

ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO DE ENVOLVENTES DE CONSTRUCCIONES BIOCLIMATICAS EN LA CIUDAD DE SALTA

Alejandro L. Hernández¹
INENCO – Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177, 4400, Salta, Argentina
FAX: 54-87-489, TE: 54-87-4255589
EMAIL: alejo@unsa.edu.ar

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es determinar un conjunto de pautas de diseño de edificios bioclimáticos para la ciudad de Salta tendiente a lograr una edificación con buen rendimiento térmico y con una conveniente relación *costo beneficio*. Para ello, se realizó el estudio térmico de un diseño de edificio mediante un método de prediseño simplificado con el cual se obtuvo importante información en cuanto a espesores de muros y aislaciones, número de vidrios en ventanas, tasas de aventanamiento para colección de radiación solar y número de renovaciones de aire por hora necesarios para lograr los objetivos del trabajo. Complementariamente se simuló con SIMEDIF el comportamiento térmico del diseño optimizado. Esta simulación detallada permitió validar y mejorar las pautas determinadas con el prediseño, evidenciando un buen rendimiento térmico del edificio tanto en verano como en invierno. Se presentan 8 pautas de diseño aplicables a la ciudad de Salta y zonas aledañas.

Palabras clave : estrategias de diseño, modelización, simulación de edificios.

INTRODUCCION

Durante la etapa de proyección de un edificio bioclimático particular resulta necesario analizar distintas estrategias constructivas a fin de lograr un diseño optimizado en el uso racional de la energía y con una buena relación *costo-beneficio*. La creciente demanda de asesoramiento por parte de particulares y profesionales de la construcción ante la grave crisis económica que vive la Argentina, traducida en el incremento sustancial en el costo de los servicios de gas y electricidad, hace necesario disponer de un conjunto de pautas de diseño básicas que minimicen el gasto de energía auxiliar convencional para el acondicionamiento térmico de edificios construidos o por construir dentro del ámbito nacional. En este contexto, ante una consulta específica sobre un diseño particular de edificio, resulta conveniente disponer de la información necesaria para poder responder preguntas del tipo: “¿de qué material es más conveniente construir la casa?”, “¿qué espesor deben tener las paredes?”, “¿conviene aislar térmicamente el edificio?”, “¿con qué aislante?”, “¿cuánto cuesta...?”, “...si la inversión inicial es más alta por aislar térmicamente el edificio, ¿cuánto me ahorraré por no tener que usar tanta calefacción auxiliar?”, etc. Si el profesional consultado no ha hecho algunos cálculos previos terminará respondiendo a cada una de estas preguntas en forma dubitativa o basándose sobre supuestos. El objetivo del presente trabajo es determinar, para el caso particular de la ciudad de Salta, un conjunto de reglas generales básicas tendientes a responder rápidamente a la mayoría de las preguntas anteriores. Si bien cualquier profesional con conocimientos en el uso racional de la energía en edificios puede distinguir la diferencia entre construir un muro con ladrillo macizo y construirlo con bloques huecos de cemento, puede no tener presente cuál es el espesor de pared más conveniente desde el punto de vista de la relación costo-beneficio. El punto de mira entonces no es diseñar un edificio lo más eficiente posible desde el punto de vista energético, sino proponer una edificación alternativa que resulte térmica y económicamente conveniente.

A tal efecto se propuso un diseño de edificio convencional de acuerdo a la edificación tradicional en la ciudad de Salta y se realizó el estudio de su comportamiento térmico mediante un método de prediseño simplificado desarrollado en el INENCO (Saravia et al, 1982) y con el programa de simulación detallada SIMEDIF. El primero permite, mediante un diseño simplificado del edificio y con cálculos promediados en el día, analizar en forma rápida y sencilla los resultados obtenidos al aplicar distintas pautas de acondicionamiento térmico por vía solar (ganancia directa por ventanas, muros colectores acumuladores, etc), determinando las áreas de colección necesarias para alcanzar una determinada temperatura de diseño interior y el área de transferencia de las masas de acumulación de energía necesaria para obtener una amplitud térmica en la oscilación de temperatura interior del orden de 3 °C. El empleo de planillas de cálculo facilita considerablemente la tarea de evaluar distintos materiales y espesores de muros y aislaciones térmicas, tamaños y ubicación de ventanas, tasas de renovaciones de aire por hora, etc. La aplicación combinada del método de prediseño con el simulador SIMEDIF constituye una estrategia operativa en la cual el prediseño orienta fácil y rápidamente al proyectista sobre los cambios a introducir en el modelo de edificio ingresado al SIMEDIF, disminuyéndose por tanto el tiempo de máquina necesario para lograr un diseño suficientemente eficiente desde el punto de vista térmico y con una buena relación costo-beneficio.

