

# DISEÑO INNOVATIVO de TECHO SOLAR ADAPTABLE AL ENTORNO PARA GENERACIÓN DE CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN DE VIVIENDAS A COSTOS COMPETITIVOS

## RESUMEN

Se presenta un diseño innovativo de techo solar adaptable al entorno, que permite proveer de calefacción y refrigeración pasivas a una vivienda familiar a un costo similar que un techo convencional de similar (buen) aislamiento térmico. Para lograr esto se plantean originales sinergias entre el concepto del colector solar y del techo en si mismo, modificando fuertemente este último, para crear un techo configurable mediante redistribución de agua. El diseño de techo se complementa con el de un toldo configurable igualmente innovativo y adaptable al ambiente. Este toldo también puede ser potencialmente útil para techos convencionales, volviendo a éste adaptable al entorno. En este sentido, quizás el aporte más valioso del nuevo diseño (reclamado en 3 patentes de invención) sea el derribar el paradigma actual (profundamente arraigado) del techo tradicional, permitiendo explorar nuevas dimensiones alternativas de hábitat adaptables al entorno.

**Palabras clave:** colector solar, arquitectura adaptable entorno, calefacción y refrigeración pasivas

## 1. INTRODUCCIÓN

Existen numerosos diseños de casas con techos solares desarrollados desde hace sesenta años y que son técnicamente factibles, pero que requieren de inversiones comparativamente altas, siendo la causa de su limitada aceptación (Belusko, 2004). Siguiendo estas motivaciones se han propuesto en los últimos años diversos sistemas colectores solares integrados al techo (Vokas, 2006, Maneewan, 2005). Estos esquemas integrados han logrado encontrar algunas modestas sinergias entre ambos conceptos para reducir la inversión inicial total requerida. Siendo factible que el escenario mundial futuro impulse su interés, la conjugación de bajos costos de hidrocarburos y altas tasas de interés constituirán sin duda un freno a su desarrollo en el mercado local.

Los colectores integrados al techo utilizan agua o aire. Los primeros presentan mejores desempeños por su mayor densidad de energía aunque plantean mayores problemas constructivos. Todos los diseños previos han demostrado que, dada la gran superficie cubierta y las tasas irradiación solar típicas de vastas regiones del planeta, se logra satisfacer la demanda familiar promedio de agua caliente y calefacción durante todo el año, aún en latitudes de 40° (Hassan, 2006). Sintetizando: siendo que un pequeño calefón solar (de unos pocos m<sup>2</sup>) satisface la demanda familiar de agua caliente, podemos esperar que desplegándolo sobre todo el techo éste provea la calefacción también. Sin embargo los diseños actuales no se han difundido por sus costos (Belusko, 2004).

Por otro lado, son conocidas numerosas soluciones de techo con cámara de agua superior para refrigeración del hábitat en zonas áridas (Jain, 2006). En estos diseños se remueve durante la noche una cubierta protectora para permitir su enfriamiento por evaporación e irradiación térmica, pudiendo enfriar el agua hasta 10°C por debajo de la temperatura ambiente, según la diferencia entre las temperaturas ambientales de bulbo seco y húmedo. Jain demostró que una cámara de 5cm de agua es suficiente para proveer adecuada refrigeración diurna.

En el trabajo precursor de Harold Hay (1977) (en techados adaptables), creador del sistema Skytherm, se proponen desplegar bolsas de agua sobre un techo metálico simple (sin capas internas aislantes) para proveer desde éste la calefacción invernal (por radiación infrarroja) y la refrigeración estival (por convección natural) requeridas en la vivienda durante todo el año. Como demostró Hay, esto es factible aún en climas áridos extremos, con la ayuda de una cubierta que brinda buen aislante térmico sobre las bolsas de agua. El Skytherm funciona bajo cuatro configuraciones de uso: verano/invierno y día/noche. En invierno-día se descubren la cámara de agua para almacenar la energía solar recibida y calentar el hábitat por radiación infrarroja desde el techo metálico, en contacto con el mismo y la cámara de agua. Luego, durante la noche, se despliega el cobertor térmico aislante para limitar las pérdidas al ambiente. Por el contrario, en verano-noche se descubre el techo para permitir que la cámara de agua se enfríe, mientras que de día se protege de la irradiación solar y altas temperaturas ambientes por medio del cobertor aislante, mientras se utiliza el agua sobreenfriada para refrigerar el hábitat desde el techo por convección natural, promovida por la posición elevada de la fuente fría. Sin embargo, a pesar del éxito demostrado por el diseño Skytherm

(Raeissi, 2000; Fernández, 2004) para promover el ahorro de las enormes cantidades de energías no renovables que hoy se consumen en el acondicionamiento térmico de viviendas<sup>1</sup>, el mismo no se ha popularizado debido a sus importantes sobrecostos, relativos a la cubierta desplegable, que debía contener gruesas capas de material aislante y ser mecánicamente estructural según Hay (1969).

Se presenta en este trabajo un diseño innovativo de techo solar adaptable, basado en la combinación original de muchos de los conceptos del arte previo antes señalados, y otros. En este sentido, reconociendo elementos comunes con el Skytherm, nuestro diseño prescinde de la necesidad de una cubierta que brinde adecuada aislamiento sobre la cámara de agua; limitando la cubierta a un simple parasol. Este sistema es fuertemente configurable, pero a diferencia de un sistema mecánico complejo como el de Hay, utiliza la redistribución de agua como medio de configuración. Se espera que pueda satisfacer la demanda de calefacción y refrigeración de una vivienda unifamiliar en latitudes medias, manteniendo no obstante una inversión equiparable a un techo convencional de similar calidad térmica (e.g.: igual coeficiente global de conducción).

