

DISEÑO DE TECHO SOLAR ADAPTABLE INNOVATIVO PARA REFRIGERACIÓN Y CALEFACCIÓN HOGAREÑA PASIVAS

Luis Juanico¹

Centro Atómico Bariloche

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

(8400) Bariloche, Río Negro, Argentina

Tel.: 02944 – 461669, juanico@cab.cnea.gov.ar

RESUMEN: Se presenta un diseño innovativo de techo solar adaptable que permite proveer de calefacción y refrigeración pasivas a una vivienda standard a un costo menor que los sistemas convencionales. Para lograr esto último (la principal barrera en el pasado de estos sistemas), se plantean aquí originales sinergias entre el concepto del sistema colector solar y el techo, modificando este último. En este sentido, quizás el aporte más valioso del nuevo diseño sea el derribar el paradigma actual del techo tradicional, fuertemente arraigado, para permitir explorar nuevas dimensiones alternativas de hábitat biosustentables.

Palabras clave: colector solar, energía solar, arquitectura ambientalmente conciente

1. INTRODUCCIÓN

Existen numerosos diseños de casas con techos solares (con sistemas de calefacción pasiva) desarrollados desde hace sesenta años y que son técnicamente factibles, pero que requieren de inversiones comparativamente altas. Siendo factible que el escenario mundial futuro de precios del petróleo crecientes impulse el interés por este tipo de sistemas, la conjugación de bajísimos costos de hidrocarburos y altas tasas de interés constituirán un freno a su desarrollo en el mercado local argentino.

Siguiendo motivaciones económicas en parte, se han propuesto a nivel global en los últimos años diversos sistemas colectores solares integrados al techo, desde acumuladores solares simples hasta híbridos con paneles fotovoltaicos (Vokas et al, 2006) y termogeneradores (Maneewan et al, 2005). Estos esquemas integrados han logrado encontrar algunas modestas sinergias entre ambos conceptos (el techo en sí mismo, y el sistema solar escogido) de forma de reducir la inversión inicial que significa disponer del sistema solar. Este último punto (la dificultad de generar diseños de bajo costo) ha sido reconocido en la literatura (Belusko, 2004) como un motivo fundamental de la pobre difusión lograda el presente. Estas sinergias apuntan casi exclusivamente a la funcionalidad del sistema solar (por ejemplo, los paneles PV presentan mayores eficiencias trabajando a menor temperatura), y a integrar la base (térmicamente aislada) del sistema colector solar en el techo. En ningún caso en la literatura (Conicet, 2006) se plantean modificaciones radicales en el diseño del techo mismo, que pudieran potencialmente llevar las reducciones de costo a un nivel superior.

En general los colectores integrados al techo son de agua en serpentín adosado al techo de chapa o de cámara intermedia de aire. Los de agua presentan fuertes costos constructivos, mientras que los de aire sufren la baja densidad de energía acumulada en este fluido (Khedari et al, 1996). En casi cualquiera de los diseños previos se ha demostrado experimentalmente y mediante cálculo que, dada la importante superficie techada de una vivienda familiar tipo y la alta densidad de energía típica de la irradiación solar, es perfectamente factible proporcionar agua caliente y calefacción para satisfacer la demanda de una familia tipo durante todo el año en promedio, aún en latitudes de 40° (Hassan, 2006). Sintetizando lo anterior, siendo bien conocido que un calefón solar (de 2 m²) puede proveer de suficiente agua caliente a una vivienda unifamiliar, si desplegamos éste sobre todo el techo (~100 m²) es razonable esperar satisfacer también la demanda de calefacción. Esta ilustración simple, sirve también para desnudar una falencia evidente de los diseños actuales (aún reconociendo a su favor un balance económico de ciclo de vida): si el uso del calefón solar no se ha generalizado, (entre otros factores) por la inversión requerida, otro tanto por extrapolación podemos decir de su versión mayor.

Son ampliamente conocidas del arte previo y es pertinente mencionar aquí, numerosas soluciones de techo con cámara de agua superior para proporcionar refrigeración adecuada en zonas cálidas (Hay, 1977, Nahar, 1999, Jiang, 2001, Jain, 2006). En estos diseños se propone remover durante la noche una cubierta protectora reflectiva diurna que tapa la cámara somera de agua superior, para permitir su enfriamiento por evaporación e irradiación térmica. Se logra así enfriar el agua muy por debajo de la temperatura ambiente, sobre todo en regiones áridas en donde la diferencia entre las temperaturas ambiente de bulbo seco y húmedo es mayor. Según Jain basta con una cámara de sólo 5 cm de agua, contradiciendo observaciones previas (Nahar, 1999) que recomendaban una mayor profundidad. Curiosamente, Jain se aproxima al diseño aquí propuesto, al sugerir (pero sin desarrollar la idea) que el procedimiento inverso (destapar la cámara de agua durante el día y tajarla durante la noche) podía ser utilizado convenientemente para brindar calefacción al techo durante el invierno.

¹ Investigador adjunto CONICET

En el trabajo precursor de Harold Hay (1977), creador del sistema Skytherm, se utilizan bolsas de agua cerradas sobre un techo metálico para proveer calefacción (por radiación infrarroja) y refrigeración adecuadas desde el techo todo el año. Como demostró Hay, es esto perfectamente posible aún en climas extremos como Arizona, con la ayuda de una cubierta que brinda buen aislamiento térmico sobre las bolsas de agua. Hay diseñó cuatro configuraciones de uso: verano/invierno y día/noche. El principal problema del Skytherm radicaba en el costo excesivo de la cubierta desplegable (que debía ser además estructural) diseñada para brindar adecuada aislamiento térmica al sistema de agua cautivo.

