

DISEÑO, CONSTRUCCION Y RESULTADOS DE UN SISTEMA SOLAR ACTIVO EN UNA VIVIENDA

John Martin Evans y Silvia de Schiller
Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo,
Universidad de Buenos Aires, CC 1765, Correo Central, (1000) Capital Federal
Fax: (011-4576 3205 e-mail evans@fadu.uba.ar, schiller@fadu.uba.ar

RESUMEN

Este trabajo presenta los aspectos principales del diseño, construcción y primeros resultados del sistema solar activo instalado en una vivienda de dos pisos en Gran Buenos Aires. Este ejemplo, uno de los primeros de su tipo en la región, consta de: superficie colectora de 20 m², conducto de 125 mm de diámetro de bajada de aire caliente, y sector de almacenamiento bajo piso en la planta baja. El COP estimado del sistema es 22, basado en las mediciones realizadas durante el invierno de 1999. Se presenta una evaluación de su funcionamiento en los meses más fríos de invierno y recomendaciones para futuras instalaciones.

INTRODUCCIÓN

En algunas situaciones, los colectores de aire integrados a techos con sistemas solares activos tienen ventajas importantes, aunque los ejemplos realizados son limitados (Bouciguez y Saravia, 1993, 1996). La implementación, experimentación, y monitoreo de un ejemplo de esta alternativa solar proporciona valiosa información para mejorar el rendimiento, resolver los detalles constructivos, reducir los costos y promover la aplicación de sistemas de este tipo. Se presentan los aspectos principales del diseño, construcción, evaluación de funcionamiento y mediciones de resultados del sistema solar activo con aire proyectado en 1982 e instalado en una casa construida en Florida, Gran Buenos Aires. La vivienda, remodelación de una casa tipo 'chorizo', fue construida entre 1982-85, con máxima reutilización e incorporación de materiales reciclados en la estructura, aberturas y terminaciones.

Los siguientes factores influyeron en la decisión de implementar un sistema activo con aire:

- Por los obstáculos de árboles y muros altos de casas vecinas, los sistemas solares tales como ganancia directa o muro acumulador no eran aconsejables, dado que limitaban la captación solar en la planta baja.
- Aunque la orientación e inclinación del techo no permitía optimizar la captación solar, se logró una razonable exposición a la radiación solar. Con la ubicación de los colectores en el techo, se requiere un sistema activo para enviar el calor hacia la planta baja.
- El sistema con aire disminuye los costos de construcción y permite un desarrollo en etapas, aunque los sistemas con aire requieren proporcionalmente mayor energía eléctrica para transferir la misma cantidad de calor.
- El sistema de almacenamiento fue construido a muy bajo costo con materiales densos de la demolición, tales como baldosas de hormigón y ladrillos macizos que proporcionan gran capacidad térmica.

El sistema permitía una construcción en etapas, realizado inicialmente con chapa galvanizada formando un techo nervurado, con exactamente el mismo costo que un techo de tejas. En la segunda etapa, este techo forma la bandeja del colector. La construcción de la casa en épocas de alta inflación dificultó la implementación de la segunda etapa. Con la instalación parcial del sistema en 1997 y la puesta en marcha en 1999, se demuestra la ventaja del sistema construido en etapas.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

Este sistema activo de aire comprende los siguientes componentes:

