

ANÁLISIS DE LA PERFORMANCE DE LOS DUCTOS ENTERRADOS DE UNA ESCUELA DE EGB3 EN CATRILÓ, LA PAMPA¹

Silvana Flores Larsen², Celina Filippín³ y Graciela Lesino³
INENCO - Universidad Nacional de Salta – CONICET
Buenos Aires 177, (4400) - Salta - Argentina
Tel.: 54 387 4255578, Fax: 54 387 4255489
E-mail: seflores@unsa.edu.ar

RESUMEN: El objetivo del presente trabajo es describir el funcionamiento del ducto enterrado utilizado para acondicionar térmicamente un laboratorio de una escuela de EGB3 (Educación General Básica Nivel 3) ubicada en la localidad de Catrilo, provincia de La Pampa. Se realizó un monitoreo de la temperatura del aire dentro del ducto, de las condiciones climáticas externas y de la temperatura del laboratorio, en un periodo de 15 días de verano. La simulación de la temperatura del aire dentro del ducto se realizó mediante el módulo de intercambiadores tierra-aire incorporado recientemente al programa SIMEDIF para Windows. Los resultados obtenidos mediante este modelo son comparados con las mediciones realizadas, obteniéndose un ajuste del orden de 0.5°C. Finalmente se realiza un análisis de la performance del ducto como sistema de enfriamiento.

Palabras clave: intercambiadores tierra-aire, ductos enterrados, enfriamiento pasivo, acondicionamiento de edificios.

INTRODUCCIÓN

Durante el año 1998 se diseñó un edificio escolar energéticamente eficiente en la localidad de Catrilo, provincia de La Pampa. El edificio cubre un área de 950m² y está constituido por tres aulas, un área administrativa, un taller, un laboratorio, un salón, un área de recursos pedagógicos y los servicios. Las estrategias de diseño involucran ganancia solar directa para iluminación natural y calentamiento solar pasivo en invierno, conjuntamente con colectores de aire en el área de recursos pedagógicos y una envolvente energéticamente eficiente. El acondicionamiento térmico de verano incluye ventilación cruzada, aspiradores eólicos en cubierta y conductos enterrados para intercambio aire-suelo. En la Figs. 1 y 2 se puede observar la vista en planta y corte del edificio y el recorrido del conducto enterrado. Para más detalles del aspecto constructivo del edificio se sugiere consultar los trabajos de Filippín y Beascochea (1999, 2000).

El conducto enterrado ha sido diseñado para el acondicionamiento térmico de verano de un laboratorio de 167m³ de volumen. Dicho conducto, de 29m de largo y enterrado a 40cm de profundidad, toma el aire ambiente a partir de una boca ubicada en el exterior del edificio y lo conduce hasta el laboratorio en donde ingresa a través de una boca ubicada en la parte inferior de la pared sur (ver Fig. 2). A lo largo de este trayecto, el aire intercambia calor y humedad con el suelo, enfriándose o calentándose de acuerdo al sentido del gradiente térmico. Una parte del conducto se encuentra debajo del edificio, pasando bajo el taller y un pasillo para emerger finalmente en el laboratorio. Las paredes del conducto son de mampostería de ladrillo común con junta al ras de 0.11m de espesor, mientras que la base está constituida por hormigón pobre de 0.1m de espesor. Sus dimensiones son 0.40m de alto y 0.65m de ancho.

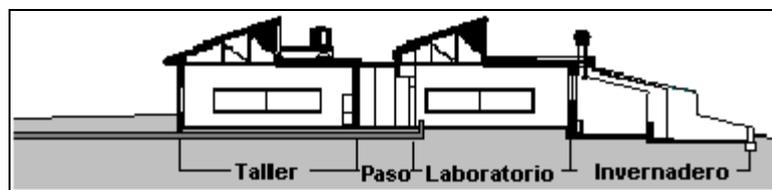


Fig. 1. Corte del edificio en un plano que pasa por el taller.

