

## HUMIDIFICACION Y CONVECCION EN LA VIVIENDA SOLAR DE ABRA PAMPA

G. Lesino\*, I. Saravia\*\*, R. Caso  
INENCO#, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177 - 4400 Salta

y

Rafael Requena  
INTA  
Alsina 1407- 1087 Capital Federal

### RESUMEN

En el presente trabajo se describen y analizan mediciones realizadas en 1988 del sistema de humidificación de la vivienda solar de Abra Pampa y de la transferencia de calor por convección natural dentro de la misma.

Al diseñarse la vivienda se previeron dos sistemas de humidificación ya que el aire ambiente tiene un bajo contenido de humedad. Los sistemas empleados son una pileta en el invernáculo y telas para evaporar agua de depósitos, colocadas en las ventanillas inferiores de los muros colectores acumuladores. Se presentan los resultados obtenidos.

La convección natural es un mecanismo fundamental de transferencia de calor en las viviendas solares pasivas. Se presentan resultados de mediciones de velocidad de aire en los diferentes locales.

El presente trabajo ha sido parcialmente financiado por un PID del Conicet.

### 1.- INTRODUCCION

La vivienda solar de Abra Pampa se encuentra en dicha localidad, a 3480 m de altura sobre el nivel del mar, a una latitud de 22° 50' Sur. Se trata de un clima muy frío, seco y soleado. El contenido de agua en el aire exterior es muy bajo, lo que se agrava al calefaccionarlo, por lo que se requiere humidificarlo. Cálculos realizados (1) indican que si se tiene una renovación de aire por hora, al cabo del día deben incorporarse unos 40 a 50 kg de agua a la vivienda para tener una humedad relativa en el

\* Investigador del CONICET

\*\* Profesor de la UMSA, La Paz, Bolivia, en goce de su día sabático

# Instituto UNSa - CONICET

interior de la vivienda del SUR.

En otros trabajos (1,2,3) se ha descrito la vivienda y su comportamiento térmico por lo que aquí sólo se describirán los elementos para la humidificación y su aporte.

Otro aspecto importante a destacar en esta vivienda y en general en todas las viviendas solares pasivas es la convección natural. La energía aportada por los sistemas colectores debe ser adecuadamente distribuida en los distintos ambientes y acumulada en los elementos pesados (paredes, piso) de la vivienda, debiendo entregarse nuevamente en las horas de mayores pérdidas al exterior. Por tratarse de un sistema pasivo, todas estas transferencias se realizan por convección natural. Para realizar diseños eficientes es necesario conocer en profundidad dicho mecanismo. Este Instituto ha encarado su estudio en tres formas: mediante la modelización numérica (4), con modelos en agua (5) y por mediciones in situ.

En el presente trabajo se exponen los resultados de algunas mediciones realizadas.

## 2.- OCUPACION DE LA VIVIENDA

A diferencia de trabajos anteriores, la vivienda está ocupada en la actualidad por una familia compuesta de dos adultos y dos niños, de quienes se recibió amplia colaboración, pero ello implicó ciertas restricciones en las mediciones no automatizadas por razones de privacidad.

## 3.- HUMIDIFICACION

Las fuentes de humedad previstas, además de las normales en una vivienda (cocina, lavadero, baño), son tres: a) depósitos de agua con telas colgando con su extremo sumergido, en las ventanillas interiores de los muros colectores, b) en el invernáculo, una pileta de 1,6 x 0,8 x 0,2 m<sup>3</sup> con un área para evaporación de 1,28 m<sup>2</sup>, c) las plantas del invernáculo, que en la actualidad no existen en cantidad significativa como para pesar en la humidificación. Conviene decir que esas plantas, algunas muy verdes y con flores, crean, junto con la temperatura y humedad del invernáculo un microclima contrastante con el exterior árido, de escasa vegetación de color amarillo y eventualmente muy frío, cumpliendo una función de confort psicológico, más allá del higrotérmico.

No se ha intentado realizar balances globales de humedad por las siguientes razones: a) el sistema no está en régimen lo que no permite estimar los cambios en la acumulación, b) no se conocen las infiltraciones, c) no se puede estimar los aportes realizados por los ocupantes de la vivienda en sus diversas actividades, d) no se accedió a los dormitorios, por lo que el ensayo se realizó sobre dos de las ocho ventanillas disponibles.

### 3.1.- Pileta de invernáculo

Ella aporta 0,5 cm por día con una temperatura ambiente promedio del invernáculo de 27 °C. Esto significa 6,4 litros de agua por día y 5 litros por metro cuadrado por día.

