

EL CONTROL DE LA HUMEDAD AMBIENTE EN CASAS SOLARES
UBICADAS EN LA PUNA ARGENTINA

G. Lesimo

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

L. Saravia

Universidad Nacional de Salta
Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales

Resumen

El clima de la región conocida como "La Puna", ubicada a alturas superiores a los 3000 mts, presenta una muy baja humedad relativa ambiente, inferior al 20% durante los días de invierno. Los problemas causados por la falta de humedad son de entidad y se agravan al usar sistemas pasivos de calefacción solar que, al levantar la temperatura del aire interior de la casa, reducen la humedad relativa.

Con el fin de dar solución al problema, en este trabajo se discuten dos posibles alternativas, las que buscan soluciones que no requieran la utilización de sistemas mecánicos.

En una de ellas se considera el uso de superficies de evaporación de agua incorporadas a los muros colectores de radiación solar. La corriente de aire caliente provocada por estos muros transporta el vapor de agua desde dichas superficies a la habitación. Se evalúa la capacidad de evaporación de diversas disposiciones y las alteraciones provocadas en el régimen térmico del muro colector.

La otra alternativa utiliza invernáculos integrados al ambiente. La superficie cubierta por plantas y los volúmenes de agua con superficie descubierta que se pueden incorporar a un ambiente, tienen una capacidad de producción de vapor de agua que prácticamente llega al nivel de evapotranspiración potencial para las condiciones de temperatura y radiación reinantes en el invernáculo.

En este trabajo se procura evaluar esa capacidad así como las posibilidades de transporte del vapor a las otras zonas habitadas del edificio.

Abstract

The region known as "La Puna", with altitudes above 3000 mts., has very low values of the ambient relative humidity, below 20% for the winter days. Heating increases the problem of the lack of humidity.

Water can be incorporated without the use of mechanical energy integrating evaporating surfaces to the collector walls or to the green house.

The evaporation capacity of the systems and the change in thermal performance of the collectors is evaluated.

Introducción

Un factor importante del confort en el acondicionamiento ambiental es el contenido de humedad del aire. La Puna es una zona sumamente seca y cualquier método de calefacción, al elevar la temperatura, disminuye la humedad relativa, agravando el problema.

Con el fin de dar una solución al problema, en el presente trabajo se encaran posibles métodos pasivos de incorporar agua al ambiente. Se impone siempre la condición de no uso de energía eléctrica ya que es una zona donde fuera de los centros poblados el suministro de la misma no está asegurado.

En la sección 1 se describen las características climáticas de Abra Pampa y las necesidades de agua que ellas generan en la vivienda (se ha ejemplificado con la vivienda solar proyectada para INTA (1)), en la sección 2 la posibilidad de incorporar superficies de evaporación de agua a muros colectores acumuladores y su influencia sobre el régimen térmico de los mismos o de utilizar invernáculos integrados a la vivienda. Estos son recomendables desde el punto de vista térmico por su gran ganancia (directa) pero pueden además cumplir una función de humidificación interesante, usándose parte de la energía para la vaporización del agua.

1.a) Características de la humedad relativa ambiente en la Puna.

En la tabla I se muestra una serie de días de invierno con sus temperaturas y humedades características, así como el contenido de vapor de agua. Buena parte de las temperaturas de bulbo húmedo y seco en esa época del año se hallan por debajo de 0°C . Los datos de la tabla han sido obtenidos en la Subestación Experimental de INTA de Abra Pampa.

Como se ve, a la hora de máxima temperatura, alrededor de las 3 de la tarde la humedad relativa se coloca en valores de 20%. El contenido de agua del aire fluctúa entre los 2 y 3 g/kg de aire seco. Si bien estos valores pueden variar año a año, son sintomáticos de la situación.

b) Estimación de la cantidad de agua a incorporar a la vivienda.

Se toma como ejemplo para los cálculos, la vivienda solar diseñada para la Subestación Experimental de Abra Pampa de INTA (1). En lo que sigue se tratará de evaluar las necesidades de las áreas habitables (208 m^2 y 580 m^3) en cuanto a aporte de humedad. Se aspira, como un nivel razonable, a mantener la humedad relativa entre el 50% y el 60%.

El contenido de agua de 1 kg de aire seco a 18°C y 55% de humedad es de 10 g. Las pérdidas de humedad se producen por las renovaciones de aire teniendo en cuenta la diferencia de 8 g de agua por kilo de aire seco intercambiado entre el interior y el exterior. La experiencia general es que no resulta sencillo bajar drásticamente el número de las mismas. Para el presente cálculo se ha tomado 1 renov/hora durante las 9 horas del día y 3 renov/hora las 15 restantes. Esto da un volumen diario de 9570 m^3 y 7660 kg/día ya que la densidad del aire a 18°C y 510 mm de presión es 0.8 kg/m^3 . El aporte de agua diario debe ser de unos 60 kg, siendo parte de él producido a nivel de las zonas

húmedas de la casa, especialmente la cocina.