Se presenta en este trabajo un diseño innovativo de techo solar adaptable, que se basa en la combinación original de muchos de los conceptos del arte previo antes apuntados, y otros propios. En este sentido, reconociendo elementos comunes con el Skytherm de Hay, se diferencia de éste en que prescinde de la necesidad de una cubierta que brinde adecuada aislamiento sobre la cámara de agua; por el contrario, la cubierta se limita a un simple parasol. Este sistema se espera que pueda satisfacer la demanda de calefacción y refrigeración de una vivienda general, manteniendo no obstante una inversión equiparable a un techo convencional, fruto de las nuevas sinergias explotadas. Considero posible además que sirva de inspiración a otros investigadores para desarrollar otras líneas de diseño, igualmente interesantes o aún mejores.

2 DISCUSIÓN DE DISTINTOS CONCEPTOS DE TECHADO

2.1 ANÁLISIS DEL CONCEPTO CLÁSICO DE TECHO

Es interesante considerar el diseño de techo convencional y su evolución, de la mano de los desarrollos de nuevos materiales y técnicas constructivas. Un techo metálico se construye hoy con chapas metálicas de longitud a medida (para evitar el solapamiento entre chapas cortas dispuestas en la dirección de caída de agua del arte previo); siendo utilizados perfiles rectangulares o trapezoidal (en vez del plano), para aumentar su momento de inercia y de aquí, su resistencia mecánica a la flexión. Estos cambios tecnológicos han tenido notable impacto sobre el proceso de techado actual, tanto en tiempo como en costo, siendo que:

- Se **reduce la superficie del techo** utilizando menores pendientes ($<20^\circ$, antes 45° para evitar filtraciones de agua entre solapamientos de chapas).
- Se **reduce el tiempo de instalación** (menos uniones a conformar y sellar, tirantería, etc.)
- Las chapas poseen recubrimientos y pinturas especiales que aumentan su resistencia a la corrosión.
- Se puede disponer un mayor espaciado transversal en la tirantería o incluso omitirla. En el sistema zip-rip y otros, las uniones longitudinales entre chapas paralelas se conforman por soldadura por deformación, que proporcionan excelente estanqueidad y un escalón superior de varios centímetros de altura (ver detalle en figura 2).

Esta evolución tecnológica en los sistemas de techado abre una ventana de oportunidad para el diseño de nuevas formas de sistemas solares pasivos integrados. Precisamente éste fue el punto de partida de esta línea de desarrollo, presentado aquí por primera vez. Por otra parte, y en oposición a esta marcada evolución tecnológica, el concepto “clásico” de techo se ha mantenido casi inalterable durante largo tiempo (desde la Edad Media?). Por tal definimos un techo diseñado siguiendo dos objetivos, los cuales esquemáticamente podemos definir como:

- Constituir un sistema cerrado (no deja pasar lluvia, etc.) con cubierta superior.
- Constituir un sistema aislado (minimizar pérdidas de calor, etc.) mediante varias cubiertas inferiores.

El medio convencional empleado para cumplir estos objetivos, obteniendo así un techo de calidad (**concepto de techo casi adiabático**) ha sido el disponer capas sucesivas de distintos materiales (aislantes de baja conductividad térmica, de alta reflectividad, etc.) y cámaras de aire (cumbreas) por debajo del techo exterior, cuya función es asegurar la estanqueidad. Lo que obtenemos así es un techo de buena calidad; pero si analizamos en detalle el mismo, veremos que éste requiere una inversión elevada en dinero y en tiempo de construcción, e imposibilita habitar la vivienda en el ínterin.

El reducir las limitaciones antes mencionadas ha sido motivo de estudios, sobre todo por parte de las nuevas tecnologías de techado. También aquí encontramos un punto de partida a nuestro diseño, en el cual nos valemos de nuevos materiales y técnicas de construcción, hoy standards. Por otra parte, cabe señalar que los techos de menor calidad y costo (con menor número de capas aislantes intermedias) suelen ser “cálidos en verano y fríos en invierno”, dado que ha diferencia de los de mayor calidad antes descriptos, no alcanzan la categoría de “techos ideales adiabáticos” de los anteriores.

El concepto clásico de techo se puede sintetizar entonces como: aquel en el cual se persigue el *mayor grado de adiabaticidad posible*, y en donde la inversión realizada es directamente proporcional al grado de éxito alcanzado. En contraposición a éste, nuestro concepto innovativo persigue el *mayor grado de adaptabilidad posible*.

2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CONCEPTO DE TECHO ADAPTABLE

La figura 1 ilustra un esquema general de funcionamiento del sistema de techo solar operando en la configuración invierno-día (ciclo diurno); éste consta de:

- Una base metálica de perfil rectangular (chapas enterizas longitudinales) que proporciona un escalón (en la figura 2 se observa el perfil omega que cubre este escalón y brinda apoyo y separa los vidrios) sobre el que se apoya
- Un techo vidriado doble, conformando de este modo dos cámaras estancas, de las cuales en la inferior se dispone

- Una capa somera de agua que acumula eficientemente la irradiación solar absorbida por el techo metálico (cara exterior negra, o específicamente, con superficie de alta absorptividad en espectro infrarroja).
- Este inventario de agua (5,000 litros para 5cm y superficie techada de 100m²) se conecta por cañerías con un
- Tanque de reserva de capacidad similar, ubicado debajo del piso del hábitat (por ejemplo, bajo el invernadero contiguo a la casa) el cual alimenta al
- Sistema de agua caliente y de calefacción (preferentemente por losa radiante, o por radiadores) de la vivienda, impulsado por medio de una
- Bomba recirculadora que también sirve para bombear el inventario de agua hacia el techo. Eventualmente en días nublados en los cuales la temperatura alcanzada por el agua no sea suficiente, este sistema se refuerza con un
- Termotanque ubicado antes del sistema de distribución al consumo.
- Una cortina reflectiva desplegable fina (no requiere aislación térmica), se dispone superior a todo el conjunto techo anterior, creando un sistema de techo inteligente adaptable, y una tercera cámara útil para aumentar la aislamiento térmica del conjunto techo.