## 2 DISCUSIÓN DE DISTINTOS CONCEPTOS DE TECHADO

### 2.1 EL CONCEPTO CLÁSICO DE TECHADO

Es interesante considerar ahora 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 y de perfil rectangular o trapezoidal (aumentando su resistencia mecánica a 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°, antes 45° para evitar filtraciones de agua entre chapas contiguas sobre la misma pendiente).
- Se **reduce el tiempo de instalación** (menos uniones a sellar, menos tirantería, etc.)
- Se dispone de **pinturas especiales** que aumentan su resistencia a la corrosión.
- Se puede disponer un mayor espaciamiento 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 figura 2), además de formar un techo autoportante.

Esta evolución tecnológica en los sistemas de techado abre una ventana de oportunidad para el diseño de nuevas formas de sistemas solares integrados, como el aquí planteado. Por otra parte, y en oposición a esta marcada evolución tecnológica, el concepto “clásico” de techo se ha mantenido casi inalterable durante largo tiempo (¿...quizás desde la Edad Media?). Por tal definimos un techo diseñado siguiendo tres objetivos principales:

- Proveer un sistema **cerrado** (no dejar pasar la lluvia)
- Proveer un sistema **casi adiabático** (no dejar escapar el calor).
- Ser un sistema de techado **fijo** (sin partes móviles).

El medio convencional empleado para cumplir estos objetivos, obteniendo así un techo de calidad **casi adiabática**, ha sido el disponer capas sucesivas de distintos materiales (aislantes de baja conductividad térmica, de alta reflectividad, etc.) y cámaras de aire (cubrerías) por debajo de la capa exterior que asegura la estanqueidad. Obtenemos así un techo de buena calidad pero costoso en dinero y tiempo de construcción, pero que no se puede reconfigurar convenientemente para responder a los cambios cíclicos ambientales: día/noche, invierno/verano, u otros (**no puede evitar la acumulación de nieve** en zonas cordilleranas, o en general en el hemisferio boreal).

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 persigue el *mayor grado de adaptabilidad posible al entorno*, conformando un techo fuertemente configurable.

---

<sup>1</sup> El 40% de la energía total consumida en países OECD se debe a acondicionamiento de *buildings*, según la Agencia Internacional de Energía, IEA. Ver: [www.iea.org](http://www.iea.org)

## 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, según una posible forma de realización práctica) 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 cámara somera de agua ( $\approx 5\text{cm}$ ) que acumula la energía solar absorbida por el techo metálico (cuya cara exterior es negra, o específicamente, de alta absorptividad).
- Este inventario de agua (5,000 litros para  $5\text{cm}$  y superficie techada de  $100\text{m}^2$ ) se conecta por cañerías con un
- Tanque de reserva de capacidad similar, ubicado debajo en el hábitat (o un invernadero contiguo a la casa por ejemplo) el cual alimenta al
- Sistema de agua caliente y de calefacción (preferentemente por losa radiante) 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.
- Un toldo parasol desplegable se dispone superior a todo el conjunto techo anterior, formando una tercera cámara de aire. El conjunto de estas tres cámaras proporciona según nuestras estimaciones (mediante un sencillo cálculo unidimensional de resistencias térmicas) coeficientes de conducción global  $U$  entre  $0,4$  y  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , según se empleen vidrios comunes o paneles especiales.

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 el hábitat también por radiación térmica, pudiendo sintonizarse ésta a conveniencia empleando pinturas de diferentes emisividades infrarrojas en los diferentes ambientes. Esta posibilidad puede constituir un calentamiento apreciable, en tanto y en cuanto el techo podría alcanzar  $80^\circ\text{C}$ . La transferencia por radiación se puede también minimizar empleando pinturas de baja emisividad ( $\approx 0.1$ ), eligiendo en cambio la calefacción por circuitos de agua caliente. La convención natural se puede minimizar (verano) por la posición elevada de la fuente caliente.

