

Carlos Discoli\*, Elías Rosenfeld

IAS, Instituto de Arquitectura Solar. FIPE, Fundación para la investigación y el progreso energético

Calle 526 N° 2005, (1900) La Plata.

## RESUMEN

Se exponen las características constructivas y de emplazamiento del invernadero-secadero de ropa de la vivienda solar prototipo de La Plata, señalando los objetivos básicos para los cuales fue concebido.

Se comunican los ensayos en su función como secadero, definiendo la forma de uso y de terminando los rendimientos con distintas heliofanías para el clima templado húmedo. En su función complementaria como calefactor de aire de bajo costo, se analizan diferentes formas de utilización, cuantificando el calor entregado.

### 1. INTRODUCCION

El invernadero de la vivienda prototipo, se instaló con el objeto de usarlo como secadero de ropa, principalmente en el período invernal, dotando a la vivienda de un servicio cómodo, privado, económico y de sencilla operación. Se utiliza eventualmente en sus otras funciones como calentador de aire y como espacio tapón.

Se encuentra emplazado en la fachada norte del edificio, sobresaliendo del mismo 0,60 m, Fig. 1. Cuenta con una superficie transparente Norte de 3,1 m<sup>2</sup> y Este-Oeste de 1,88 m<sup>2</sup>, construida con perfiles metálicos y planchas de policarbonato de 6 mm de espesor, con una sección de dos caras y cámara de aire central, ofreciendo una excelente resistencia térmica y al impacto, Fig. 2.

Las vistas, plantas y cortes del invernadero-secadero de ropa incorporado a la vivienda prototipo, se encuentran expuestas en (1). Las características técnicas en (2).

El sistema está provisto de compuertas inferiores por donde ingresa el aire exterior y compuertas superiores por donde se evacúa el mismo a mayor temperatura y humedad. El efecto invernadero crea un flujo convectivo de aire ascendente, provocado por el aumento de tempe-

ratura, incorporando en toda su trayectoria la humedad de la ropa, siendo esta evacuada por las compuertas mencionadas.

La carga de ropa diaria a secar, para una familia tipo, se estimó en aproximadamente 4 Kg, disponiéndose esta en tendedores a distintos niveles dentro del secadero. La ropa utilizada para los ensayos fue, preferentemente del tipo absorbente, determinándose la evaporación horaria por medio del pesado de la misma. El manipuleo de la carga siempre se llevó a cabo dentro del recinto.

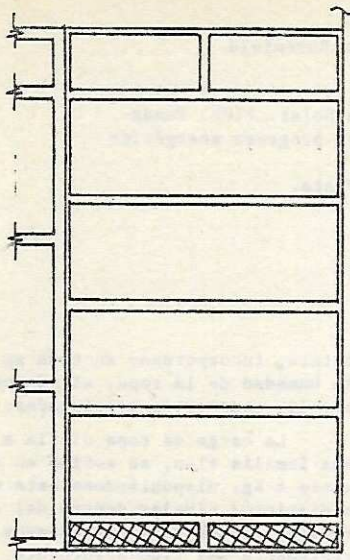
### 2. ENSAYOS DE SECADO DE ROPA CON DISTINTAS HELIOFANIAS

El ensayo consiste principalmente en colocar la carga estipulada en los tendedores y controlar, en función del peso, la evacuación de humedad correspondiente. A los efectos de las mediciones se instalaron termocuplas cobre-constantán a diferentes niveles para determinar por medio de temperaturas de bulbo húmedo y seco los cambios de estado del aire circulante. También se registró la radiación solar incidente para las pendientes correspondientes. Para este caso se utilizó un solarímetro Eppley modelo PSP conectado a un adquisidor de datos automático tipo Relevar EE-101, al igual que las termocuplas.

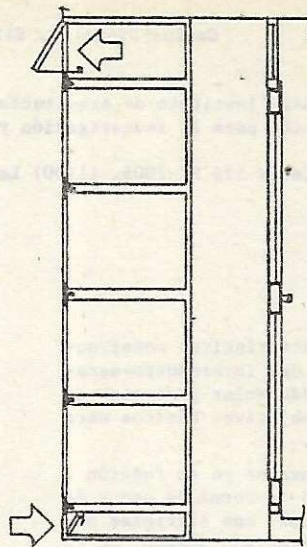
En el cuadro I se vuelcan los datos registrados y calculados para cada ensayo en función de las diferentes heliofanías, determinándose los rendimientos.

