

RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE EDIFICIOS
CON USO DE ENERGIA SOLAR MEDIANTE SISTEMAS PASIVOS

E. Tedeschi
C. de Rosa, R. Vilapriño
G. Lelio, E. Fernández
Instituto Argentino de Investigaciones
de las Zonas Aridas, Mendoza

RESUMEN

La consideración del desarrollo y los factores ambientales, conduce a preferir los sistemas pasivos, haciendo un buen uso del elemento de calefacción solar como partes útiles de la construcción, debido a su resistencia y utilidad, y el empleo de materiales locales. El éxito de estos sistemas depende de un diseño arquitectónico apropiado, que integre las cualidades funcionales, constructivas y económicas con las necesidades de colección y almacenaje de energía solar, ya sea por sistemas de ganancia directa, sacando partido de ventanas, paredes, techos, claraboyas, o por medio del agregado de elementos intermediarios, como paredes especialmente preparadas, que pueden satisfacer las condiciones específicas de un sistema pasivo en el cual la colección y el almacenaje de energía solar están contenidos en un mismo elemento, eliminando la transferencia desde el colector al acumulador que es una característica de los sistemas activos y la razón del incremento de sus costos.

Reuniendo los resultados de otras experiencias y de nuestra propia investigación, estamos en condiciones de formular una serie de recomendaciones para el diseño de edificios con uso de energía solar mediante sistemas pasivos, las cuales han sido tomadas en consideración para nuestros diseños. Siguen algunas recomendaciones para el diseño de edificios en zonas áridas.

ABSTRACT

Taking into consideration the development and the environmental factors, it seems convenient to prefer passive systems, making a good use of the element of solar heating as useful parts of the construction, because of its resistance and usefulness, and employing local materials. The success of these systems depends on an appropriate architectural design that integrates the functional, constructive and economical qualities with the need of collection and storage of solar energy, either by direct gain systems, taking advantage of windows, walls, roofs, skylights, or by the addition of intermediate elements, as specially prepared walls, that can satisfy the specific conditions of a passive system, in which the collection and storage of solar energy are contained in only one element eliminating the transference from the collector to the storing which is an active systems' characteristic and the reason of the increment of its cost.

Gathering results of other experiences and our own research we are able to express a series of recommendations for the design of buildings using passive solar heating system that we have taken into consideration for our designs.

It follows several recommendations for the design of buildings in dry zones.

En un trabajo que hemos presentado a la International Conference on Solar Building Technology, en Londres (1), se han expuesto las razones, de orden principalmente económico y financiero, además de climáticas y tecnológicas, que aconsejan utilizar sistemas pasivos de acondicionamiento térmico solar en las zonas áridas de la Argentina, y en general en todas las que estén incluidas en el cinturón solar, que abarca desde 45° de latitud norte hasta 45° de latitud sur, salvo consideraciones particulares referidas al microclima de cada lugar. Entendemos por sistema pasivo el que aprovecha al máximo los elementos del sistema de acondicionamiento solar como partes útiles de la construcción para su resistencia y habitabilidad, con empleo preferente de materiales locales; si se quisiera dar una definición cuantitativa de estos sistemas, podría citarse al Prof. John J. Yellot: "Son simplemente los que pueden producir cien veces más energía renovable de la que consumen en energía no renovable. Esta relación de uno a cien no tiene nada de sagrado; mi concepto es que la relación entre lo renovable y lo no renovable debe ser muy grande, para poder definir un sistema como 'pasivo'". (2)

El éxito de estos sistemas depende de un buen diseño arquitectónico que sepa integrar las calidades funcionales, constructivas y económicas con las necesidades de la colección y acumulación de la energía solar, ya sea por ganancia directa a través de ventanas, paredes, techos, claraboyas, ya sea por intermedio de elementos agregados o modificados como paredes especialmente preparadas, que respondan a la condición específica de los sistemas pasivos de hacer coincidir en un solo elemento la colección y la acumulación de la energía solar, eliminando la transferencia desde el colector al acumulador por medio de flúidos movidos por equipos mecánicos que caracterizan a los sistemas activos y aumentan su costo.