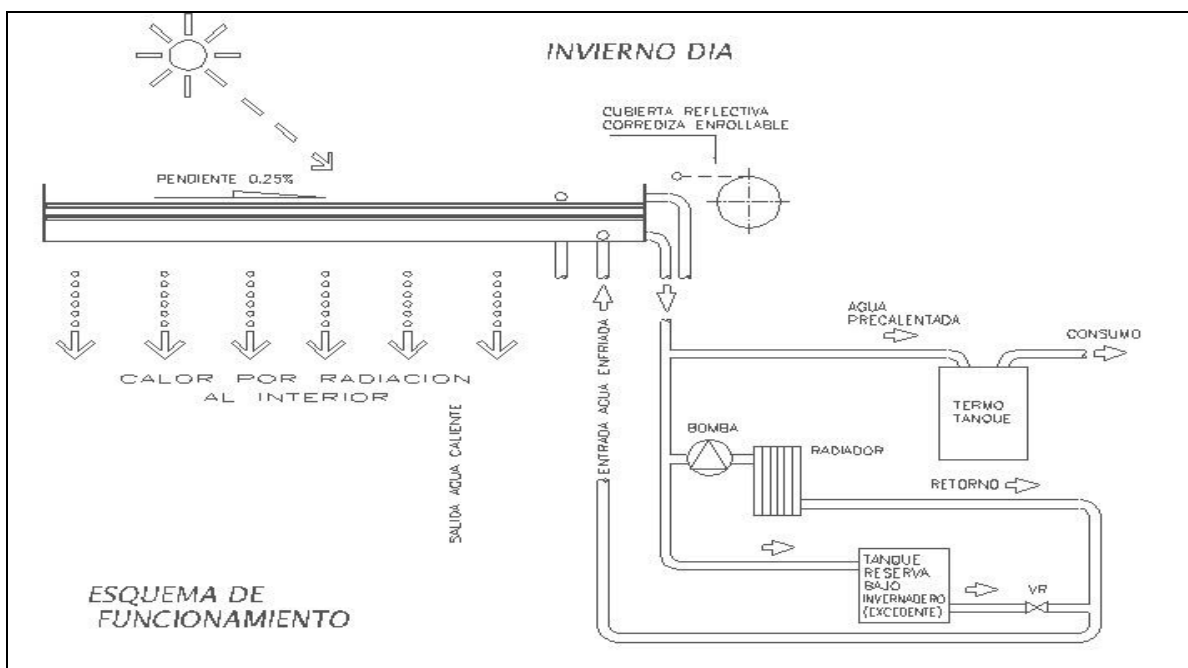


Figura 1. Esquema general del sistema formado por el techo y accesorios

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**. 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 inferior con 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, el cual brindaría un abanico de mayores posibilidades arquitectónicas.

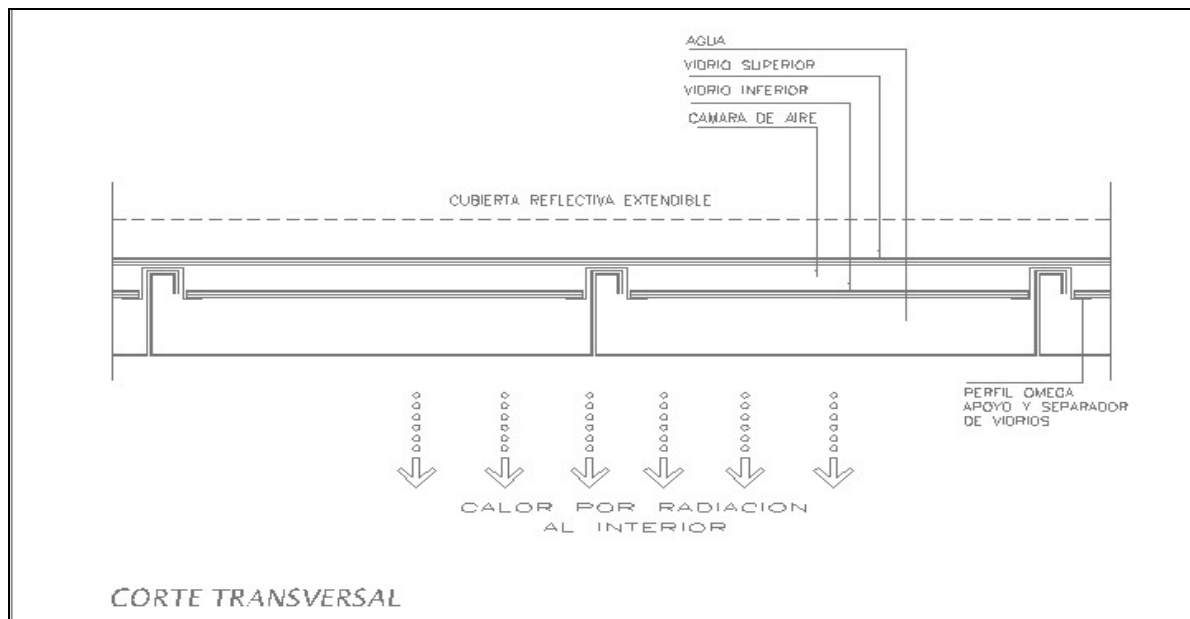


Figura 2. Corte transversal en techo (ver perfil escalonado de chapa y omega de apoyo a vidrios)

### 3. 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 base metálica para acumular energía solar y calentar el hábitat por radiación térmica. Considerando una irradiación diaria promedio de  $3,600 \text{ W/m}^2$ , un valor conservativo para la mayoría de nuestro país, (Evans, 2004) y pérdidas globales del 50% (regular en colectores solares), se alcanzan incrementos de  $35^\circ\text{C}$  y temperaturas finales de  $75^\circ\text{C}$  en el ciclo diurno.

#### 3.2 INVIERNO-NOCHE

El inventario de agua es derivado en el crepúsculo hacia el tanque de acumulación, desde donde es bombeado para calefaccionar la casa por losa radiante o radiadores de agua convencionales. Durante la noche (ver figura 4) se 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 para asegurar que la temperatura de la base metálica no baje del punto de confort ( $20^\circ\text{C}$ ). 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 vidrioado cuádrupla. Hay en el mercado ventanas de vidrio triple de  $U=0.6\text{W/m}^2\text{k}$  ([www.efficientwindows.org](http://www.efficientwindows.org)) y otros que alcanzan valores de  $0.2\text{W/m}^2\text{k}$  (Manz, 2006).

#### 3.3. VERANO-NOCHE

En las noches de verano (ver figura 5) se genera una cámara somera de agua por sobre el vidrio superior y en contacto con el medio exterior, para sobreenfriar la misma (por evaporación y radiación) incluso hasta  $10^\circ\text{C}$  por debajo de la temperatura ambiente, de acuerdo a las condiciones climáticas imperantes (Jain, 2006).

