

LAS CARGAS DE CALEFACCION Y EL DIMENSIONAMIENTO DE COLECTORES SOLARES DE AIRE: EFECTOS DE LA VARIABILIDAD HORARIA EN EL SOBRECALENTAMIENTO INTERIOR

Silvana Flores Larsen¹, Alejandro Hernández, Silvina González², y José Quiñonez

INENCO – Universidad Nacional de Salta – CONICET - Avda. Bolivia 5150, 4400 Salta, Argentina
Tel. (54)-387-4255424, Fax: (54)-387-4255389 – Email: seflores@unsa.edu.ar

Recibido: 8-4-13; Aceptado: 10-6-13.

RESUMEN.-La carga térmica de un ambiente (demanda) y la energía entregada por un colector solar de aire o cualquier otro dispositivo solar térmico (generación) son funciones que dependen de las condiciones meteorológicas, del edificio y del equipo en sí mismo, y son ambas intrínsecamente dependientes del tiempo. No necesariamente ambas funciones estarán acopladas. El presente trabajo aborda el estudio dinámico de la demanda energética de calefacción y de la potencia entregada por colectores solares calentadores de aire para una vivienda en la ciudad de Salta. Para ello, se determina en primer lugar la carga de calefacción del ambiente de la vivienda para dos tipos de días de invierno: un día promedio y un día extremo. A continuación, se definen escenarios para la energía entregada por un sistema de colectores solares calentadores de aire y se simula el comportamiento térmico de la vivienda para cada escenario mediante EnergyPlus. Se determinan el ahorro de energía convencional en conjunto con la temperatura interior de cada zona en cada caso y se concluye que, para este caso, el dimensionamiento del área de colección debe basarse en la carga térmica diaria correspondiente a un día promedio de invierno y que se requiere de control automático para no sobrecalentar el ambiente interior.

Palabras claves: carga térmica, simulación transitoria, EnergyPlus

THE HEATING LOADS AND THE DIMENSIONING OF SOLAR AIR COLLECTORS: EFFECTS OF THE HOURLY VARIABILITY ON INDOOR OVERHEATING

ABSTRACT.-The thermal load (demand) of a building zone and the energy delivered by a solar air collector or any other solar thermal device (generation) depend on meteorological conditions, building materials, and equipment, and they are both functions of time that are not necessarily coupled. This paper deals with the dynamic study of the heating thermal load and the power delivered by solar air collectors in a residence of Salta city. Firstly, the hourly heating thermal load is calculated for two types of winter days: an average day and an extreme day. Then, three scenarios are defined for the energy delivered by the solar collectors. Finally, simulations of the transient thermal behavior of the zone for each scenario were performed with EnergyPlus software in order to obtain hourly indoor temperatures and energy savings for each case. In this study case, it is concluded that the dimensioning of the collection area should be based on the value of the heating thermal load corresponding to an average winter day, and that an automatic control system of the air collector will be required in order to avoid indoor overheating.

Keywords heating thermal load, transient simulation, EnergyPlus

1. INTRODUCCION

Un colector solar de aire genera energía térmica que depende de las condiciones meteorológicas y del equipo en sí mismo. Esta generación es intrínsecamente dependiente del tiempo y puede ser estimada mediante diversos modelos físicos. El dimensionamiento de colectores solares de aire tiene en cuenta tanto la carga de calefacción como la

acumulación de calor que se desea obtener, de forma de no sobredimensionar el sistema. La razón que fundamenta esta decisión de no sobredimensionar se basa fundamentalmente en el costo mayor de los sistemas de calefacción solares sobre los sistemas convencionales. Las recomendaciones para el dimensionamiento de colectores de aire son bien conocidas y han sido resumidas por Beckman (1977) y actualmente existen herramientas informáticas con las que se pueden realizar los dimensionamientos (TRNSYS, 1990).

1. Investigador Adjunto del CONICET
2. Becaria del CIUNSA.

La carga de calefacción $L(t)$ de un local es la energía necesaria para mantener la temperatura del aire interior en el rango de confort. Su valor depende de las condiciones meteorológicas, de la geometría y materiales del edificio, equipamiento, ocupación y uso, entre otras. Si la energía entregada es mayor que la carga requerida, el ambiente interior superará la temperatura preestablecida de confort, mientras que si es menor no la alcanzará. La carga térmica de un ambiente es variable a lo largo del año y además dependiente de la hora del día. Cuando $L(t)$ se integra durante un periodo de tiempo, se obtienen valores promedio horarios, diarios, mensuales o anuales. El método más difundido por su simplicidad para estimar las cargas de calefacción es el cálculo en estado estacionario, basado en el principio de que la pérdida energética de un edificio es proporcional a la diferencia de temperatura entre el aire interior y el exterior. Para ello se requieren conocer los grados-día de calefacción de la localidad en cuestión, las características de la envolvente edilicia, equipamiento y uso. Ejemplos de metodologías para estimar cargas de calefacción de edificios basadas en valores promedios (diarios, mensuales, etc.) se desarrollan en los trabajos de Cuadros et al. (2007) y Lund (2005), entre otros. El programa PREDISE (Hernández y Lesino, 2004) desarrollado en el INENCO y de libre acceso, permite determinar rápidamente la carga térmica de un edificio bajo condiciones estacionarias. Con estos métodos se obtiene la carga diaria de calefacción del edificio, muy útil para un prediseño del tamaño de los equipos de calefacción, pero que no brinda información detallada de cómo esta carga varía durante las horas del día. Para obtener esta información, es necesario utilizar simulación computacional dinámica del comportamiento térmico del edificio.