Los Kg. de aire circulante por el invernadero se determinaron haciendo el cociente entre el total de agua evaporada durante cada ensayo y el vapor incorporado por Kg. de aire circulante durante el proceso, haciendo verificaciones puntuales con un anemómetro de baja velocidad (Kurtz modelo 5951-00), sin registrarse las mismas.

\*Becario de la CIC



Vista norte



Corte

Fig. 1

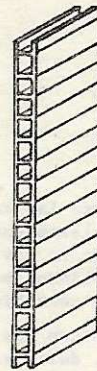
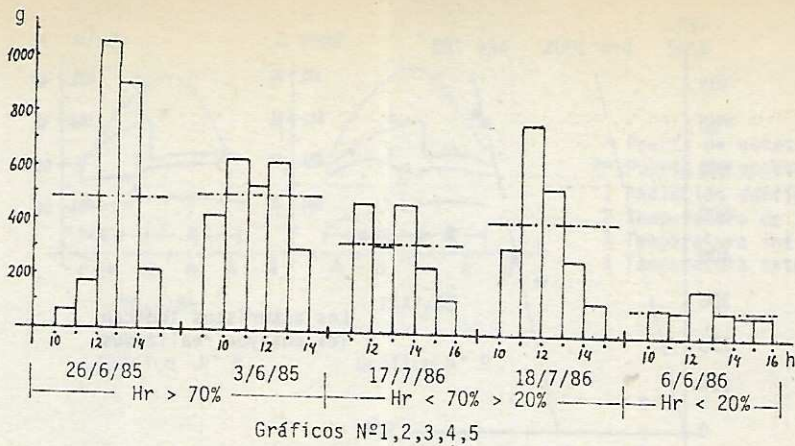


Fig. 2

CUADRO I	Heliofanía relativa					
	> 70%		< 70% > 20%		< 20%	
	26/6/85	3/6/86	17/7/86	18/7/86	6/6/86	13/6/86
A Norte (m <sup>2</sup> )	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
A Este-Oeste(m <sup>2</sup> )	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88
Ropa (g)	1600	1520	1650	1650	790	1520
Agua (g)	2500	2500	2280	2400	2500	2550
Carga total (g)	4000	4020	3930	4050	3290	4070
Tiempo (seg)	18000	18000	18000	18000	21600	18000
I VN' (W/m <sup>2</sup> )	715	745	346	403	68	-
I E-0 (W/m <sup>2</sup> )	686,4	715,2	332	386	65	-
Tot. Evap. (g)	2400	2500	1660	2020	640	-
Ev. Pro (g/h)	480	500	332	404	106,6	234
Ti BS (°C)	14,48	13,8	11,75	15,3	9,9	-
Ti BH (°C)	12,32	11	10,2	11,5	9,1	-
Tf BS (°C)	24,38	26,4	19,44	22,3	15,6	-
Tf BH (°C)	20,63	22,3	17,8	19,7	14,9	-
Δx (g/kg)	5,5	8,2	5	6,7	3,2	1,6
Aire cir. (kg)	441,8	304,8	332	301	200	-
Q1 (Kcal/kg)	5,8	8,1	4,3	5,6	1,7	1,4
QT (Kj)	10711,24	10319,9	5967,3	7045	1421,2	-
R	0,42	0,38	0,39	0,34	0,44	-
QI (Kj)	51504	53652	30541	34993	4894	-
n (%)	21	19	19	20	29	-
n̄ (%)	21,6					



Gráficos N°1,2,3,4,5

- A Norte= área transparente Norte.  
 A Este-Oeste= área transparente Este-Oeste.  
 Ropa= es la carga seca antes de ser humectada.  
 Agua= Cantidad de agua con que se humecta la carga seca.  
 Carga total= carga de ropa seca más agua incorporada.  
 T= tiempo de duración del ensayo.  
 I VN= radiación en el plano vertical Norte.  
 I V E-O= radiación en el plano vertical Este y Oeste.  
 Tot. Evap.= cantidad total de agua evaporada en g.  
 Ev. Pro.= evaporación promedio durante el ensayo en g/h.  
 Ti BS= temperatura de bulbo seco del aire entrante al secadero .  
 Ti BH= temperatura de bulbo húmedo del aire entrante al secadero.  
 Tf BS= temperatura del bulbo seco del aire saliente del secadero.  
 Tf BH= temperatura de bulbo húmedo del aire saliente del secadero.  
 ΔX= gramos de agua por kilogramos de aire incorporado al aire saliente del secadero.  
 Aire cir.= cantidad de aire que circuló por el secadero (Kg).  
 Ql= calor incorporado al aire por Kg de aire.  
 QT= calor total incorporado al aire.  
 R= cociente entre calor sensible y calor total (R= Qs/QT).

