

ENSAYO DE HUMIDIFICACION MEDIANTE MURO COLECTOR-ACUMULADOR

A. Bouciguez, E. Alurralde, G. Lesino y L. Saravia*

Departamento de Ciencias Exactas
Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177, 4400 - Salta

Resumen

El contenido de vapor de agua en el aire en la Puna Argentina es muy bajo. Para asegurar el confort higrotérmico en el interior de las viviendas, debe incorporarse alrededor de 8 gramos de agua por kilogramo de aire en el aire que ingresa por ventilación. En un trabajo anterior (1) se propuso evaporar agua en los muros colectores-acumuladores. El estudio experimental se ha realizado en un prototipo de $3,8 \text{ m}^2$ de superficie de colección, obteniéndose aportes de agua de 0,9 kg. de agua por día en días soleados. El dispositivo experimental, permite medir las distintas temperaturas en el muro, velocidades de aire y humedades relativas.

1. Introducción

El acondicionamiento de viviendas en la Puna Argentina presenta dos aspectos: a) el mantenimiento de temperaturas adecuadas y b) la necesidad de asegurar la presencia de cantidades razonables de humedad en el aire ambiente. En invierno, a mediodía, con 10°C de temperatura, la humedad relativa es del 20 al 30%. Al calefaccionar este aire que ingresa a la vivienda por infiltraciones, ventilación, etc. se disminuye aún más su humedad relativa.

En esta región y con una renovación de aire por hora durante el día y media durante la noche, es necesario incorporar aproximadamente 0,26 kg. de agua/ m^2 de planta de edificio, para obtener un adecuado confort higrotérmico.

* Investigador de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales - Av. Mitre 3100, San Miguel, Buenos Aires.

En un trabajo anterior se ha sugerido la posibilidad de evaporar agua en muros de tipo colector-acumulador aprovechando que en ellos se produce una circulación natural de aire lo que representa un incremento de la posible transferencia de masa. En el presente trabajo se han realizado medidas de dicho aporte. En la sección 2 se describe el dispositivo experimental y en la sección 3 se resumen los resultados obtenidos y se discuten según el modelo teórico propuesto.

2. Descripción del dispositivo experimental

Se cuenta con un muro de tipo Trombe de $3,8 \text{ m}^2$ de superficie ubicado en el campus de la Universidad Nacional de Salta ($24^{\circ} 45'$ Lat S, 1200 m. de altitud). Está construido en cuarcita, con 40 cm. de espesor y aislado en todo su perímetro. Sobre él apoya exteriormente un marco metálico con doble vidriera. Por detrás del muro hay un habitáculo de poliestireno expandido de 6 m^3 de volumen dentro del cual se han colocado 16 tarros cilíndricos que contienen aproximadamente 25 lts. de agua cada uno para dar al habitáculo una masa de acumulación. Son herméticos, de manera que su presencia no influye para nada en la parte de humidificación. El aire del habitáculo puede renovarse, en forma regulable y medible, por medio de un extractor. La medida del flujo de aire se realiza calentando el mismo con una potencia eléctrica conocida y midiendo el salto de temperatura que produce. La renovación del aire es imprescindible en la experiencia, ya que de no existir se produce la saturación y se detiene la transferencia. Las medidas se realizaron con 1,3 renovaciones del aire/h.

El muro cuenta con tres ventiletes; dos de ellos están en la parte superior en los ángulos izquierdo y derecho; el tercero se encuentra en la parte inferior central y su área es de $0,04 \text{ m}^2$.

En este último se ha colocado un marco del que cuelgan telas de fibra de vidrio con un área total de transferencia de $1,76 \text{ m}^2$. Las mismas están colocadas paralelamente al flujo de aire y están sumergidas en su parte inferior en un depósito de agua. Se han colocado termocuplas (Fig. 1) que permiten medir las temperaturas a lo largo y ancho del muro, así como la temperatura del aire a la entrada y salida de los ventiletes, de las telas y del agua del depósito (Fig. 2).

