
| Computadora exterior    | 43        |
| Computadora-depósito    | 11        |
| Depósito-exterior       | 90        |

Las masas de mampostería, hormigón, de muros, piso y mesadas asociadas a las celdas fueron:

|             |        |
|-------------|--------|
| Invernáculo | 17 Ton |
| Computadora | 8      |
| Depósito    | 12     |

Consultados los usuarios del invernáculo (cátedras de la Facultad de Ciencias Naturales) sobre la temperatura mínima aceptable en el mismo, ella se fijó en 10 °C. Considerando una situación medianamente desfavorable de baja acumulación y temperatura mínima de -1 °C se estimó la potencia a suministrar en 3 kw.

El Grupo de Energía Solar de Catamarca ha desarrollado un sistema de intercambiadores agua-aire de bolsas verticales de polietileno (1) de bajo costo cuyas características son las siguientes:

|   |                       |
|---|-----------------------|
| Coefficiente de transferencia   | 7 W/m <sup>2</sup> °C |
| Área de cada bolsa  | 2 m <sup>2</sup>      |
| Gasto de agua mínimo por bolsa para mantener la película de agua en el exterior | 150 l/hora            |

Para suministrar los 3 kw requeridos, con un salto térmico entre el aire ambiente y el agua de las bolsas de 20 °C, se requieren unas 11 bolsas. El intercambiador se diseñó con dos unidades de 6 bolsas cada una. El gasto de agua para dichas unidades es de 1800 l/hora. La diferencia entre la temperatura del agua a la entrada y a la salida en ese caso es de 1,5 °C. Este bajo salto es una característica de dichos intercambiadores que se trata de mejorar actualmente alargando las bolsas de manera de tener mayor caída de temperatura en el agua y por lo tanto mejorando la relación entre la energía transferida y la de bombeo.

El coeficiente de transferencia limitante del intercambio es el del aire por lo que se instaló un pequeño ventilador para mejorar la circulación del aire entre las bolsas.

El calentamiento del agua a circular por el invernáculo puede hacerse extrayendo solución caliente del fondo de la poza o por colocación en él de un intercambiador. Para instalaciones grandes esta última solución tiene inconvenientes de mantenimiento pero en nuestro caso, dado lo pequeño del equipo, se decidió utilizarla para adquirir experiencia en el tema.

En la actualidad la poza no ha alcanzado las temperaturas máximas esperadas por no estar totalmente formado el gradiente y no habérsele permitido su perar los 60 °C en el verano cubriéndola. En el futuro se espera que alcance temperaturas de 80 °C. Esta circunstancia, unida a la mejor conductividad térmica, hizo que se optara por construir el intercambiador de tubos metálicos. La solución salina de sulfato y cloruro de sodio es muy corrosiva por lo que se plantearon dos alternativas para la construcción:

- acero inoxidable, lo que implica alto costo pero larga duración,
- caño de hierro negro común, más sujeto a corrosión pero de mucho menor costo.

Con la finalidad de probar la duración de la solución de menor costo, se tomó la segunda alternativa usándose caño de 5/8 " de diámetro que es el de menor precio por metro cuadrado de superficie de transferencia.

Como el intercambiador está colocado en un fluido estratificado en densidad no existe experiencia sobre el valor de los coeficientes de transferencia térmica en esa situación. Para su determinación se realizó una experiencia preliminar con un tubo de 6,4 m de largo del caño mencionado obteniéndose un coeficiente de 180 w/m<sup>2</sup>°C.

Suponiendo una diferencia de temperatu-

ra media logarítmica de 7 °C para la situación presente en que la poza se encuentra entre los 30 y los 35 °C el área necesaria es de 1,9 m<sup>2</sup> la que se obtiene con 28 m de tubo. El área de transferencia por metro de tubo es de 0,067 m<sup>2</sup>/m.

Se construyó el intercambiador en forma de serpentín de 6 tubos de 6,4 m de largo, separados 12 cm entre sí.

## 5. RESULTADOS

i) Intercambiador de la poza. Se obtuvieron los siguientes valores, en el día del ensayo, cuyos valores para los locales se presentan en la figura 2.

