

## ENSAYO DE SISTEMA DE REFRESCAMIENTO MEDIANTE RADIACION NOCTURNA

Gabriel Chiarito y Graciela Lesino

### Resumen:

El objetivo de este trabajo es examinar el recurso de refrescamiento mediante radiación nocturna en edificios, usando un circuito de aire que integrado a la construcción permita el acondicionamiento térmico de verano. Dentro de los objetivos del proyecto se buscó un tipo constructivo rápido y a costos razonables, con materiales de uso habitual en la zona y en los planes FO.NA.VI., Figura 1.

El sistema de refrescamiento ensayado se compone de radiador sin cubierta, un acumulador aprovechando el contrapiso y un circuito de aire que los conecta según el siguiente proceso:

- \* toma de aire exterior a temperatura ambiente (TA)
- \* refrescamiento en contacto con el radiador (TR) hasta una temperatura (TS)
- \* desciende impulsado por el ventilador por el pleno vertical
- \* en contacto con el acumulador se calienta hasta una temperatura (TF)
- \* y se evacua el aire al exterior (circuito abierto), Figura 2

De la totalidad del monitoreo se mostrarán las campañas de medición que según las variantes operadas en el sistema describen las situaciones más destacadas. En la primera se muestra una secuencia de noches nubladas, pudiéndose comprobar la complementación entre la estrategia ensayada, radiación nocturna, con la de ventilación estructural cuando las condiciones de cielo cubierto impiden la práctica del refrescamiento radiativo.

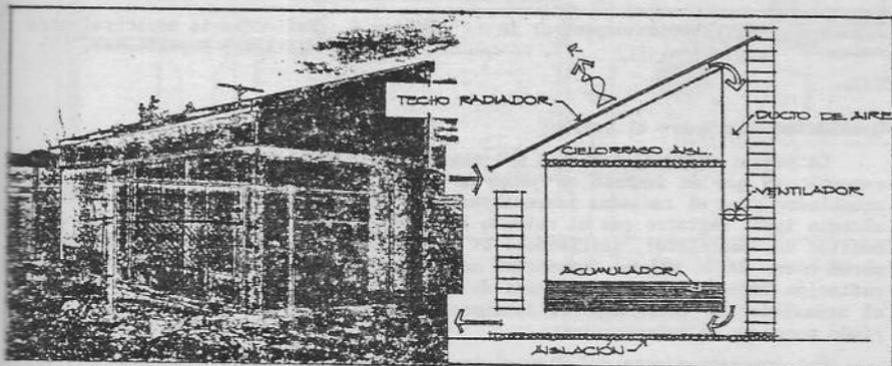


Figura 1: Vista fotográfica noroeste del prototipo

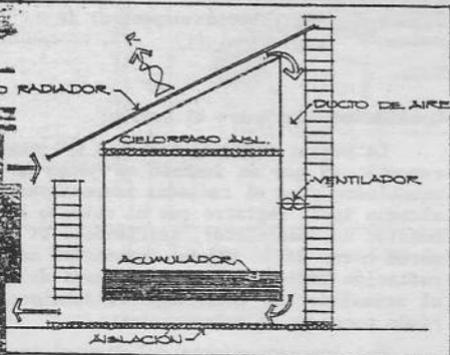


Figura 2: Esquema del circuito de aire

En la segunda se muestra el potencial máximo que alcanza el radiador operando "separado" del sistema en condiciones de cielo claro. En la tercera y última se puede ver el sistema funcionando en conjunto (radiador-acumulador), como así también el efecto que produce la presencia de nube sobre el rendimiento del radiador.

#### Introducción:

En condiciones de cielo despejado se establece un flujo radiativo entre cualquier superficie que "vea" la bóveda de cielo nocturno y ésta. El intercambio se establece con dos picos aproximadamente en longitudes de onda de 7 y 15 micrones, con una depresión en medio denominada "ventana atmosférica". En condiciones de cielo cubierto por nubes la distribución espectral se cierra como un cuerpo gris interrumpiendo el intercambio según el incremento en la cantidad de vapor de agua, tal como se indica en la Figura 3. (1)

El techo por ser el elemento más expuesto al cielo proporciona la localización más efectiva para un radiador de onda larga. La intensidad de una superficie depende de la temperatura absoluta de la superficie del radiador y de su emisividad. La emisividad es una propiedad física de la superficie que puede sólo variar en el tiempo por acción de la oxidación. En la Figura 4 se indica la reflectancia porcentual en el espectro, correspondiendo la línea B al tipo de superficie usada en el prototipo. (2)