La humedad interna es muy influenciada por la entrada de aire exterior que produce la apertura y cierre de puertas. Estas son frecuentes ya que el acceso a la vivienda se realiza por el invernáculo. En la tabla I, día 12/9, se puede observar que la humedad durante el día baja a pesar del aporte de la pileta por esta razón. Los intercambios convectivos con el exterior son muy fuertes debido a la gran diferencia de temperatura entre los dos espacios. En la misma tabla puede observarse también la influencia de la velocidad y humedad del aire exterior en el día 14/9 durante la mañana. Por la tarde del 14/9 comenzó soplar un viento de 18 km/hora (5 m/s) que aportó un aire exterior más húmedo (3,6 g/kg contra 1,5 anterior) pasando el contenido de agua interior de 2-3 g/kg a 5,6. Ese mismo día, luego de un período de calma, cambió la dirección del viento, con velocidades comparables, volviéndose a una situación similar a la anterior con 1,2 g/kg en el exterior y reduciéndose la humedad interior.

### 3.2.- Depósitos en muros

Los depósitos ensayados son dos cuya área individual es de 0,945 x 0,12 m<sup>2</sup> o sea 0,1134 m<sup>2</sup>. El volumen evaporado por ambos por día fue de 9,2 litros, resultando un promedio de 4,9 litros por metro lineal de depósito. Se realizó una medida de corta duración entre las 21 y las 23.40 horas en las que el volumen evaporado fue de 0,68 litros, lo que equivale a 6,1 litros por día, valor razonable ya que la evaporación debe ser más fuerte cuando el muro está aislado. En ese mismo lapso, el cambio del contenido de agua del aire del estar comedor fue de 0,31 litros.

Los resultados detallados pueden observarse en las tablas II y III donde se dan las condiciones del aire a la entrada y a la salida de las ventanillas y sus respectivas velocidades. Si todas las ventanillas estuvieran en funcionamiento el aporte de agua promedio diario sería de unos 36 litros que, sumados a los 6,4 del invernáculo, satisfarían los requerimientos diarios de la vivienda.

Se colocaron 20 telas, que evaporan de los dos lados y cada una de las cuales tiene un área de 100 cm<sup>2</sup>. Si se desprecia lo evaporado directamente desde la superficie ya que el nivel del líquido se halla unos 7 cm por debajo del flujo de aire, el aporte es de 11,5 kg/día m<sup>2</sup> de superficie.

## 4.- CONVECCION NATURAL

Se realizaron mediciones de tres tipos: a) del aire en las ventanillas para correlacionar el flujo con las distintas diferencias de temperatura, b) de los flujos globales en la vivienda con la conexión con el invernáculo cerrada, c) de la conexión invernáculo estar-comedor.

#### 4.1.- Termocirculación en el muro colector-acumulador

Se realizaron mediciones para poder realizar correlaciones con diferentes T/T según el modelo teórico que surge de aplicar al flujo la ecuación de Bernoulli. En la Fig. 1 se pueden ver los resultados obtenidos. Las diferencias de temperaturas empleadas son: a) entre la entrada y salida de las ventanillas, b) entre el promedio en el canal del muro y el centro de la habitación, c) entre el promedio de la entrada y salida del muro y el centro de la habitación.

Se tienen pocos puntos para el promedio en el canal porque la medición es larga al no haber podido ser automatizada por la imposibilidad de acceso al mismo.

Se intentó realizar las regresiones lineales correspondientes siendo solamente aceptable la correspondiente a todas las temperaturas de ventanillas. Las de tres puntos no se tomaron en cuenta por tratarse de un número tan reducido de valores.

#### 4.2.- Banderola estar-comedor invernáculo

Se mantuvo el invernáculo cerrado y se abrió la conexión en el momento de mayor diferencia de temperatura entre ambos locales. Se midieron las velocidades en la dirección del flujo, ubicándose la sonda en posiciones tales que el promedio de las velocidades obtenidas permite calcular el flujo directamente. La experiencia se realizó con la banderola totalmente abierta, en un ángulo de  $60^\circ$ . La superficie de pasaje de aire es de  $1,50m \times 1,03m$ ,  $1,63m^2$ . Dada la configuración y relación de temperaturas, el aire caliente del invernáculo penetra al comedor por la parte superior y sale aire a menor temperatura desde él por la parte inferior.

Se realizaron dos medidas. A las 14.15 horas y con una diferencia de temperatura de  $4,2^\circ C$  se obtuvo una velocidad media de entrada al comedor de  $0,26 m/s$  y de  $0,31 m/s$  de salida del mismo. A las 18.15 horas los resultados fueron de  $0,1$  y  $0,16 m/s$  con una diferencia de temperatura de  $1,4^\circ C$ . Se observó un flujo mayor en la parte inferior que en la superior de la banderola.