¹ Integrente del Proyecto Foncyt de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Técnica, FUNDALTES BID 802/OC – AR – PICT 2000 N° 13-09991

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO ESTUDIADO

El diseño de edificio estudiado tiene un área interior cubierta de 107 m² distribuidos entre tres dormitorios (1, 2 y 3), un gran living-comedor con cocina integrada (4), un baño (5) y un pasillo de comunicación entre dormitorios (6) según se aprecia en la figura 1. Los techos son de chapa acanalada sobre tirantes de madera y cielorraso de machimbre de media pulgada de espesor fijado a los tirantes. Dado que el clima de la ciudad de Salta es de tipo continental templado (gran amplitud térmica diaria con baja humedad absoluta durante el invierno) se escogió ladrillo macizo tanto para las paredes de la envolvente como para las medianeras interiores. Para el piso se supuso un contrapiso de hormigón de 10 cm de espesor sobre suelo apisonado con encadenado perimetral en las fundaciones. La pared medianera entre el living-comedor y el dormitorio 1 es de piedra a fin de disminuir, por acumulación, el salto térmico interior de ambos locales. Los cerramientos (puertas y ventanas) son de carpintería de madera.

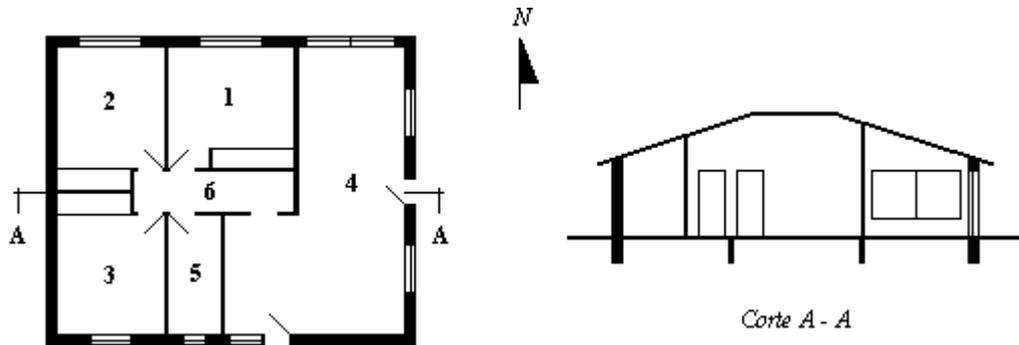


Figura 1: planta y corte del edificio. 1, 2 y 3: Dormitorios, 4: Living-comedor, 5: Baño y 6: Pasillo.

Como pauta inicial de acondicionamiento térmico para invierno se escogió la ganancia directa de radiación solar por ventanas para lo cual el diseño cuenta con tres grandes ventanales al Norte y dos al Este. Las tres pequeñas ventanas sobre el muro sur tienen por objeto proveer iluminación y ventilación a sus respectivos locales. El área inicial de las ventanas de los dormitorios 1 y 2 es de 2,6 m² cada una, la ventana norte del living tiene un área de 3,4 m² mientras que cada una de las ventanas del living sobre el muro Este tiene un área de 2,16 m². De esta forma, el porcentaje de área de colección es del 12 % respecto al área total de piso.

PREDISEÑO TERMICO

A fin de evaluar el edificio mediante el método de prediseño, se quitaron las paredes medianeras interiores de acuerdo a los requerimientos del método (se aplica a edificios de un solo local), resultando el diseño de la figura 2.