La eficacia de los sistemas pasivos en condiciones ambientales análogas a las que nos interesan ha sido analizada por Balcomb y Hedstrom, del "Los Alamos Scientific Laboratory" (3), por medio de un modelo de simulación "over-simplified", en que han tratado de dar algunas bases cuantitativas para incorporar conceptos básicos al diseño arquitectónico de edificios que usan la energía solar con sistemas pasivos. Este trabajo aclara mucho los criterios empíricos con los cuales se han manejado en general los diseñadores, dando más firmeza a sus proyectos. Un resultado importante del trabajo es que indica la posibilidad de conseguir en sistemas pasivos de calefacción, de diseño optimizado, una eficacia comparable a la de los sistemas activos comunes.

Las conclusiones de ese trabajo, más las que hemos recabado de otras experiencias y en nuestras investigaciones, nos han permitido redactar una serie de recomendaciones para el proyecto de edificios en que se aprovecha la energía solar por medio de sistemas pasivos. Las recomendaciones son las siguientes:

1. El desafío que enfrenta el diseño de los sistemas pasivos de energía solar no es el de la recolección de calor, dado que una ventana es un eficiente colector solar, sino el de la acumulación y control del calor para mantener niveles satisfactorios de confort dentro de los edi

ficios. La paradoja está simplemente presentada. La acumulación de calor sensible requiere un cambio de temperatura en el medio de acumulación y hasta ahora el objetivo del control térmico de edificios es mantener la temperatura constante. Si la acumulación debe ser una parte de la vida del edificio, ¿cómo pueden estas exigencias hacerse compatibles? Un camino puede ser minimizar la incompatibilidad mediante la fuerza bruta, es decir, usar una masa tan grande de capacidad de calor que las variaciones de temperaturas sean tolerables. Otro enfoque es separar parcialmente el acumulador del ambiente (Balcomb et al.) (3).

2. Se puede obtener mejor rendimiento si el acumulador se ubica de modo que sea directamente calentado por el sol, en lugar de que lo sea indirectamente por la luz solar absorbida por el aire del espacio calentado (Balcomb et al.) (4).
3. Se requiere más masa acumuladora en un sistema pasivo que en uno convencional activo. Debería usarse una capacidad de calor de por lo menos $30 \text{ BTU}/^\circ\text{F-ft}^2$ de vidrio ($613 \text{ KJ}/^\circ\text{C-m}^2$) (Balcomb et al.) (3).
4. La baja conductividad térmica de la mampostería provoca altas temperaturas de la superficie exterior durante el día, que conducen a pérdidas crecientes de calor. Una alta conductividad, con material de elevado calor específico (como agua contenida en latas) tendrá un rendimiento algo mejor (Balcomb et al.) (3).
5. Para un conjunto dado de propiedades del material, hay un espesor de muro que dará un máximo anual de rendimiento de energía solar. Este espesor es aproximadamente 1 pie (0.30 m) para una pared de concreto. Otras consideraciones, sin embargo, como arquitectura, costo y confort, influirán en la selección del espesor de los muros (Balcomb et al.) (3).
6. Usar dos hojas de vidrio en las ventanas que colectan el sol por ganancia directa, o que están al frente del elemento de almacenaje, y en las orientadas al este y oeste.
7. En las ventanas de orientación opuesta a la de colección, un vidrio con protección térmica móvil.
8. Usar doble puerta de entrada a la casa o mejor un hall con doble puerta (storm door).
9. El valor óptimo de U (transmisión de calor) entre colección y acumulación depende de la capacidad de acumulación que se elija (Balcomb et al.) (3).
10. Es conveniente mantener la variación diaria de temperatura interior alrededor de 3° C para viviendas. Puede ser mayor en otros edificios (Balcomb et al.) (3).
11. Recipientes con agua constituyen un mejor colector-acumulador que muros de mampostería u hormigón.
12. Si se usa el sistema de ganancia directa, la superficie de las ventanas de colección debe ser al menos el 25% del área del piso, y el área del muro acumulador igual a la del piso.