Los colectores solares de aire entregan una cantidad de calor $Q_S(t)$ que depende de las condiciones climáticas y es también variable a lo largo del día. Debido a ello, para mantener el confort interior se requiere del aporte de sistemas auxiliares de calefacción $Q_A(t)$, que entregarán energía también en forma variable durante el día. Así, para que un ambiente se encuentre en confort, la suma $Q_S(t)+Q_A(t)$, debe ser igual a la carga de calefacción $L(t)$. No necesariamente la demanda de energía $L(t)$ y la generación por vía solar $Q_S(t)$ estarán acopladas, es decir, tendrán sus máximos (o mínimos) a la misma hora. Por ejemplo, un colector solar puede entregar el máximo de energía al mediodía solar, mientras que un local a calefaccionar puede requerir el máximo de energía a las primeras horas de la mañana. En caso de que el aporte energético sea menor al requerido, la calefacción auxiliar convencional será la encargada de suplir el déficit. En caso de que el aporte sea mayor, entonces parte de la energía se transferirá a los elementos masivos existentes, acumulándose, y el resto se transferirá al aire interior, aumentando su temperatura. Puede suceder que el aumento sea tal que se supere la temperatura de confort, provocando sobrecalentamientos importantes que en general son solucionados o bien apagando los equipos o bien ventilando los ambientes, siendo esta última una práctica muy ineficiente en cuanto al uso racional de la energía.

El presente trabajo aborda el estudio dinámico de la demanda energética con la potencia entregada por colectores solares calentadores de aire sin sistema de acumulación auxiliar, utilizados para calefaccionar una zona de una vivienda en la ciudad de Salta, en el Noroeste argentino, en un periodo de invierno. Dicha vivienda se seleccionó debido

a que se contaba con datos monitoreados de invierno y verano y ajustes realizados previamente con el programa EnergyPlus, de forma que los cálculos de carga de calefacción se basan en un modelo físico validado. Se determinó, en primer lugar, la carga de calefacción del ambiente de la vivienda para dos tipos de días de invierno: un día promedio (con temperaturas máxima, media y mínima y radiación sobre superficie horizontal promedio mensuales) y un día extremo (seleccionado de datos medidos para el día más frío de los últimos 5 años). A continuación, se definieron escenarios para la energía entregada por un sistema de colectores solares calentadores de aire y se simuló el comportamiento térmico de la vivienda para cada escenario mediante EnergyPlus. Finalmente, se analizaron los resultados horarios de ahorro de energía convencional y temperatura interior de cada zona en cada caso, lo cual permitió detectar los problemas de sobrecalentamiento y generar recomendaciones para el dimensionamiento de los colectores solares de aire.

2. METODOLOGIA DE TRABAJO

La habitación a calefaccionar pertenece a una vivienda en dos plantas ubicada en la ciudad de Salta, ubicada en el primer piso como se muestra en la Figura 1. El área de la habitación es de 20m^2 y tiene un volumen de 67m^3 . La envolvente vertical (73m^2) es de ladrillo macizo de 30cm de espesor y el techo inclinado (21m^2) es de machimbre de pino con aislación hidrófuga, aislación térmica de 5cm de poliestireno expandido y teja francesa. La habitación cuenta con una ventana hacia el Noroeste (253°) de 1.6m^2 , de doble vidrio, y una puerta doble hoja de madera hacia el Noreste. La vivienda fue monitoreada durante invierno y verano y simulada mediante EnergyPlus (Flores Larsen et al., 2010; 2012) para ajustar el modelo termofísico con los resultados experimentales. Debido a que el objetivo del presente trabajo es estudiar la demanda energética y el aporte de los colectores, no se describe el modelo físico utilizado para ajustar el edificio. Para detalles de la zonificación del edificio y parámetros de la simulación se sugiere consultar los artículos mencionados. Debido a que el modelo térmico del edificio ya se encuentra ajustado con datos medidos (ver Figura 1), las simulaciones que se realizaron en el presente trabajo bajo distintas condiciones climáticas o termostatazando locales para obtener las cargas de calefacción son de alta confiabilidad.