Al abrirse alguna de las puertas de comunicación, se constató que el flujo en la banderola se realizaba en una sola dirección, realizándose el retorno por la puerta (Fig. 2).

#### 4.3.- Convección general en la vivienda

En la figura 3 se ha esquematizado el flujo de aire en una de las mediciones realizadas. Los muebles impiden la circulación de aire a nivel del piso por lo que el circuito se cierra por sobre ellos. El movimiento del aire se realiza cerca del techo, desde los muros colectores hacia la cocina y garage y de regreso, 1 m por debajo, aproximadamente. Se determinó velocidad y dirección, esta última mediante número o por desviación de un hilo muy liviano colgante.

El campo de velocidades es considerablemente más complicado que lo que muestra el esquema, con zonas de quietud y zonas donde la

dirección y sentido fluctúan. El retorno en el estar hacia los muros colectores se produce por debajo de las ventanillas superiores, pudiéndose apreciar claramente una zona de flujo vertical y luego el retorno junto con el aire de las ventanillas.

En la fig. 4 se observa un perfil medido. Las velocidades son extremadamente bajas por lo que su valor numérico es solamente indicativo. Las medidas deben realizarse con velocidades de viento muy bajas ya que al aumentar su velocidad cambia la distribución dentro de la vivienda.

#### 5.- EQUIPOS DE MEDICIÓN

Las mediciones de los diferentes parámetros se realizaron como se describe a continuación:

radiación - solarímetro horizontal Kipp & Zonen CM10

temperaturas - termocupias con cero electrónico

humedad - termómetro buibo seco, buibo húmedo con sopiado forzado

Cole Palmer Psycro Dyne

velocidad de aire - sonda omnidireccional de baja velocidad TSI y sonda unidireccional TA (Bruno Schilling) para velocidades bajas y medias.

dirección del aire - por maximización de la lectura de la sonda unidireccional, con humo, con hilos delgados.

#### 6.- CONCLUSIONES Y FUTURAS TAREAS

Las conclusiones detalladas, por razones de claridad, se han ido explicitando en los diferentes párrafos. En general se puede afirmar que:

- los sistemas de humidificación funcionan correctamente. Se ha aconsejado a los ocupantes de la vivienda prestar atención a la aparición de olores debidos a las telas húmedas para, en ese caso, adicionar alguicidas u otros desinfectantes al agua.
- no se encuentran, por lo menos en las actuales condiciones, buenas correlaciones para el flujo de aire en las ventanillas.
- a los efectos del comportamiento de la vivienda en lo que respecta a la convección natural, es fundamental la influencia del viento y la operación de puertas, banderolas y ventanillas por los ocupantes.
- el bombeo producido por circulación natural se realiza, como era de esperar, entre las zonas más calientes y las más frías pero su detalle es complicado y difícil de predecir.
- el análisis cuantitativo de los problemas de convección natural requiere mucho más esfuerzo y debe ser extremadamente cuidadoso, realizándose monitoreos automáticos con series de sondas instaladas sobre pequeños mástiles siendo fundamental poder determinar dirección y sentido de los flujos. Estas dificultades alientan la tarea encarada en el Instituto de modelización en agua.

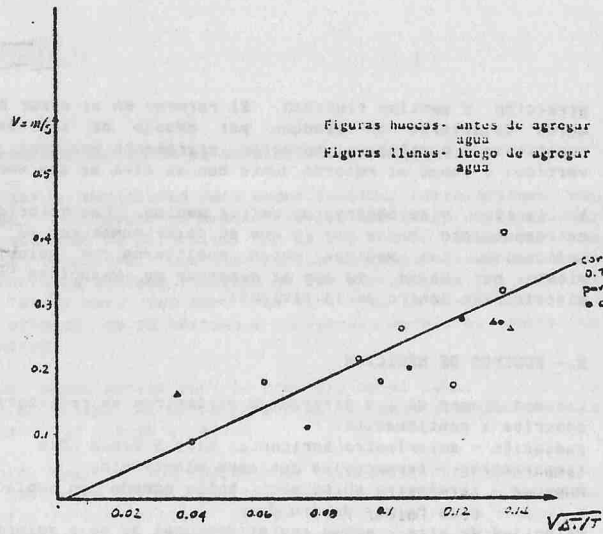


Fig. 1a Relación entre la velocidad media y diferentes  $T / T$ .