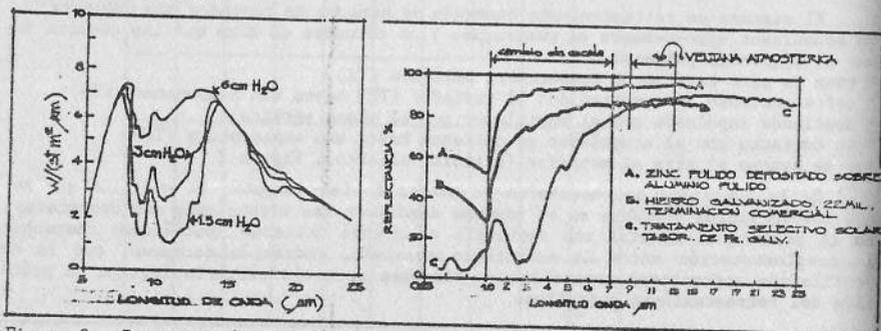


Figura 3 : Distribución espectral de radiación. (1)

Figura 4 : Reflectancia espectral para distintas superficies. (2)

#### Consideraciones sobre el ensayo:

La puesta en funcionamiento del sistema durante la noche se realiza automáticamente, ya que se instaló un juego de sensores diferenciales localizados en el acumulador y en el radiador respectivamente. Cuando el sensor ubicado en el techo alcanza igual registro que el ubicado en el contrapiso se acciona el relay de encendido del ventilador, iniciándose el bombeo de aire en el circuito. En las primeras horas de la mañana, cuando el sensor del techo empieza a calentarse por la radiación incidente sobre la chapa del techo y alcanza igual temperatura que en el acumulador se interrumpe el funcionamiento del ventilador, finalizando el período nocturno de refrescamiento.

Del correcto ajuste del dispositivo depende el rendimiento del sistema, especialmente para el acondicionamiento de verano, donde las diferencias de temperatura existentes entre la "fuente fría" y la temperatura de diseño son comparativamente mucho más pequeñas que en los casos de acondicionamiento de invierno.

#### Descripción del box de ensayo:

En 1983 se diseñaron y construyeron dos módulos de 20 m<sup>2</sup> cada uno, con paredes dobles de mampostería de ladrillo cerámico hueco de seis tubos, de 8 x 18 x 33 cm.

En la cámara intermedia de los muros se ubicó una aislación de 5 cm. de poliestireno expandido desde la viga de encadenado superior a la inferior. Esta última se proyectó a 50 cm por debajo de lo tradicionalmente acostumbrado, para que la aislación llegue a un nivel inferior que el del piso interior y permitir el control de las pérdidas perimetrales, Figura 5.

El radiador de techo está compuesto por una chapa galvanizada ondulada, a la que se adosó otra plana por debajo para armar los ductos de circulación de aire en el techo. Las juntas y solapes están pegadas con bitumen asfáltico para evitar las pérdidas de aire. Entre esta cubierta, con una pendiente de 17 grados al norte (cabe aclarar que la cubierta cumple funciones de colector solar en invierno) y el cielorraso aislante se encuentra un pequeño ático técnico para facilitar el ensayo, Figura 6.

Para el acumulador en el piso se optó por un contrapiso de hormigón pobre de 30 cm de espesor y aislación inferior de 2 cm de poliestireno expandido. Para permitir la circulación de aire se incluyeron en la masa de hormigón caños comunes de cemento de 15 cm de espesor cada 25 cm de eje a eje. La batería de caños ubicada en el sentido norte-sur rematan en plenos de 30 cm de profundidad, Figura 7.