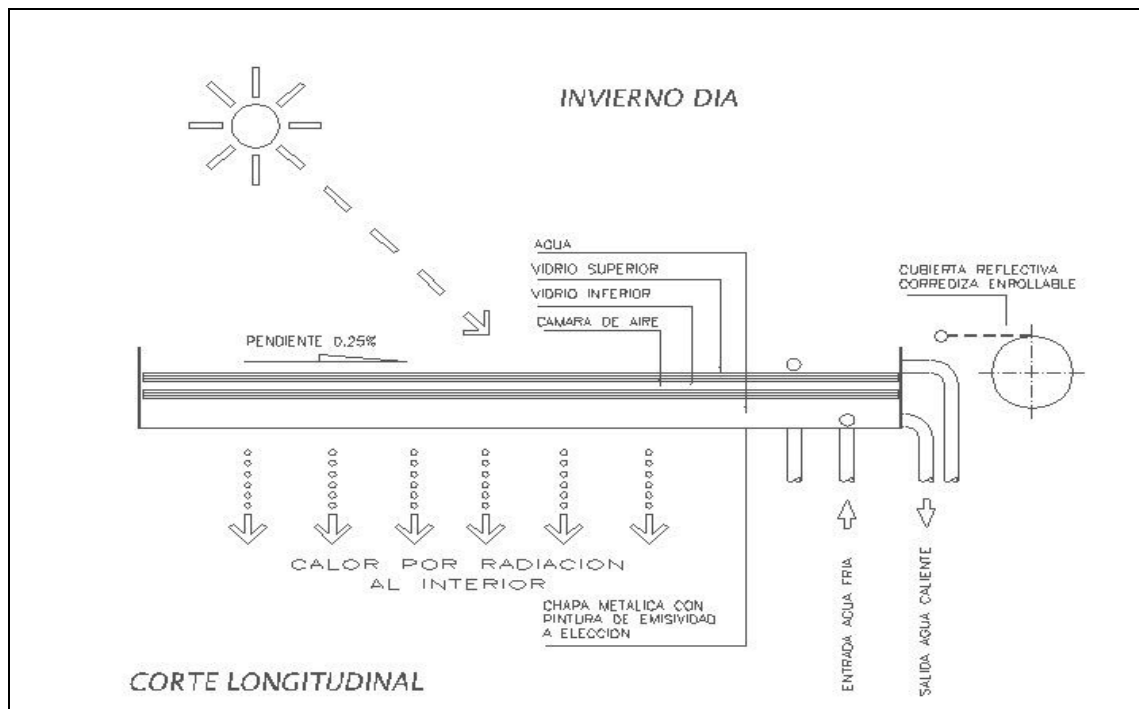


Figura 3. Esquema adoptado en la configuración invierno-día (toldo sin extender).

### 3.4. VERANO-DÍA

Durante el día este importante volumen de agua enfriada es derivado hacia la cámara inferior techo-vidrio (y es protegida por el toldo), para proporcionar refrigeración por convección natural (figura 6). 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 sirve también para proteger eventualmente el techo vidriado del granizo. Una virtud de este diseño que lo diferencia de otros con cámara de agua fijas en el techo (como Skytherm) es su flexibilidad: puede elegirse por ejemplo guardar el agua enfriada en el tanque, para derivarla al techo en la peor hora (14hs), evitando que se caliente durante la mañana... también puede recircularse el agua fría en el circuito de losa radiante, evitando de este modo que se caliente en el techo, y generando una nueva cámara aislante (de aire) en el techo, que brinda mayor aislación térmica.

### 4. BALANCE ENERGÉTICO

El estudio energético del sistema colector solar diseñado permite fundamentar su éxito. Siendo por consiguiente una parte insoslayable del análisis, puede (siguiendo el nivel conceptual general aquí presentado) ser realizado con modestos esfuerzos, considerando los innumerables trabajos científicos previos en la materia, si bien se espera profundizarlo en el futuro asociado a otros colegas.

En este contexto permítanme citar dos trabajos de colectores solar integrados en los cuales me basé para realizar estimaciones de primer orden, de Vokas y Medved. Vokas (2006) estudió el rendimiento de un colector solar en Grecia (latitud 40°N), usando en sus cálculos un flujo de irradiación solar sobre el colector plano mensual promedio anual  $G'' = 150 \text{ kWh/m}^2$ . De aquí, podemos calcular: (1) la energía promedio diaria absorbida,  $E_d$ , y (2) la anual,  $E_a$ , como:

$$E_d = G'' \cos\theta \xi A / 30 = 187 \text{ kWh} = 0.68 \text{ GJ} \quad (1)$$

$$E_a = 365 E_d = 247 \text{ GJ} \quad (2)$$

en donde A es el área del panel solar (100 m<sup>2</sup>),  $\xi$  es la eficiencia térmica (50%) y debe considerarse un ángulo de inclinación promedio  $\theta = 38^\circ$ . 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 (38°S) es de 169 GJ (González et al, 2006). No es de extrañar entonces, que aún para el sitio estudiado, Vokas prediga que con un colector de sólo 30 m<sup>2</sup> alcance a cubrir en invierno el 50% de la demanda de calefacción y agua caliente de una familia.