- - temperaturas en ventanillas
- △ - temperaturas del canal y el estar
- - temperaturas en las ventanillas y centro del estar

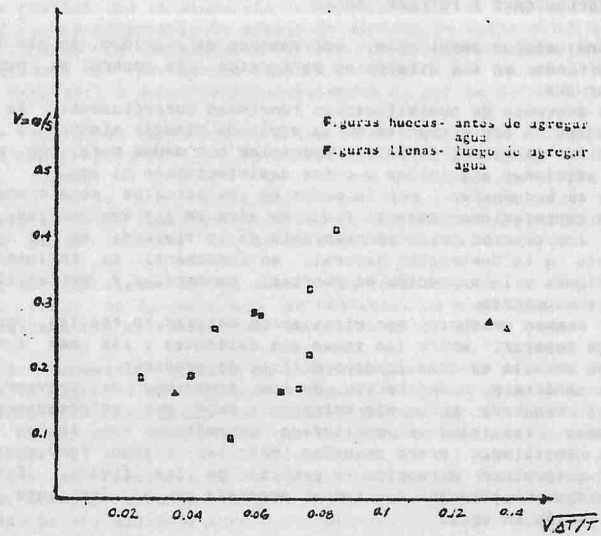


Fig. 1b Relación entre la velocidad media y diferentes  $T / T$ .

- - temperaturas en ventanillas
- △ - temperaturas del canal y el estar
- - temperaturas en las ventanillas y centro del estar

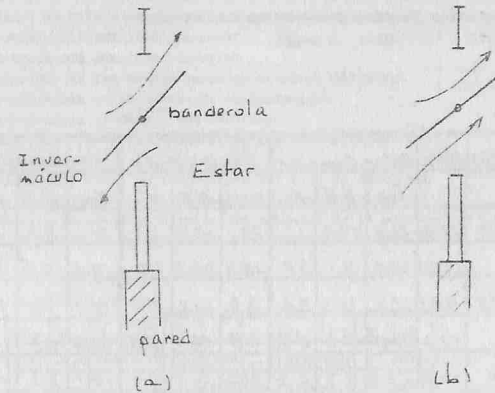


Fig. 2. Esquema de banderola con la circulación de aire: a) puertas entre invernáculo y estar cerradas, b) idem abiertas

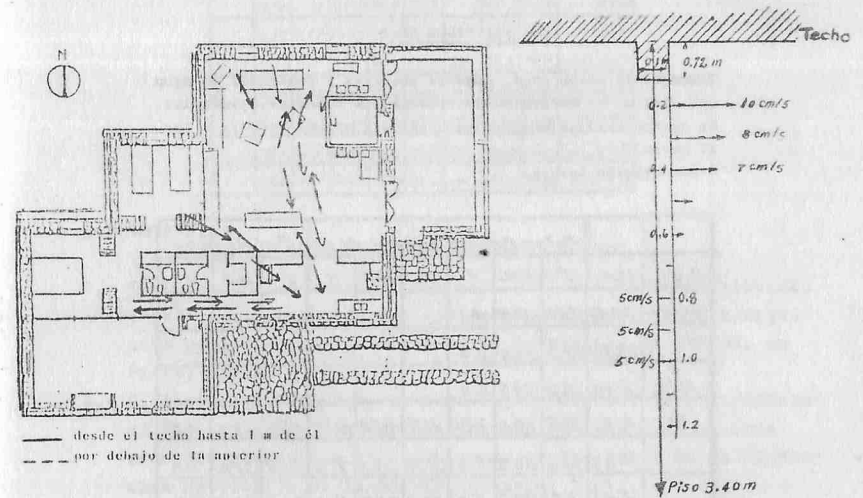


Fig. 3. Circulación de aire con calma en el exterior. Los valores absolutos de las velocidades no son uniformes.

Fig. 4. Perfil de velocidad del aire en el centro del estar. Los valores de las velocidades son indicativos.



TABLA I

Temperatura bulbo seco, humedad relativa, contenido de agua de diferentes locales a varias horas del día.

T<sub>bs</sub> - °C      HR:      x-g/kg

Día	Hora	Estar. Comedor			Invernáculo			Exterior		
		T <sub>bs</sub>	HR	X	T <sub>bs</sub>	HR	X	T <sub>bs</sub>	HR	X
12/9	12.40	21.8	12.9	3.1	28.2	30.9	11.1	21	8.3	1.9
	18.30	23.8	11.1	3.0	25.8	25.7	7.9	18.6	5.0	1.0
13/9	9.30	21.5	15.0	3.4	3.0	26.2	10.3	12.0	7.6	1.0
	12.0	21.0	11.5	2.7	2.8	36.0	12.7	20.0	7.2	1.5
*	16.30	22.8	8.7	2.2	27.5	26.2	8.9	18.7	7.3	1.4
14/9	10.30	22.0	23.7	5.6	28.8	41.2	15.3	10.0	32.0	3.6
*	16.0	22.8	17.0	4.3	27.0	41.8	13.9	18.0	6.5	1.2
	20.3	22.0	16.8	4.1	-	-	-	-	-	-

TABLA II

Temperatura bulbo seco, humedad relativa y contenido de agua del aire en el estarcomedor, ventanilla superior e inferior. Se agregó agua en los depósitos el día miércoles 14/9 a las 21 horas.