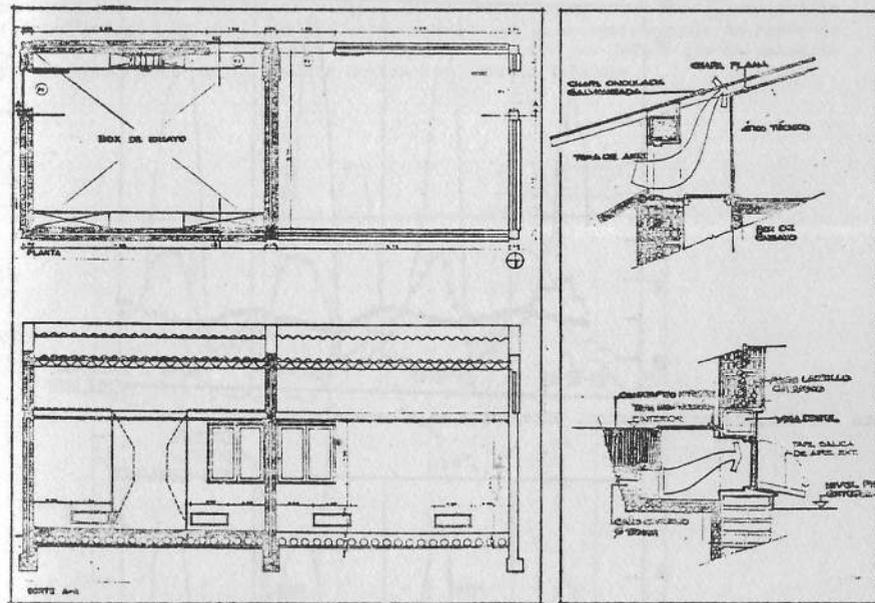


Figura 5 : Box de ensayo

Figura 6 y 7 : Detalles de la toma y salida de aire

#### Ensayo en noches de cielo cubierto:

La secuencia escogida corresponde a 4 días con una marcada presencia de nubes durante las noches, donde como era de esperar la temperatura del radiador se mantuvo por encima de la ambiente exterior. La temperatura límite teórica que puede alcanzar el radiador para noches de cielo cubierto es la temperatura ambiente, ya que el flujo radiativo interrumpido por las nubes no permite que descienda por debajo de ésta, mientras el efecto del viento lamiendo el radiador tiende a equilibrar ambas temperaturas.

Los registros correspondiente a esta secuencia se muestran en la Figura 7.

La temperatura interior del box se mueve de 21 a 27 C promediando alrededor de 25C. El sistema permite mantener la temperatura interior en el límite de confort con un  $\Delta T$  de 5 C con la ambiente en las horas pico.

Se verifica, en consecuencia, la utilidad del sistema aún en noches de cielo cubierto donde si bien la estrategia de radiación nocturna (RN) no ha sido empleada el refrescamiento estructural nocturno (REN) ha servido como complemento beneficioso, Figura 8, nótese que la temperatura exterior se mantiene durante la noche por debajo de la del radiador.

La continuidad de uso del sistema durante toda la temporada cálida con independencia de las condiciones de cielo, mediante el complemento entre las estrategias de RN y REN, se puede implementar mediante el uso de un circuito de aire abierto. La necesidad de tomas de aire exterior para la práctica del REN no constituyen una merma en el rendimiento de la estrategia de RN, ya que se verificó para la relación entre el radiador y acumulador del prototipo ensayado que la temperatura del aire en la salida del acumulador se mantenía por encima que la de toma del radiador (la temperatura ambiente).