- **Tomas de aire** en el altillo de 125 mm, con un conducto de chapa galvanizada que conduce a los colectores.
- **Colector de 20 m² integrado al techo** (orientación NE e inclinación 30°) con 7 paneles de 65 cm de ancho y 4 m de largo, con una superficie neta de 18,8 m² de color negro mate. El colector tiene un vidrio exterior de 4 mm, un colector de chapa galvanizada con cámara interna de 8 mm y capa de aislación de 150 mm.
- **Conducto** de 125 mm de diámetro que conecta los colectores con el ventilador. El caño de chapa galvanizada tiene una capa de aislación de lana de vidrio de 25 mm de espesor mínimo.
- **Ventilador** de 1/15 HP, diseñado especialmente con el fin de resistir la temperatura del aire de los colectores. Las bocas de salida y entrada, de 75 mm de diámetro, se conectan con adaptadores a los conductos de 125 mm. La conexión con el conducto vertical tiene un amortiguador de goma a fin de reducir la transmisión de ruido.
- **Conducto vertical** de 125 mm de chapa galvanizada manda aire caliente hacia la planta baja. En las dos plantas, la aislación del conducto es escasa, considerando que las pérdidas aportan calor al interior de la casa.
- **Acumulador bajo piso** en planta baja, con 8 m³ de hormigón pobre y material de demolición, incorpora 20 m de doble conductos de aire de 120 x 120 mm sobre una capa de 25 mm de poliestireno expandido.
- **Registros de aire** permiten la salida de aire caliente al estar y comedor-cocina.

MEDICIONES

Las mediciones de temperatura, en distintas partes del sistema, fueron realizadas con data-loggers individuales de pequeño tamaño, tipo "tiny talk", durante un período de 12 días (del 4 al 16 de julio de 1999), obteniéndose registros cada 10 minutos en los siguientes puntos:

1. Al exterior, en el jardín a una altura de 1,60 m, con protección total del sol directo.
2. A la salida de los colectores, en el altillo.
3. En la entrada del almacenamiento bajo el piso de la planta baja.
4. En la rejilla de salida del estar.
5. En la rejilla de salida del comedor-cocina, a una altura de 200 mm del piso.
6. En el estar a una altura de 1,50 m.

Los **sensores 1 y 6** tienen buen contacto con el aire exterior e interior respectivamente. Los **sensores 2 y 3** fueron adosados sobre el exterior del caño de chapa y protegidos por una capa de aislación flexible exterior con el fin de mejorar el contacto térmico, sin lograr contacto directo con la chapa. Se calcula que la temperatura registrada fue 4-5° menor que la temperatura del aire en el interior del conducto. El sensor 2 fue ubicado sobre el conducto que une las salidas de los colectores, a 1 m de la salida del colector donde se encuentra el sensor del termostato. En este caso, se registró una diferencia de temperatura de 5°, considerando la diferencia entre la temperatura mínima del termostato y la temperatura registrada en el conducto de bajada al momento de apagar el ventilador. Los **sensores 4 y 5** fueron colocados en la rejilla de salida, con contacto directo con el aire que circula por el conducto.

En las etapas iniciales de la puesta en marcha en pleno invierno, en el almacenamiento se registró una temperatura de solo 16°C. Durante el primer día de medición, la casa presentaba una temperatura interior de 16-17°C, mientras la temperatura del aire del colector alcanzaba a 37°C durante las tres horas de funcionamiento.

CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

A continuación, se presentan algunos aspectos del comportamiento del sistema:

- **Colector:** de chapa galvanizada con cámara de aire, evita fugas o entradas de aire. Su condición es muy satisfactoria después de dos años de exposición con pintura en buen estado. La eficiencia del sistema con radiación mínima es aproximadamente 45%, considerando la radiación solar incidente y la entrega de calor.
- **Ventilador:** de diseño especial que permite resistir altas temperaturas, ya que el aire proveniente de los colectores puede superar los 100°C. Su motor eléctrico de 1/15 HP equivale a una potencia de 50 W (745,7/50).
- **Caudal de aire caliente:** el caudal del ventilador fue estimado según la velocidad medida en los registros de salida del comedor- cocina y del estar, y la superficie de los mismos (20 x .09 x 2) 0.036 m². Con una velocidad media de 1 m / s, se llega a proporcionar 130 m³/ hora de aire desde los colectores, equivalente a una renovación de aire por hora.
- **Termostato:** el control termomecánico cuenta con un sensor en el sector superior de los colectores, cuya temperatura de inicio es de 37 °C. Cuando la temperatura de aire disminuye a 34°C se apaga el ventilador. Estos valores aseguran una diferencia mínima de 10°K respecto a la temperatura mínima de diseño del estar en planta baja, con 24 °C. Sin embargo, la temperatura típica de aire a la salida del colector llega a 42°C.
- **Radiación solar:** durante la medición de temperaturas se realizó un registro simultáneo de la intensidad de radiación solar en la Estación de Mediciones del Potencial de Iluminación Natural (EMPIN) en la terraza de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, UBA, a 7 km de distancia. Según estas mediciones, la intensidad mínima de radiación solar sobre superficie horizontal necesaria para poner en marcha el sistema es 250 W, correspondiente a una radiación de 150 W sobre el colector.
- **Entrega de calor:** la diferencia de temperatura entre el aire exterior y la de salida de los colectores es 28,6°K durante el período de funcionamiento del motor. El flujo medio de calor entregado en junio es 1230 W.