Para medir la humedad relativa del aire a la entrada y salida de las telas se han usado sondas detectoras de tipo capacitivo, con salida lineal, lo que permite un registro continuo de la variación de humedad.

El agua incorporada se midió también por la variación de nivel del depósito mediante una escala graduada inclinada, exterior al habitáculo y comunicada con el interior por un tubo de latex.

La velocidad del aire en el ventilete inferior se midió con un anemómetro de hilo caliente en escala 0-0,5 m/s adecuada a las bajas velocidades en juego. La calibración del instrumento es a 20°C , se corrige mediante tabla, por diferencia de temperatura.

3. Resultados experimentales. Discusión

3. a. Resultados

Se realizó un conjunto de medidas con dos niveles de radiación, de menos de 20 MJ/día y 23 a 24 MJ/día. Esto se traduce en diferentes temperaturas del muro y diferentes velocidades y gastos máxicos en ventiletes.

Las medidas de gasto de agua realizadas directamente dan un promedio de 0,9 kg. de agua/día con radiaciones de 23 MJ/m² día, sobre superficie vertical.

La tabla I muestra un análisis detallado de las distintas temperaturas y aporte de agua cada 20 minutos en horas en que la transferencia es máxima. Siendo las velocidades medidas de 0,15 m/s, el aporte medio horario es de 82,4 g de agua/hora.

En la tabla II se exponen las velocidades medias medidas en la entrada del ventilete inferior y su correlación con los saltos de temperatura que genera el gradiente de densidad, motor de esta circulación de aire. Los valores medidos se ajustan a un modelo en $T^{\frac{1}{2}}$ (2) para T_2 . Los valores de la velocidad medidos antes de la colocación de las telas, en condiciones similares, fueron de 0,4 m/s. Se observa una disminución apreciable de la velocidad debida al aumento de la pérdida de carga del conducto, producido por las telas.

0,9 kg. de agua insumen 2,2 MJ para su evaporación. La radiación total recida por el muro es de $3,8 \times 23 = 87,4$ MJ, por lo que la influencia no es detectable en el comportamiento térmico del muro. Interesará, en el futuro, precisar esa influencia cuando la carga térmica por evaporación sea más alta. En los cálculos computacionales realizados en (1), se observó el mismo comportamiento.

En la tabla III se muestran las temperaturas en los distintos puntos del muro para un día de funcionamiento con humidificación. Los subíndices que identifican a las temperaturas corresponden a la numeración de las termocuplas de las fig. 1 y 2.

Se construye la tabla IV para discutir la aplicación del modelo (1) a la transferencia.

3. b. Discusión

En la tabla IV se observa un calentamiento final, que se produce por influencia de la capa exterior del muro cuya temperatura es más alta que el resto del espesor. Este aumento incrementa la cantidad de agua evaporada. En la tabla IV la columna T_s indica la temperatura mínima a que se puede llegar, en el caso de humidificación adiabática. Se observa también en las columnas de T_2 y T_3 la disminución de temperatura de las telas y del aire dentro del conducto.

Tanto la temperatura del aire como la de las telas varían a lo largo del canal con leyes del tipo

$$T = T_s (T_e - T_s) e^{-x/l}$$

Si se pasa en las telas de 0,386 a 0,243 en 13 cm, distancia entre las termocuplas 2 y 3, del cociente $(T-T_s)/(T_e-T_s)$ resulta $L=28$ cm.

El valor de L calculado según el modelo adiabático es de 26 cm. El ajuste es muy bueno. En el cálculo de L aparece el gasto de aire que es una variable delicada de medir en forma precisa, pero en términos generales el modelo es adecuada para estimar la capacidad de evaporación. Los valores reales obtenidos son más altos debido a ese calentamiento final ya mencionado al comentar los resultados.