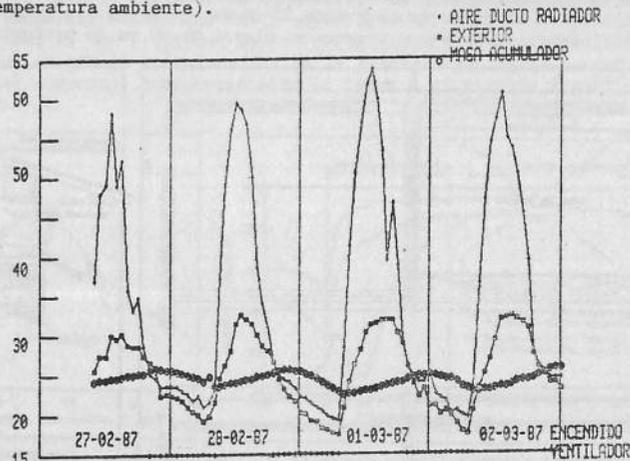


Figura 7 : Temperatura interior, exterior y en el acumulador

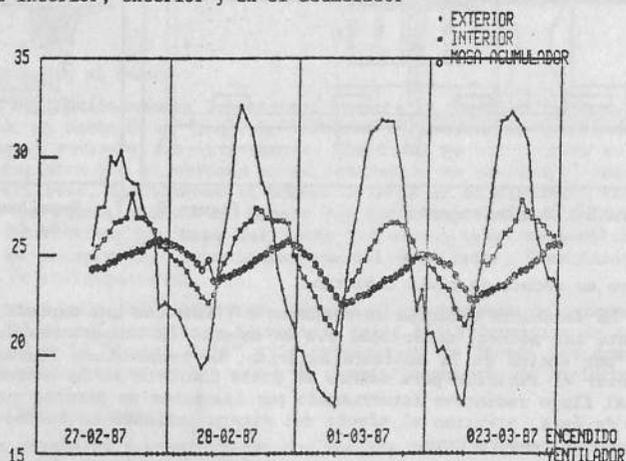


Figura 8 : Temperatura del aire en el radiador y exterior

#### Ensayo del radiador:

Para esta experiencia se eligió una secuencia de tres días. Durante este período se estaban efectuando ajustes en el sensor diferencial que se ocupaba del encendido y no estaba conectado para el control del ventilador propulsor de aire en el circuito. Como no se impulsaba aire por los ductos del radiador el intercambio de calor en relación al prototipo es mínimo y el registro de temperatura en el radiador para noche clara y de poco viento es la mínima posible.

En la figura 9 se puede apreciar la temperatura alcanzada por el radiador, con un  $\Delta T$  de 15°C en relación a la exterior. A pesar de que el sistema acoplado no puede conseguir estos registros resulta interesante comprobar el potencial que la estrategia de RN puede ofrecer en condiciones de cielo favorable.

Por esto, si bien la estrategia de RN, involucra una fuerte dependencia con las condiciones de cielo, paralelamente introduce un margen de refrescamiento importante, concluyéndose que al emplearla asociada a una estrategia de refrescamiento complementaria ofrece una muy interesante alternativa.

En cuanto a la influencia de nubes sobre el radiador, nótese que en las primeras horas del día, claramente visible entre las 3 hasta las 6 horas, se percibe una interferencia en el flujo radiante adjudicable a la condensación de vapor de agua sobre el radiador, que está a una temperatura muy por debajo que la ambiente o por la evaporación de la humedad condensada durante la noche.

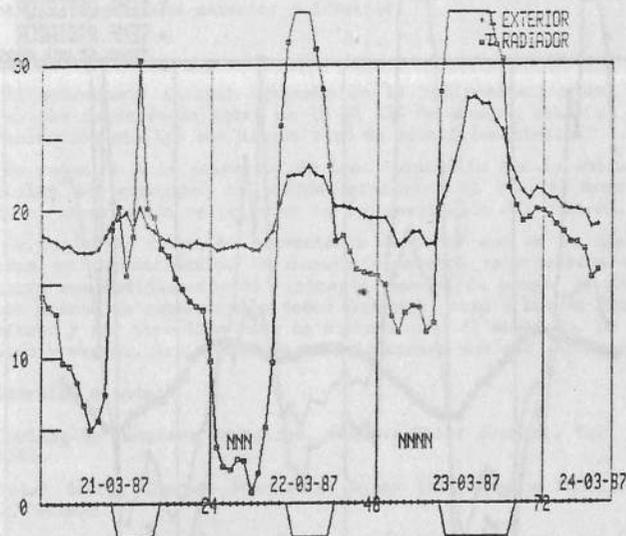


Figura 9 : Temperatura de la placa emisora y temperatura exterior

#### Ensayo global del sistema:

La secuencia de cuatro días escogidos para mostrar esta parte del ensayo no pueden considerarse como características de verano, pero es posible extrapolar las diferencias de temperaturas registradas. En la secuencia se destacan noches de cielo seminublado y cielos muy claros que permiten evaluar la estrategia de refrescamiento por RN con distintos grados de potencialidad.

En la Figura 10 se indica la evolución de las temperaturas en el radiador, en los ductos del acumulador y en el exterior. Se puede comprobar claramente el seguimiento nocturno de la temperatura del radiador y la exterior con una diferencia prácticamente constante de 2 C.

La temperatura de globo en el interior del box de ensayo desciende entre 4 y 5 C durante el período de funcionamiento nocturno del sistema, manteniendo durante las horas diurnas de pico exterior una  $\Delta T$  del mismo orden, tal como se ha graficado en la Figura 11.

Analizando tanto el radiador como el acumulador según los registros obtenidos en este ensayo simulándolos como intercambiadores en relación a intercambiadores de longitud infinita, de manera de obtener el máximo rendimiento teórico posible, obtendremos:

según el modelo (para el radiador):

$$J^* (\text{Trad}^4 - \epsilon^* \text{Text}^4) - h_e^* (\text{Text} - \text{Trad}) = G * c_p * (\text{Tent} - \text{Tsal})$$

compuesto por un término radiativo, un término convectivo y un intercambio con el aire de circulación por los ductos.