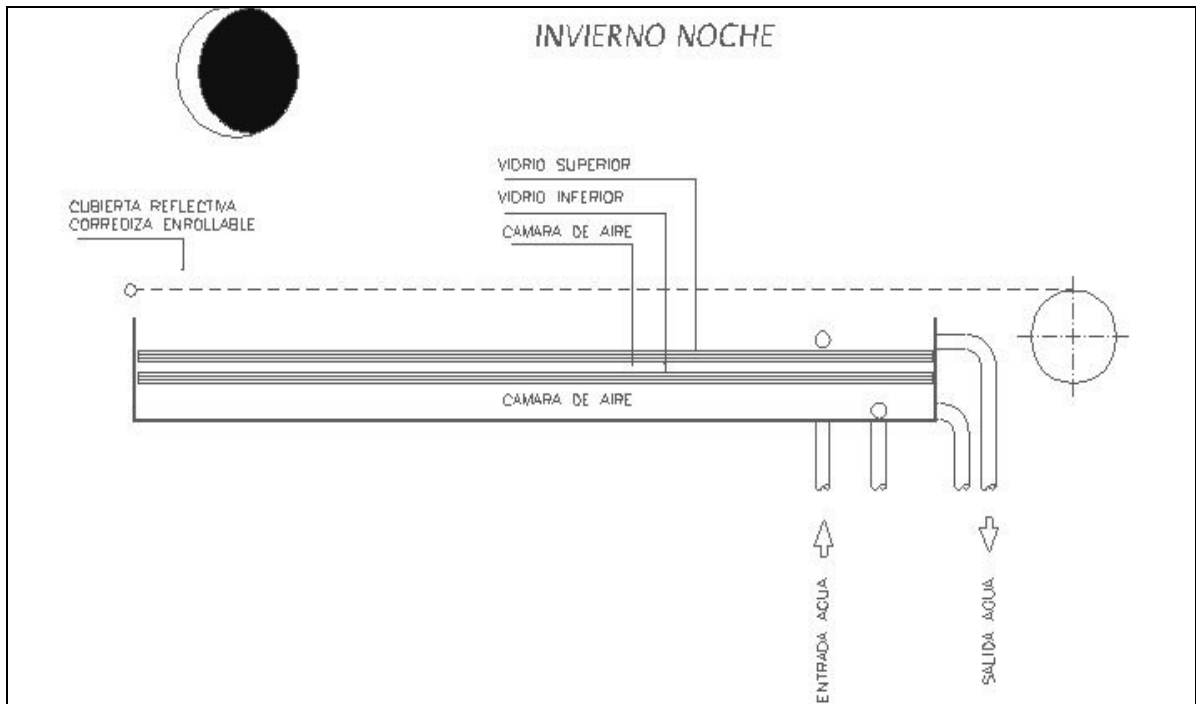


Figura 4. Esquema adoptado (corte longitudinal) en la configuración invierno-noche (toldo extendido).

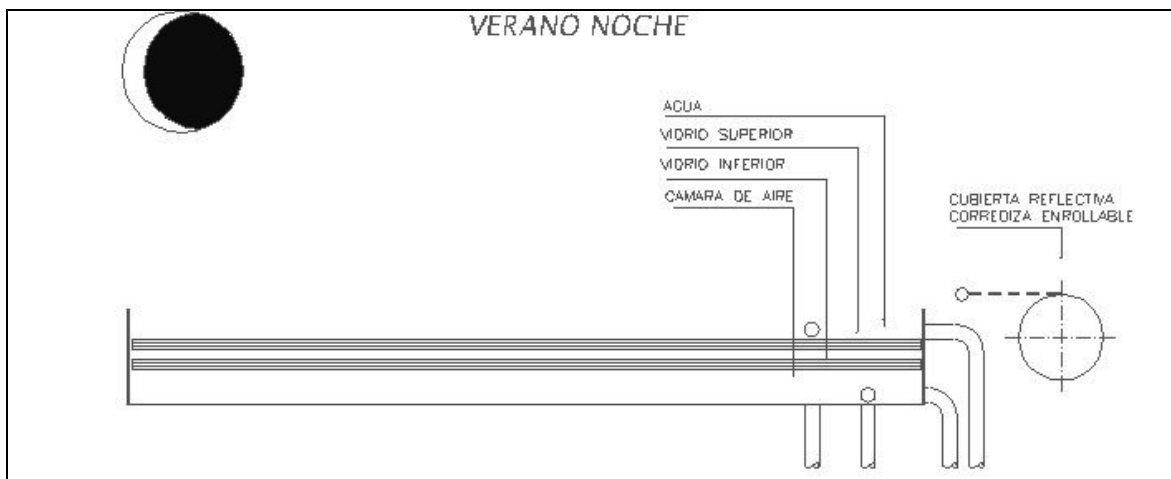


Figura 5. Esquema adoptado (corte longitudinal) en la configuración verano-noche (toldo retraído).