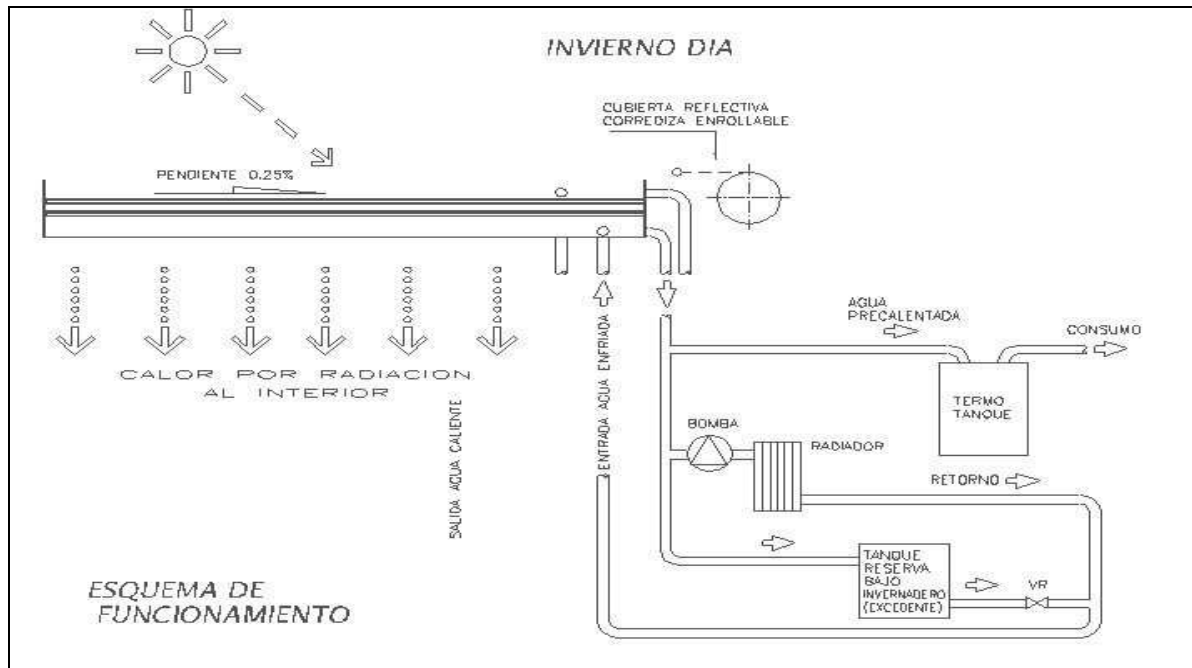


Figura 1. Esquema general del sistema formado por el techo y accesorios

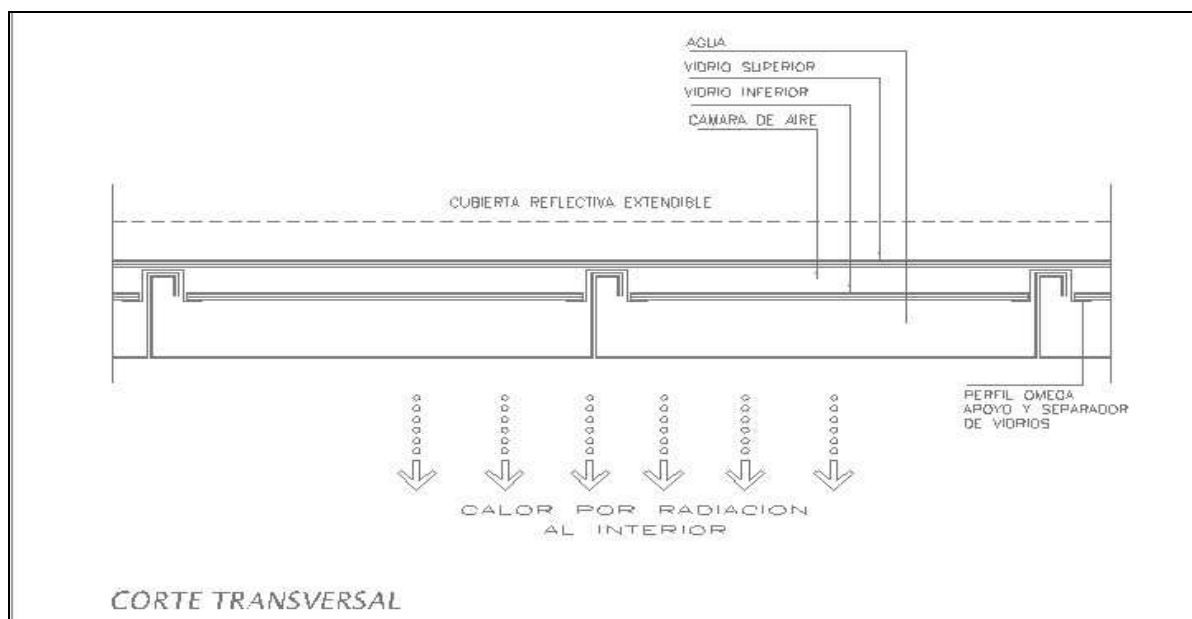


Figura 2. Corte transversal en techo (se observa perfil escalonado de chapa y omega de apoyo a vidrios)