La metodología consiste en estudiar, en primer lugar, la variación horaria de la carga de calefacción a lo largo de un periodo extremo de invierno, con datos monitoreados. Esto permite tener una aproximación al comportamiento diario de la carga de calefacción, y de la hora de ocurrencia de los máximos y mínimos para un periodo real bajo condiciones climáticas monitoreadas experimentalmente. Para ello, se seleccionó la semana más fría de los últimos cinco años (13 al 20 de julio de 2010). A continuación, de la carga horaria calculada para este periodo, se seleccionó el día más frío y se calculó la carga diaria de calefacción para este día extremo. A continuación, se utilizaron los datos promedio del mes de Junio para calcular la carga de calefacción diaria para un día promedio de invierno.

Una vez obtenidas las cargas de calefacción, se plantearon tres escenarios posibles para cubrir estos requerimientos energéticos:

- 1) el sistema solar debe cubrir el 100% de la carga de calefacción de un día extremo de invierno;
- 2) el sistema solar debe cubrir el 100% de la carga de un día promedio de invierno;
- 3) el sistema solar debe cubrir el 100% de la carga de un día promedio, entre las 10:00 y las 17:00.

Para estos tres escenarios, se dimensionó el área de colección y se calculó la energía entregada por los colectores

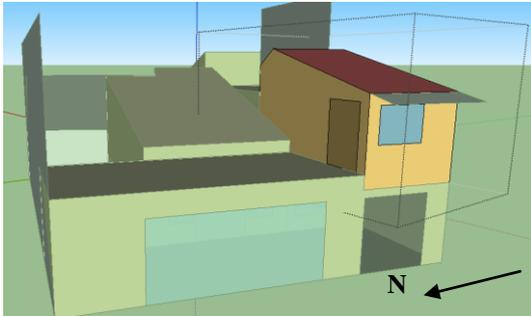
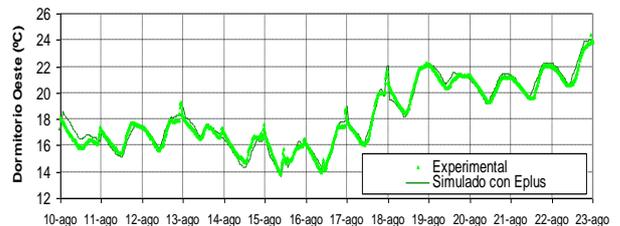


Fig. 1: Esquema para EnergyPlus de la zona a calefaccionar (izquierda) y resultados del monitoreo experimental y de la simulación térmica para un periodo de invierno (derecha).

solares en cada caso. Estos valores horarios se ingresaron luego a la simulación térmica transitoria del edificio y se calculó con EnergyPlus la temperatura interior y la carga de calefacción auxiliar requerida para mantener la temperatura interior por encima de los 21°C.



3. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. Cálculo de la carga horaria y diaria de calefacción de la zona.

Como se mencionó previamente, para estudiar la variación horaria de la carga de calefacción se utilizaron los datos meteorológicos correspondientes a la semana más fría de los últimos 5 años (13 al 20 de julio de 2010), en la cual se registraron nevadas importantes. La Figura 2 muestra los datos meteorológicos correspondientes esta semana. Se observa que las mínimas de todos los días están por debajo de 0°C alcanzando un mínimo absoluto de -7.8°C. Las máximas diarias oscilaron entre 10 y 15°C durante los cuatro primeros días, disminuyendo a 3.3°C durante los días 17 y 18 de julio y elevándose hasta alcanzar los 20°C el último día del periodo. Las temperaturas promedio diarias fueron bajas: 5°C para los cuatro primeros días, por debajo de 0°C para los días 17 y 18 de julio, y entre 5 y 7°C para los dos últimos días. La temperatura promedio de invierno para la ciudad de Salta es de alrededor de 10.4°C, por lo que se observa que esta semana está por debajo de la media. En cuanto a la radiación solar, se observan días con cielo despejado y buenos niveles de radiación (13, 14, 19 y 20 de julio) y días de baja radiación (16, 17 y 18 de julio), coincidentes con los días de menor temperatura promedio diaria.