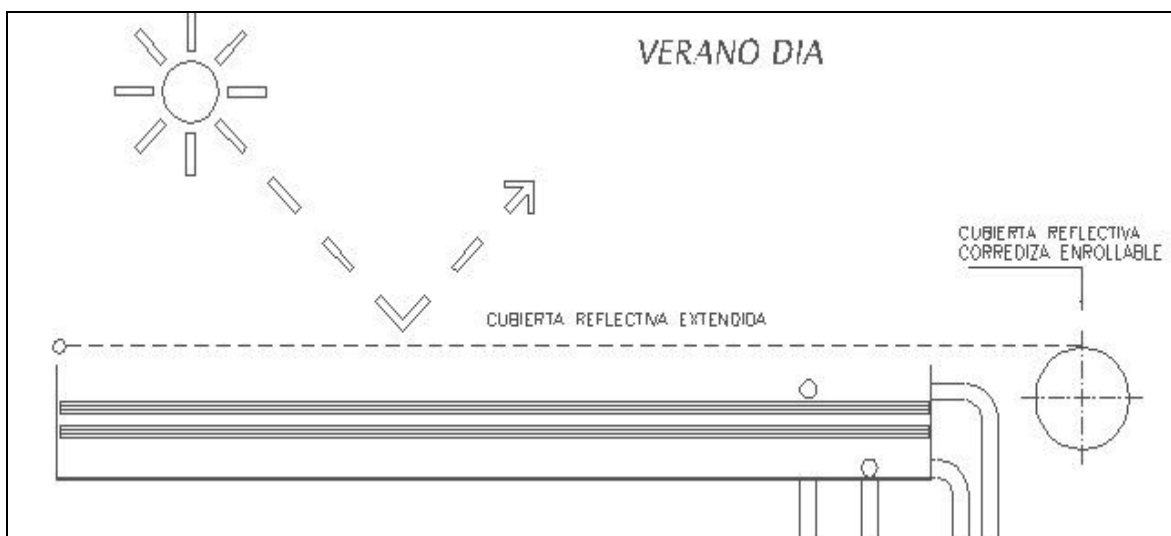


Figura 6. Esquema adoptado en la configuración verano-día (toldo extendido).

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

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

donde  $M$  es la masa de agua (5,000 Kg),  $c$  su calor específico (4,16 KJ /Kg°C) y  $\Delta T$  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  $20^\circ\text{C}$  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 también por radiación térmica, "sintonizando" este valor mediante elección de pinturas de distinta emisividad para cada ambiente. Si escogiéramos una pintura de máxima emisividad ( $=1$ ) y para una temperatura del techo ( $T_{\text{techo}}$ ) de  $83^\circ\text{C}$ , asumiendo que el piso y las paredes ( $T_{\text{inter}}$ ) están a  $20^\circ\text{C}$ , obtendríamos un flujo de calor de irradiación neto del techo hacia el hábitat dado por (4):

$$q''_{\text{neto}} = \sigma (T_{\text{techo}}^4 - T_{\text{inter}}^4) = 500 \text{ W/m}^2 \quad (4)$$

donde  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzman. El valor obtenido aquí (500 W/m<sup>2</sup>) 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 (2003) se postula un flujo de irradiación solar ligeramente mayor (165 kWh /m<sup>2</sup>) que en el Vokas en latitudes similares, y se predice la posibilidad de calentar una gran piscina (superficie cubierta 600 m<sup>2</sup>, volumen agua 600m<sup>3</sup>) en primavera y verano desplegando un colector de 600 m<sup>2</sup>, 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 esfuerzos en aprovechar las nuevas técnicas constructivas: por ejemplo, se conforma el serpentín de agua por unión de chapas (negativo y positivo) con perfiles convexos.

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 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<sup>2</sup> es posible lograr calentar durante el día en invierno unos 3,000 a 5,000 litros de agua a  $75^\circ\text{C}$  y en verano refrigerarlo a  $18^\circ\text{C}$ , si la temperatura ambiente baja a  $25^\circ\text{C}$  en la noche.

Sirviéndonos de ejemplos de techados reales típicos de 100m<sup>2</sup> de Bariloche de muy buen aislamiento térmico ( $U = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), estimamos costos específico de \$200 a \$300/m<sup>2</sup>, con gran demanda de mano de obra in situ (3 semanas x 3 obreros). Para el nuevo diseño estimamos costos de \$150 a \$300/m<sup>2</sup>, según el tipo de láminas transparentes empleadas, requiriendo un tercio del tiempo anterior, y con valores de  $U$  similares. No se contabilizan elementos de calefacción convencionales necesarios (termotanque, radiadores, bomba de agua) a los fines de la comparación por estar incluidos en ambos sistemas. Otros elementos que deberían contabilizarse dentro de la inversión del sistema de techado tradicional y que llevan la inversión a valores de 250 a 350 \$/m<sup>2</sup>, en el caso tradicional, son:

- La pendiente "tradicional" del techo ( $20^\circ$ ) contra la nula propuesta, y el
- El sistema de refrigeración (4 splits de 1500 frigorías) para verano: \$6,000,

Por otra parte, los costos operativos menores es (típica en sistemas solares) la fortaleza del sistema. Se ahorrarían al año 100 GJ o 5,000 m<sup>3</sup> de gas natural. El costo del gas natural es muy bajo en nuestro país (entre 15 y 40 veces menor que en países desarrollados), pero a valores internacionales, **este ahorro en gas representa casi 5,000 dólares anuales.**

## 6. SISTEMA INNOVATIVO DE TOLDO CONFIGURABLE

Se presenta aquí un sistema de sobretecho enrollable (¡pero no desplegable!) que proporciona una solución simple y original para el tipo de toldo antes propuesto. Adicionalmente éste puede implementarse en forma casi universal sobre casi cualquier techo convencional, permitiendo obtener una importante ganancia térmica al transformar a éste en un techo fuertemente configurable, mejor adaptado al entorno, que evita pérdidas de calor en invierno y reduce la carga térmica sobre la vivienda en verano. El sistema propuesto consiste básicamente en un toldo sobretecho, enrollable mediante dos rodillos longitudinales ubicados en ambas cabeceras del techo. De esta forma, el toldo se encuentra *siempre extendido sobre el techo*, evitando la complejidad de los sistemas mecánicos habituales que extienden el toldo sobre el techo. En el sistema propuesto se disponen múltiples paños contiguos (cada uno de igual superficie que el techo) diferentes: transparente, opaco o media sombra, etc. De esta manera, girando ambos rodillos se logra desplegar sobre el techo el paño más conveniente en cada caso, quedando los restantes enrollados sobre algún rodillo (ver Figura 8).