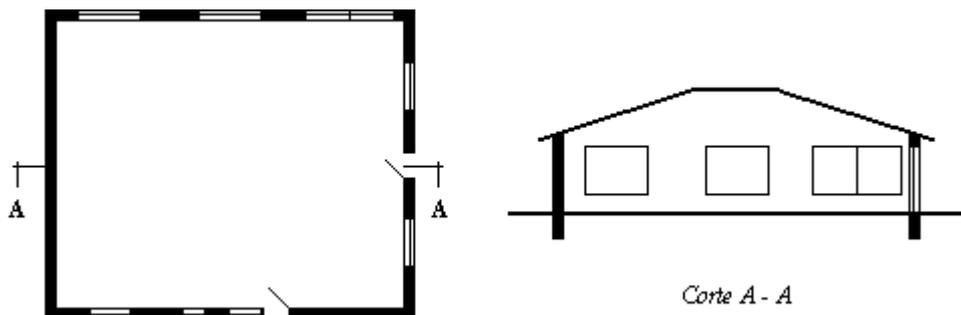


Figura 2: modelo de edificio estudiado mediante el método de prediseño.

Los cálculos fueron realizados ingresando las ecuaciones de balance global de energía, los datos meteorológicos, los datos geométricos del edificio y las propiedades térmicas de los materiales en una planilla de cálculo, la cual permite visualizar rápidamente los cambios producidos en el valor de la temperatura media interior al variar cualquiera de los parámetros de diseño. Dado que el objetivo del trabajo no era determinar el mejor diseño térmico para el edificio sino el más conveniente desde el punto de vista térmico económico, no se trabajó con una temperatura media interior de diseño (por ej. 18 °C) sino que se analizó el valor de la temperatura media interior al evaluar distintas pautas de diseño como ser: espesores de muros, espesor y ubicación de la aislación térmica, tamaño de ventanas y número de vidrios en cada una, etc.

A fin de estudiar la influencia de la aislación térmica en el valor de la temperatura media del edificio se compararon tres casos:

- 1) Edificio sin aislación térmica (S/Aisl.).
- 2) Edificio con aislación térmica sólo en el techo (C/Aisl. Techo).
- 3) Edificio con aislación térmica en paredes, fundaciones y techo (C/Aisl.).

Los datos meteorológicos empleados en el cálculo corresponden al mes de Julio y sus valores estadísticos son los siguientes:

Temperatura ambiente máxima: 20,5 °C.
Temperatura ambiente media: 10 °C.
Temperatura ambiente mínima: 2,4 °C.
Irradiación solar global sobre sup. horiz.: 13 MJ/m².día.

Como condición de partida del diseño se fijó el espesor de muros en 0,35 m (para contemplar la posibilidad de un doble muro con aislación en su interior), 1 renovación de aire por hora y una ganancia interna de calor correspondiente a dos personas adultas (300 Watts) ocupando el edificio las 24 horas del día.

El primer estudio realizado estuvo orientado a determinar la variación de la temperatura media interior con el espesor de la aislación térmica en dos casos: aislación sólo en techo y aislación de todo el edificio. En la figura 3 se grafican los resultados.

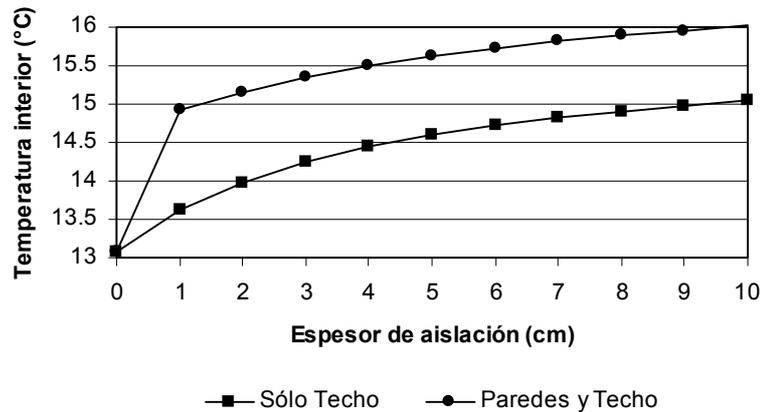


Figura 3: Variación de la temperatura media interior con el espesor de la aislación térmica.