$$q = C \cdot V \cdot \Delta t / 3600$$

siendo q = flujo de calor (Watts)
 C = Capacidad calorífica del aire (1,22 Joules / m³.K)
 V = Volumen del aire por hora (130 m³/hora)
 Δt = diferencia de temperatura (28°K)
3600 = segundos / hora

En caso de considerar que el aire de entrada a los colectores proviene del interior de la vivienda, la diferencia de calor es 25,1°K y la entrega de calor es 1100 W.

- **COP:** el motor del ventilador, de 1/15 HP, consume 50 W. Con una entrega de calor de 1230 W, el COP del sistema es 24, mientras que con la recirculación de aire, el COP baja a 22, valores mínimos muy favorables.
- **Pérdidas de calor con aislación:** el conducto que une los colectores y el almacenamiento no contaba con aislación térmica durante las mediciones. Como resultado, se registró una disminución de la temperatura de 6-7° K antes de entrar al sistema de almacenamiento en planta baja. Las pérdidas totales en los conductos sin aislación representan 30% aprox., valor que se puede reducir a 5% con 50 mm de aislación de lana de vidrio.

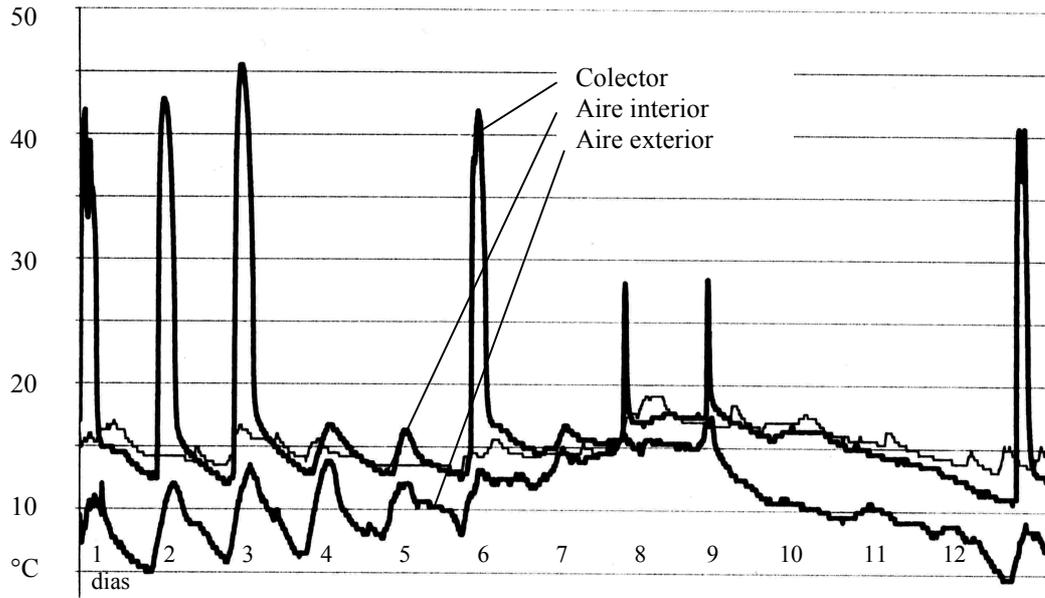


Figura 1. Registro de temperaturas durante 12 días (4 - 16 de julio, 1999). Salida del colector, estar y exterior.

