

DISEÑO INNOVATIVO DE TECHO SOLAR ECONÓMICO PARA CALEFACCIÓN Y REFRIGERACIÓN DE VIVIENDAS

Luis E. Juanicó – juanico@cab.cnea.gov.ar

Investigador Conicet y Profesor Instituto Balseiro, Centro Atómico Bariloche, Argentina

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 competitivo respecto de un techo convencional de similar (muy buen) desempeño térmico. Para lograr esto se plantearon originales sinergias entre el colector solar y el techo en sí mismo, modificando fuertemente este último, creando un techo fuertemente configurable mediante la redistribución de agua. En este sentido, quizás el aporte más valioso del nuevo diseño sea el proponer un nuevo paradigma respecto del actual paradigma (profundamente arraigado) del techo tradicional, permitiendo explorar nuevas dimensiones alternativas de hábitat adaptables al entorno.

Palabras-clave: Energía Solar, Arquitectura Solar, Calefacción Solar, Enfriamiento Natural

1. INTRODUCCIÓN

Existen numerosos diseños de casas con techos solares técnicamente factibles que han sido desarrollados desde hace cincuenta años pero que requieren de inversiones comparativamente altas, siendo ésta la causa principal de su limitada aplicación práctica al presente (Belusko, 2004). Siguiendo estas motivaciones se han propuesto en los últimos años diversos sistemas solares híbridos con paneles fotovoltaicos (Vokas, 2006) ó termoeléctricos (Maneewan, 2005). Estos esquemas integrados han logrado encontrar algunas modestas sinergias entre ambos conceptos, por ejemplo, aumentando el rendimiento del panel fotovoltaico. Sin embargo, no han logrado reducir apreciablemente la inversión inicial requerida, siendo que no han cuestionado el concepto (fuertemente arraigado) del techo tradicional, limitándose a colocar en todos los casos el colector encima de éste.

Todos los diseños previos de colectores solares integrados al techo han demostrado que, dada la gran superficie cubierta y de irradiación solar típicas, se logra satisfacer la demanda familiar promedio de agua caliente y calefacción durante todo el año, aún en latitudes de 40° (Hassan, 2006). Esto no debería sorprendernos: siendo que un pequeño calefón solar (~ 4m²) puede satisfacer la demanda de agua caliente familiar en amplias zonas del globo terrestre, podemos esperar que desplegando el colector sobre todo el techo, éste provea también la calefacción necesaria.

Por otra parte son conocidas numerosas soluciones de techo con cámara de agua superior para refrigeración del hábitat en zonas áridas (Jiang, 2001; 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 nocturna ambiente.

En el diseño Skytherm de Harold Hay (1969), precursor de los sistemas configurables de techado, se utilizan bolsas de agua desplegadas sobre un techo metálico para proveer a la vivienda de calefacción invernal desde el techo metálico simple (por radiación infrarroja) y de refrigeración estival (por convección natural) adecuadas durante todo el año. Como demostró Hay (1977) en su propia casa en California, esto es factible aún en climas áridos extremos, con la ayuda de una cubierta plegable que brinde buen aislante térmico sobre las bolsas de agua. El diseño Skytherm funciona bajo cuatro configuraciones de uso, combinando las opciones verano/invierno y día/noche. Su principal problema radica en el costo excesivo de la cubierta plegable que debía contener gruesas capas de material aislante para proteger térmicamente la cámara de agua superior durante la noche invernal y la mañana estival.

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 señalados, y otros. Reconociendo elementos comunes con el Skytherm, este diseño prescinde de la necesidad de fuerte aislamiento térmico sobre la cámara de agua; simplificando la cubierta plegable a un simple parasol. Para lograr esta cualidad, en este diseño se propone simplemente desalojar el agua del techo durante las condiciones adversas (noche invernal y día estival), aprovechando la sencillez técnica de esta alternativa. Se estima que un techo construido según este nuevo diseño podría satisfacer la demanda de calefacción y refrigeración de una vivienda familiar en latitudes bajas o medias, conservando un costo equiparable al de un techo convencional de buena calidad térmica. Debido al gran número de opciones disponibles dentro de este concepto, tanto en materiales como en, (como veremos) opciones de diseño (optimizado para climas cálidos, templados o fríos), se considera que este diseño configurable podría ser ampliamente empleado en Latinoamérica. Este diseño ha sido recientemente publicado (Juanicó, 2008).