Como se ilustra también en las siguientes figuras, es interesante destacar que el techo metálico está en contacto directo con el hábitat, y a diferencia del techo clásico, sin capas internas aislantes. Esto abre la posibilidad de calefaccionar durante el día el

hábitat también por radiación térmica (infrarroja), pudiendo sintonizarse ésta a conveniencia empleando pinturas de diferentes emisividades (infrarrojas) en los diferentes ambientes, por ejemplo, de negro a plateado. Esta posibilidad puede constituir un calentamiento apreciable, en tanto y en cuanto el agua del colector solar (y el techo) podrían alcanzar los 70°C a 80°C en promedio, basados en ejemplos del arte previo. La transferencia por radiación hacia el hábitat se puede minimizar empleando pinturas de baja emisividad (se consiguen <0.1), al igual que por convención natural, considerando que la fuente caliente está por encima del mismo.

Es importante destacar que la cámara de agua dispuesta en el techo presenta un nivel inferior al de todas las uniones entre chapas, no comprometiendo la estanqueidad del sistema ni demandando uniones a prueba de agua entre los vidrios y el techo metálico. Estos objetivos se cumplen fácilmente en esta versión inicial aquí presentada, mediante la adopción de un **techo horizontal**, el cual presenta otras ventajas que desarrollaremos luego. Si bien el techo horizontal minimiza la superficie cubierta y por ende, los costos, sería factible adaptar este diseño a techos inclinados; para ellos bastaría asegurar la estanqueidad de la cámara de agua. Esto podría ser resuelto con buena calidad de producto si todo el conjunto chapa-vidrio se conformase íntegramente (en paneles modulares) en fábrica. En mi opinión si el concepto de techo horizontal se difunde adecuadamente (lo cual requiere alcanzar el objetivo de costos moderados), podría originar el círculo virtuoso demanda-fabricación que permita el desenvolvimiento posterior del diseño de techo inclinado, lo que brindaría un abanico de posibilidades arquitectónicas mayores.

3. DISTINTAS CONFIGURACIONES OPERATIVAS DEL SISTEMA SOLAR ADAPTABLE

3.1 INVIERNO-DÍA

En invierno durante el ciclo diurno (ver figura 3) se genera una cámara de agua entre el primer vidrio y la chapa para acumular energía solar y simultáneamente se calienta el hábitat por radiación térmica desde ésta. Considerando una irradiación promedio de 6 horas y 600 w/m², y pérdidas de calor estimadas del 10%, se alcanza al final del ciclo diurno incrementos de 50 a 60 °C, dando temperaturas de 70 a 80 °C en el inventario almacenado (5,000 litros).

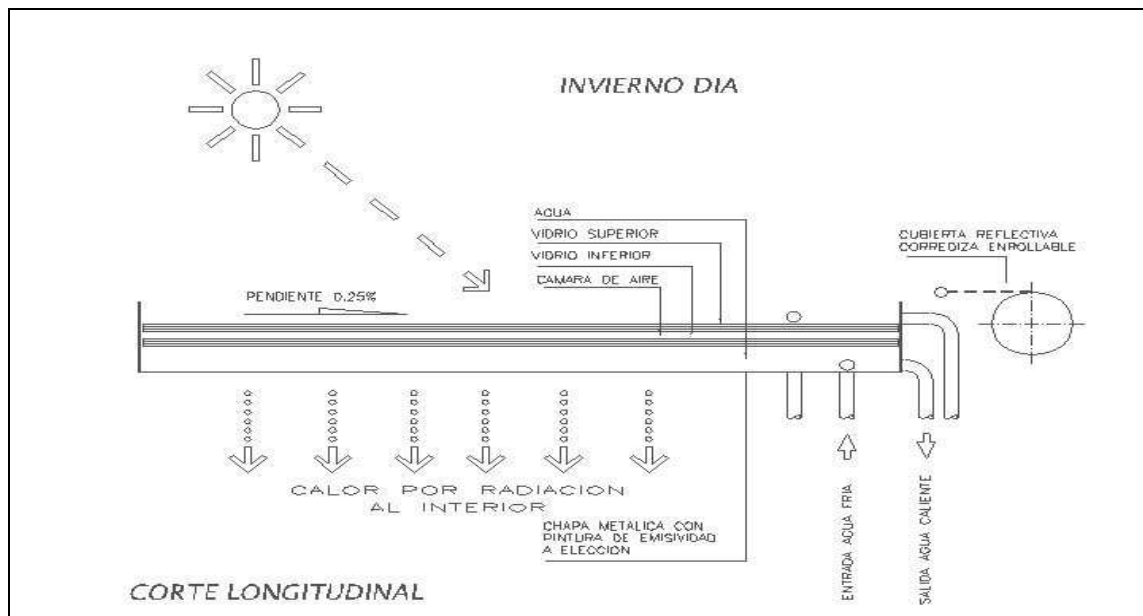


Figura 3. Esquema adoptado en la configuración invierno-día.

3.2 INVIERNO-NOCHE

El inventario (masa total) de agua anterior (5,000 litros) es derivado en el crepúsculo hacia el tanque, desde donde es bombeado para calefaccionar la casa por losa radiante o radiadores de agua convencionales. El techo durante la noche (ver figura 4) genera de este modo una triple cámara estanca de aire (desplegando la cubierta superior) que aísla eficazmente el techo ante pérdidas por conducción y radiación. De ser necesario, es posible también bombear parte del inventario de agua caliente al techo, de forma de asegurar que la temperatura de la cubierta metálica no baje de un punto de confort. No se pretende aquí desarrollar cálculos detallados acerca del grado de aislamiento térmico conseguido, pero si ilustraremos brevemente este punto mencionando que podemos asemejar esta triple cámara estanca somera a un sistema de vidriado cuádruple, (en los países nórdicos se utilizan vidrios triples) de buen rendimiento.