RESULTADOS

La Figura 1 indica los registros de temperatura durante el segundo período de mediciones. La línea superior indica la temperatura del aire a la salida del colector, la línea intermedia, la salida del almacenamiento, y la inferior, la temperatura exterior. Cinco días tenían buen asoleamiento, con temperaturas superiores a 40°C a la salida del colector, dos días tenían débil asoleamiento con cielo parcialmente nublado, mientras en los 5 días restantes no tenían radiación suficiente para iniciar el ventilador.

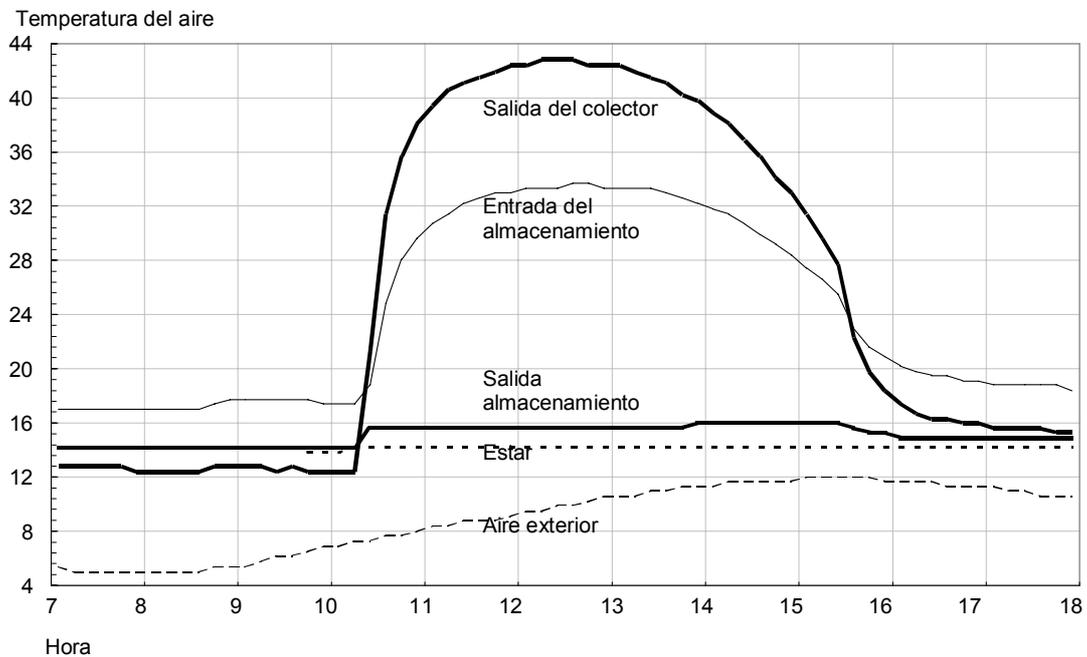


Figura 2. Temperaturas del sistema en julio en un día soleado.

ASPECTOS COLATERALES DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

- **Olores:** Por el circuito abierto del sistema, el flujo de aire pasa de los colectores al estar a través del almacenamiento. No se nota olor en el aire de salida después de pasar por la instalación y almacenamiento.