2 DISCUSIÓN DE DISTINTOS CONCEPTOS DE TECHADO

2.1 El 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 enteras (de longitud a medida) y de perfiles rectangulares o trapezoidales para aumentar su resistencia mecánica. Estos cambios tecnológicos han tenido notable impacto sobre el proceso de techado actual, tanto en labor como en costos, siendo que:

- Se reduce la superficie empleando menores pendientes ($<20^\circ$, antes de 45° para evitar filtraciones de agua).
- Se reduce el tiempo de instalación (menos uniones a sellar, etc.)
- Se utilizan pinturas especiales que aumentan su resistencia a la corrosión.
- Se puede disponer un mayor espaciamiento transversal en la tirantería o incluso omitirla. En algunos sistemas autoportantes, (zip-rip y otros) las uniones longitudinales entre chapas paralelas de perfil en “U” 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 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 dos objetivos principales:

- Proveer un sistema inmóvil (...mientras que el entorno es fuertemente cambiante)
- Proveer un sistema impermeable (no dejar pasar la lluvia)
- Proveer un sistema casi adiabático (no transfiere calor).

El medio convencional empleado para cumplir estos objetivos, obteniendo así un techo fijo 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 (ático) por debajo de la capa estanca exterior. Obtenemos así un techo de buena calidad pero de alto costo, tanto en materiales como en labor.

El reducir las limitaciones antes mencionadas ha sido objeto de estudio 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, a diferencia de los de mayor calidad antes descrita, no alcanzan la categoría de “techos ideales adiabáticos”. El concepto clásico de techo se puede sintetizar entonces como un techo fijo 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 este concepto clásico, nuestro nuevo diseño persigue lograr **el mayor grado de adaptabilidad posible al entorno**, mediante un techo fuertemente configurable. La justificación para este nuevo paradigma en la construcción de casas de bajo consumo energético, se encuentra en la observación de que la Naturaleza vive a través de ciclos (verano/invierno, día/noche), y por lo tanto, ésta impone fuertes ciclos térmicos sobre las viviendas. Como veremos luego, un sistema fuertemente configurable puede proponer nuevas alternativas energéticas que potencien las ventajas de estos ciclos, con un menor costo que simplemente sumando más láminas aislantes.

Nótese que las nuevas técnicas constructivas de cañerías de agua (sin uniones) reducen apreciablemente el tiempo y costo de instalación. Además, los nuevos desarrollos en ventanas de baja transmisividad térmica (triple vidriado con gases de baja conductividad, recubrimientos de baja emisividad, etc.) proveen herramientas para obtener buen aislamiento en sistemas vidriados. Son comunes ventanas triples de coeficiente global U de $0.6\text{W/m}^2\text{K}$, (www.efficientwindows.org) y hasta de $0.2\text{W/m}^2\text{K}$ (Manz, 2006). Es interesante destacar aquí, que si bien todos las tecnologías de ventanas pueden utilizarse aquí, también podemos explorar nuevas alternativas más económicas, tal como ventanas multicapas de Mylar (Tsilingiris, 2003), siendo que no se requiere aquí una buena cualidad óptica. Otras tecnologías aplicables son: 1) cubiertas de baja emisividad y alta reflectividad; 2) materiales plásticos de bajo costo y resistentes a radiación UV utilizados en colectores solares, tal como polietileno, a 5USD/m^2 (Fernández González, 2005). Finalmente, nótese que la transferencia de calor a través de cavidades de aire horizontales (techo) es menor que en las verticales (ventanas), siendo que la convección natural se favorece en este último caso.

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); según una posible forma de realización. Este consta de:

- Una base metálica de perfil rectangular (chapas enteras longitudinales) que da un escalón sobre el que se apoya
- Un techo vidriado doble (conformando así dos cámaras estancas), de las cuales en la inferior se dispone
- Una cámara somera de agua ($\approx 4\text{cm}$) que acumula la energía solar absorbida por el techo metálico (cuya cara exterior es negra, o de alta absorptividad).
- Este inventario de agua ($4.000\text{ litros para un techo de }100\text{m}^2$) 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 convencional de agua caliente y de calefacción (preferentemente por losa radiante o radiadores de agua) de la vivienda, impulsado por medio de una

- Bomba recirculadora standard que también sirve para bombear el inventario de agua hacia el techo. Eventualmente en días nublados en los cuales el calentamiento solar no sea suficiente, este sistema se refuerza con una
- Caldera ubicada antes del punto 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 en serie) coeficientes de conducción global U entre 0,5 y 0,7 W/m²K.

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 70°C u 80°C. La transferencia por radiación se puede minimizar empleando pinturas de baja emisividad (≈ 0.1), al igual que la convección natural por la posición elevada de la fuente caliente.

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 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, el cual brindaría mayores opciones arquitectónicas.