Este sistema también se ha creado para lidiar con la acumulación de nieve que se produce sobre techos convencionales. Debe recordarse que las propiedades ópticas de la nieve (emisividad 0.8 y absorptividad 0.2) vuelven a ésta la peor elección, desde el punto de vista de la ganancia térmica del techo, para la condición invernal. Además, el considerar las acumulaciones níveas obliga a sobredimensionar el techo para soportar mayores cargas de peso, y a elegir fuertes pendientes (hasta 60°) para favorecer el deslizamiento (condición raramente alcanzada). Un techo de 60° de pendiente duplica su superficie respecto de uno horizontal como el propuesto, duplicando sus costos.

Entonces, en el sistema de toldo enrollable propuesto, hemos diseñado un sistema de cepillo longitudinal que se ubica sobre la cara exterior e inferior de ambos rodillos, pudiendo ponerse en contacto con éste a elección. Debe considerarse aquí que la nieve es un material de baja densidad y grado de aglomeración en su origen; en cambio es común que se compacte y endurezca (fundamentalmente por sufrir ciclos de congelamiento y fusión) si dejamos acumular la misma, siendo luego mucho más difícil su despeje. Lo que proponemos aquí es utilizar la original característica del toldo enrollable, para evitar grandes acumulaciones. Se producirían ciclos cortos de acumulación de nieve seguidos de una remoción mediante la acción del cepillo lateral aplicado sobre el rodillo, en forma simultánea con el giro rápido de éste, que ayuda a expulsar la fina capa de nieve fuera del toldo (Figura 7).

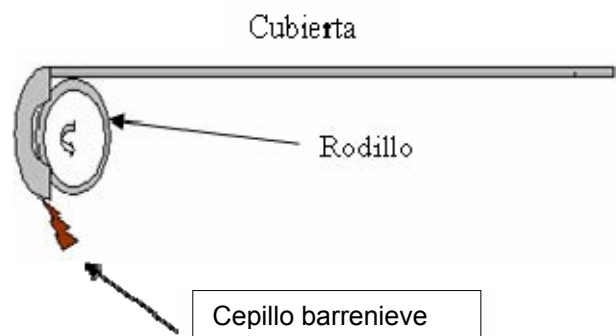


Figura 7. Esquema del cepillo barrenieve aplicado sobre el rodillo mientras el toldo es enrollado.

Notamos aquí que este sistema de toldo innovador propuesto, recientemente patentado por el Conicet y por primera vez expuesto aquí, sería universalmente aplicable a todo techo convencional, logrando que éste obtenga una importantísima ganancia térmica (que por espacio no desarrollamos aquí) sobre el mismo, tanto por eliminar la nieve como por el uso inteligente de los distintos paños, según la condición climática. Por ejemplo, en invierno-día se usaría el paño transparente, que acumula calor sobre el techo (por efecto invernadero), mientras que de noche se colocaría el paño opaco, reflector, que evita la pérdida de calor por irradiación infrarroja hacia el cielo. En forma inversa, el paño opaco en verano-día evita la carga térmica solar, que repercute en el sistema de refrigeración del hábitat, y el de malla abierta (media sombra) permitiría su posterior enfriamiento nocturno.

Nótese que incluso otros diseños solares pasivos probados (como el Skytherm de Hay) se verían fuertemente beneficiados con el uso de estos sistemas de toldo configurable.