La carga de calefacción del local a acondicionar se calculó mediante el programa EnergyPlus para una temperatura de confort de 21°C. Se utilizaron los objetos ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem y ThermostatSetpoint: DualSetpoint, definido de forma que el software agregue, automáticamente y hora por hora, la energía auxiliar para alcanzar una temperatura de 21°C. En caso que la temperatura supere los 21°C sin la necesidad de calefacción auxiliar, la temperatura interior se deja evolucionar libremente (es decir, el software no quitará energía para reducir la temperatura a 21°C). Esta forma de

trabajo permite detectar sobrecalentamientos de los espacios interiores. Los cálculos realizados con EnergyPlus de la energía necesaria para que la zona alcance 21°C bajo estas condiciones climáticas se muestran en la Figura 3 (valores horarios) y en la Figura 4 (valores promedio diarios). Se observa en la Figura 3 que la carga varía a lo largo de las horas del día en forma considerable, siendo menor alrededor de las 16°C (hora de máxima temperatura exterior) y mayor en las primeras horas de la mañana (hora en que la temperatura exterior alcanza su mínimo valor). Todos los días se requiere de calefacción para alcanzar la temperatura de confort. La carga máxima en el periodo ocurre a las 8:00 del día 19 de julio, con un valor de casi 2800W, mientras que la mínima ocurre a las 16:00 del 14 de julio, con un valor de 500W.

La Figura 4 muestra las cargas diarias en MJ/día para la zona, que oscila entre 109 y 197 MJ/día, con un valor promedio del periodo de 148 MJ/día. La figura muestra también, para cada día, la carga de calefacción promediada durante las horas en que potencialmente funcionaría un sistema solar (de 10:00 a 17:00). En este caso, la carga oscila entre 34 y 65MJ/día, con un valor medio de 48MJ/día. Este cálculo se realizó además para un día tipo de invierno (valores promedios mensuales de temperatura y radiación) arrojando valores para la carga de calefacción de 82MJ/día y de 27MJ/día para el periodo de 10:00 a 17:00.

Debido a que los sistemas solares funcionan con backups de sistemas convencionales para satisfacer la demanda en los días que no hay suficiente radiación solar, una estufa convencional se dimensionaría tomando el día más frío, es decir, la calefacción convencional debiera entregar al aire una potencia de 2800W. De acuerdo al sistema elegido para calefaccionar, se deberá modificar este valor para tener en cuenta la eficiencia del equipo instalado.

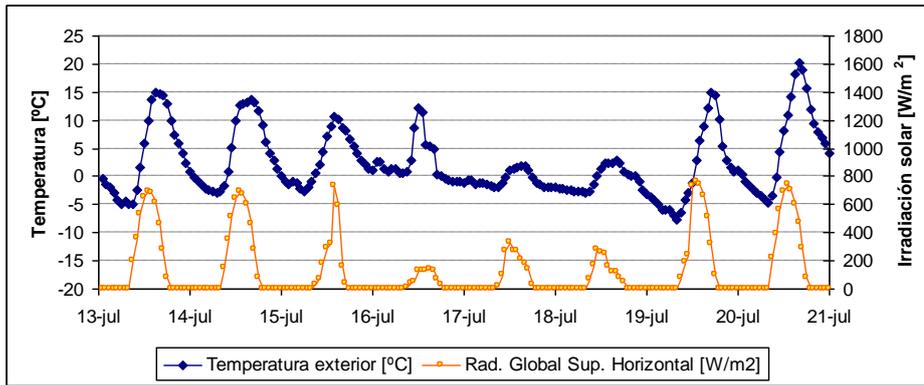


Fig. 2. Temperatura exterior y radiación solar sobre superficie horizontal para el periodo comprendido entre el 13 y el 20 de julio de 2010.

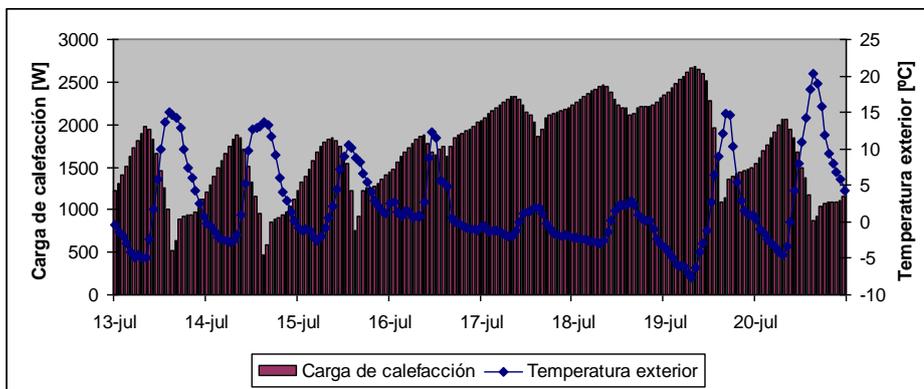


Fig. 3: carga de calefacción de la zona para el periodo comprendido entre el 13 y el 20 de julio de 2010.