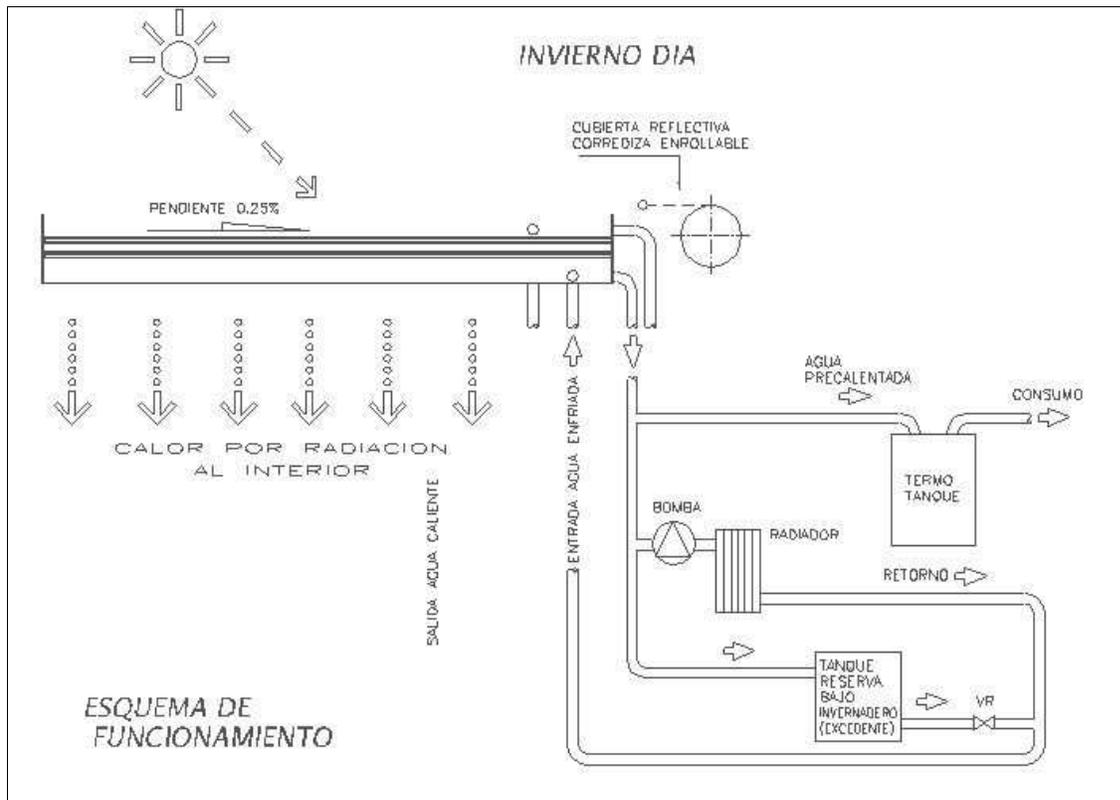


Figura 1. Esquema general del sistema formado por el techo (en configuración invierno-día) y accesorios