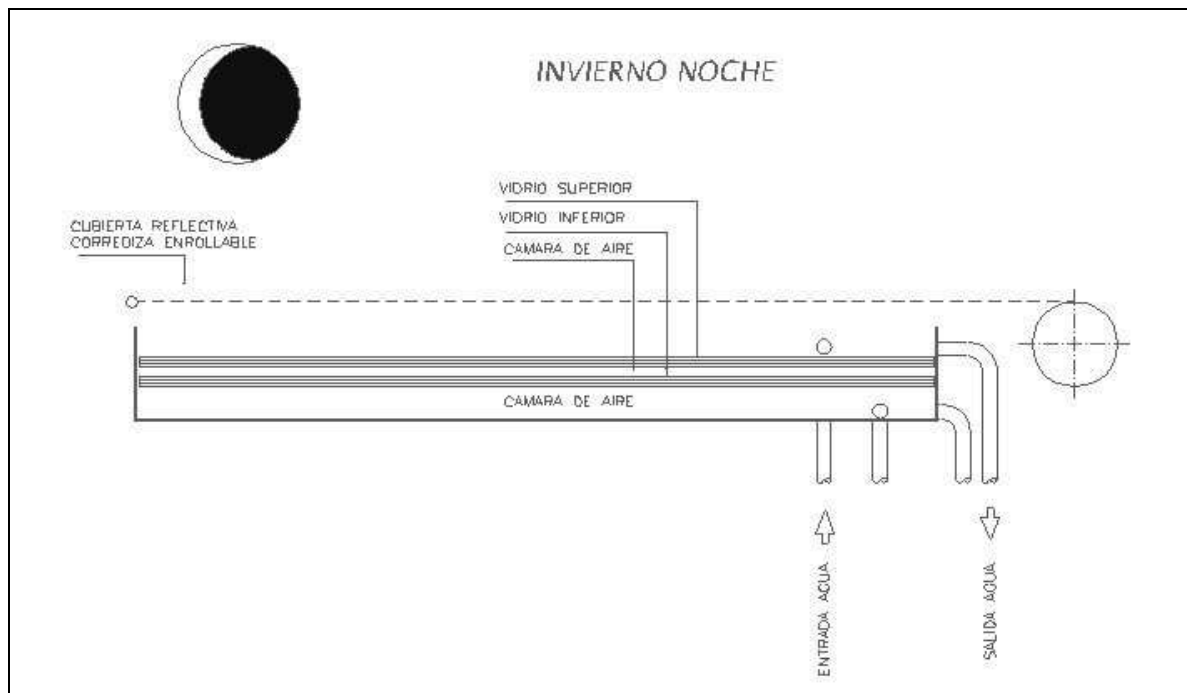


Figura 4. Esquema adoptado (corte longitudinal) en la configuración invierno-noche.

3.3. VERANO-NOCHE

En las noches de verano (ver figura 5) se genera una cámara somera de agua superior en contacto con el medio exterior (bombeando el inventario de agua por sobre el vidrio superior) para sobreenfriar la misma (por evaporación y radiación) incluso hasta 10°C por debajo de la temperatura ambiente, de acuerdo a las condiciones climáticas imperantes (Nahar, 1999).