Es interesante notar que L es proporcional a G, gasto másico de aire por unidad de ancho de superficie de transferencia, con lo que disminuye el grado de saturación. Esto se ha observado, pues para velocidades de 0,15 m/s se transfieren 3,8 g de agua/kg de aire mientras que para 0,2 m/s el valor es de 2,9 g de agua por kg de aire. Pero lo que interesa es la masa total de agua transferida que es

$$G_{\text{agua}} = G_{\text{aire}} (w_{\text{salida}} - w_{\text{entrada}})$$

G_{agua} - kg de agua/hora incorporados

G_{aire} - kg de aire/hora que circulan

$w_{\text{salida}}, w_{\text{entrada}}$ - contenido de agua en el aire de salida y de entrada en kg de agua/kg de aire
y que resulta creciente con G.

El método desarrollado es eficaz, obteniéndose adiciones de agua adecuadas y se empleará en las casas diseñadas para la Puna.

REFERENCIAS

1. G. Lesino y L. Saravia, Control de la Humedad Ambiente en la Puna Argentina, presentado en la 5ta. Reunión de Trabajo de ASADES de Córdoba, 1979.
2. J. D. Balcomb, J. C. Hedstrom et al, Passive Solar Heating of Buildings, Los Alamos Scientific Laboratory.

0,1	1,81			
0,2	1,91			
0,3	2,01			
0,4	2,11	01	10,00	
0,5	2,21	01	10,75	
0,6	2,31	01	11,50	

LEYENDAS DE LAS FIGURAS

Fig. 1 Esquema de la posición de termocuplas en el muro.

Fig. 2 Esquema de la zona de incorporación de agua y posición de termocuplas.

T A B L A I

Hora	HR%	T4°C	Conte nido agua g/Kg	HR%	T1°C	Conte nido agua g/Kg	Aporte agua g/Kg.
16,20	82,1	20,5	14,3	100	21	18,1	3,8
16,40	83	20,5	14,2	98,14	21	17,7	3,5
17,00	81,7	20	13,7	97	21	17,5	3,8
17,20	61,4	19,5	10	82,2	19	13,1	3,1
17,40	61,4	19	9,6	87,9	19	14	4,4
18,00	61,4	19,5	10	92	19	14,7	4,7

T A B L A I I

<u>m/s</u>	<u>T₁ °C</u>	<u>T₂ °C</u>	<u>T₃ °C</u>
0,12	5,9	4,1	9,4
0,1	5,1	5,	12
0,1	4,1	9,	13,2
0,2	8,9	17,2	22,1
0,18	8,3	18,9	25,6
0,18	7,2	16,9	22,4

- velocidad media a la entrada del ventilote inferior.

T₁ - diferencia entre la temperatura de salida del ventilote superior y la ambiente interior.

T₂ - diferencia de temperatura entre la salida del ventilote superior y la entrada del ventilote inferior.

T₃ - diferencia de temperatura entre el meno (promedio en altura) y la entrada del ventilote inferior.

T A B L A I I I

Día 10/5 - Radiación 24 MJ/m² día sobre superficie vertical.

Hora	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	20,3	18,4	18,9	20,6	19,6	25
2	20	18,3	18,8	20,5	18,8	24,3
3	19,9	17,7	18,9	20,4	18,7	23,8
4	18,5	18	17,5	18,9	18,5	23,4
5	18,8	17,9	16,9	19,1	18,6	22,9
6	18,8	17,8	16,8	19,2	18,8	22,4
7	18,1	17,6	15,8	18,6	16,8	22,3
8	17,5	16,5	16,7	18,5	16,7	21,8
9	17,5	13,8	14,5	18,5	16,7	31
10	19,6	16	15,7	19,6	17	34,5
11	20,2	16,1	16,1	20,4	17,6	38,7
12	21,1	17,5	17,7	21,2	18,3	42,2
13	22	18,5	18,7	22,4	19,2	45,1
14	23	19,4	19,4	23,3	19,7	47,2
15	23,6	19,4	19,9	23,7	20	47,8
16	24,1	20,4	20,9	24,1	20,6	46,6
17	24,4	19,1	19,9	24	20,9	43,4
18	23,2	19,5	19,5	23,6	20,5	38,6
19	22,2	19,2	19,3	23,5	20,9	35,3