- QI= calor disponible incidente sobre los planos N, E-O. QI= I.A.T  
 I= radiación promedio incidente del período ensayado para cada plano(Kw/m<sup>2</sup>).  
 A= área transparente de incidencia(m<sup>2</sup>).  
 T= duración del ensayo(seg).  
 η= rendimiento (QT/QI)X100.

En los gráficos 1,2,3,4 y 5, se expresa en diagrama de bloques la evaporación horaria registrada para caso.

De los gráficos de diagramas de bloques de evaporación se determina una evaporación porcentual en función de la heliofanía, expresada en el cuadro II.

En los ensayos realizados, la variación térmica del aire, permite una evaporación de agua lineal con respecto a la radiación, manteniéndose en la mayoría de los casos la humedad relativa inicial prácticamente constante en todo el proceso. De los casos registrados se puede tomar una humedad relativa (hr) de trabajo entre 70% y 100%, limitando una zona en la cual evoluciona el sistema secadero. Gráfico N°6.

CUADRO II

Heliofanía relativa	Evaporación porcentual
> 70%	100%
< 70% > 20%	78%
< 20%	25%

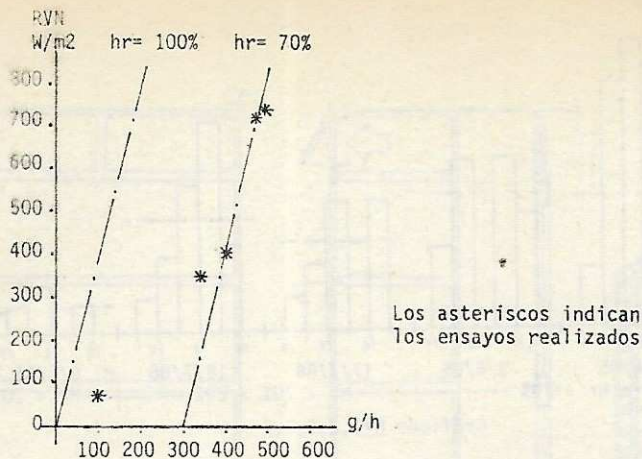


Gráfico N° 6

Sin radiación es evidente que la evaporación depende solamente de los parámetros higrotérmicos del aire y climáticos, siendo nula en el caso de saturación total. Cuando no existe saturación total, la evaporación será variable encontrando un tope máximo para cada humedad relativa. El gráfico N°6 se presenta como primera aproximación representativa de sistemas con estas características, pudiendo sufrir variaciones en función de nuevos análisis y ensayos.

Con respecto a las compuertas de ingreso y evacuación de aire, estas se operaron en forma reducida, permitiendo mantener dentro del recinto una corriente convectiva natural, estable y restringida. El aire al ser retenido adquiere mayor temperatura aumentando su capacidad para incorporar humedad.

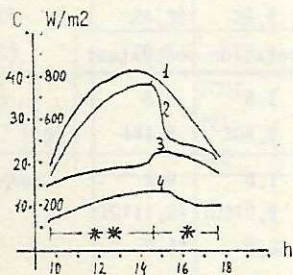
Para operar las compuertas correctamente se debe tener una idea de la variación volumétrica que sufre el fluido con los cambios de temperatura. Analizando los casos más desfavorables, donde los incrementos térmicos son máximos (Hr 70%), el volumen específico del aire entre los estados final e inicial sufre una variación aproximada del 5%. O sea que para retener el aire o mantener una circulación equilibrada entre el ingreso y el egreso del fluido de-

be existir una variación de apertura entre compuertas menor o igual a la mencionada.

### 3. UTILIZACION DEL SISTEMA INVERNADERO COMO CALEFACTOR DE AIRE DE BAJO COSTO.

Para utilizar el invernadero como calefactor de bajo costo, se debió operar en forma inversa al secadero de ropa. Las compuertas en contacto con el ambiente exterior fueron cerradas, circulando por el recinto aire del ambiente interior de la vivienda. Para ello debieron permanecer las puertas de acceso al invernadero abiertas durante el período de insolación. En el caso de encontrarse cerradas también existe un aporte de calor pero en forma indirecta. La temperatura del invernadero alcanzó niveles térmicos próximos a los 40 C en las horas pico, creando un fuerte gradiente térmico en ambos recintos.

Como primera experiencia se han graficado las temperaturas del invernadero, del ambiente interior y exterior, operándose primeramente con puertas de acceso cerradas y luego abiertas. En el momento de realizarse la apertura se eleva la temperatura ambiente interior, manteniéndose sobre los niveles anteriores durante el período de insolación. Gráfico 7.