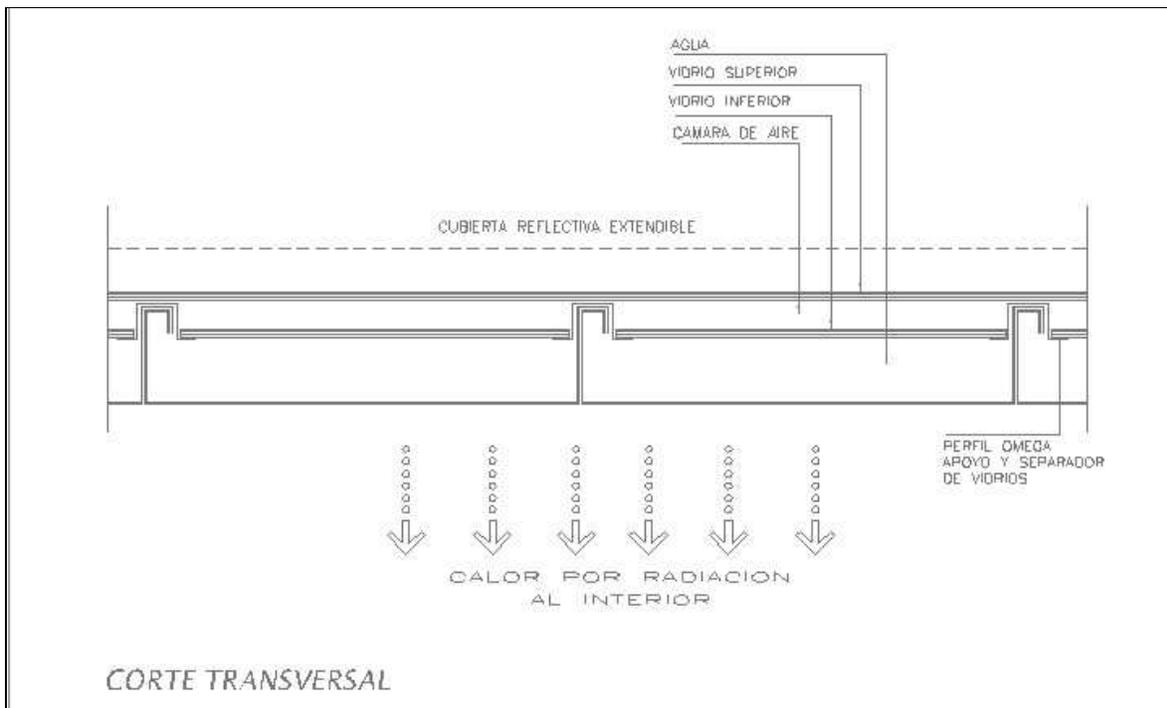


Figura 2. Corte transversal en techo (se observa perfil escalonado de chapa y omega de apoyo a vidrios)

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 3.6 kW/m^2 , el cual es un valor conservativo para la mayoría de la Argentina (Evans, 2004) y pérdidas globales del 50% (media en colectores solares), se alcanzan incrementos de 40°C y temperaturas máximas de 80°C .

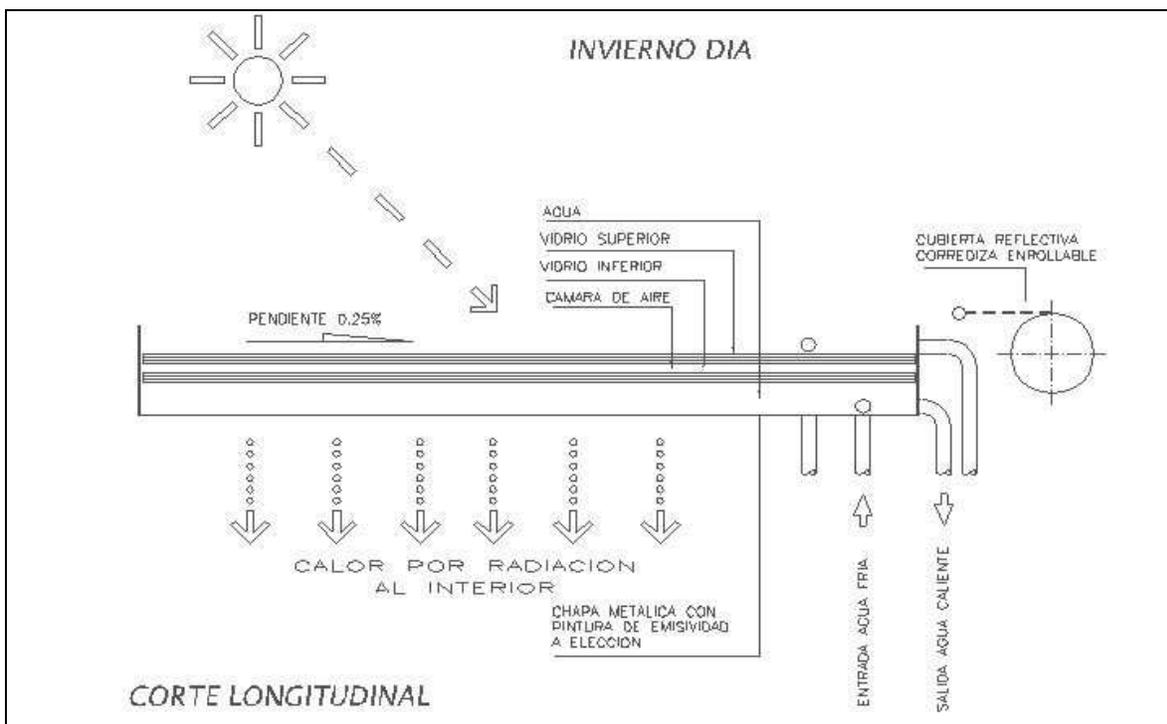


Figura 3. Esquema adoptado en la configuración invierno-día.