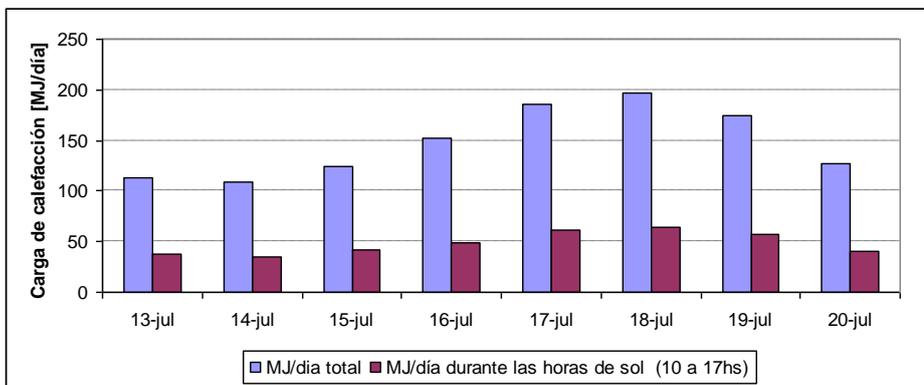


Fig. 4: carga de calefacción promedio diaria en MJ/día para la zona.

Tabla 1. Escenarios de entrega de energía de los colectores solares de aire.

Escenario 1	El sistema solar debe cubrir el 100% de la carga diaria para un día extremo de invierno.
Escenario 2	El sistema solar debe cubrir el 100% de la carga diaria para un día promedio de invierno
Escenario 3	El sistema solar debe cubrir las necesidades diurnas de calefacción entre las 10:00 y las 17:00 para un día promedio de invierno

Por otra parte, para dimensionar el sistema de calefacción solar, es decir, el área de colección, las restricciones no son sólo del tipo económica sino también geométricas (depende del área soleada disponible para instalar los colectores). Por esta razón, y salvo situaciones particulares, en general los sistemas solares entregan un porcentaje de la energía necesaria, que se define cuando se dimensiona la instalación. Para el presente estudio se supone que no existen restricciones en cuanto al área disponible para instalar los colectores, puesto que el objetivo es estudiar cómo se acoplan la demanda de calefacción y la entrega de potencia en el espacio a acondicionar. Para ello se definieron tres escenarios diferentes de entrega de energía del colector solar, resumidos en la Tabla 1: 1) 100% de la carga de un día extremo de invierno (197MJ/día); 2) 100% de la carga de un día promedio de invierno (82MJ/día); y 3) 100% de la carga de un día promedio, entre las 10:00 y las 17:00 (27MJ/día).

3.2. Dimensionado del área de colección y cálculo de la energía entregada: desfase entre la demanda y la generación.

Para la orientación Norte de los colectores se selecciona una pendiente de 40°, valor optimizado para el periodo invernal

en la ciudad de Salta. La irradiación solar sobre superficie horizontal promedio para junio es de 9.5MJ/(m² día), mientras que la irradiación de cielo claro alcanza los 15.1MJ/(m² día). La radiación solar sobre el plano de colección, estimada mediante el método de Page, es de 23.9MJ/(m² día).

El colector es de tipo modular, con módulos de 2m² de área, con recirculación de aire. Esto significa que el colector toma aire del local (a 21°C), lo calienta y lo devuelve a mayor temperatura. Se calculó el área de colección necesaria para cada escenario (16m² para el escenario 1, 6m² para el escenario 2 y 2m² para el escenario 3) y la energía entregada al ambiente, hora por hora, para cada caso. Es decir, para cada escenario, la *energía total diaria* entregada por los colectores cubre las necesidades *diarias* definidas para cada escenario. En los cálculos que siguen se comprobará que, aún dimensionando el área de colección para entregar la energía requerida por cada uno de los escenarios, no se logrará el confort térmico y se requerirá calefacción auxiliar. Esto será cierto aún en el caso de sobredimensionar los colectores.

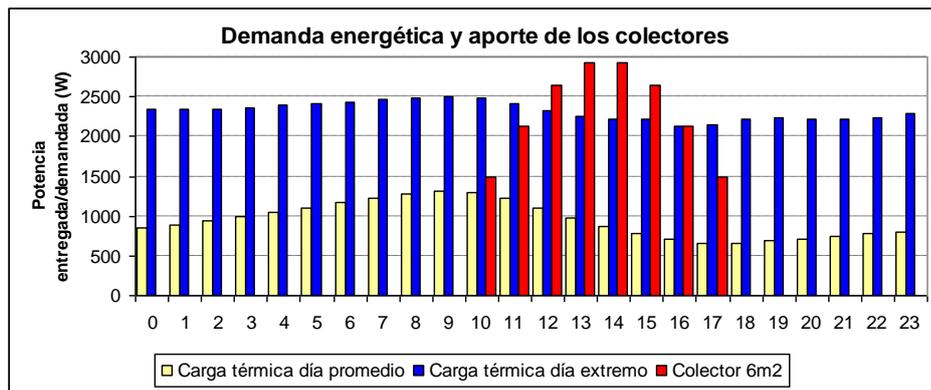


Fig. 5. Carga horaria de calefacción de la zona para un día promedio de invierno y día extremo, y aporte de un colector solar de 6 m² de área de colección.