Según se observa en la figura, a partir de los 3 cm de espesor, la diferencia en la temperatura media interior al pasar de la aislación térmica sólo en el techo a la de todo el edificio es de apenas 1 °C. Esto indica que desde el punto de vista económico resulta conveniente aislar solamente el techo. En este caso, para espesores superiores a los 5 cm no se obtiene un incremento en la temperatura interior que justifique tal inversión. El costo del poliestireno expandido de 5 cm de espesor con barrera de vapor de polietileno de 200 micrones es de \$15/m² en el mercado local.

Idéntica situación (desde el punto de vista térmico) se presenta en el caso del empleo de aislación térmica en todo el edificio a partir de los 3 cm de espesor. El costo del poliestireno expandido de 3 cm de espesor con la misma barrera de vapor es de \$11,5/m². La inclusión de aislación térmica en las paredes y fundaciones significa un importante sobre costo en la edificación al requerirse de una protección mecánica de la misma a través de un doble muro (con doble estructura antisísmica) o de metal desplegado revocado. En ambos casos debe sumarse el costo, no sólo de los materiales adicionales, sino además de la mano de obra especializada. Si el beneficio térmico es de apenas 1 °C, considero innecesaria tal inversión económica. De aquí en más, se emplea en los cálculos un espesor de aislación de 5 cm en el techo y de 3 cm en las paredes y fundaciones.

La influencia del área vidriada para la colección de radiación solar se analiza en las figuras 4 y 5. En la primera se observa la dependencia de la temperatura media interior con el porcentaje del área de aventanamiento para colección solar respecto del área total de piso y en la segunda la fracción solar (calculada en base a una temperatura de 20 °C) lograda en cada caso.

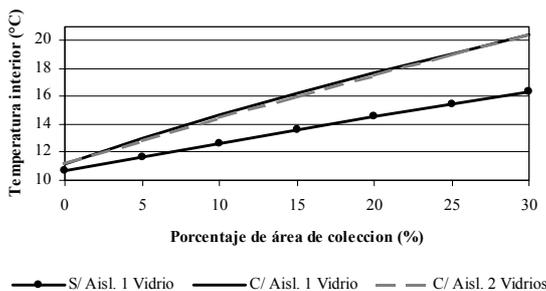


Figura 4: Variación de la temperatura interior con el porcentaje de área vidriada para colección.

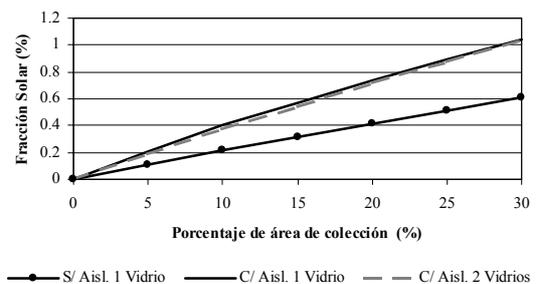


Figura 5: Variación de la fracción solar con el porcentaje de área vidriada para colección solar.

Como era de esperar, tanto la temperatura interior como la fracción solar son mayores para el caso en que el edificio cuenta con aislación térmica respecto del edificio sin aislar.

Para este último, el incremento de la temperatura interior al pasar del 15 al 30 % de área de colección solar es de sólo 2 °C mientras que para el edificio totalmente aislado este incremento es de 4 °C. Aumentar tanto el área de aventanamiento significa una disminución importante de la privacidad de los habitantes y un incremento considerable del discomfort lumínico debido a los intensos brillos que ocasiona la radiación solar ingresada al edificio. A esto se suma el deterioro más pronunciado del mobiliario por exposición a la radiación UV. Por su parte, la fracción solar aumenta en un 30 % en el edificio sin aislación y en un 50 % en el edificio aislado al duplicar el área de aventanamiento, llegando en este último caso a cubrir el 100% de la demanda energética de calefacción cuando la misma tiene un valor del 30 %. Sin embargo, como ya se expresara anteriormente, desde el punto de vista económico no resulta aconsejable aislar térmicamente todo el edificio ni intentar lograr por ganancia solar directa una temperatura media interior de 20 °C, por lo que un área de colección solar del orden del 15 % del área del piso es suficiente a los fines del presente trabajo. Tanto en la figura 4 como en la 5 se observa que el uso de doble vidrio en las ventanas no aporta beneficio alguno en un clima templado como el de la ciudad de Salta.