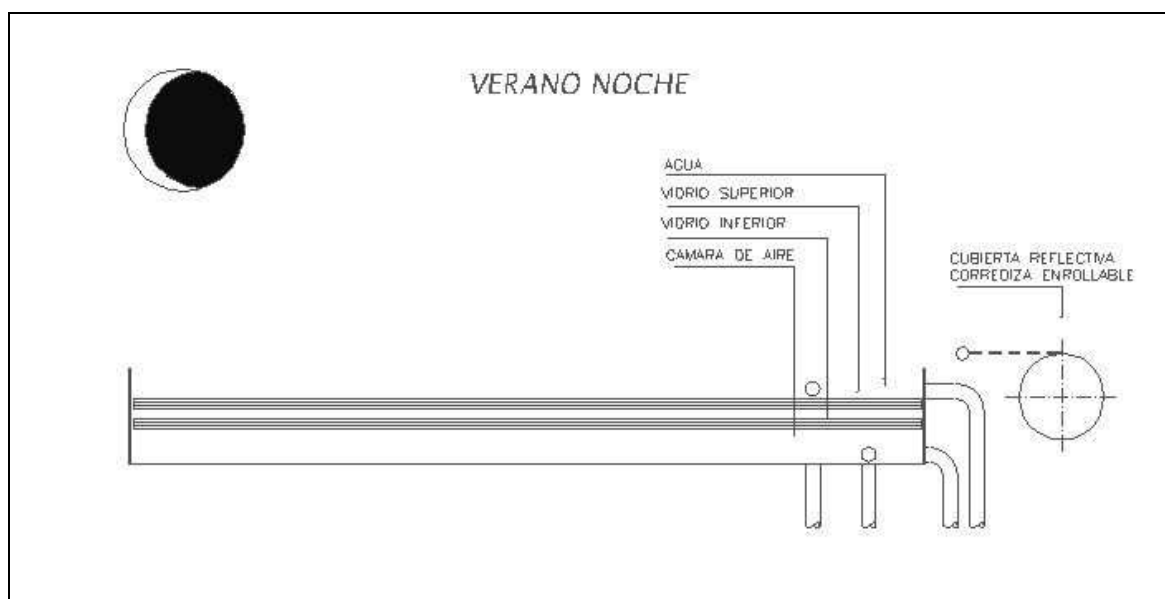


Figura 5. Esquema adoptado (corte longitudinal) en la configuración verano-noche

3.4. VERANO-DÍA

Durante el día este importante volumen de agua enfriada es derivado hacia la cámara techo-vidrio (protegida por la pantalla reflectiva desplegada), para proporcionar refrigeración por convección natural (figura 6) a partir del sistema térmico inestable originado por la posición superior de la fuente fría. Cabe acotar que el solo hecho de reducir fuertemente la irradiación solar directa ya produce una atenuación muy importante, dado que mas del 50% del calentamiento de una vivienda en verano se origina en la irradiación solar directa sobre el techo (Jain, 2006). Esta pantalla reflectiva desplegada durante el día en verano sirve para eventualmente para proteger el techo vidriado del granizo, como es importante considerar en amplias zonas del territorio nacional.

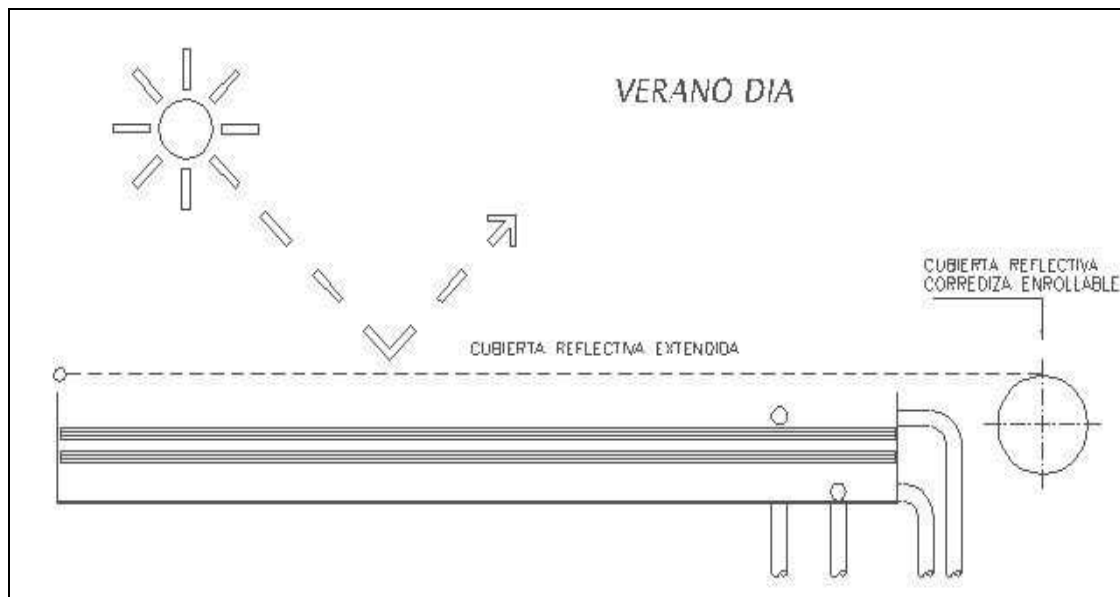


Figura 6. Esquema adoptado en la configuración verano-día.

4. BALANCE ENERGÉTICO

El estudio del balance energético del sistema colector solar diseñado permite fundamentar su éxito a los fines propuestos. Siendo por consiguiente una parte insoslayable del análisis, puede (siguiendo el nivel conceptual general aquí presentado) ser desarrollado con modestos esfuerzos, sobre la base de los innumerables trabajos (tanto numéricos como experimentales) científicos disponibles en la literatura. Por supuesto (y soy el primero en reconocerlo) que sería deseable que este primer trabajo diese lugar a otros posteriores en colaboración con colegas, de amplia experiencia en la materia como los hay en nuestro país, para profundizar el estudio de esta nueva propuesta.

Sobre esta base permitanme citar tres trabajos de colectores solar integrados, en los cuales me basé para realizar estimaciones de primer orden: Vokas et al (2006), Medved et al (2003) y Hassan and Yvan (2006). Vokas estudia teóricamente el rendimiento de un colector solar híbrido (con un panel PV) en Grecia (latitud 40°N), usando en sus cálculos un flujo de irradiación solar *sobre el colector plano* promedio anual $G'' = 150 \text{ kWh/m}^2$ (equivalente a una irradiación diurna promedio de 400 W/m^2). De aquí, podemos calcular: (1) la energía promedio diaria absorbida, E_d , y (2) la anual, E_a , como:

$$E_d = G'' \xi A / 30 = 1,6 \text{ GJ/día} \quad (1)$$

$$E_a = 365 E_d = 590 \text{ GJ} \quad (2)$$

en donde A es el área del panel solar (100 m^2), ξ es la eficiencia térmica (asumida en 90%, siendo que Medved mide 85% para un colector sin cubierta). Para ilustrar la enorme magnitud de este valor, podemos considerar que el consumo anual de gas natural para calefacción de una vivienda unifamiliar en Bariloche (González et al, 2006) es de 169 GJ, alcanzando en la comparación a menos del 30% del valor anterior. No es de extrañar entonces, que aún para el sitio estudiado, Vokas prediga que con un colector de sólo 30 m^2 alcance a cubrir en invierno el 50% de la demanda de calefacción y agua caliente de una familia.