Este aporte implica además un incremento en la energía necesaria, para la evaporación, de 150 MJ/día.

2.a) Evaporación de agua por los muros colectores

La humidificación en los muros colectores se puede realizar (Fig. 1) A) en las ventanillas inferiores o B) en las ventanillas superiores.

La disposición A es más cómoda que la B para la llegada de agua, control visual del sistema, aunque como se verá la B puede ser más eficiente.

A continuación se realiza una estimación del posible aporte de una configuración como la de la Fig. 2 de una ventanilla de $.15 \times 1 \text{ m}^2$ de sección, cada 5.4 m^2 de muro colector de $.45 \text{ m}$ de hormigón en la que se espera un gasto horario promedio de aire de 150 kg/h durante 8 horas. En la casa existen 8 de estas ventanillas. En el conducto de 45 cm de longitud pueden colocarse unas 50 telas lo que da un área de transferencia de 3.3 m^2 por ventanilla.

Las ecuaciones locales que rigen las transferencias de calor y de masa en la hipótesis de humidificación adiabática (2) son:

$$G \frac{dw}{dx} h_{fg} = h_c (t - t_t) \quad (\text{I})$$

$$G \frac{dw}{dx} = h_D (w_s(t_t) - w) \quad (\text{II})$$

$$c_p \frac{dt}{dx} = - h_{fg} \frac{dw}{dx} \quad (\text{III})$$

S_1

donde

G - gasto básico de aire seco por unidad de ancho de la superficie de transferencia kg aire seco/m h

w - concentración de agua kg/kg de aire seco

x - coordenada a lo largo de la superficie de transferencia

h_{fg} - calor de vaporización del agua J/kg

h_c - coeficiente de transferencia térmica $\text{J/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C}$

t - temperatura de la mezcla aire-vapor $^\circ\text{C}$

t_t - temperatura de las telas $^\circ\text{C}$

h_D - coeficiente de transferencia de masa kg/h m^2

$w_s(t_t)$ - concentración de agua en aire saturado a temperatura de las telas kg/kg as

c_p - calor específico del aire húmedo $\text{J/kg } ^\circ\text{C}$

El subíndice i indica condiciones a la entrada del sistema. Para los cálculos se han tomado los siguientes valores:

$h_{fg} = 2.46 \text{ MJ/kg}$ constante en el rango de temperaturas considerado

$$Le = h_c / h_D c_p = 0.925 \text{ (Número de Lewis)} \quad (3)$$

$c_p = 1 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{C}$ constante independiente del contenido de agua del aire. El error cometido es menor del 4% para w entre 0 y 20 g/kg de aire seco

$$h_c = 20.4 \text{ KJ/h m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$G = 150/2.15 \times 50 = 10 \text{ kg/h m}$$

La solución de S_1 para t es:

$$t = (t_i - t) e^{-ax} + t \quad (IV)$$

$$1/a = 0.5 \text{ m}$$

Se ha linealizado $w_s(t_t)$ entre 12 y 20 $^\circ\text{C}$ por

$$w_s(t_t) = 1.14 \cdot 10^{-3} (t_t - 12) + 12.85 \cdot 10^{-3}$$

y t es la temperatura correspondiente al aire saturado con igual entalpía que a la entrada, en este caso 12 $^\circ\text{C}$.

De IV se ve que la longitud del canal es adecuada para una buena transferencia.

A 12 $^\circ\text{C}$ y 100% de humedad relativa, el contenido de agua es de 13 g/kg. El máximo de agua transferible es entonces de 29 kg / día para todas las ventanillas de la casa.

Si se supone que se realiza un aporte de 20 kg / día, el modelo computacional (1) que permite simular el comportamiento térmico del muro da como resultado un rendimiento aproximadamente igual al sin humidificación. La pared expuesta a la radiación trabaja a una temperatura un poco más baja, 3 $^\circ\text{C}$, ya que el aire entra al muro unos 4 $^\circ\text{C}$ más frío.

La ubicación B no altera el régimen térmico si se supone, como en el caso anterior, que el calor de vaporización es suministrado de alguna manera al total de la casa. Las condiciones a la salida son: temperatura entre 25 y 35 $^\circ\text{C}$ y 10 g de agua/kg de aire seco (HR = 20%). Un sistema similar al propuesto en A para la humidificación puede incorporar un máximo de 6 g de agua por kg de aire seco, esto es, un máximo de 40 kg/día pero reduciendo la temperatura de salida del sistema a 16 $^\circ\text{C}$.