En la figura 6 se analiza la dependencia de la temperatura media interior con el número de renovaciones de aire por hora. Se observa en ella que en un edificio sin aislación, todo el esfuerzo puesto en disminuir las infiltraciones de 1 a 0,5 renovaciones de aire por hora (RAH) sólo conduce a una mejora del orden de 0,5 °C. Para el edificio con aislación en el techo esta mejora es de 1 °C y para el aislado totalmente es de 1,5 °C. Se observa, además, que un edificio con aislación sólo en el techo pero con 0,5 RAH tiene la misma temperatura interior que uno aislado totalmente con 1 RAH. Esto indica que para lograr un diseño con buena relación *costo-beneficio* es suficiente con aislar térmicamente el techo y disminuir las RAH a 0,5.

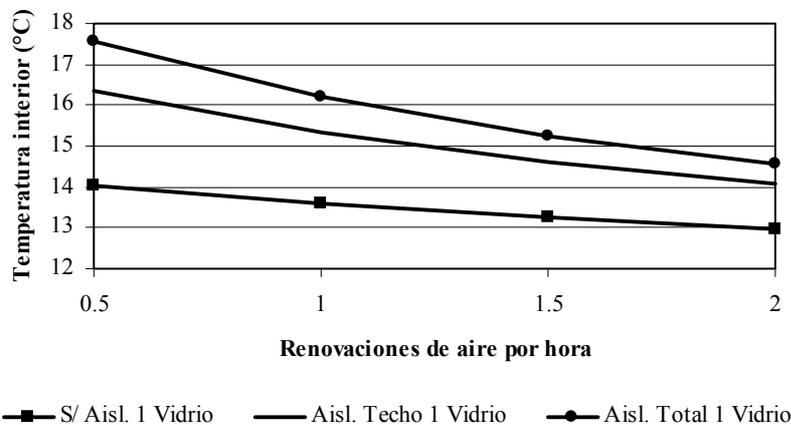


Figura 6: Variación de la temperatura media interior con el número de renovaciones de aire por hora (RAH).

Finalmente se estudió la dependencia de la temperatura media interior con el espesor de los muros de la fachada y los resultados se presentan en la figura 7, obtenida con un valor de 1 RAH. Para el caso del edificio totalmente aislado se distinguen las situaciones en que las ventanas tienen 1 vidrio y 2 vidrios cada una. El espesor consignado en la figura corresponde al del material del muro, ignorándose el espesor de la aislación térmica. Es decir que, en el caso del muro aislado en su interior, el espesor referido corresponde a la suma de los espesores de las dos capas de ladrillo.

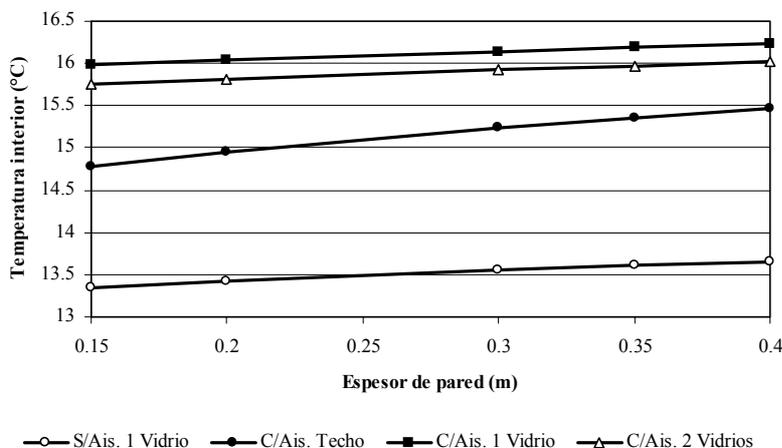


Figura 7: Variación de la temperatura media interior con el espesor de los muros de la fachada.