Si despejamos del balance térmico para el agua (3), el salto térmico que se produciría en nuestro inventario de agua ($5,000 \text{ l}$) si almacenase sin pérdidas la energía del ciclo diurno (E_d) diaria:

$$E_d = M c \Delta T \quad (3)$$

donde M es la masa de agua ($5,000 \text{ Kg}$), c su calor específico ($4,16 \text{ KJ / Kg}^\circ\text{C}$) y ΔT el salto de temperatura en el ciclo diario (mañana/noche), obtendríamos un $\Delta T \cong 80^\circ\text{C}$, poco conveniente a los fines prácticos (produciría ebullición, siendo que la temperatura mínima del sistema debería estar por encima de los 20°C para asegurar su funcionamiento eficaz). Este comportamiento se puede atenuar fácilmente por supuesto, si escogemos un inventario de agua mayor, pero esta solución, llevada a un extremo, podría producir otros inconvenientes no deseados (mayor carga sobre el techo metálico, etc.). Sirve en cambio aquí para ilustrar otra ventaja del diseño propuesto: la posibilidad de calefaccionar el hábitat (durante el día) también por radiación térmica desde la cubierta metálica, "sintonizando" este término por medio de la elección de pinturas de distinta emisividad para el interior de cada ambiente. Si escogiéramos una pintura de máxima emisividad (1) y para una temperatura del techo (T_{techo}) de 83°C , asumiendo que el piso y las paredes (T_{inter}) están a 20°C , obtendríamos un flujo de calor de irradiación neto del techo hacia el hábitat dado por (4):

$$q''_{\text{neto}} = \sigma(T_{\text{techo}}^4 - T_{\text{inter}}^4) = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4 (356^4 - 293^4) = 500 \text{ W/m}^2 \quad (4)$$

donde σ es la constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$). El valor obtenido aquí (500 W/m^2) puede considerarse como mayor o igual al pico de flujo de radiación solar absorbida por el colector en invierno, y en consecuencia este mecanismo nos permitiría *per se* limitar la temperatura en el colector.

En el trabajo de Medved se postula un flujo de irradiación solar ligeramente mayor (165 kWh/m^2) que en el Vokas, y se predice (con un diseño de techo sin cubierta, y colector tipo serpentín sobre el techo) la posibilidad de calentar una gran piscina (superficie cubierta 600 m^2 , volumen agua 600 m^3) en primavera y verano desplegando un colector de 600 m^2 , lo cual ilustra la gran magnitud alcanzable en la captación de la energía solar con este tipo de sistemas. Es interesante este trabajo además, porque muestra el esfuerzo puesto en aprovechar las nuevas técnicas constructivas: por ejemplo, se conforma el serpentín por donde corre al agua por unión de chapas (negativo y positivo) con perfiles convexos.

Por último, en su trabajo Hassan y Yvan predicen que un colector solar de 150 m^2 podría cubrir el 90% de la demanda anual de calefacción de todo un hábitat mayor (1375 m^2 total), para una ubicación en Norteamérica en 37°N , caracterizada por inviernos bastante más rigurosos que los argentinos. Todos estos trabajos apuntan en la misma dirección (muy conocida por cierto), e indican la gran potencialidad de la energía solar para reducir nuestra dependencia futura de combustibles no renovables, debiéndose sí realizar mayores esfuerzos en desarrollar sistemas de bajo costo.

5. ESTUDIO DE COSTOS

El objetivo del sistema de techo adaptable propuesto es proporcionar la calefacción y refrigeración hogareñas durante todo el año para una casa convencional en forma autosuficiente (salvo el pequeño consumo eléctrico de la bomba de agua y cubierta desplegable), en las condiciones climáticas (templados a calurosos o moderadamente fríos) de la gran mayoría del territorio argentino. Se calcula que con un techo de 100 m^2 es posible lograr calentar durante el día en invierno unos $3,000$ a $5,000$ litros de agua a 70°C , y en verano es posible refrigerar a 10 o 15°C este inventario, proporcionando en este ejemplo suficiente calefacción y refrigeración respectivamente.

Sirviéndonos de ejemplos de techados reales típicos de Bariloche, estimamos un costo específico promedio de $\$350/\text{m}^2$ para construcciones tradicionales, con una gran demanda de mano de obra in situ (un mes para realizar un techado de 100 m^2 , contando con tres obreros). Por el contrario, sumando los costos del nuevo techo (chapa estructural, vidrios, sistema de cortina) se llegaron a costos de $\$200/\text{m}^2$ y tiempos de construcción mitad del anterior, para igual mano de obra. Otros costos especiales (tanque almacenador, cañerías especiales al techo, controlador de temperatura), rondarían unos $\$2,000$ y se pueden considerar (prorrateado en la superficie de 100 m^2) como incluidos dentro de los márgenes de error, lo que demuestra su bajo impacto. No se contabilizan otros elementos de calefacción necesarios (termostanque, radiadores, bomba de agua) a los fines de la comparación por estar incluidos en el sistema de calefacción tradicional.

Otros elementos que deberían contabilizarse dentro de la inversión del sistema de techado tradicional son:

- la pendiente "tradicional" del techo (20°) contra la nula propuesta, y el
- sistema de refrigeración para verano: $\$6,000$,

con los cuales la inversión inicial ascendería a más de $400 \text{ \$/m}^2$, duplicando la del sistema propuesto.

Los costos operativos menores son por otra parte (al igual que en todos los sistemas solares) la fortaleza del sistema. Se ahorrarían al año en calefacción hasta 500 GJ o $20,000 \text{ m}^3$ de gas natural. El gasto de electricidad de la bomba para subir el inventario de agua al techo y desplegar la cortina reflectiva, siendo por otra parte modestos, se pueden estimar fácilmente como inferiores al ahorro de electricidad producido por la refrigeración pasiva estival.