Hora	T1	T2	T3	T4	T5	T6
20	22,4	20	19,5	24	21,3	33,8
21	22,6	20,1	19,3	23,8	22,1	32,4
22	23,1	20,4	20,5	24,3	21,6	31,4
23	22,4	19,9	20	23,6	21,5	30,5
24	21,9	19,3	19,7	23,2	21,1	29,5

T A B L A I I I

Día 10/5 - Radiación 24 MJ/m² día sobre superficie vertical.

Hora	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
1	27,1	27,4	25,4	21,2	23,2	10,8	20,8
2	26,6	26,7	24,7	20,6	22,5	10,2	20,7
3	26,3	26,4	24,2	20,4	22,1	8,2	20,6
4	25,7	25,8	23,5	19,9	21,6	9,6	20,7
5	25,1	25,2	23,0	19,7	21,2	7,4	21,3
6	24,7	24,7	22,4	19,8	20,8	7,9	21,2
7	24,3	24,4	22,3	19,2	20,8	7,9	21
8	23,9	23,9	21,9	19,1	20,3	7,8	20,4
9	29,9	33,5	28,5	19,1	22,9	19,6	19,9
10	33	38	31,9	19,6	25,0	23,7	20,1
11	37,2	43,2	35,5	21,0	27,6	26,3	19,9
12	40,6	47,1	38,4	22,3	29,5	28,3	20
13	43,6	50,4	40,4	23,1	31,3	35,3	20,3
14	45,7	52,5	42,1	24,4	33,4	29,6	20,1
15	46,9	53,2	42,6	25,4	34,3	26,5	20,4
16	45,6	51,8	47,8	26,1	34,0	25,3	20,8
17	44,3	49,1	40,2	25,9	33,4	24,3	20,8
18	41,2	49,6	37,8	25,5	32,4	20,4	21,1
19	38,2	39,8	35,5	24,9	30,9	17,3	21,7

Hora	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13
20	36,8	37,8	34,2	25	30,1	15,1	22,2
21	35,5	36,3	32,9	24,9	29,0	13,9	22,4
22	34,7	35,2	32,2	24,5	28,4	10,9	23,1
23	33,6	34,3	31,2	24,2	27,7	10,3	22,8
24	32,9	33,4	30,6	23,7	27,1	10	22,9

T A B L A IV

HRS	T ₁	Contenido agua g/kg	T ₄	Contenido agua g/kg	T ₂	T ₃	T.sat	Contenido agua	$\frac{T_3 - T_s}{T_e - T_s}$	$\frac{T_2 - T_s}{T_e - T_s}$
77	26	18,8	27,2	14,9	21,9	22,9	20,2	17,2	0,386	0,24
82,7	25,7		27,2	15,6	21,8	22,4	21,2	18,3	0,2	0,1
89	25,9	21,9	27,9	18	22	23,2	22,2	19,7	0,175	