Según se observa en la figura 7, la temperatura interior presenta muy poca variación (algunas décimas de grado) dentro del rango de espesores estudiado en los cuatro casos analizados. Se observa además que la utilización de vidrio doble en las

ventanas es un gasto innecesario ya que, lejos de obtenerse una mejora sustancial en el valor de la temperatura media, su menor transmitancia hace disminuir el valor de la temperatura al colectarse menos radiación solar. En el caso de aislación sólo en el techo (que presenta la mayor variación en todo el rango de espesores) el aumento de la temperatura media es de sólo 0,5 °C cuando se duplica el espesor de 0,2 m a 0,4 m. Se concluye entonces que una elección apropiada desde el punto de vista térmico-económico para una vivienda sometida a un clima templado como el de la ciudad de Salta es la que combina un espesor en las paredes de la fachada de 0,2 m, aislación térmica sólo en el techo, ventanas con vidrio simple y una tasa de 0,5 RAH. Con esta combinación, de acuerdo a los resultados arrojados por el método de prediseño, se logra aumentar 5 °C la temperatura interior respecto del valor medio exterior, para una tasa de colección de radiación solar del 15 %, con una fracción solar del 48 % (en base 20 °C) y un salto térmico diario de 4°C.

SIMULACIÓN CON SIMEDIF

Con la guía obtenida con el método de prediseño se procedió a ingresar los datos del edificio de la figura 1 en el SIMEDIF. Las primeras corridas del programa indicaron una temperatura media muy baja en el dormitorio 3 debido a que el diseño original no contemplaba ganancia de radiación solar por ventana en este local. En consecuencia, se procedió a modificar el plano base desplazando la ventana sobre el muro sur al muro oeste y aumentando su área a 3 m² a fin de proveer con calentamiento solar a este dormitorio. De igual forma se aumentaron las áreas de las demás ventanas previstas para colección de radiación solar hasta completar un porcentaje del 16 % respecto del área de piso. Todas las ventanas tienen vidrio simple. A fin de disminuir la pérdida de calor por el muro sur se agregó aislación térmica de poliestireno expandido de 5 cm de espesor sólo a esta pared con lo cual, además, se disminuye el riesgo de condensación sobre el lado interior de la misma. El espesor de las paredes exteriores se fijó en 0,2 m (salvo en la pared sur que es de 0,40 m a fin de proteger mecánicamente la aislación mediante un doble muro). El espesor de aislación en el techo se fijó en 5 cm y la tasa de renovaciones de aire por hora en 0,5. En la figura 8 se observan los resultados de la simulación de invierno y en la 9 la de verano. Por razones de claridad visual no se han incluido las curvas correspondientes al pasillo y al baño.

Los datos meteorológicos de verano corresponden al mes de Enero en Salta y sus valores estadísticos son los siguientes:

Temperatura ambiente máxima: 27,7 °C.
 Temperatura ambiente media: 21,1 °C.
 Temperatura ambiente mínima: 16 °C.
 Irradiación solar global sobre sup. horiz.: 21,5 MJ/m².día.

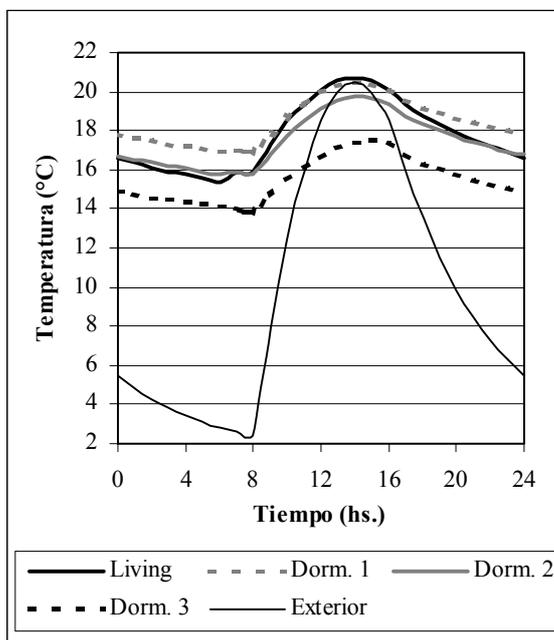


Figura 8: Simulación de invierno con SIMEDIF.