- **Ruido:** Se detecta un ruido suave del motor del ventilador, indicando que los amortiguadores de goma no llegan a aislar las leves vibraciones. El nivel de ruido alcanza solamente: 42 dB (Escala A) medido a 1m del motor en el altillo; 34 dB en planta alta, con un nivel de fondo de 32db, y ocurre entre 10-16 hs en invierno sin molestias.
- **Motor:** El primer ventilador, no resistió las pruebas realizadas en verano, con temperaturas del aire mayores a 70°C. El nuevo ventilador, diseñado para reforzar el tiraje en artefactos de gas, funciona sin problemas.
- **Confort:** La velocidad del aire de salida de las rejillas, de 1 m/s, disminuye rápidamente al aumentar la distancia de la rejilla. Con la temperatura del aire de salida, el leve movimiento aumenta el discomfort.
- **Termostato:** La temperatura de arranque del termostato fue fijada en 32°C, con un intervalo de 3°K con el fin de reducir la frecuencia de arranque. Cuando la temperatura llega al nivel establecido, el motor inicia su marcha, apagándose automáticamente cuando la radiación disminuye y la temperatura llega a 29°C.
- **Limpieza de los vidrios:** Después de dos años de exposición, la capa de polvo sobre el exterior de los vidrios produjo una disminución de la transmisión de radiación. En Buenos Aires, los vidrios con un ángulo de inclinación de 30° requieren una limpieza frecuente y el diseño de colectores debe prever fácil acceso para limpieza, con una distancia máxima de 2 m desde lugares accesibles.

CONCLUSIONES

El sistema tiene un comportamiento satisfactorio, con un alto COP en los meses más fríos de invierno. El funcionamiento es totalmente automático, y no depende de los usuarios. El almacenamiento requiere mayor tiempo para entrar en régimen debido a la puesta en funcionamiento del sistema en pleno invierno. Por el tiempo transcurrido entre la iniciación y habilitación final, época de alta inflación y variaciones de costos, no se cuenta con datos consistentes de inversión. Sin embargo, cabe notar el bajo costo de los materiales utilizados y la sencillez de la tecnología empleando gremios convencionales.

Las próximas etapas previstas para mejorar el rendimiento son: colocar aislación térmica en el conducto de bajada y disminuir las pérdidas de la vivienda, incorporando doble vidrio en aberturas principales en planta baja, y más aislación térmica en la cubierta.

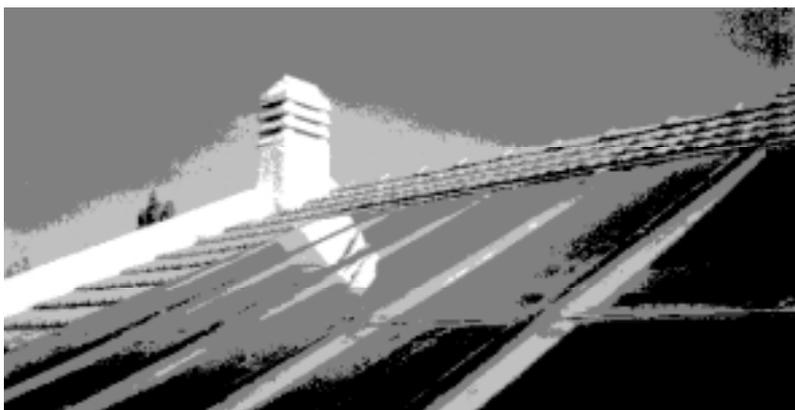


Figura 3. Vista del colector de 20 m², integrado al techo de tejas.

REFERENCIAS

Bouciguez A., y Saravia, L., Sistema activo de calentamiento y refrescamiento de edificios para la Ciudad de Salta, Actas, 16 Reunión de trabajo de ASADES, La Plata, 1993, Páginas 159 - 165.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen la asistencia del Arq. Oscar Bongiovanni en la producción de los colectores y perfiles, la colaboración del Arq. Fabián Garreta en la instalación de los colectores y el apoyo de la Cámara Argentina del Vidrio Plano en la provisión y colocación de los cristales, cuyos aportes posibilitaron la puesta en marcha de esta instalación innovativa.