En la Fig. 3 A) se puede observar con más detalle los aspectos constructivos del conducto. En B) se muestra la boca de salida del conducto, ubicada en la parte inferior de la pared sur del laboratorio dentro de un armario, de forma de cerrar las puertas para impedir el paso del aire cuando sea necesario. En la Fig. 3 C) se muestra la porción del conducto que quedó debajo del edificio.

¹ Trabajo financiado por CIUNSa. y por ANPCYT PICT 2000-13-09991

² Becaria de CONICET.

³ Investigadora de CONICET.

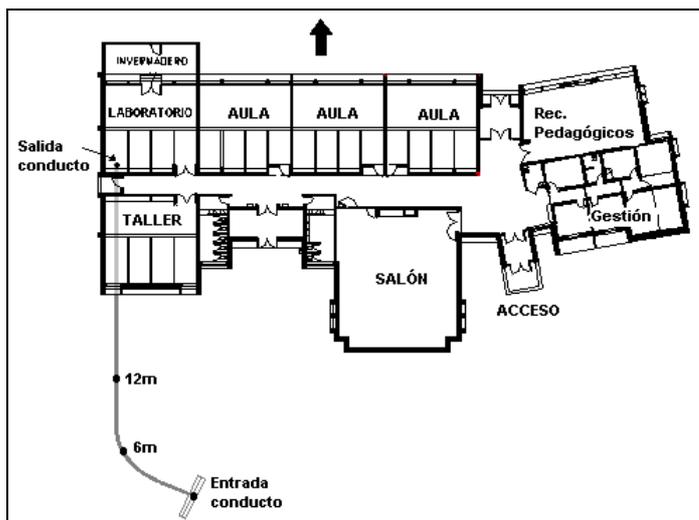


Fig. 2. Vista en planta de la escuela de EGB3 de Catriló.



A)

B)

C)

Fig. 3. A) Detalle de los aspectos constructivos del conducto. B) Boca de salida en el laboratorio. C) Porción del conducto que quedó bajo el edificio.

MONITOREO DEL CONDUCTO

El periodo de monitoreo abarca desde el 31 de enero al 15 de febrero de 2002. Cada 15 minutos se midieron temperatura y humedad en la entrada y salida del ducto, temperaturas a 6m y 12m de la boca de entrada, temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento y radiación solar sobre superficie horizontal. Dentro del laboratorio se midió la temperatura del local a 2m del suelo y en el aspirador eólico de cubierta, ubicado a 4.5m del suelo. Se seleccionó la semana comprendida entre el 8 y el 15 de febrero debido a que la temperatura ambiente y la radiación solar no presentan variaciones bruscas, lo cual resulta adecuado al momento de realizar la simulación. El periodo se caracterizó por alta radiación, temperatura ambiente elevada con picos de 34°C y velocidad media del viento de 1.9m/s con dirección predominante norte. Los resultados del monitoreo pueden observarse en las Figs. 4, 5 y 6.

Los datos medidos de temperatura dentro del ducto (Fig. 4) indican que durante las horas diurnas el aire que ingresa al ducto se va enfriando, mientras que durante la noche el suelo eleva la temperatura del aire que circula en el conducto. Se puede observar que la temperatura del aire luego de recorrer 12m dentro del ducto no es muy diferente de la temperatura alcanzada a los 6m, con lo que es de suponer que la temperatura a la salida del ducto (29m) será también similar. Sin embargo, al analizar los datos medidos a la salida del ducto se observa que la temperatura en ese punto es siempre mayor que la temperatura medida a los 6m y a los 12m, indicando que el aire que circulaba por el ducto se calentó al salir del mismo. Este efecto puede explicarse si analizamos la Fig. 5, en donde se observa que la temperatura a la salida del ducto se encuentra aproximadamente 3°C por debajo de la temperatura del laboratorio (medida a 2m del suelo): el aire más fresco proveniente del ducto se mezcla con el aire más caliente del laboratorio. Dicha mezcla se produce debido al flujo turbulento de aire que sale del ducto, lo cual se observó utilizando una veleta. Analizando la Fig. 5 se puede observar que el aire del laboratorio se estratifica durante el día, ayudado por la alta temperatura que alcanza la cubierta de chapa del laboratorio, mientras que durante la noche el local alcanza una temperatura uniforme en todo el volumen.