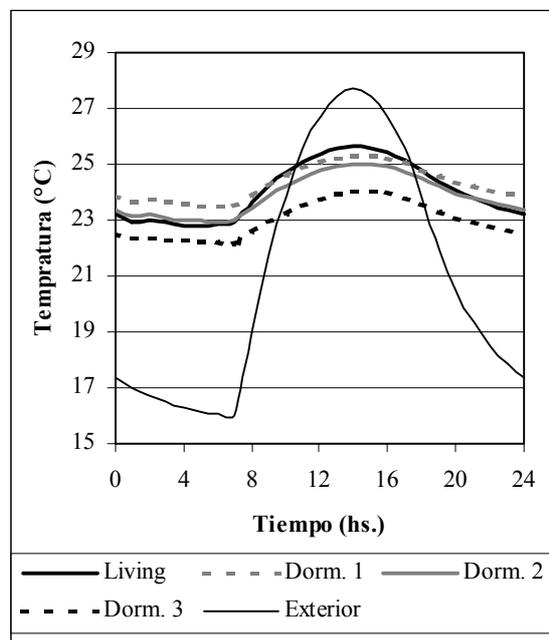


Figura 9: Simulación de verano con SIMEDIF.

En la figura 8 se observa que los locales mejor acondicionados son los dos dormitorios sobre el ala norte y el living-comedor que tiene colección solar por el norte y el este. La temperatura media de estos tres locales es del orden de 18 °C. Con un nivel de arropamiento medio no sería necesario agregar calefacción auxiliar en ellos. La amplitud térmica en ambos dormitorios es de 4 °C mientras que la del living es de 5 °C (debido a su mayor área de exposición al exterior y su mayor ganancia de energía solar), valores que están dentro del margen deseado. Por su parte, el dormitorio 3 tiene una temperatura media del orden de 16 °C por lo cual requeriría de calefacción auxiliar, siendo suficiente el encendido de una estufa a gas de 2.900 Kcal/h durante la noche (esto fue comprobado en la simulación). Su amplitud térmica diaria es también del orden de 4 °C.

Debido a la inclusión de ganancia solar directa por ventanas desde las orientaciones este y oeste era necesario evaluar si no producirían ellas sobrecalentamiento durante el verano. Afortunadamente esto puede evitarse mediante un buen manejo de celosías o cortinas de enrollar las cuales posibilitan, además, la ventilación de los locales si es necesario. A los fines de la simulación se disminuyeron las áreas de radiación en un 50 % para las ventanas sobre el muro norte y en un 80 % la de las ventanas al este y al oeste (simulando la presencia de cortinas o visillos semitransparentes). Esta disminución afecta sólo el monto de radiación solar que ingresa al edificio y no las áreas de pérdida por ventanas y muros. Los resultados de la simulación se observan en la figura 9. La temperatura media de todo el edificio es del orden de 24 °C, con una amplitud térmica promedio inferior a los 3 °C al limitarse el ingreso de radiación solar en todo el edificio. Si bien la temperatura máxima de los locales ubicados sobre el ala norte están en el límite del diagrama de confort, la mayor parte del día la temperatura de estas habitaciones está por debajo de los 25 °C, valor que resulta confortable a la mayoría de las personas habituadas a un clima templado. Cabe la posibilidad de recurrir al apantallado total de las ventanas durante las horas en que cada una colecta mayor radiación solar. De acuerdo a los resultados obtenidos no se evidencia la necesidad de recurrir al refrescamiento del edificio por vía convencional, siendo el local más fresco el dormitorio 3.