Gasto de agua 1100 l/hora  
 Temperatura del agua a la entrada 27 °C  
 Temperatura del agua a la salida 20 °C  
 Temperatura de la poza 30 °C

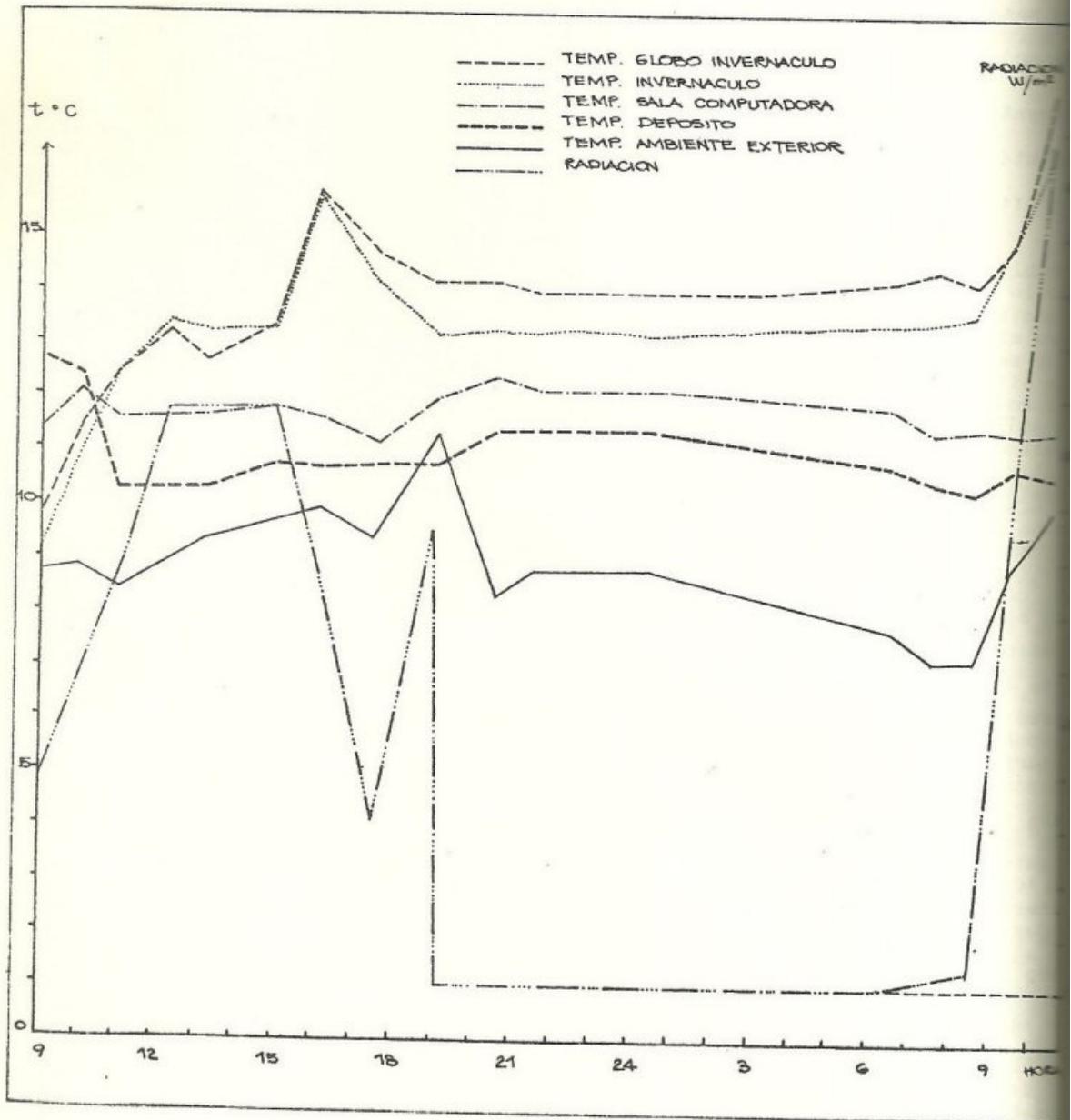


Fig. 2 - Temperaturas de los diferentes locales, día nublado. Con calefacción. Datos horarios.