- \* Puerta de acceso abierta
- \*\* Puerta de acceso cerrada
- 1 Radiación vertical Norte
- 2 Temperatura de invernadero
- 3 Temperatura interior estar
- 4 Temperatura exterior

Gráfico N° 7

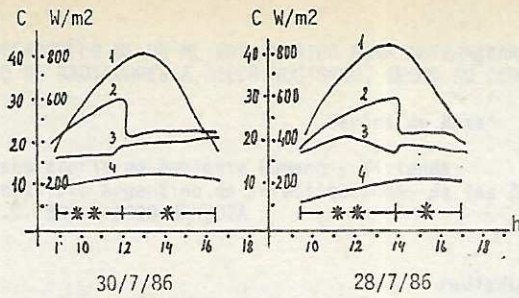


Gráfico N° 8

Gráfico N° 9

- \* Puerta de acceso abierta
- \*\* Puerta de acceso cerrada
- 1 Radiación vertical Norte
- 2 Temperatura de inv.
- 3 Temperatura int. estar
- 4 Temperatura exterior

El calor en juego para el caso de puertas de acceso abiertas (ganancia directa) es:

$$Q = I.A.\tau.\alpha.T \text{ (Kj)}$$

- I= radiación promedio incidente en el período analizado (Kw/m2).
- A= área de incidencia (m2)
- $\tau$ = transmitancia de la superficie transparente.
- $\alpha$ = absorptancia interior del invernadero.
- T= duración del período analizado (seg).
- Q= calor ganado teniendo en cuenta las orientaciones Norte y Este-Oeste (Kj).

$$Q = 0,641 \text{ Kw/m}^2 \cdot 3,1 \text{ m}^2 \cdot 25200 \text{ seg} \cdot 0,74 \cdot 0,8 + 0,307 \text{ Kw/m}^2 \cdot 1,88 \text{ m}^2 \cdot 25200 \text{ seg} \cdot 0,32 \cdot 0,8 = 29.640 + 3.723 \text{ Kj} = 7.994 \text{ Kcal}$$

El calor ganado Q equivale al calor aportado por un convector de 6.000 Kcal durante 1 hora 20 minutos.

El calor en juego para el caso de puertas cerradas (ganancia indirecta) es:

$$Q = A.T.(\Delta t/R) \text{ (Kj)}$$

- A= área de intercambio entre ambos recintos (m2).

- T= duración del período analizado (seg).
- $\Delta t$ = gradiente de temperatura (C)
- R= resistencia térmica del área de intercambio (m2 C/W).
- $Q = 3,34 \text{ m}^2 \cdot 18000 \text{ seg} \cdot [(36,6 \text{ C} - 18,7 \text{ C}) / 1000 \cdot 0,22 \text{ m}^2 \text{ C/W}] = 4.891 \text{ Kj} = 1.170 \text{ Kcal}$

El calor ganado Q equivale al calor aportado por un convector de 6.000 Kcal durante 12 minutos.

Si consideramos el calor disponible para ambos casos (con puertas abiertas y cerradas) en períodos iguales de tiempo, queda en evidencia la conveniencia de abrir las puertas de acceso al invernadero.

En los gráficos N°8 y 9, se ratifica el comportamiento del sistema manteniendo la temperatura prácticamente constante en todo el período. La mayor temperatura alcanzada en el gráfico N°9 se debe a que la planta alta de la vivienda se aisló de la planta baja, reduciendo el volumen habitable a la mitad.

#### 4. CONCLUSIONES.

Como conclusión de los ensayos en sus distintas versiones se puede decir que estos sistemas manifiestan cierta importancia, ya que es factible que solucionen en áreas muy reducidas problemas cotidianos del hogar, principalmente en zonas de alta densidad.

Los próximos pasos a seguir son referentes a invernaderos de instalación removible y superficie transparente de vidrio doble o una lámina de polietileno, con iguales funciones pero de más bajo costo para ser ensayados en diversas orientaciones.

#### REFERENCIAS

1. Construcción y programa de ensayos de un prototipo de vivienda solar en la zona templada húmeda. E.Rosenfeld et al. Actas de la 6ta. Reunión de trabajo de ASADES, Catamarca, 1980.
2. Prototipo experimental de La Plata: primera campaña de ensayos de habitabilidad y comportamiento energético. J.L.Guerrero et al. Actas de la 9na. Reunión de trabajo de ASADES, San Juan, 1984.