El diseño mejorado a través del estudio realizado con el método de prediseño y la posterior simulación con SIMEDIF resulta suficientemente eficiente desde el punto de vista térmico tanto en verano como en invierno. Presenta además una buena relación *costo-beneficio* en comparación con un edificio tradicional que no disponga de aislación térmica y cuya área de aventanamiento sea del orden del 10 % del área de piso ya que el sobre costo agregado corresponde fundamentalmente al de la aislación térmica y a la construcción de un doble muro en la pared sur. No se produce sobre costo significativo al pasar del 10 al 16 % en el área de aventanamiento ya que se reemplaza parte de la mampostería por vidrio y madera cuyo costo, en principio, es menor.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realizó el estudio térmico de un diseño de edificio mediante la aplicación de un método de prediseño simplificado y del programa de simulación SIMEDIF. Con el primero se obtuvieron importantes resultados en lo concerniente a espesores y ubicación de la aislación térmica, espesores de muros de fachada, número de vidrios por ventana y tasas de renovaciones de aire por hora. Con el segundo se evidenció la necesidad de agregar colección de energía solar por ventana en el dormitorio 3 y de disminuir la pérdida de calor por la pared sur (mediante el agregado de aislación térmica) debido al bajo valor de su temperatura media. Con estos agregados, durante el invierno, resulta necesario suministrarle una calefacción auxiliar convencional equivalente a una estufa a gas pequeña sólo durante las horas de ocupación del local. El resto del edificio no necesita calefacción auxiliar ya que se puede obtener el confort suficiente mediante el arropamiento propio de la estación.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las pautas de diseño recomendables para proyectar en la ciudad de Salta y zonas aledañas un edificio térmicamente confortable, sin que esto represente un gran sobre costo económico, son las siguientes:

- 1) Construir los muros exteriores con ladrillón macizo de 0,2 m de espesor y los interiores con ladrillo común.
- 2) Aislar térmicamente los techos con poliestireno expandido (o equivalente) de 5 cm de espesor.
- 3) Aislar térmicamente la pared sur con poliestireno expandido (o equivalente) de espesor entre 3 y 5 cm.
- 4) Emplear vidrio simple en las ventanas.
- 5) Proyectar una tasa de aventanamiento para colección de radiación solar del orden del 15 % respecto al área total de piso.
- 6) Disminuir al mínimo las infiltraciones de aire por puertas y ventanas mediante burletes sintéticos.
- 7) Prever la utilización de calefactores convencionales en los locales ubicados sobre el sector sur.
- 8) En caso de ser necesario ubicar ventanas sobre los muros este y oeste, dotarlas de celosías, cortinas de enrollar o postigones de madera a fin de reducir el ingreso de radiación solar a través de ellas en la época estival.

El empleo conjunto del prediseño y de la simulación detallada es una estrategia operativa que todo proyectista de edificios bioclimáticos debería utilizar en sus diseños debido a la versatilidad y rapidez con que se puede obtener un producto final conveniente tanto en el aspecto térmico como en el económico. Debido a que el diseño está fuertemente condicionado por el clima de la zona donde va a ser construido el edificio, debe aplicarse la mecánica desarrollada en este trabajo siempre que se proyecte para una región geográfica diferente.

REFERENCIAS

Saravia L., Lesino G., Chiarito G. y otros, (1982), Pautas de diseño. Acondicionamiento térmico de edificios mediante sistemas pasivos e híbridos, Apuntes para el Curso de Postgrado sobre Energía Solar auspiciado por SECYT, INENCO, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta.

ABSTRACT

The goal of the present work is to determine a rules collection to design bioclimatic buildings in Salta city, in order to achieve a thermally efficient construction with a convenient cost-benefit relationship. The thermal performance study of a building design by means of a simplified thermal method was carried out. Through the analysis, important information about walls and insulations thickness, number of glasses in windows, windows areas for solar energy collection and ventilation rates necessary to achieve the objectives of the work was obtained. Next, with a computer code, the optimized building design thermal behavior was simulated, being proven the validity of the rules obtained with the simplified thermal method. The simulation evidenced that the building behaves with good thermal performance as much in summer as in winter. Finally, eight design rules applicable to Salta city and neighbourhood are presented.