De estos resultados se obtiene:  
 Coeficiente de transferencia térmica del intercambiador (2,6 m<sup>2</sup>) 220 w/m<sup>2</sup>°C  
 Potencia transferida 1,3 Kw

Debido lo pequeño del salto térmico, la precisión de la determinación del coeficiente global no es buena por lo que se realizarán medidas con mayor flujo, pero existe acuerdo con el valor pre-

ii) Intercambiador de bolsas. Las mediciones realizadas son las siguientes:

Salto térmico promedio entre el aire ambiente y el agua 17 °C  
 Caída de temperatura en cada tramo poza- invernáculo 0,2 °C  
 Área estimada de intercambio por no estar todas las bolsas en funcionamiento por trabajarse a flujo reducido 10 m<sup>2</sup>  
 Coeficiente de transferencia 8,2 w/m<sup>2</sup>°C

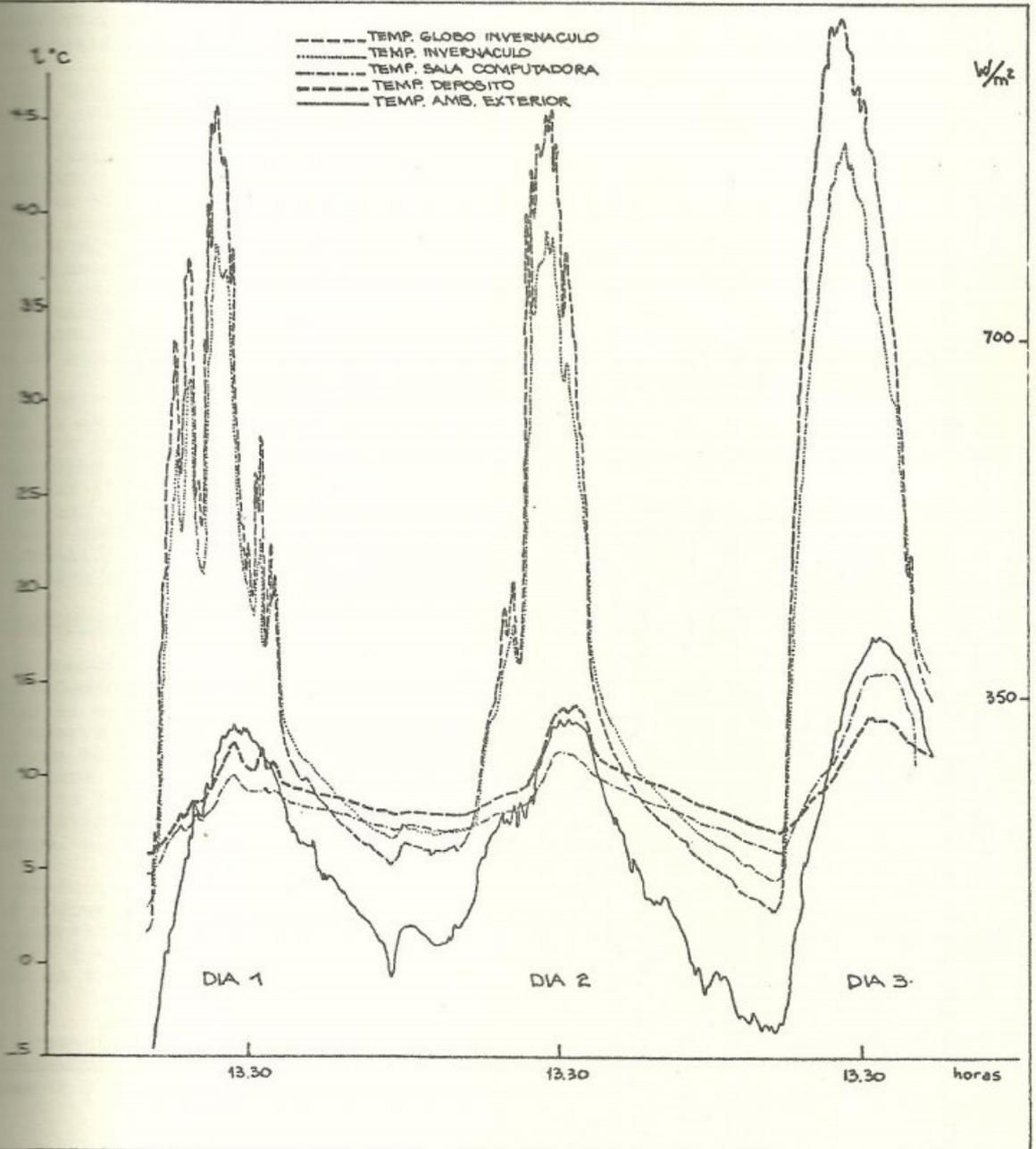


Fig. 3.a - Temperaturas de los locales, primer día seminublado después de uno nublado, segundo y tercero soleados. Datos cada 5 minutos.

iii) Acondicionamiento de los locales. Sobre las figuras 2 y 3 a y b se puede realizar las siguientes observaciones.

Sin calefacción y prácticamente sin acumulación luego de varios días nublados, la temperatura del invernáculo se mantuvo por sobre los 4°C, aún con una mínima exterior de -4°C. Existen especies alimenticias muy delicadas que deben mantenerse por sobre 5 y 10°C pero en general temperaturas mayores de 0°C son adecuadas para las plantas

sobre las que se realizaban experiencias en el invernáculo. Basta para ellas mantenerlas por sobre la temperatura de gelación del agua. En este sentido el señalo es muy satisfactorio y con los veles de calefacción previstos se puede experimentar aún con especies delicadas.

Una forma de mejorar la performance térmica es mantener libre de polvo el techo del invernáculo. El polvo depositado puede disminuir la radiación transmitida hasta un 40%. Las actuales carpinterías permiten fuertes infiltraciones