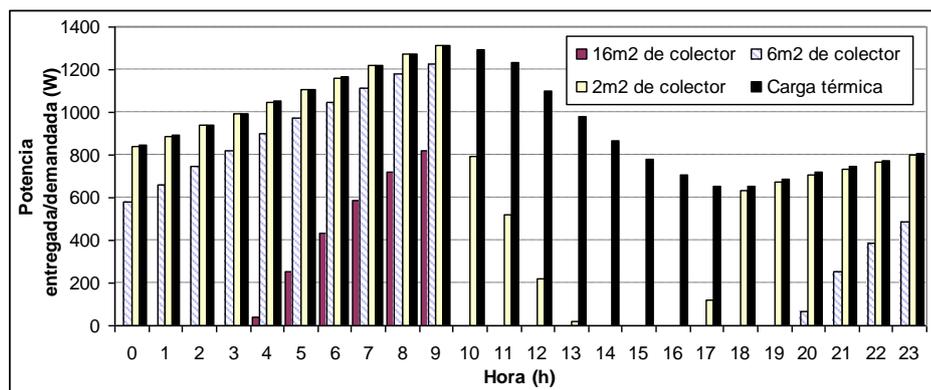


Fig. 6. Calefacción auxiliar requerida para satisfacer la carga térmica horaria suponiendo que los colectores funcionan a pleno entre las 10:00 y las 17:00, para un día promedio de invierno.

A modo de ejemplo, se muestra en la Figura 5 la potencia entregada por un colector de 6m² y la carga de calefacción de la zona para un día promedio de invierno y para un día

extremo, calculadas mediante EnergyPlus. Es evidente que el aporte de los colectores, con su máximo al mediodía solar, está desfasado de la carga, con su máximo a primeras horas

de la mañana. Además, el aporte de los colectores durante las horas de sol es mayor al requerido por la zona, inclusive en el día más frío, por lo que la temperatura interior superará los 21°C. Debido a que la zona cuenta con buena masa de acumulación en las paredes de ladrillo macizo, podría suponerse que parte del calor entregado por los colectores se acumulará en ellas y se devolverá al ambiente interior en horas de la tarde-noche. En caso de que la masa de acumulación no fuera suficiente, existirá sobrecalentamiento de la zona.

3.3. Incidencia del aporte solar sobre la energía auxiliar requerida

3.3.1. Día promedio

La Figura 6 muestra, para un día promedio de invierno, la incidencia del aporte de los colectores sobre la energía auxiliar convencional requerida para mantener la zona por encima de 21°C. Se observa que aún cuando se instalara el colector de mayor área, que entrega diariamente más del doble de la energía requerida por la zona, se requeriría calefacción auxiliar. Por otra parte, en la figura se observa que no se requiere energía auxiliar entre las 10:00 y las 19:00 para los colectores de 16m² y 6m² (escenarios 1 y 2), mientras que el colector de 2m² (escenario 3) entrega toda la energía requerida por la zona solamente entre las 14:00 y las 16:00. En la figura se observa el efecto de reducción de la necesidad de calefacción auxiliar debido a la masa de acumulación: por ejemplo, a las 9:00 (hora del día en que se requiere el máximo de calefacción), con un colector de 16m² se requiere de una potencia de 800W de energía auxiliar, mientras que con un colector de 6m² se requiere de 1200W y con uno de 2m² se precisan 1300W.

El cálculo de la energía diaria de calefacción auxiliar necesaria para mantener la zona en 21°C es de 10, 38 y 60 MJ/día para los escenarios 1, 2 y 3, respectivamente, es decir, si consideramos que la zona requiere por día de 82MJ, entonces el aporte solar es del 88%, 54% y 24%, respectivamente.

Sin embargo, si bien lo expuesto hasta aquí haría suponer que lo mejor es instalar un colector de 16m², el análisis horario detallado de las temperaturas interiores no acompaña esta elección. La Figura 7 muestra la temperatura interior que alcanzaría la zona si los colectores funcionaran a pleno entre las 10:00 y las 17:00. Se observa que para los escenarios 1 y 2, en donde los colectores fueron diseñados para cubrir toda la demanda en un día extremo y promedio de invierno, respectivamente, la zona se sobrecalienta

alcanzando una temperatura interior de casi 32°C (escenario 1) y 28°C (escenario 2). En estos casos, los colectores para un día promedio deberían funcionar con controles automatizados. Los controles más utilizados son del tipo proporcional o del tipo on/off. En el primer caso, se regula el caudal de aire que circula por el colector. En el segundo caso, para cada hora el colector se enciende durante un intervalo de tiempo y cuando se alcanza la temperatura deseada se apaga. Este funcionamiento intermitente permite que se mantenga la temperatura interior dentro de un intervalo de confort. En este caso optimizado de funcionamiento, tanto el colector de 16m² como el de 6m² aportarían el 33% de la energía diaria requerida en un día promedio de invierno y el 100% de la energía requerida entre las 10:00 y las 17:00.