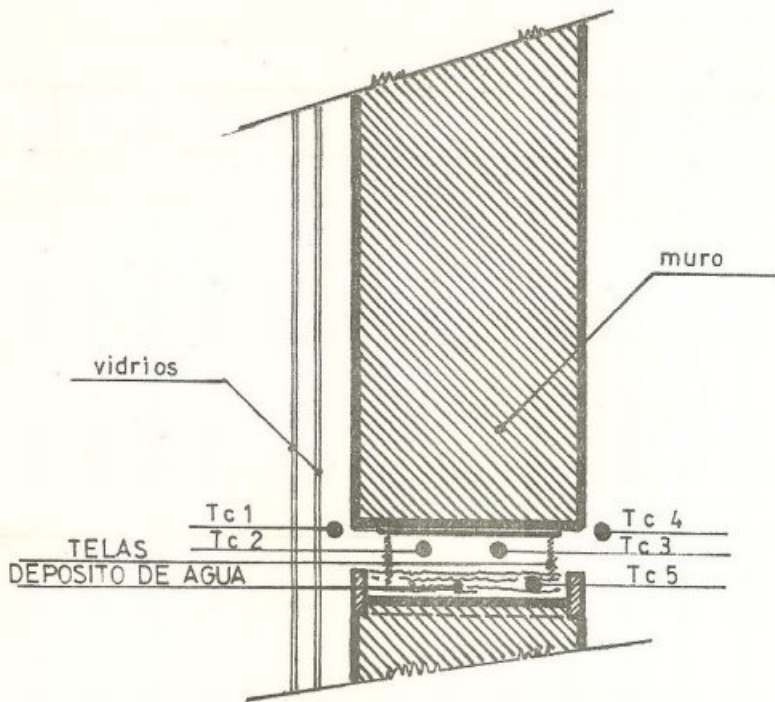


Fig. 2

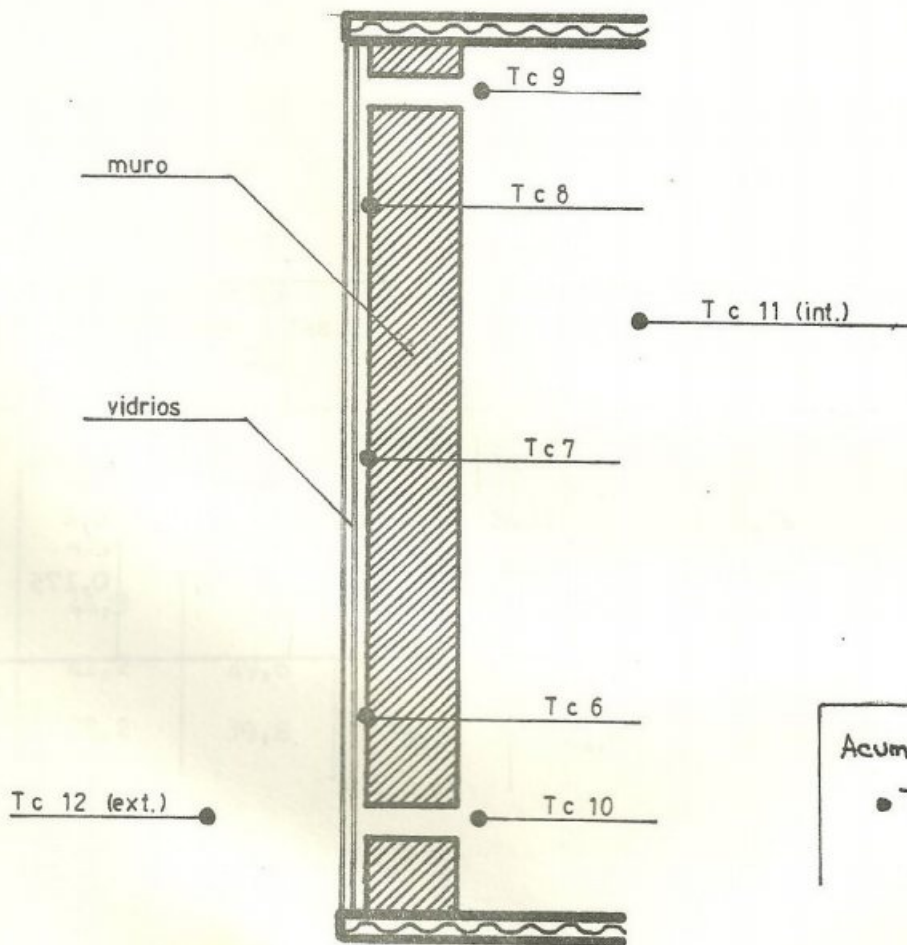


Fig. 1.

Acumulac.
• Tc. 13