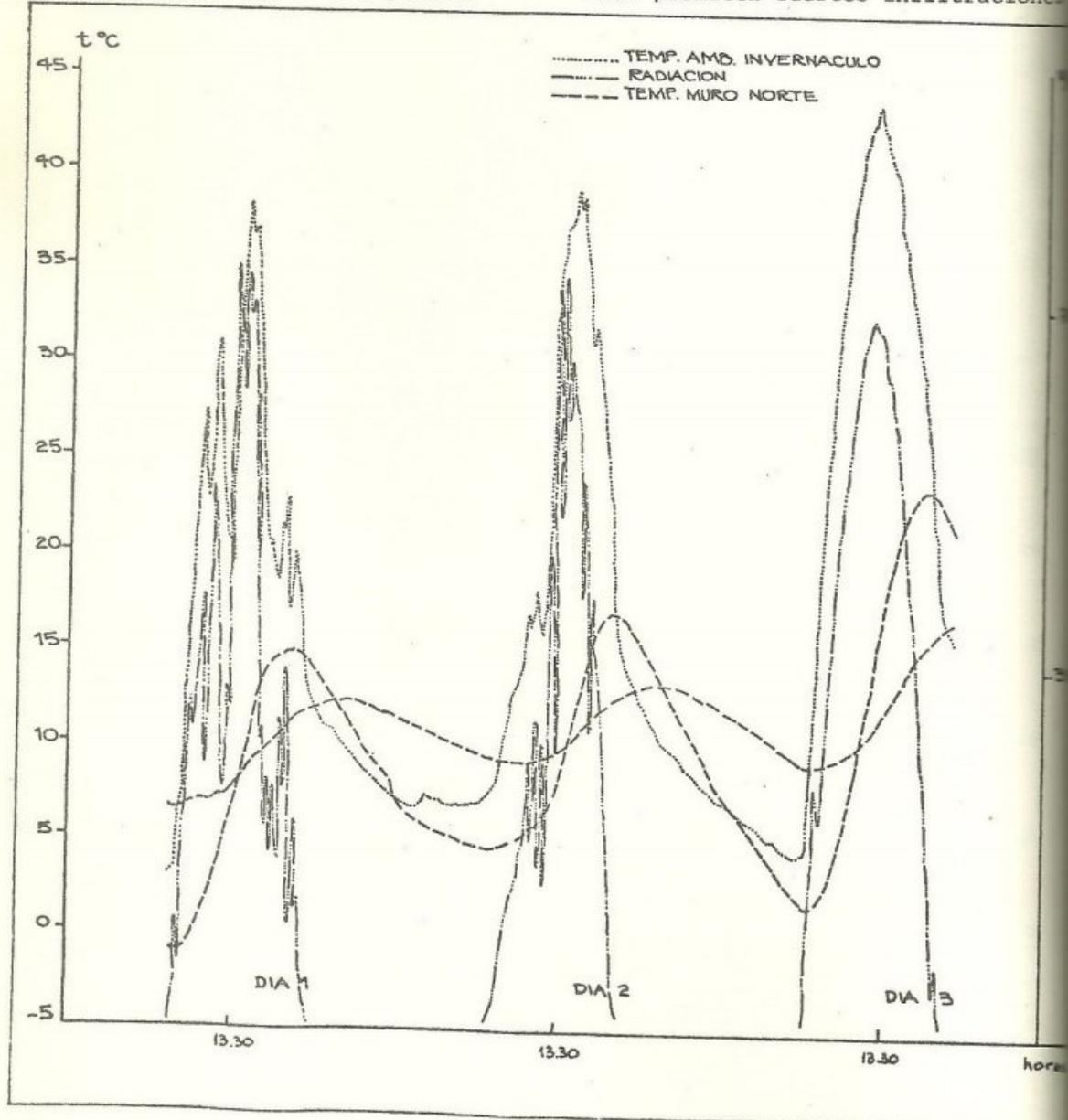


Fig. 3 b.- Temperaturas de diversos elementos y radiación. Primer día seminublado después de un día nublado, segundo y tercer día soleado. Datos cada 5 minutos.

que también puede mejorarse.

La fluctuación de la temperatura interior del invernáculo es muy fuerte los días soleados llegando a 38 °C con una máxima de 42°C. Si existe agua disponible, esto no perjudica a los vegetales. Durante el día la temperatura de agua es superior a la ambiente debido a la radiación. Por la noche es menor lo que indica que la influencia de las superficies frías de techo y ventanillas prima sobre la de las superficies calientes de muros y piso.

De las temperaturas del muro Norte, interna y externa, se puede observar la amortiguación de las fluctuaciones hacia el interior así como el efecto de acumulación progresiva al sucederse los días soleados. También existe desfase temporal entre los distintos máximos diarios, aportando el muro energía durante la noche. Si bien el aporte no es significativo por ser el área relativamente pequeña, sugiere el buen funcionamiento de masas de acumulación que se piensa agregar.

La temperatura del local de la computadora se mantiene siempre por sobre la ambiente exterior y con fluctuaciones aceptables. Para aumentar el confort se asegurará el cierre de las ventilaciones de verano y se colocarán láminas de poliuretano sobre los orificios de la termocirculación para evitar la inversión del flujo de aire durante la noche.

#### 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El sistema de calefacción ha funcionado adecuadamente por lo que se pueden enunciar en el futuro otras aplicaciones. Se observa también que para ciertas plantas basta un diseño térmico cuidado para que con el clima de la ciudad de Salta se puedan obtener locales con temperaturas adecuadas para su crecimiento, sin calefaccionar.

En el futuro, además de las modificaciones propuestas en la sección anterior, se instalará un sistema de control automático que opere el sistema de calefacción en forma independiente.

El presente trabajo ha sido parcialmente financiado por la Subsecretaría de Ciencia y Tecnología.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1.-Iriarte A., Luna D., S.B. de Biagi et al.-Desarrollo de intercambiadores agua-aire para uso en secadero solar. Actas de la 7a. Reunión de Trabajo de Energía Solar, Rosario, 1981.
- 2.-Lesino G., Saravia L., Cenzano S., et al.- Poza de sulfato de sodio de 600 m<sup>2</sup>: construcción y mantenimiento. Presentado a la 8a. Reunión de Trabajo de ASADES, La Pampa, 1983.
- 3.-Pryor D.V., Winn B.-A sequential filter used for parameter estimation in a passive solar system. Solar Energy, Vol. 28, N°1, 1982.