13. Si se usa el sistema de pared colectora-acumuladora (tipo Trombe-Michel) la superficie del vidrio colector debe variar alrededor del 40% del área del piso, pudiendo llegar, en condiciones favorables de clima y aislación del edificio, a 1 m^2 por cada 10 m^3 de ambiente.
14. En el sistema de pared colectora-acumuladora los muros del edificio son principalmente aislantes, dado que la acumulación se produce en dicha pared, que deberá ser construida con materiales de elevado calor específico.
15. Un problema de la pared colectora-acumuladora está en la dificultad de lograr una distribución uniforme de la temperatura en el edificio, debido a la apreciable radiación de la pared hacia el espacio más próximo a ella. Debe estudiarse algún recurso para enviar el calor a los espacios más alejados, activando el efecto de convección.
16. Para lograr efectos favorables de la inercia térmica, hay que colocar las aislaciones en el exterior de la casa, en techo, muros y pisos, de modo que la masa de acumulación quede adentro, evitando las pérdidas de calor en invierno y la acumulación de calor en verano.
17. En los sistemas pasivos toma mucha importancia la ventilación natural; en verano para acelerar el proceso de enfriamiento de las habitaciones durante las noches y en invierno para remover el eventual aire sobrecalentado. Corresponde que: 1) el tamaño de la abertura de entrada del aire sea igual al de salida; 2) la distancia vertical entre las aberturas sea la más grande posible; 3) la superficie de cada abertura no sea inferior al 1% de la del piso; 4) no haya obstáculos al flujo de aire entre las aberturas de entrada y salida. Puede ser conveniente activar la circulación del aire por medio del efecto de chimenea o por ventiladores. El aire sobrecalentado puede ser almacenado, por ejemplo en un lecho de piedra, por medio de un ventilador.
18. Procurar que el edificio tenga un frente directamente orientado hacia el rumbo donde culmina el sol al mediodía (sur en el hemisferio norte, y norte en el hemisferio sur) con desviaciones menores de 15° , controlar que no haya obstáculos que intercepten las radiaciones solares, y que esté al abrigo de vientos violentos y fríos, que contribuyen mucho a las pérdidas de calor.
19. Preferir edificios de forma compacta, por economía de construcción y menores pérdidas de calor.
20. Facilitar la comunicación entre locales, a fin de establecer con menor costo una situación de equilibrio térmico.
21. Utilizar la inercia térmica de los muros interiores para acumular el calor, prefiriendo los de materiales compactos y pesados.
22. Estudiar muy especialmente la posición, forma, tamaño y materiales de las puertas y ventanas, analizando las diversas funciones de estas aberturas.
23. Concentrar los espacios de servicio procurando darles participación en el sistema de acondicionamiento térmico solar o estudiando la conveniencia de acondicionarlos por separado.
24. Calcular bien el costo de la aislación y la economía de energía antes del diseño final. En algunos casos podrá reducirse la aislación, con

un incremento pequeño de energía convencional limitado a las situaciones extremas de temperatura ambiente.

25. Dado que los sistemas pasivos destinados a regiones en vía de desarrollo deben implementarse con costos iniciales inferiores a los de los sistemas activos, corresponde adoptar una "figure of merit"

$$FM = \frac{\text{valor de la energía ahorrada por el sistema solar en 5 años}}{\text{mayor costo de la casa debido al sistema solar pasivo}} = 1 \text{ ó más,}$$

