

## **SISTEMA DE ENFRIAMIENTO TERRESTRE PARA UNA ESCUELA BIOCLIMÁTICA**

Alfredo Esteves y Jorge Fernández Llano  
LABORATORIO DE AMBIENTE HUMANO Y VIVIENDA (LAHV)  
(INCIHUSA-CRICYT - CONICET)  
C.C. 131 - 5500 Mendoza - República Argentina  
Tel: 54-61-288797 - Fax: 54-61-287370  
e-mail: aesteves@lab.cricyt.edu.ar

### **RESUMEN**

Se presenta un sistema de enfriamiento terrestre para favorecer el acondicionamiento interior de las aulas en la Escuela Alicia Moreau de Justo ubicada en el departamento de Lavalle, al Norte de la Provincia de Mendoza. Debido a las altas temperaturas exteriores que se presentan en la zona durante el período de verano por un lado y por otro, a la falta de ventilación nocturna observada en mediciones realizadas (Cortegoso et al, 1997) en este tipo de edificios, se recurre a un sistema que permita mejorar las condiciones de confort alcanzadas en el interior de las aulas. Se indica la metodología seguida para el dimensionamiento del sistema, utilizando un modelo matemático que simula el comportamiento de la temperatura a distintas profundidades del suelo, siendo este uno de los principales factores a tener en cuenta para la utilización de este recurso. La construcción del edificio escolar se prevé que comenzará en Setiembre de 1998 y finalizará en 1999. Cuando el sistema entre en funcionamiento se medirá el rendimiento y se contrastarán los valores de diseño obtenidos.

### **INTRODUCCIÓN**

Una resolución del Banco Mundial con sede en Washington se aconseja la contratación por parte del PRODYMES (Proyecto de Descentralización y Mejoramiento de la Escuela Secundaria) de esta UID para la elaboración de 3 proyectos de escuelas secundarias de la provincia de Mendoza.

Estas escuelas se han concebido como edificios bioclimáticos que aprovechando los recursos existentes del lugar puedan alcanzar una situación térmica y lumínica que permita mejorar el aprendizaje con un uso racional de la energía. La escuela A.M. de Justo a proyectar en la Villa de Lavalle, tiene necesidades concretas de enfriamiento. Se pensó en la incorporación de un sistema de enfriamiento terrestre, teniendo en cuenta las ventajas y aportes de una implementación previa Fillipin et al, 1996 y Fillipin et al, 1998, en donde se indican los resultados al incorporar los con éxito en un edificio bioclimático. Dentro de este contexto se pensó en el diseño del sistema de enfriamiento terrestre para las aulas ubicadas al Norte de un bloque compacto de 6 aulas, no contando 3 de ellas con ventilación cruzada y además, las condiciones climáticas del lugar son propicias para este tipo de sistema. El mismo consta de una tubería enterrada a cierta profundidad donde las temperaturas más bajas enfrían el aire que se hace circular natural o forzadamente por las mismas permitiendo alcanzar distintas temperaturas dependiendo de la profundidad del caño, la longitud de la tubería, la velocidad del aire en el interior, entre las variables más importantes. El ingreso del aire se encuentra en el exterior y la salida en el local que se quiere refrescar.

Para dimensionar el mismo se trabajó con un modelo de temperatura subterránea indicado por Watson et al, 1983 y corroborado con los datos de temperatura subterránea registrados en la estación INTA de Rama Caída (1979/83), lográndose un ajuste que se encuentra entre 2 a 3 °C.

### **METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO**

#### **Determinación de las temperaturas en el subsuelo.**

Según el método indicado por Watson et al., 1983. la temperatura del subsuelo depende de las propiedades térmicas del suelo de la zona, las temperaturas máximas, mínimas y medias del aire, siendo la ecuación que vincula la temperatura del subsuelo con la temperatura del aire:

$$T_x = T_m - A_s e^{-x/r} \left[ \cos(360/365)(t - t_0 - x/L) \right]$$

donde:

$T_x$ : temperatura a la profundidad  $x$  (ft) el día  $t$  del año ( $^{\circ}\text{F}$ )

$r$ : disminución logarítmica  $r = \sqrt{\pi / 365 \alpha}$  (1/ft)

$L$ : tiempo de retraso  $L = \sqrt{365 / \pi \alpha}$  (días/ft)

$\alpha$ : difusividad térmica del suelo  $\alpha = k / c\rho$  ( $\text{ft}^2 / \text{día}$ )