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 (figura 4) se genera de este modo una triple cámara estanca de aire (desplegando la cubierta superior) que aísla eficazmente el techo. 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°C). Cálculos detallados que demuestran que es posible obtener por este medio buenas calidades de aislamiento térmico han sido demostrados en un trabajo previo (Juanicó, 2008). En forma cualitativa mencionaremos aquí que podemos comparar esta triple cámara estanca a un sistema de vidrioado cuádruplo, habiendo hoy en el mercado ventanas de vidrio triple de $U = 0.6 \text{W/m}^2\text{K}$ (www.efficientwindows.org) y también con cámaras de vacío que alcanzan valores de $0.2 \text{W/m}^2\text{K}$ (Manz, 2006).

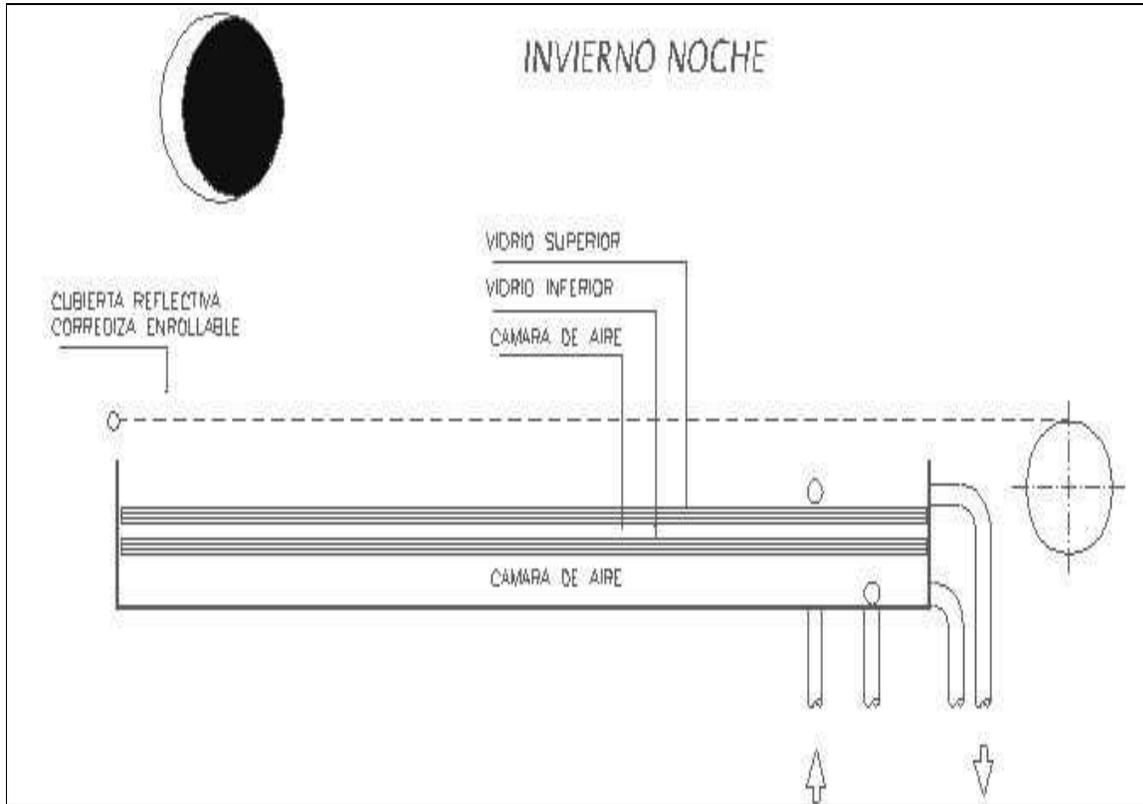


Figura 4. Esquema adoptado (corte longitudinal) en la configuración invierno-noche.

3.3 Verano-Noche

En las noches de verano (ver figura 5) se genera una cámara somera de agua por sobre el vidrio superior y en contacto con el medio exterior, 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 (Jain, 2006).

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 vidrioado del granizo, el cual se observa usualmente bajo estas condiciones.

Una cualidad interesante que provee este sistema de techado, es que permite ser diseñado para optimizar su desempeño en distintos climas. En climas fríos, en que la necesidad de calefacción es muy superior al de refrigeración, se pueden elegir espesores pequeños para todas sus cámaras de aire (~ 1 a 2 cm), de forma de minimizar las pérdidas de calor por convección natural durante las noches invernales, en el cual el techo está más caliente que el medio ambiente. En climas cálidos como suelen encontrarse en vastas zonas de Latinoamérica, por el contrario es conveniente elegir grandes espesores para las cámaras de aire (de 5 a 20 cm), dado que se debe minimizar únicamente las pérdidas por

conducción en el aire, estando la convección anulada por la posición superior de la placa más caliente. Finalmente, una configuración intermedia es factible de utilizar en climas templados, de forma de atender a ambas situaciones. Una forma práctica de lograr esto es elegir espesores pequeños para las cámaras intermedias de aire, y un gran espesor para la cámara superior, formada entre el vidrio superior y el toldo enrollable. Para ello, debe considerarse que el coeficiente global de conducción de calor se puede expresar como: $U = 1/h_1 + 1/h_2 + 1/h_3$, siendo h_i el coeficiente de convección en la cavidad de aire i-sima.