En conclusión, para colectores solares que funcionan a flujo constante en zonas con calefacción auxiliar (y sin sistema adicionales de acumulación térmica), no es conveniente dimensionar el área de colección tomando como referencia el día más frío del año puesto que en días promedio (que son los que ocurren en invierno con mayor frecuencia), se producirá sobrecalentamiento del ambiente interior. En estas situaciones, es común que los usuarios decidan abrir las ventanas para dejar entrar aire fresco, lo cual vuelve ineficiente al sistema.

Para el escenario 1, en que los colectores cubren la carga diurna de un día extremo de invierno, la temperatura interior se mantiene dentro de los niveles de confort, pero no se requiere de calefacción auxiliar en un periodo muy acotado: entre las 14:00 y las 16:00. Esto indica que dimensionar el área de colección para que satisfaga la carga diurna de calefacción tampoco es una buena elección, pues el colector quedará subdimensionado.

3.3.2. Día extremo

La Figura 8 muestra los resultados obtenidos para un día extremo de invierno. Es interesante observar que, si bien el colector de 16m² ha sido dimensionado para entregar los 197MJ diarios requeridos por la zona, aún así se requiere calefacción auxiliar desde las 19:00 y durante toda la noche.

Esto se debe a que el colector entrega su máximo de energía durante las horas del mediodía, cuando el requerimiento es menor. En este caso, el cálculo de la energía diaria de calefacción auxiliar necesaria para mantener la zona en 21°C

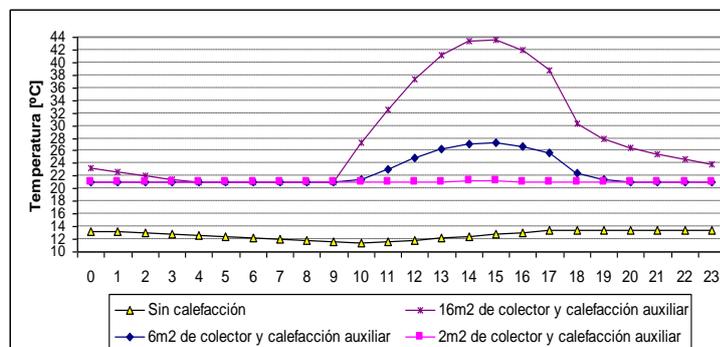


Fig. 7. Temperatura de la zona sin calefacción y con el aporte de calefacción auxiliar para alcanzar 21°C y de colectores solares para 16 m², 6 m² y 2m² de área de colección, para un día promedio de invierno.

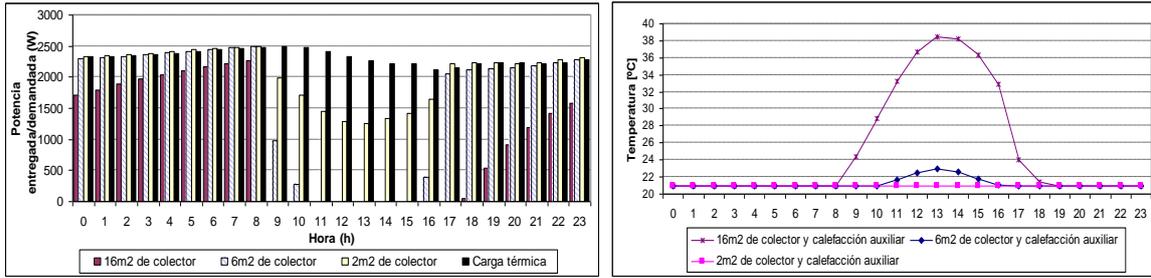


Fig. 8. Izquierda: calefacción auxiliar requerida para satisfacer la carga térmica horaria suponiendo que los colectores funcionan a pleno entre las 10:00 y las 17:00, para un día extremo de invierno. Derecha: Temperatura de la zona con el aporte de calefacción auxiliar para alcanzar 21°C más el aporte de colectores solares para 16 m², 6 m² y 2m² de área de colección.

es de 86, 138 y 178 MJ/día para los escenarios 1, 2 y 3, respectivamente, es decir, el aporte solar es del 56%, 30% y 10%, respectivamente. Nuevamente, si bien el colector de mayor área permite el mayor ahorro de energía convencional, produce temperaturas que exceden el nivel de confort por lo que se requerirá de algún tipo de control automático.