$k$ : conductividad térmica del suelo;  $c$ : calor específico del suelo;  $\rho$ : densidad del suelo

$T_m$ : Temperatura media anual de la superficie del suelo ( $^{\circ}\text{F}$ )

$A_s$ : amplitud anual de las temperatura superficial del suelo ( $^{\circ}\text{F}$ )

$t_0$ : constante de fase (días)

El modelo asume que el suelo es homogéneo con la profundidad, la transferencia de calor se produce por conducción y la variación de la temperatura en la superficie es senoidal en el transcurso del año. Estas consideraciones hacen que se produzcan diferencias entre el modelo y las temperaturas medias medidas.

Trabajando con la temperatura del aire y las condiciones del suelo del lugar, se pueden obtener mediante la ecuación anterior, la temperatura del suelo para diferentes profundidades, las que se indican en la Fig. 1.

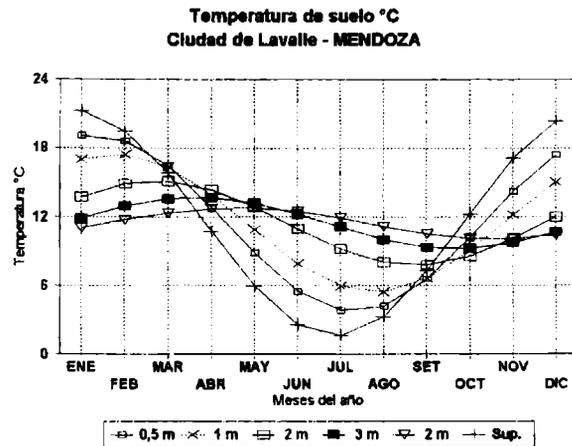


Figura N° 1: Temperaturas del subsuelo a distintas profundidades para cada mes.

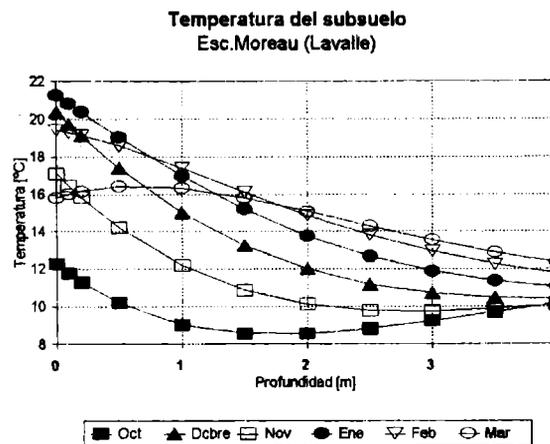


Figura N°2: Comportamiento de las temperaturas del subsuelo a distintas profundidades durante los meses de verano.

#### Cálculo de la profundidad de ubicación del caño

En la Fig. 2 se exponen las temperaturas del suelo para los meses de verano. Lógicamente mientras más profundidad, mayor es la posibilidad de enfriamiento. Sin embargo, se debe tener en cuenta los costos ya que para obtener un mayor enfriamiento del aire, estos podrían crecer significativamente. Por lo tanto, se toma una profundidad de 2,00 m. La

correspondientes a la temperatura exterior. Para 3,00 m de profundidad la temperatura no es mucho menor y para 1,5 m, si bien tiene temperaturas similares, se descarta al considerar la pendiente mínima requerida por el sistema, ya que podría terminar con una profundidad menor de 1,00 m. Se elige por lo tanto como profundidad de partida 2 m.

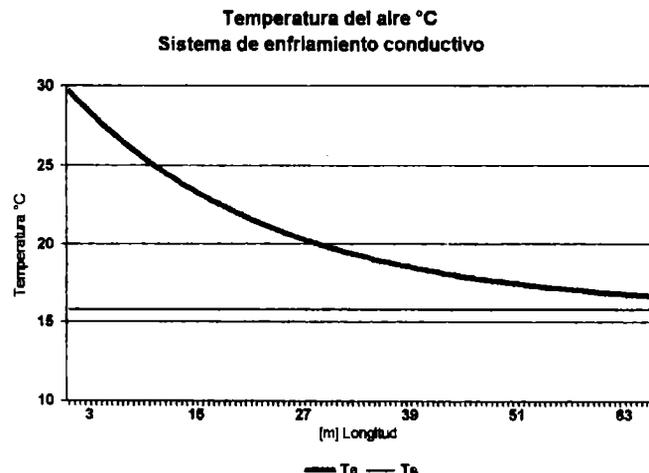


Figura N° 3: Temperatura media del subsuelo y del aire en función de la longitud del conducto