CONCLUSIONES

Se presenta aquí por primera vez, un concepto innovativo de techo solar adaptable. Siendo un concepto completamente nuevo, ciertamente requerirá en el futuro de mayores investigaciones integradas en diversos campos, y del concurso de colegas interesados en el mismo, siendo el promover ésta la principal motivación de este trabajo presentado por su autor. Sin embargo, y utilizando la vasta bibliografía presente como una herramienta que permite extrapolar con un margen de error razonable al nuevo concepto, resultados similares obtenidos en estudios numéricos y experimentales previos, puede afirmarse que este sistema innovativo podría satisfacer en promedio la demanda de calefacción y refrigeración hogareñas, instalado éste en la mayoría del territorio argentino, siendo útil en este sentido el importante trabajo de sistematización ya realizado, como por ejemplo, por Evans, 2004.

La principal virtud del sistema propuesto, que lo destaca como tal, es la baja inversión inicial requerida, que lo vuelve competitivo incluso frente a las construcciones tradicionales. Para lograr esto, este diseño se basa en una fuerte innovación: presentar un techo fuertemente adaptable sin partes móviles de mayor complejidad, dado que ha diferencia de conocidos sistemas de cámara de agua, como el Skytherm (Hay, 1977), en éste se emplea el mismo fluido acumulador como elemento esencial en movimiento. Por este motivo, el diseño propuesto no requiere contar con una cubierta estructural aislante de movimiento complejo. Por el contrario, la configuración variable del fluido genera aquí las cubiertas múltiples aislantes, y la cubierta no tiene requerimientos de aislamiento térmico, limitándose a una simple cortina enrollable.

Por otra parte, y para lograr la condición anterior, el diseño aquí propuesto ha sabido explorar y encontrar nuevas sinergias entre el colector solar y el techo tradicional, cuestionando fuertemente este último. En este sentido, y siendo ambiciosos, podría ser que éste diera origen a toda una nueva generación de diseños de hábitat que utilicen flexiblemente la energía solar. Por limitaciones de espacio se pretende aquí mostrar sólo algunas de las variantes de diseño desarrolladas, por ejemplo, respecto del diseño y aplicaciones secundarias de la cortina reflectiva.

Por lo anterior, y considerando el ahorro en combustibles fósiles (invierno) y electricidad (verano) que conllevaría su aplicación, este diseño podría ser aplicado masivamente. Es razonable esperar que en este caso, además de producir importantes beneficios medioambientales directos, genere una mayor conciencia colectiva acerca de las potencialidades del uso e investigación en energía solar, tan necesaria en nuestro país.

AGRADECIMIENTO

Al arquitecto Héctor Coutada, del sector Obras del Centro Atómico Bariloche, por el asesoramiento brindado en nuevos sistemas de techado y por confeccionar todas las ilustraciones.

REFERENCIAS

- Belusko, M., Saman, W. and Bruno, F. 2004. Roof integrated solar heating system with glazed collector. *Solar Energy* 76, 61-69.
- Conicet, 2006. Este diseño ha sido considerado patentable por la oficina de propiedad intelectual del CONICET, estando en trámite su patentamiento (ref.: Lic. Alejandra Cancio).
- Evans John M. 2004. Zonificación bioambiental en latinoamérica para una arquitectura sustentable. *Avances en Energías Renovables y medio Ambiente*. 8 (1), 05.163-05.168
- González A.D., Crivelli E., Gortari S., 2006. Eficiencia en el uso del gas natural en viviendas unifamiliares de Bariloche. AVERMA, enviado y en arbitraje.
- Hassan Marwa and Beliveau Yvan. 2006. Design, construction and performance prediction of integrated solar roof collectors using finite element analysis. *Construction and Buildings materials*, in press.
- Hay H.R. 1977. A Passive Heating and Cooling System from Concept to Commercialization. *Proc. Annual Meeting of the American Society of ISES*.
- Jain Dilip. Modeling of solar passive techniques for roof cooling in arid regions. 2006. *Building and Environment*, 41, 277-287.
- Jiang H., Okumura, A., Hoyano A. and Asano K.. 2001. A Solar cooling project for hot and humid climates. *Solar Energy* 71 (2), 135-145.
- Khedari, J., Hirunlabh J. and Bunnag, T. 1996. Experimental study of a roof solar collector towards the natural ventilation of new habitations. WREC 1996, Energy Technology Division, King Monkuts's Institute of Technology Thonburi, 335-338.
- Medved S., Arkar C. y Cerne B., 2003. A large-panel unglazed roof-integrated liquid solar collector-energy and economic evaluation. *Solar Energy* 75, 455-467.
- Maneewan, S., Hirunlabh, J., Khedari, J., Zeghmami B. and Teekasap S. 2005. Heat gain reduction by means of thermoelectric roof solar collector. *Solar Energy* 78, 495-503.
- Nahar NM., Sharma P., Purohit MM. 1999. Studies on solar passive cooling techniques for arid areas. *Energy Conversion and Management*, 40, 89-95.
- Vokas G., Christandonis N. and Skittides F. 2003. Hybrid photovoltaic-thermal systems for domestic heating and cooling. A theoretical approach. *Solar Energy* 80, 607-615.

TITLE: DESIGN OF AN INNOVATIVE SOLAR ROOF ADAPTABLE FOR PASSIVE HEATING AND COOLING HOUSEHOLD

ABSTRACT: An innovative design of adaptable solar roof that provides annual cooling and heating household demand in a passive manner is presented. In addition, this very innovative concept provides a low-cost roof system (the main reason for which this kind of systems are not been generalized) ; meanwhile it breaks the paradigm of the state of the art roof concept. Moreover, this design can be considered as a new approach for next generations of roof designs.

Key words: household solar heating, solar energy