En cuanto a la humedad del aire dentro del ducto, de la Fig. 6 se puede ver que durante las horas diurnas el aire no modifica sustancialmente su contenido de humedad, mientras que durante la noche el aire sufre una ligera deshumidificación en su paso por el conducto.

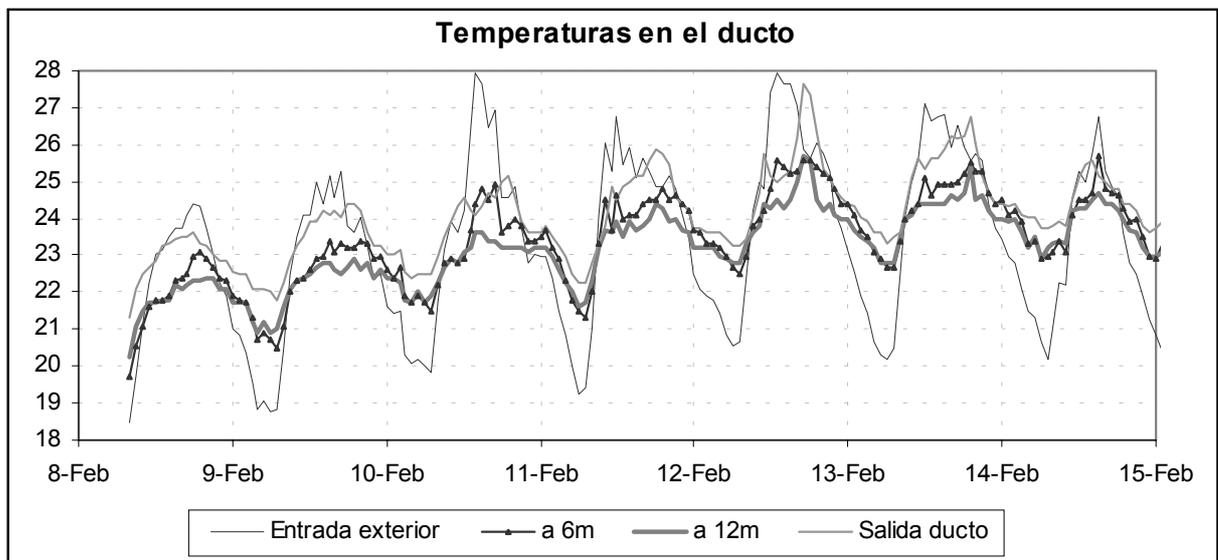


Fig. 4. Temperaturas medidas a la entrada y salida del ducto y a 6m y 12m de la boca de ingreso.