#### Cálculo de la longitud de la cañería

La longitud de la cañería se calcula en función de la capacidad de transferencia de calor en el sistema. En ese sentido podemos decir que evaluando las energías absorbida y cedida puestas en juego al circular el aire por la cañería, se ha construido la Figura 3. Se tuvo en cuenta un flujo de aire forzado con una velocidad media de 3 m/s. La misma indica cómo varía la temperatura del aire desde el punto inicial hasta una longitud de 60 m de cañería. Teniendo en cuenta que el suelo se comporta a esa profundidad como una fuente fría a temperatura constante, conviene que la cañería tenga la mayor longitud posible. Sin embargo, a una distancia mayor de 50 m la diferencia entre las temperaturas del aire y del suelo comienza a ser poco relevante. Por lo tanto, se determina que la longitud media será de 50 m, lo que produciría una disminución de 10 a 12 °C en la temperatura del aire exterior.

#### Cálculo de los diámetros de la cañería

Los diámetros de la cañería se determinan en función del flujo volumétrico que circule por la misma. Para fijarlo, se asume la necesidad de 3 renovaciones de aire por hora (RAH) en cada una de las aulas cuando el sistema esté en pleno funcionamiento. Por lo tanto, esto produce 700 m<sup>3</sup>/hr a circular por cada aula. Este es el caudal para la cañería que va desde las distintas bifurcaciones hasta cada una de las aulas (ramal secundario). Para el cálculo del ramal principal, se considera el caudal total (2100 m<sup>3</sup>/h). Teniendo esto en cuenta, además de las pérdidas de carga que se producen en el sistema, se pueden calcular los diámetros de los conductos mediante el uso de los ábacos correspondientes (Quadri, 1993). Los diámetros de cada ramal pueden observarse en el esquema de la Figura 4.

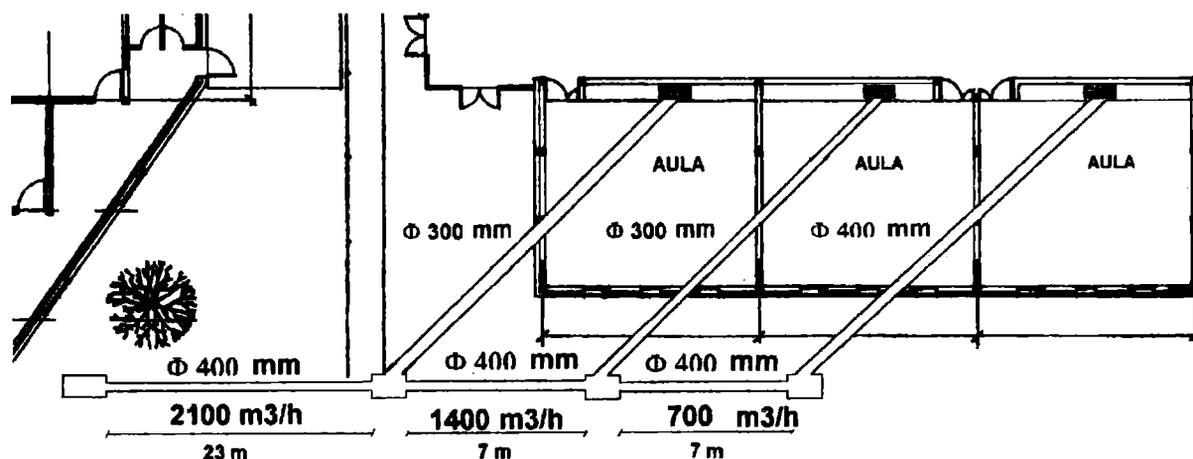


Figura N° 4: Esquema de la distribución del sistema de enfriamiento del aire para aulas (Esc. A Moreau de Justo)

#### Cálculo de la potencia del ventilador

Se elige un ventilador axial como elemento activo del sistema. El sistema puede funcionar en forma activa o, pasiva con circulación natural, sin embargo dado que en la zona abundan las calmas, se prefiere colocar un ventilador que provea un flujo forzado. El mismo se ubica en la toma de aire, para reducir al máximo la transmisión de ruidos a las aulas. Las características del ventilador son: diámetro 0,32 m, potencia 3/4 HP, caudal a 10 mm 2100 m<sup>3</sup>/hr y a 2700 rpm.