En los muros colocados en los dormitorios puede no ser necesario usar la capacidad total de evaporación por sus características de ocupación y su volumen, más aún puede no ser conveniente en términos de los balances térmicos en ciertas habitaciones donde el déficit térmico producido por la evaporación es difícil de paliar por encontrarse lejos del invernadero, el recinto a ganancia neta positiva.

2.b) Evaporación en el invernadero

El invernadero tiene un balance térmico positivo de unos unos 110 MJ/día en el invierno. La energía debe transferirse a la casa en caso de ser necesaria por aberturas para la circulación del aire que se han previsto o acumularse en la zona lo que produce fluctuaciones amplias de temperatura.

En la Puna un buen uso de ese excedente es la vaporización de agua presente en la tierra húmeda, vasijas porosas o en pequeños espejos de agua.

Se ha realizado un modelo simple de las transferencias térmica y de masa que muestran la factibilidad de ambas. Las ecuaciones S_2 corresponden al esquema de la Fig. 3 del balance energético del piso y el cálculo de la masa de agua vaporizada

$$m_p c_p \frac{dtp}{dz} = A_p \left[\alpha T_p - hr (tp - t) - h_c (tp - t) - Z h_{fg} (W_s (tp) - W_a) - \frac{k}{e} (tp - ts) \right] \quad S_2$$

$$\frac{dm}{dz} = \frac{h_c}{0.925 C_{pa}} A_p (W_s (tp) - W)$$

donde los nuevos parámetros son

$$A_p = \text{área piso } 32 \text{ m}^2$$

$m_p C_p$ = "masa térmica" del piso, mezcla de 12 m^3 tierra y 4 m^3 de agua -

$$C_{pa} M_a = 4 \cdot 10^3 \times 4 \cdot 10^3 = 16 \text{ MJ/}^\circ\text{C}$$

$$C_{pt} M_t = 10^3 \times 20 \times 10^3 = 20 \text{ MJ/}^\circ\text{C}$$

$$m_p C_p = M_a C_{pa} + M_t C_{pt} = 36 \text{ MJ/}^\circ\text{C}$$

Z = 40%, porcentaje del área total con posibilidad de evaporación.

hr = coeficiente de transferencia radiativa - $hr + hc = 11 \text{ w/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

k/e = coeficiente de transferencia conductiva del piso y el aislante - $0.8 \text{ w/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

M = masa de agua transferida al aire

I = radiación sobre superficie horizontal

α = coeficiente complejo de absorción del piso y factor de sombreado.

La resolución de S_2 durante el día, suponiendo que las condiciones promedio del aire durante la transferencia son $23 \text{ }^\circ\text{C}$ y 70% de humedad relativa, da una masa de agua vaporizada de 36 kg, destinados a la zona de estar y comedor

El conjunto de los dos sistemas propuestos puede suministrar los requerimientos de agua estimados.

Conclusiones

Las alternativas propuestas son factibles desde el punto de vista de las áreas de transferencia y del balance térmico. Presentan la ventaja de amortiguar el pico de temperatura debido a los aporte directos, sin bajar los rendimientos. Este trabajo continuará con ensayos en muro prototipo, analizándose soluciones para las telas a utilizar, higiene de las mismas; efectos de condensación y modificaciones del flujo de aire debido a la presencia de las telas.

Tabla I

Datos de algunos días de invierno en Abra Pampa

Fecha	Hora	t_{bs}	t_{bn}	HR %	W g/kg as
21/6/75	9	3.2	-1.2	46	3.4
	15	14.6	3	15	2.2
	21	2.8	-3	29	2.0
24/6/75	9	-14	-15	70	1.3
	15	10	1.0	205	2.3
	21	-1.5	-6.6	27.5	1.4
18/7/75	9	-13	-14.6	58	1.2
	15	9.8	1.2	24	2.7
	21	-7.2	-10.8	30	1.0
28/7/75	9	-1	-4.4	49	2
	15	11.8	2.4	22	2.8
	21	0	-5.6	26	1.4
12/8/75	9	-8	-11	38	1.2
	15	13	1.8	14	1.9
	21	3.2	-3.6	20	1.4
29/8/79	9	4.5	3.2	82	6.4
	15	20.2	5.0	8.5	1.8
	21	12.0	1.8	18	2.3

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al Lic. E. Frigerio la preparaci3n de las tablas psicrom3tricas para una presi3n atmosf3rica de 510 mm Hg.

Referencias

- 1 - G. Lesino, R. Ovejero, L. Saravia, R. Requena - Anteproyecto y An3lisis T3rmico de una Vivienda con Uso de Energ3a Solar para la Puna - Actas, 4^o Reuni3n de ASADES, La Plata, 1978.
- 2 - V. Isachenko, V. Osipova, A. Sukomel - Transmisi3n de calor - Cap. 14 - Boixareu Editores Marcombo, 1973.
- 3 - J.L. Threlkeld - Ingenier3a del 3mbito t3rmico - Editorial Prentice Hall International, 1973.