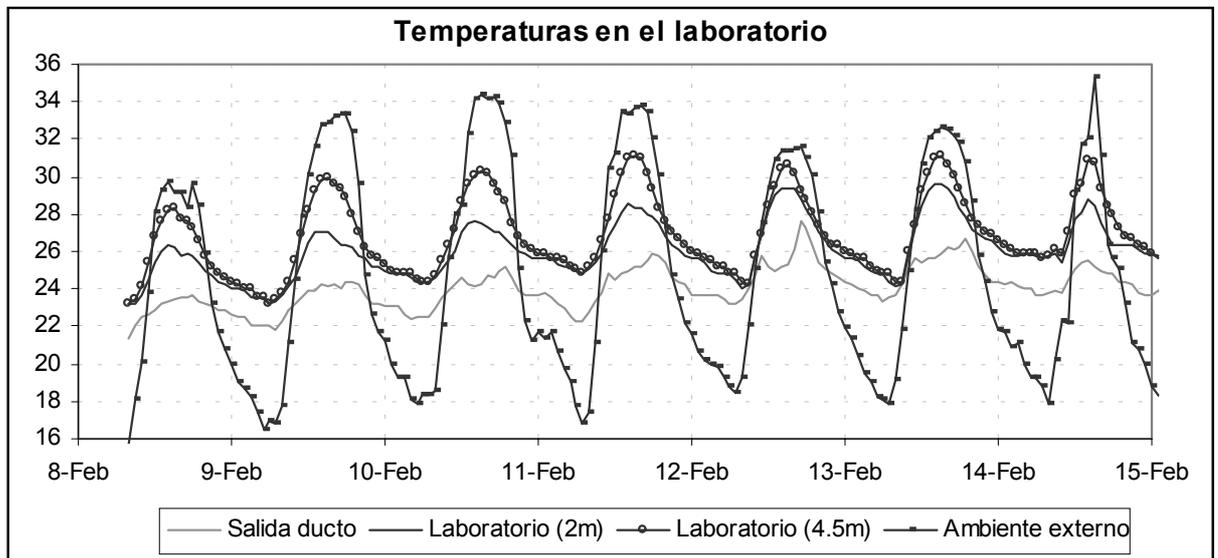


Fig.5. Temperaturas medidas en la boca de salida del ducto y en el laboratorio (a 2m y en el aspirador eólico a 4.5m).

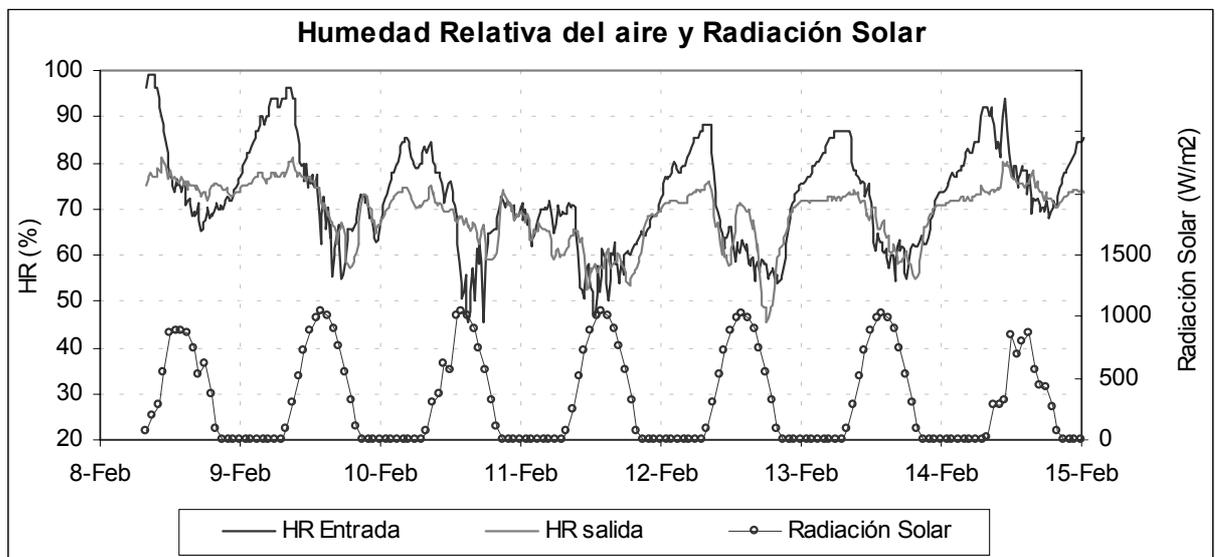


Fig.6. Humedad relativa del aire en la entrada y salida del conducto y radiación solar sobre superficie horizontal (W/m^2).

SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL CONDUCTO

Para realizar la simulación se utilizó el módulo de intercambiadores tierra-aire incluido en el programa SIMEDIF para Windows (Flores Larsen y Lesino 2001a; 2001b). Dicho módulo puede utilizarse independientemente para calcular la temperatura del aire a la salida de un conducto enterrado, o bien acoplar la salida del conducto a un local determinado, para lo que se requiere el ingreso tradicional de los datos constructivos del edificio completo. El modelo de cálculo incorporado a SIMEDIF asume que el flujo de aire dentro del ducto es unidimensional y que la presencia del dicho conducto no afecta significativamente la distribución de temperatura del suelo. El módulo requiere como entradas las características del conducto (dimensiones del canal, material de las paredes, profundidad a la que se encuentra enterrado), las propiedades físicas y velocidad del aire en la boca de ingreso, los datos de discretización utilizados en la simulación (tamaño de los pasos temporal y espaciales, periodo de cálculo, tamaño del dominio) y la temperatura del suelo a la profundidad en que se encuentra el ducto (Flores Larsen y Lesino 2001c). En caso de no contar con datos medidos de dicha temperatura, existe una opción adicional que permite calcularla a partir de la temperatura ambiente y las propiedades físicas del suelo. Esta última opción fue la que se utilizó en este trabajo, ingresando mediante un archivos ASCII los datos climáticos del periodo comprendido entre el 31 de enero y el 15 de febrero de 2002.

Los resultados obtenidos mediante dicha simulación pueden observarse en la Fig. 7 para distancias de 6m, 12m y 29m de la entrada del ducto. Por claridad se ha omitido la temperatura medida a los 12m. La temperatura calculada para los 6m desde la entrada al ducto ajusta a la temperatura medida en el orden de 0.5°C. Las temperaturas calculadas a los 12m y a los 29m son muy semejantes que a los 6m, indicando que no ha habido una transferencia de calor importante en este último tramo. La temperatura calculada a los 29m es del orden de 0.7°C menor a la medida a la salida del ducto, con lo cual se refuerza la observación de que existe una mezcla del aire caliente del laboratorio con el aire ligeramente más fresco que emerge de la boca del ducto.

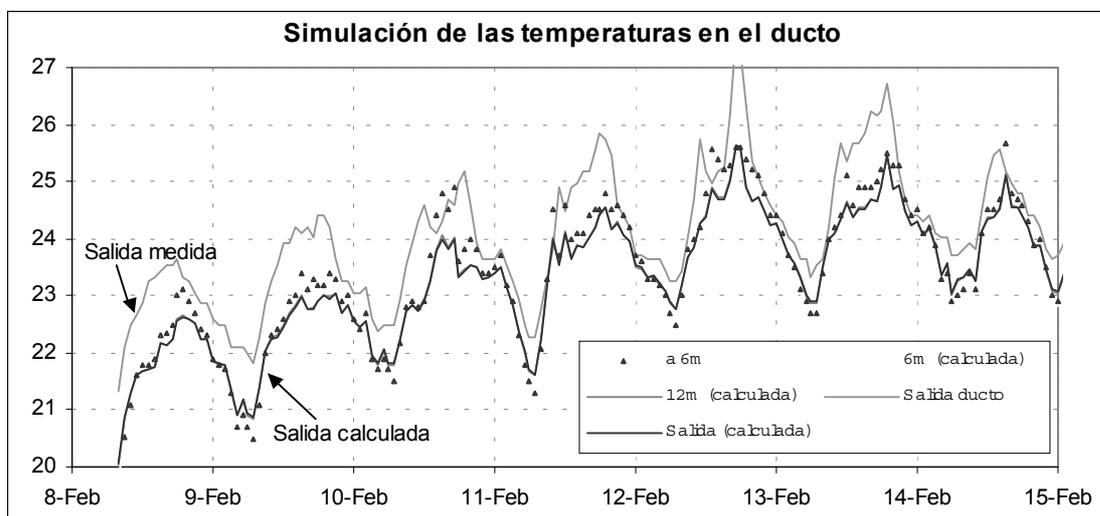


Fig.7. Resultados de la simulación de la temperatura del aire dentro del ducto para distancias de 6m, 12m y 29m (salida) medidos desde la entrada al mismo.