4. CONCLUSIONES

Se realizó el estudio dinámico de la demanda energética con la potencia entregada por colectores solares calentadores de aire para calefaccionar una zona de vivienda en la ciudad de Salta. Para ello, se determinó la carga de calefacción del ambiente de la vivienda para dos tipos de días de invierno: un día promedio (con temperaturas máxima, media y mínima y radiación sobre superficie horizontal promedio mensuales) y un día extremo (seleccionado de datos medidos para el día más frío de los últimos 5 años). A continuación, se definieron tres escenarios para la energía entregada por los colectores solares calentadores de aire: el primer escenario supone que los colectores entregan el 100% de la energía requerida en un día extremo de invierno; el segundo, 100% de la carga de un día promedio de invierno (82MJ/día); y el tercer escenario, un 100% de la carga de un día promedio, entre las 10:00 y las 17:00. En base a estos escenarios, se dimensionaron las áreas de colección y se simuló el comportamiento térmico de la vivienda para cada escenario mediante EnergyPlus.

Los resultados obtenidos pueden resumirse como sigue:

- si no se cuenta con sistema de acumulación, cualquiera sea la dimensión del área de colección, el ambiente requerirá de calefacción auxiliar durante las horas nocturnas.
- si se dimensiona el área de colección en base a la carga diaria de calefacción del día más frío del año, el ambiente interior se sobrecalentará siempre, inclusive en días de frío extremo.
- si se dimensiona el área de colección en base a la carga diaria diurna de calefacción (entre las 10:00 y las 17:00) de un día promedio de invierno, el ambiente interior requerirá de calefacción auxiliar siempre (ya sea un día promedio o un día extremo).
- si se dimensiona el área de colección en base a la carga diaria de calefacción de un día promedio, el ambiente interior podría sobrecalentarse ligeramente durante el

mediodía de un día promedio de invierno y entregaría un buen porcentaje de la energía requerida en un día extremo de invierno. En este caso, el aporte solar rondaría el 54% (día promedio) y 30% (día extremo).

De acuerdo a estos resultados, el diseño del sistema solar debe realizarse en base a la carga diaria de calefacción de un día promedio de invierno. Esta situación es diferente al cálculo realizado para sistemas de calefacción convencionales, en los que se utilizan los días extremos para realizar el dimensionamiento. De esta manera, se asegura que todos los días del año se contará con la energía necesaria para calefaccionar el ambiente.

Debido a que muchos programas de simulación térmica dinámica de edificios proveen, junto con los datos climáticos, los datos correspondientes al "día de diseño" de invierno y de verano, debe tenerse mucha precaución al utilizar estos datos. Usualmente los "días de diseño" se obtienen de un análisis estadístico y corresponden a las temperaturas horarias más bajas (invierno) o más altas (verano) del año, lo cual, como vimos, es útil para dimensionar sistemas convencionales pero no sistemas solares.

Las sugerencias surgidas del presente estudio corresponden al estudio de un caso particular bajo el clima particular de Salta y deben ser tomadas como tales. Los resultados y el mejor día de diseño a utilizar en el dimensionado pueden variar de acuerdo al tipo de clima de la localidad en estudio y de la calidad y tipo de edificio a acondicionar. Se sugiere que, en la medida de lo posible, se realicen simulaciones computacionales detalladas para cada caso.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSA 2130/0) y por PICTO ENARGAS 2009-0192.

REFERENCIAS

Cuadros F., López-Rodríguez F., Segador C., Marcos. A. (2007). A simple procedure to size active solar heating schemes for low-energy building design. *Energy and Buildings* 39, 96–104.

- Duffie J.A. and Beckman W.A. (2006). *Solar Engineering of Thermal Processes*. 3rd Ed., John Wiley & Sons, New York.
- Flores Larsen S., Filippín C., Lesino G. (2010). La incidencia de los usuarios en el comportamiento térmico de verano de una vivienda en el Noroeste argentino. IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES), Cusco, 1 -5.11.
- Flores Larsen S., Filippín C., González S. (2012). Study of the energy consumption of a massive free-running building in the Argentinean northwest through monitoring and thermal simulation. *Energy and Buildings* **47**, 341–352.
- Hernández A. Programa PREDISE. <http://www.unsa.edu.ar/~alejo/predise/>. Último acceso: 1/08/2012.
- Hernández A., Lesino G. (2004). Implementación de un método simplificado de evaluación energética en edificios a través de un programa computacional de entorno amigable. *I Conferência Latino-Americana De Construção Sustentável X Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído*. 18-21 julio 2004, São Paulo, Brasil.
- Lund P.D. (2005). Sizing and applicability considerations of solar combisystems. *Solar Energy*, **78**, 59–71.