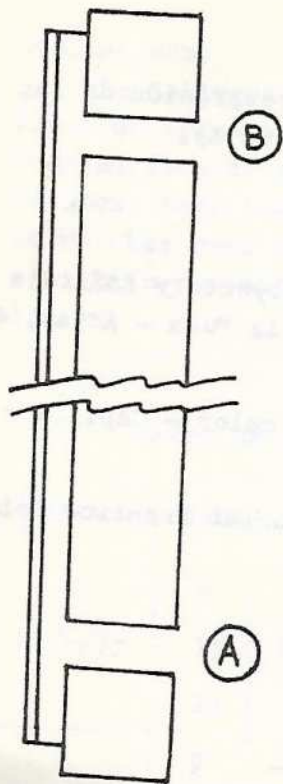


Fig. 1

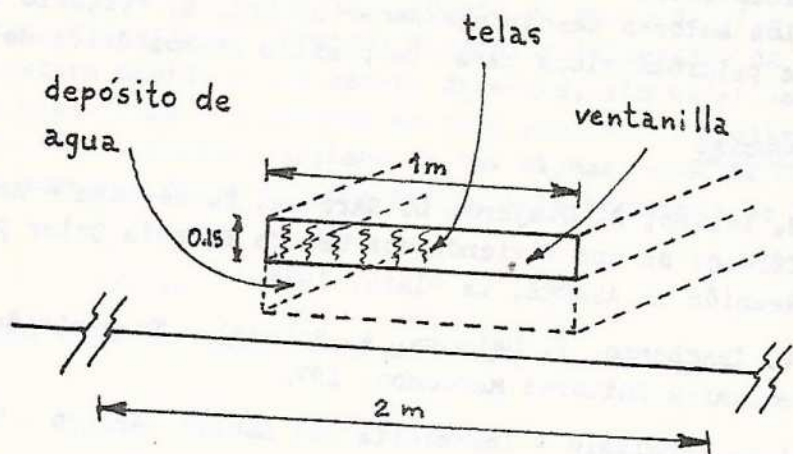


Fig. 2

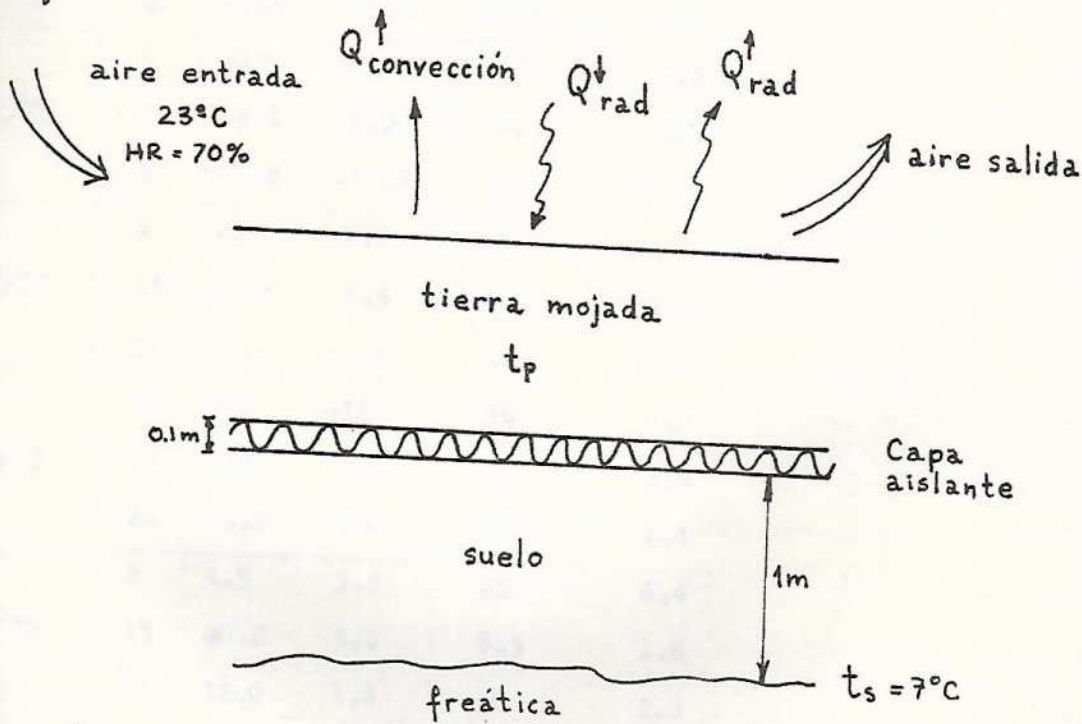


Fig. 3