26. Las pérdidas de calor se producen a través de ventanas, puertas, techos, paredes y pisos. Las más importantes se producen en las ventanas (de vidrio simple) y por infiltración de aire. Las ventanas presentan la mayor pérdida por m^2 , en comparación con las demás superficies de la envolvente de la casa. En muchos casos puede alcanzar el 30% de la pérdida total y las pérdidas por infiltración pueden resultar similares. En total, más del 50% de las pérdidas térmicas del edificio. Si las ventanas están bien construidas y completadas con elementos aislantes que puedan cerrarlas durante la noche, y las infiltraciones disminuidas por medio de burletes, las pérdidas correspondientes pueden reducirse a la mitad o poco más.
27. La primera condición para un buen diseño térmico de un edificio debe ser minimizar las pérdidas térmicas por medio de los elementos de la construcción, dentro de los límites permitidos por motivos económicos y arquitectónicos. Una vez reducidas las pérdidas con una adecuada tecnología, se considerarán los sistemas para cubrir lo que queda como carga térmica (Balcomb et al.) (3).
28. En los sistemas pasivos la casa es el acumulador. Por eso importa disponer correctamente las masas acumuladoras en una envolvente estructural bien aislada.
29. El piso de la casa y el terreno subyacente son útiles como acumuladores, especialmente si el piso recibe directamente las radiaciones solares. Los efectos de las aislaciones, tanto perimetrales en los cimientos como bajo el piso, no son todavía claramente reconocidos. Sin embargo, un modelo de computación de Wessling et al., indica que la aislación puede proporcionar ventajas en terrenos muy conductores por su naturaleza o por humedad, pero no es apreciable su beneficio en terrenos comunes, si bien la aislación perimetral mejora la distribución de la temperatura en el piso, que sin aislación tiende a disminuir del centro hacia el perímetro de la casa. En principio, la economía de energía no compensa el costo de las aislaciones (5).
30. Si bien los materiales de mayor capacidad térmica, o sea más densos, pueden almacenar más calor que los menos densos, su uso en las paredes y techos debe ser acompañado por una buena aislación térmica externa. En el caso de no tenerla, permitirán una pérdida más rápida del calor interno hacia el exterior que los materiales de menor densidad, que ofrecen un retardo mayor en la pérdida. Análogamente, una pared más pesada transmitirá más rápidamente el calor exterior al espacio interno de la casa. La aislación externa es un factor básico para cualquier sistema pasivo y puede ser sustituida solamente por espesores muy grandes de las paredes y techos que en tal caso conviene sean construidos con materiales menos densos,

31. Los materiales de gran volumen y baja conductividad térmica pueden demorar la recepción de una onda térmica hasta que el calor pueda ser efectivamente usado, aprovechando el efecto de retardo.
32. Es probable que un cortinado de tela pesada que impida la circulación del aire cerca de las ventanas tenga un efecto similar al de una ventana doble.
33. La temperatura del muro acumulador cuando entrega calor a una habitación es de 2 ó 3 grados C superior a la del aire en la habitación, si el muro es denso y la casa bien aislada.
34. Los muros que reciben el sol para almacenar serán de color oscuro. Los otros, de color claro.
35. Prever energía auxiliar.

Recomendaciones en cuanto al diseño de arquitectura, aparte de las constructivas:

1. Participación global del diseño arquitectónico.
2. Organizar espacios para facilitar buen desempeño de un sistema térmico solar: compacidad en planta, para disminuir pérdidas de calor; comunicación fácil entre habitaciones para igual distribución del calor; centrar espacios de servicio para buena distribución de las instalaciones.

Las recomendaciones de orden arquitectónico que preceden valen en parte también para los sistemas activos, pero será conveniente considerar por separado a estos sistemas, cuya influencia sobre el diseño general del edificio puede ser menos determinante que en el caso de los sistemas pasivos y puede presentar una variación mayor, debida a la diversidad que se presenta en el campo de los que se indican con el nombre de "activos".

BIBLIOGRAFIA

- (1) TEDESCHI, E., DE ROSA, C.,
VILAPRIÑO, R. LELIO, G.,
FERNANDEZ, E., "Solar energy applications for buildings in developing countries", presentado a la International Conference on Solar Building Technology, Londres, 1977.
- (2) Solar Age, a Magazine of the sun, N° 11, November, 1975, pág. 3.
- (3) BALCOMB, J.D., et al., "Simulation Analysis of Passive Solar Heated Buildings - Preliminary Results" LA-UR-76-1719. Los Alamos Scientific Laboratory of the University of California, Los Alamos, New Mexico.
- (4) BALCOMB, J.D., et al., "Design Considerations of Air Cooled Collector/Rock-Bin Storage Solar Heating Systems". LA-UR-75-1334. Los Alamos Scientific Laboratory of the University of California, Los Alamos, New Mexico.
- (5) WESSLING, F.C., et al., "Temperature Response of a Sunlit Floor and its Surrounding Soil". New Mexico.