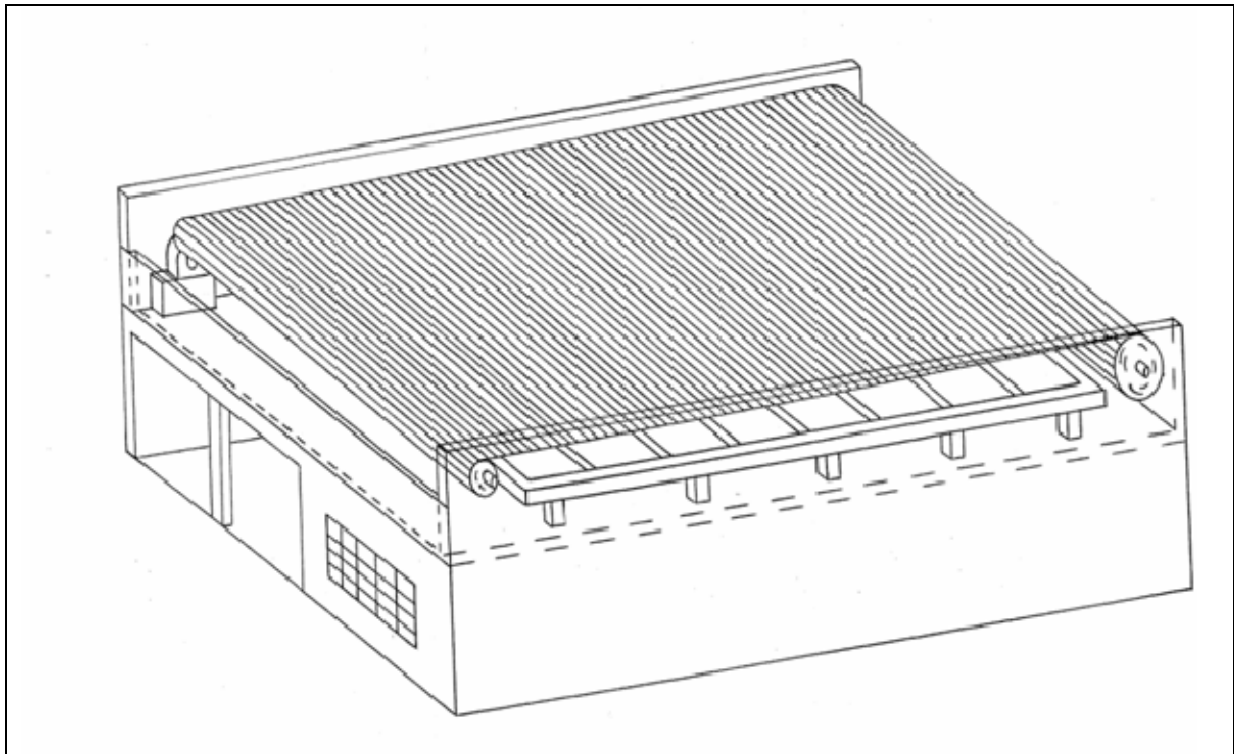


Figura 8. Esquema de toldo desplegado (paño opaco) sobre el techo, y paño transparente enrollado

## CONCLUSIONES

Se presenta aquí un concepto innovativo de techo solar y toldo configurable, ambos adaptables, recientemente creados y reclamados en 3 patentes de invención (Juanicó, 2006b y 2007a,b,c) presentadas por el Conicet. Siendo un concepto original, ciertamente requerirá en el futuro de mayores investigaciones y del concurso de colegas interesados en el mismo, siendo precisamente el promover ésta la motivación de este trabajo. Sin embargo, y utilizando la vasta bibliografía presente como una herramienta que permite extrapolar con un margen de error razonable el desempeño del sistema, sería esperable que satisficiera la demanda de calefacción y refrigeración hogareñas, instalado éste en la mayoría del territorio argentino.

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 último, este diseño se basa en una fuerte innovación: presentar un techo fuertemente adaptable sin partes móviles de mayor complejidad, dado que ha diferencia de sistemas de cámara de agua previos en éste se emplea el mismo fluido acumulador como elemento central de configuración. Por tal, este diseño no requiere contar con una cubierta estructural aislante de movimiento complejo y la cubierta se limita a una simple cortina enrollable.

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. Siguiendo esta misma línea de diseño de viviendas adaptables al entorno, proponemos un innovativo diseño de toldo de diseño mecánico simple. Éste se puede aplicar también en forma casi universal sobre cualquier techo convencional, para transformar a éste en un techo configurable que obtiene una importante ganancia térmica.

## BIBLIOGRAFÍA

Belusko, M., Saman, W. and Bruno, F. 2004. Roof integrated solar heating system with glazed collector. *Solar Energy* 76, 61-69.

- 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.
- Fernández-González, A. 2004. RP\_PERFORMANCE: A DESIGN TOOL TO SIMULATE THE THERMAL PERFORMANCE OF SKYTHERM NORTH ROOFPOND SYSTEMS. In Proceedings of 33<sup>nd</sup> ASES Annual Conference, July 2004, Portland, Oregon, U.S., available from <http://www.asespubs.org/index.asp?PageAction=VIEWPROD&ProdID=125>.
- 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., Yellott, J.I. 1969. International aspects of air conditioning with moveable insulation. *Solar Energy* 1969; 12(4), 427-430.
- 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.
- Juanicó, Luis. 2006a. Diseño innovativo de techo solar adaptable. II Conf. Latinoamericana de Internacional Solar Energy Society. Buenos Aires, octubre 2006.
- Juanicó Luis. 2006b. Techo Solar. Solicitud de patente de invención nacional N°P060104453.
- Juanicó Luis. 2007a. Una cubierta flexible para techo con dispositivo barredor de nieve Solicitud de patente de invención nacional N° P070102515 presentada el 8 de junio de 2007 por Conicet.
- Juanicó Luis. 2007b. Dispositivo con lámina enrollable de propiedades ópticas y térmicas variables. Solicitud de patente de utilidad técnica N° MUT N° 070102516, solíc. por Conicet, 8/06/2007.
- Juanicó, Luis, 2007c. 1. Innovative Solar Roof for domestic heating and cooling. Enviado a *Solar Energy*, febrero 2007, en proceso de publicación, con tres referatos favorables.
- Manz, H., Brunnera, S. and Wullschleger, L. 2006. Triple vacuum glazing: Heat transfer and basic mechanical design constraints. *Solar Energy* 80 (12), 1632-1642
- 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.
- Raeissi, S. y Taheri M. 2000. Skytherm: an approach to year-round thermal energy sufficient houses. *Renewable Energy* 19, 527-543.
- Smeds J. and Wall M.. 2007. Enhanced energy conservation in houses through high performance design. *Energy and Buildings* 39(3), 273-278.
- 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.
- Wall M.. 2006. Energy-efficient terrace houses in Sweden. Simulations and measurements. *Energy and Buildings* 38, 627-634.