### **CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DEL SISTEMA**

El sistema de enfriamiento consiste en una cañería de hormigón comprimido, recubierta exteriormente con pintura asfáltica solventada. La pintura asfáltica tiene por objeto reducir al máximo el pasaje de humedad desde el suelo al interior del sistema de conducción. Esto por un lado reduce las posibilidades de alcanzar menores temperaturas dadas por el enfriamiento evaporativo, pero por otro, tiende a solucionar un grave problema que se podría presentar si se produce un desarrollo de microorganismos que atentaría con la calidad del aire.

Los conductos se enterrarán a una profundidad variable que comenzará a 2,00 m en el lugar de toma del aire (ubicada dentro del patio) y se extenderá con una pendiente ascendente del 2 %, hasta las salidas en el interior de las aulas, con bifurcaciones intermedias para los cambios de dirección (Figura N° 4). El sistema tiene dos bifurcaciones, para dirigir el aire hacia cada una de las aulas. Tanto el punto inicial del sistema como así también, aquellos donde se producen las bifurcaciones son accesibles, esto permite facilitar la inspección y mantenimiento de los conductos.

La toma de aire se ubica en un pozo, que tiene 1,50 m x 1,00 m de sección, con una profundidad de 2,50m. En la parte superior tendrá un cierre de reja de 20 cm de altura, sobre el que se coloca una puerta de chapa metálica para evitar el ingreso de la lluvia. El piso del pozo será de concreto. En la entrada al conducto propiamente dicho y junto al ventilador, se colocará una rejilla para evitar el ingreso de roedores.

En cada una de las bifurcaciones tendrá una boca de registro de mampostería con una sección libre de 1,00 x 1,00 y 2,00 m de profundidad.

Las salidas de aire en el interior de las aulas, se realizarán a través de bocas de 0,50 m x 0,20 m de altura, con rejilla de planchuela horizontal, la que permite difundir el aire hacia toda la habitación. Esta boca se ubica a una altura de 0,50 m.

### **CONCLUSIONES**

El sistema propuesto permitirá solucionar un grave problema que se presenta en los edificios escolares durante el periodo de altas temperaturas exteriores. El régimen de uso de una escuela es tal que requiere importantes niveles de ventilación diurna, lo que produce el calentamiento de un edificio que fue concebido considerando que estas ganancias sean mínimas. Por lo tanto, disponer de un sistema que permita la ventilación sin ingresar calor al edificio es una ventaja importante especialmente en medio ambientes áridos y semiáridos con elevadas temperaturas como es el clima del lugar de implantación de la escuela.

En el diseño del sistema de enfriamiento se ha tratado de minimizar los problemas relacionados con el desarrollo de microorganismos que perturbarían la calidad del aire, situación altamente conflictiva por los problemas de salud asociados.

La construcción del edificio está prevista para Setiembre de 1998 y la finalización para Junio de 1999. Se espera luego medir su rendimiento y corroborar los valores determinados en el diseño.

### **REFERENCIAS**

- J.L.Cortegoso, J.C.Fernández Llano, C.De Rosa.(1997) "Resultados de mediciones en aulas pertenecientes a escuelas típicas en la Prov. De Mendoza." *Avances de Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol.1 N° 1 pp 153-156.
- INTA Rama Caida. (1979-83). *Boletines Agrometeorológicos Mensuales*.
- Fillipin C., Esteves A., De Rosa C., Cortegoso J., Beascochea A y Esterlich D. (1996). "Un edificio solar pasivo para la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de la Pampa. *Rev.Energ.Renov. y Medio Amb.*, Vol. 1, pp.41-48.
- Fillipin C., Beascochea A., Esteves A.,De Rosa C., Cortegoso J., Esterlich D. (1998). A Passive Solar Building for Ecological Research in Argentina. The First 2yr Experience". *Solar Energy*, in print.
- Quadri Nestor P. (1993) *Instalaciones de Aire Acondicionado y Calefacción*.Cap. 5:*Sistemas de distribución de calor*. Ed Alsina. Buenos Aires.
- Watson D., FAIA and K.Labs. 1983. *Climatic Design*. Cap. 11. Ed McGraw-Hill.