\* circulación inversa

Día	Hora	Estar. Comedor			Entrada Aire			Salida Aire		
		T	HR	X	T	HR	X	T	HR	X
14/9	20.40	22.0	16.8	4.1						
	23.40	21.8	22.9	5.4						
* 15/9	8.30	21.0	29.5	6.8						
*	9.30	21.5	29.0	6.89	21.5	30.4	8.4	15.5	63.1	10.34
*	11.30	21.8	30.2	7.3	21.5	30.3	7.2	21.5	32.8	7.8
	13.45	22.4	23.7	5.8	22.0	23.7	5.8	26.0	23.0	7.2
	15.50	23.8	20.7	5.6	23.0	20.7	5.4	26.9	21.7	7.0
	18.00				21.5	20.5	4.8	25.0	18.5	5.4
	20.05				22.0	21.4	5.2	23.0	20.7	5.4

TABLA III

Velocidad de aire y temperaturas en ventanillas y local

T<sub>1</sub> - temperatura ventilote superior  
 T<sub>2</sub> - temperatura ventilote inferior  
 T<sub>3</sub> - promedio de las temperaturas en el canal del muro  
 T<sub>4</sub> - temperatura en el centro de la habitación

Siguen columnas de  $\sqrt{v/T}$  con subíndice.

I - diferencia entre la temperatura del aire a la entrada y a la salida de las ventanillas

II - diferencia entre la temperatura del aire en el centro de la habitación y el promedio en el canal del muro

III - diferencia entre la temperatura promedio de la entrada y la salida de la ventanilla y el centro de la habitación

\* circulación invertida

Día	Hora	v	v <sub>sub</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	I	II	III
13/9	15.20	0.41	0.24	28.5	23.0	-	23.5	0.126	-	0.081
	18.30	0.16	0.070	25.0	22.1	-	23.0	0.1	-	0.041
14/9	9.30	0.22	0.067	20.9	18.3	-	21.4	0.094	-	0.078
	10.40	0.09	0.028	20.4	20.9	-	21.5	0.041	-	0.054
	11.30	0.18	0.056	22.4	21.2	-	21.6	0.064	-	0.026
	12.30	0.26	0.055	24.3	21.0	22.8	12.0	0.106	0.131	0.049
	13.40	0.32	0.105	26.3	21.3	-	22.3	0.136	-	0.074
	16.15	0.17	0.053	25.8	21.4	-	21.9	0.122	-	0.075
15/9	10.10	0.16	0.05	20.5	19.2	20.1	21.3	< 0	0.07	0.07
	15.48	0.21	0.087	26.4	22.5	-	22.0	0.157	-	0.051
	16.20	0.27	0.085	27.0	21.4	-	22.0	0.17	0.133	0.054
	18.0	0.2	0.053	21.0	20.4	-	22.7	0.118	-	< 0
	20.0	0.11	0.034	22.3	20.6	-	22.5	0.076	-	< 0

BIBLIOGRAFIA

- 1.- G. Lesino, L. Saravia, R. Ovejero y R. Requena - Anteproyecto y análisis térmico de una vivienda solar para la Puna Argentina publicado en las Actas de la 4a Reunión de ASADES, La Plata, 1978.
- 2.- G. Lesino, R. Requena, L. Saravia, E. Fontanilla y R. Echazú - Edificios solares en la Puna: estado de avance de su construcción y modelización, publicado en las Actas de la 7a Reunión de Trabajo de la ASADES, Rosario, 1981.
- 3.- G. Lesino, L. Saravia, R. Caso & R. Requena - A solar house in Argentina presentado a Passive and Low Energy Architecture PLEA 1988, Porto, Portugal.
- 4.- L. Cardón e I. De Paul - Convección natural bidimensional en lazos convectivos presentado a 11a Reunión de Trabajo de la ASADES, San Luis, 1986.
- 5.- I. De Paul, V. Javi y G. Lesino - Estudio experimental de procesos convectivos en recintos cerrados: estado de avance presentado a la 12a reunión de Trabajo de la ASADES, Buenos Aires, 1987.