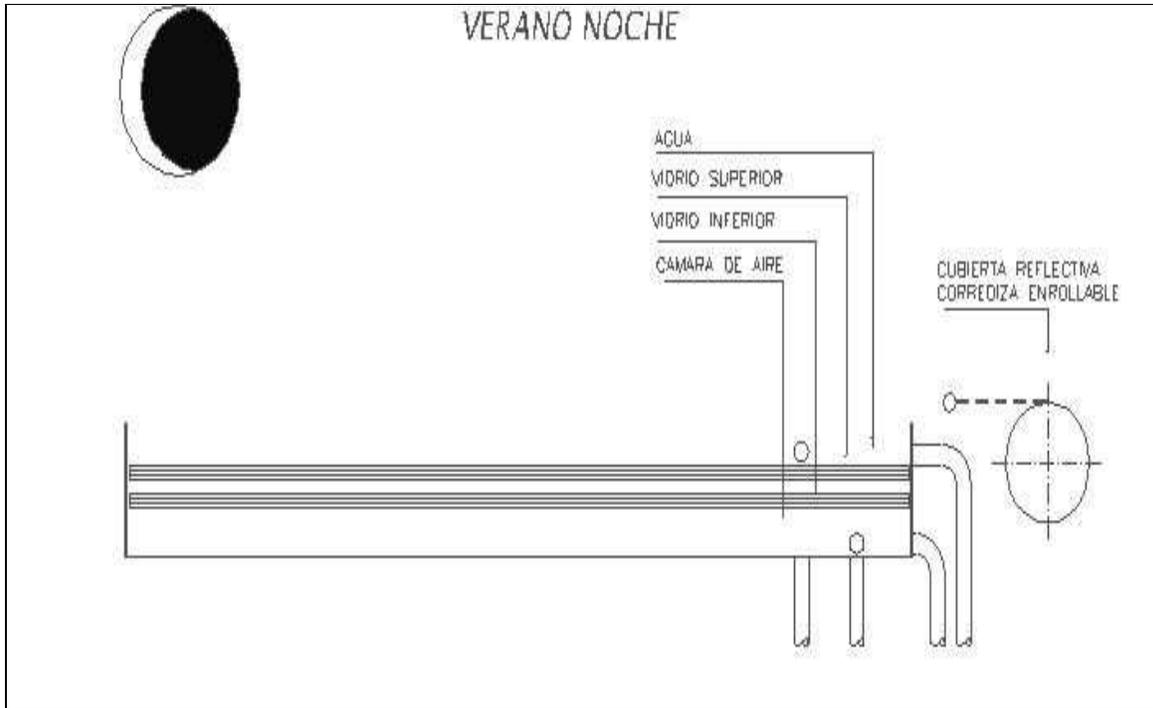


Figura 5. Esquema adoptado (corte longitudinal) en la configuración verano-noche

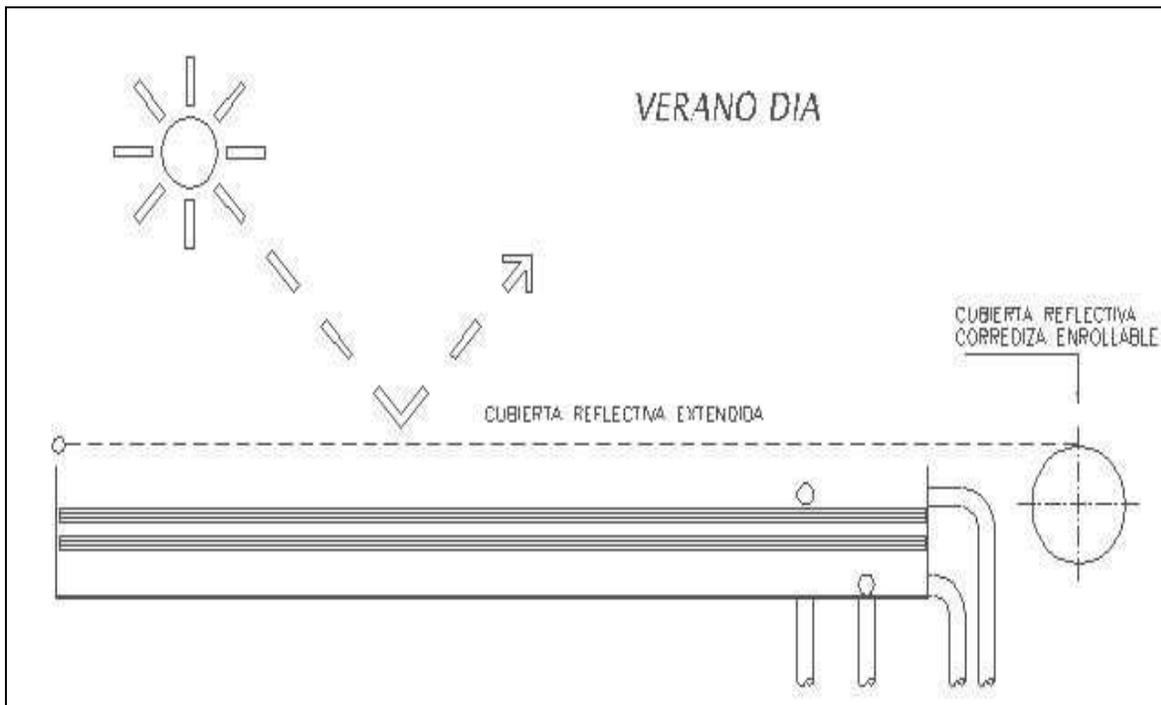
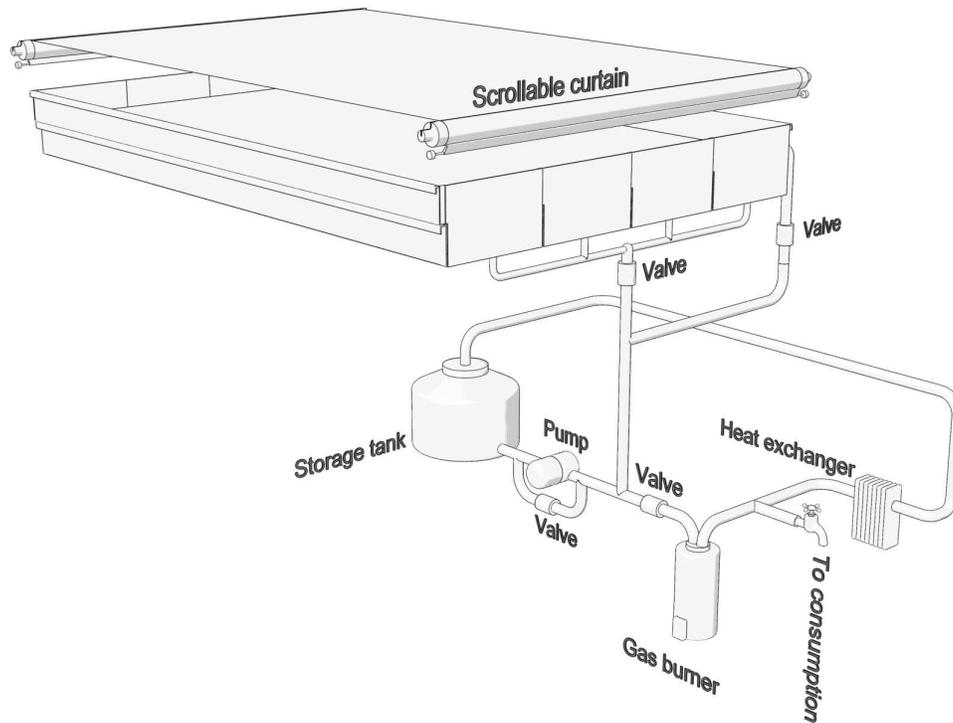


Figura 6. Esquema adoptado en la configuración verano-día.

Figura 7. Vista en perspectiva del sistema completo en una posible realización práctica.



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 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.

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 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^2), ξ 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^2 alcance a cubrir en invierno el 50% de la demanda de calefacción y agua caliente de una familia.

Si despejamos del balance térmico del agua 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/kgK) y ΔT el salto de temperatura en el ciclo diario (mañana/noche), obtendríamos un $\Delta T \approx 80^\circ\text{C}$, 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.).

En el trabajo de Medved (2003) se postula un flujo de irradiación solar ligeramente mayor (165 kWh/m^2) que en el Vokas en latitudes similares, y se predice 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 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 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 $75 \text{ }^\circ\text{C}$ y en verano refrigerarlo a $18 \text{ }^\circ\text{C}$, si la temperatura ambiente baja a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ en la noche, esto dependiendo de la humedad ambiente.