El monitoreo realizado en el ducto y el cálculo de la temperatura de salida del aire antes de que éste se mezcle con el aire del local indican que durante las horas nocturnas (de 22PM a 8AM) el aire que ingresa al conducto se calienta en promedio 1.4°C, mientras que en el periodo comprendido entre las 9 de la mañana y las 21 el aire se enfría en un promedio de 1.3°C. Debido a que el laboratorio es ocupado solamente durante las horas diurnas, es interesante analizar la cantidad de energía P extraída al aire en dicho periodo, la cual puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$P = \dot{m} c_p \overline{\Delta T} \quad (1)$$

Como no se tienen datos medidos del flujo másico dentro del ducto, se supuso un valor de 0.3 kg/s que corresponde a una velocidad de aire de 1m/s. Este valor es el que mejor ajusta los datos medidos y simulados, resultando del mismo orden de mediciones realizadas en otros conductos enterrados.

Reemplazando en (1) la diferencia de temperatura media entre la entrada y la salida por 1.3°C, tomando $c_p = 1006 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$ y un flujo másico de 0.3kg/s, la potencia extraída al aire que circula por el ducto resulta ser del orden de -400W.

Se puede hacer una estimación del efecto producido en la temperatura del aire del local si consideramos que la temperatura media diurna del aire del laboratorio es aproximadamente 3.9°C más alta que la temperatura del aire que sale del ducto. Con un flujo másico de 0.3kg/s tenemos una potencia extraída al aire del laboratorio del orden de -1180W.

CONCLUSIONES

El uso de ductos enterrados para el calentamiento (en invierno) y enfriamiento (en verano) de la temperatura del aire en el interior de edificios e invernaderos puede disminuir la demanda de energía convencional destinada a dichos propósitos. En el estudio realizado sobre el conducto enterrado de la escuela de Catriló se observa que el aporte energético es del orden de -400W, siendo interesante su efecto sobre las renovaciones de aire. Podría mejorarse la eficiencia de dicho conducto enterrándolo a mayor profundidad. El módulo de intercambiadores tierra-aire incorporado recientemente a SIMEDIF para Windows resultó ser una herramienta adecuada y útil para la simulación del comportamiento térmico del conducto.

BIBLIOGRAFÍA

- Filippín C. y Beascochea A. (1999). Escuela solar pasiva de Catriló para la provincia de La Pampa en el marco de la nueva ley federal de educación. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **3**, 1, pp.05.01-05.04.
- Filippín C. y Beascochea A. (2000). Seguimiento y valoración de la construcción de la escuela solar pasiva de Catriló en la provincia de La Pampa. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **4**, 1, pp.05.93-05.98.
- Flores Larsen S. y Lesino G. (2001a). Simedif 2000: nueva versión del programa de diseño y cálculo de edificios. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **4**, 2, pp. 08.53-08.58. ISSN N° 0329-5184.
- Flores Larsen S. y Lesino G. (2001b). Modelo térmico del programa SIMEDIF de simulación de edificios. *Energías Renovables y Medio Ambiente* **9**, pp. 15 - 24.
- Flores Larsen S. y Lesino, G. (2001c). Incorporación de módulos de enfriamiento evaporativo y de intercambiadores tierra-aire al programa SIMEDIF. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **5**, pp. 08.31-08.36.
- Flores Larsen S., Hernández A., Lesino G. y Salvo N. (2001d). Measurement and simulation of the thermal behavior of a massive building with passive solar conditioning. En *Proceedings of VII International Building Simulation Congress*, pp. 183-190, Río de Janeiro, Brazil.
- Flores Larsen S. y Lesino G. (2001e). Modelización de intercambiadores tierra-aire para acondicionamiento térmico de edificios. Actas del 8vo Congreso Latinoamericano de Transferencia de Calor y Materia LATCYM 2001, pp. 317-323, México.
- Duffie A. y Beckman W. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley and Sons, Inc.

ABSTRACT

The thermal behavior of a buried pipe used in a laboratory at an EGB3 school in Catriló (La Pampa, Argentina), is described. During 15 summer days, the air temperature inside the duct, the climatic conditions, and the temperature in the lab were monitored. The duct thermal behavior was simulated with an earth-to-air heat exchanger module, recently added into SIMEDIF for Windows code. The calculated and monitored data sets are compared and they are found to be in good agreement. Finally, the duct cooling performance is analyzed.