Manteniendo los parámetros que ajustaron en el modelo de simulación y variando las longitudes del radiador y el acumulador tendientes a infinito se obtuvieron rendimientos del orden del 35% para cada intercambiador del tipo a los usados en el box de ensayo.

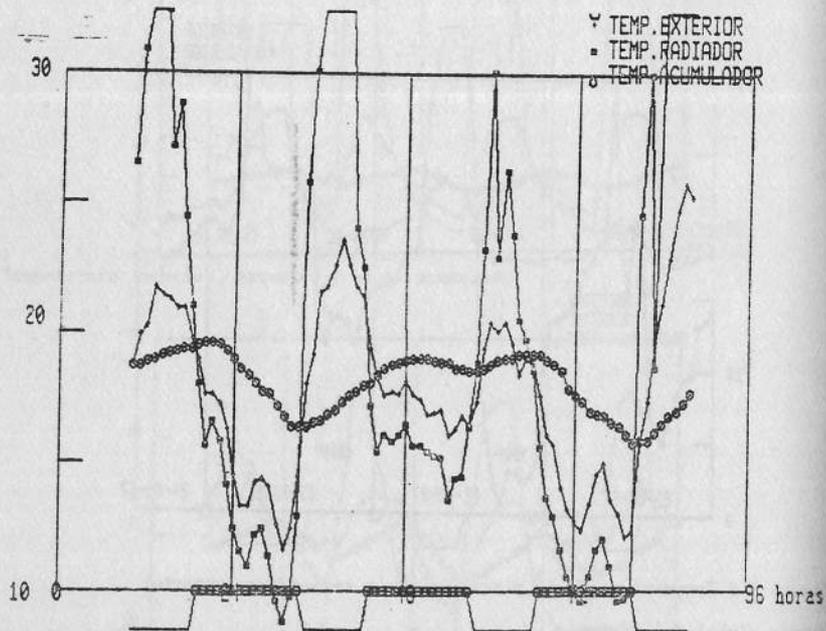


Figura 10 : Temperatura en el radiador y temperatura exterior

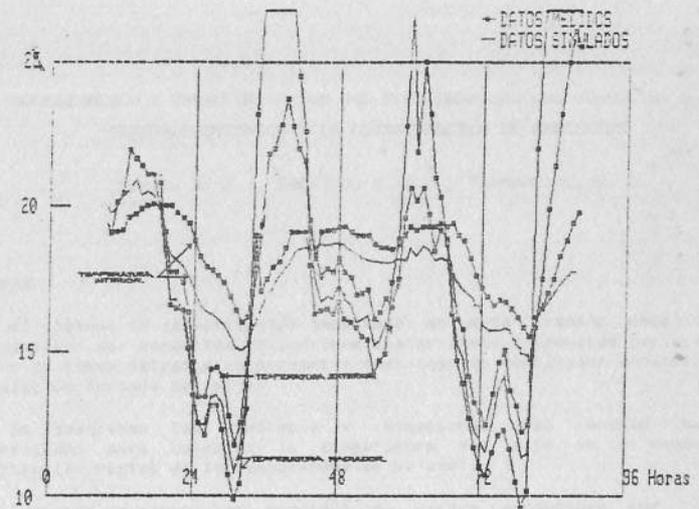


Figura 11: Temperatura exterior e interior

#### Análisis de costos:

El sobrecosto inicial derivado de la implementación del sistema en ensayo para el box usado ronda entre un 10 al 15% de aumento sobre el costo inicial para una habitación similar sin ningún tipo de acondicionamiento.

En relación a la ocupación de área construida por la ubicación de los ductos verticales del circuito, se pierde entre el 5 al 10% del área cubierta, involucrando el mayor costo relativo en la implementación del sistema.

De cualquier forma es conveniente destacar que en la implementación de los sistemas no convencionales de acondicionamiento incorporados en la construcción involucra una modificación del criterio general de pensar el fenómeno constructivo. Los costos de construcción deben evaluarse junto a los de funcionamiento y mantenimiento y por otro lado para un sistema como el ensayado, de climatización para invierno y verano, los costos de amortizaciones son más rápidamente absorbidos.

#### Bibliografía citada:

- (1) Cooling by Longwave Radiation. Passive Solar Journal. Vol. 1, Nº 3. B. Givoni 1982.
- (2) Solar Energy Thermal Processes. Wiley Interscience Publication. J. Duffie y W. Beckman.
- (3) Prototipo de Vivienda para Ensayo de Techos Colectores sin Cubierta y Acumulación en el Piso. ASADES, 9ª Reunión 1984. M. Grión y L. Saravia.