Sirviéndonos de ejemplos de techados reales típicos de Bariloche de buen aislamiento térmico ($U = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$), estimamos costos específico de 100 a 130 USD/m^2 , con gran demanda de mano de obra in situ (3 semanas x 3 obreros). Para el techo propuesto alcanzamos costos totales de 100 a 130 USD/m^2 de área útil (horizontal), requiriendo su construcción la mitad de mano de obra, y obteniendo $U = 0,5 - 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ con la cortina desplegada. No se contabilizan elementos de calefacción standard necesarios (caldera, 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 120 a 150 USD/m^2 de área útil:

- La pendiente "tradicional" del techo (20°) contra la nula propuesta, y el
- El sistema de refrigeración (4 equipos de 1200 frigorías c/u) para verano: $\$6,000$,

Por otra parte, los costos operativos menores es (típica en sistemas solares) la fortaleza del sistema. Se ahorrarían al año en calefacción hasta 150 GJ o $7,000 \text{ m}^3$ de gas natural o su equivalente, unos 6.500 kg de propano (lo cual representa una interesante opción de ahorro para casas fuera de la red). El consumo de electricidad en la bomba para subir el inventario de agua al techo y en el toldo, siendo por otra parte modestos, se pueden considerar inferiores al ahorro proporcionado por la refrigeración pasiva obtenida con este sistema.

6. CONCLUSIONES

Se presenta aquí un nuevo concepto de techo solar adaptable recientemente creado y patentado (Juanicó, 2006). 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 (por ejemplo, realizando simulaciones térmicas de su desempeño). 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. En este sentido es de suma utilidad el importante trabajo de sistematización realizado por otros investigadores (Evans, 2004).

Este diseño de sistema colector solar (a diferencia de anteriores), no tuvo su origen en especialistas empeñados en obtener el "mejor sistema posible"...sino en el más económico factible. Su mérito ha sido justamente darse cuenta (y llamar la atención sobre ello) de que dada la gran superficie de techado disponible, no se requiere diseñar el mejor sistema para obtener rúditos significativos.

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 central en movimiento. Por tal, este diseño 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 se limita a una simple cortina enrollable, sobre la cual también se han realizado propuestas innovativas (Juanicó, 2007), que serán desarrolladas en otro trabajo aquí presentado.

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 ya desarrolladas o en vías de desarrollo por su autor.

REFERENCIAS

- Baer, S. and Mingenbach, W. 2002. Passive heating and cooling system. U.S. patent N° 6,357,512. See also: <http://www.zomeworks.com/tech/doubleplay/index.html>.
- 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
- Fernandez Gonzalez, A. 2005. Economic Analysis of the Cost Effectiveness of Passive Solar Heating Strategies in the Midwest of the U.S. *Proceeding of the 2005 World Solar Congress*, Aug. 6-12, Orlando, Florida.
- Haggard Kenneth et al. 1978. Application of the Skytherm System to a Moderate Density Office Building. *Proceedings of the 2nd Passive Solar Conference, ASES/ISES, Philadelphia, Pennsylvania, U.S.*
- 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. 2006. Techo Solar. Solicitud de patente de invención argentina N°P060104453.
- Juanicó, Luis. 2007. A new design of low-cost configurable awning for thermal gain. *Presentado en ISES World Solar Congress 2007, Beijing, China, setiembre 2007*.
- Juanicó, Luis. 2008. A new design of roof-integrated water solar collector. *Solar Energy Vol.82*, pp.481-492.
- for domestic heating and cooling
- 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.
- Smeds J. and Wall M.. 2007. Enhanced energy conservation in houses through high performance design. *Energy and Buildings* 39(3), 273-278.
- Tsilingiris P. T. 2003. Comparative evaluation of the infrared transmission of polymer films. *Energy Conversion and Management* 44 (18), 2839-2856.
- 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

INNOVATIVE DESIGN OF LOW-COST SOLAR ROOF FOR HOUSEHOLD HEATING AND COOLING

Abstract. *An innovative design of solar roof adaptable to the environment is presented. It could provides the household heating and cooling by an affordable and sustainable manner, since it achieves the same cost than conventional roofs with the same (high) thermal performance. To do that, new synergies between the solar system and the roof itself have been found, building a very-configurable system by using the water redistribution. In this way, it is possible that its main contribution be to provides us a new paradigm for low-energy buildings (changing the deeply-rooted concept of the classic roof), and therefore, opening the door to new dimensions of adaptable buildings more friendly with the environment.*

Key words: Solar Energy, Solar Architecture, Solar Heating, Natural Cooling.