

## DESARROLLO DE TECHOS DE TRANSMITANCIA SOLAR CONFIGURABLE

L. Juanicó<sup>1</sup>, R. Piacentini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Atómico Bariloche – <sup>2</sup> Universidad Nacional de Rosario  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
Tel. 02944-445100 – Fax 02944-445299, e-mail: juanico@cab.cnea.gov.ar

**RESUMEN:** Se presenta el desarrollo experimental y su evaluación térmica modelada para condiciones del desierto patagónico-pampeano, de un original diseño de techo o sobretecho de transmitancia solar configurable. Siendo un sistema de construcción simple y mediante el empleo de materiales convencionales de construcción, podría ser replicado rápidamente sobre cualquier techo sin requerir mano de obra especializada. Aplicado como sobretecho o toldo en viviendas unifamiliares, este sistema configurable podría reducir apreciablemente la necesidad de refrigeración estival y de calefacción invernal. En el modo verano, el toldo (constituido por una placa de policarbonato alveolar transparente) se llena de un líquido opaco o reflectivo, para minimizar la carga térmica solar sobre el techado, mientras que en el modo invernal se vacía del líquido para constituirse entonces en un toldo transparente de gran ganancia solar (por efecto invernadero) y de buena capacidad aislante térmico.

**Palabras clave:** energía solar, arquitectura solar, desarrollo de prototipos.

### INTRODUCCIÓN

Son ampliamente conocidas en la arquitectura solar el uso de técnicas pasivas de calefacción, tales como el muro Trombe (Chel et al., 2008) y la ganancia solar directa en superficies transparentes (Papadopoulus, 2005). Sin embargo, siendo la irradiación solar una fuente altamente variable, esto produce apreciables sobrecalentamientos diurnos (Chen y Liu, 2004). Por otra parte y como Hay demostró hace 40 años con su Skytherm (Hay, 1969 y 1977), un sistema activo y configurable de techado puede obtener un desempeño térmico superior a los sistemas pasivos, al adaptarse a las variaciones climáticas. Extendiendo un toldo sobretecho, el toldo sobretecho móvil del Skytherm evitaba el sobrecalentamiento estival del techo y lo protegía térmicamente durante las noches invernales. Lamentablemente, el superlativo costo de esta cubierta móvil ha limitado la aplicación generalizada de este concepto altamente sustentable (Haggard, 1978). Los seguidores de Hay (Alves, 1978) han tratado de reducir esta debilidad por medio del rediseño mecánico de la cubierta móvil, por ejemplo proponiendo el uso de portones abisagrados de apertura manual, o más recientemente y recurriendo a nuevos plásticos, proponiendo el despliegue de toldos enrollables inflables (Fernández-González, 2005).

Recientemente Juanicó ha propuesto otro diseño de techo solar configurable (2008 y 2010), basado en cámaras de agua removibles, y también un nuevo toldo enrollable de propiedades ópticas configurables (2009). Lamentablemente, su resolución mecánica no ha podido ser resuelta aún con costos accesibles (alrededor de 100 USD/m<sup>2</sup>). Se ha visto por el contrario que para garantizar el adecuado funcionamiento de la cubierta móvil, se requiere diseñar sistemas muy robustos, además de mantenimientos frecuentes y un cuidado de las condiciones exteriores (por ejemplo, que no se le depositen elementos ajenos al mismo) que no se condice con los usos y costumbres de la arquitectura de viviendas. Desde este punto de vista podemos reinterpretar ahora esta máxima muy conocida en la arquitectura bioclimática: “más de la mitad (70% aprox.) de la carga térmica estival sobre una vivienda unifamiliar o de una sola planta, se origina en el techo; si pudiéramos extender una sombrilla quitasol gigante que cubriera el mismo, no se requeriría el uso de aire acondicionado en la mayoría de los climas templados-cálidos” (Jain, 2006). Es claro que esta disposición (por ejemplo instalando un toldo sobre-techo tipo media-sombra) sobradamente probada, se contrapone a la necesidad de aprovechar al máximo la irradiación solar durante la estación invernal, caso en el cual un toldo transparente puede (por efecto invernadero) proteger eficazmente una superficie exterior, como se ha empleado en la construcción de carreteras de cemento en zonas frías (Feng et al., 2006; Wenjie et al., 2006). Por otra parte, y como ha demostrado el Skytherm, el uso de una cubierta térmica móvil permitiría la creación de un techo configurable que utilizara ventajosamente las variaciones estacionarias naturales.

En este trabajo se presenta un diseño nuevo de toldo configurable, creado para ofrecer otra alternativa al problema anterior. El mismo propone solucionar los desafíos mecánicos implícitos de un toldo móvil, eliminando precisamente toda pieza mecánica móvil. En lugar del diseño anterior, este nuevo diseño propone llenar o vaciar una cubierta transparente conveniente con distintos líquidos (opacos, reflectivos o semitraslúcidos), para crear un toldo de propiedades ópticas configurables donde el elemento móvil sea un líquido, y por ende fácilmente desplazable por bombeo o gravedad.

Este nuevo toldo líquido ha sido inspirado específicamente en un diseño de colector solar térmico muy reciente y novedoso. Éste consiste en el uso de un panel de policarbonato alveolar transparente convencional pero pintado de negro en su cara posterior, por dentro de la cual se hace circular agua provista por medio de dos colectores empotrados en sus cabezales

(típicamente caños de 3" de PVC ranurados longitudinalmente y sellados hidráulicamente al panel). De este modo, la placa de policarbonato funciona como placa absorbidora solar, como serpentín de agua eficaz (dada su gran área de contacto con la placa) y como cubierta transparente (en su cara anterior). De este modo, empleando un solo elemento convencional de bajo costo (el policarbonato cuesta 75\$/m<sup>2</sup> en planchas enteras de 5,60m x 2,40m) se consigue prácticamente recrear todo un colector solar. No es de extrañar por lo tanto el gran éxito de este concepto, empleado en colectores recientemente aparecidos en el mercado (Putans et al, 2011) así como en nuevos colectores que emplean planchas de policarbonato como cubierta transparente (ver Skyline).

Una mención aparte, por la gran similitud con nuestro sistema, merece el proyecto (colector solar de bajo costo, o ASBC por sus siglas en portugués) que se viene desarrollando en Brasil desde 1999 con apoyo estatal por la "Sociedade Do Sol" ([www.sociedadodosol.org.br](http://www.sociedadodosol.org.br)), con el objetivo de construir 36 millones de colectores solares domiciliarios en todo el país para calentamiento de agua, basados en un sistema muy sencillo en el cual una placa de policarbonato alveolar se utiliza como placa colectora y como serpentín (pintada de negro y circulando agua por sus canales interiores desde dos tubos de PVC ranurados y pegados a ambos cabezales del panel). Este proyecto cuenta con más de cien miles de colectores instalados, habiendo demostrado la robustez del diseño y habiendo alcanzado el objetivo de bajo costo, con costos actuales de 100 reales por placa colectora de 4m<sup>2</sup>.

La amplia experiencia obtenida en todos estos sistemas nos ha permitido verificar la factibilidad de construir un sistema hermético para líquidos, en base a un panel convencional de policarbonato, la cual por otra parte ha sido objeto de estudio anteriores de investigaciones nacionales (Barral et al, 2001, Tilca et al, 2004).

En este trabajo se presenta el desarrollo experimental inicial del primer prototipo de toldo líquido de ganancia solar configurable, y su modelo térmico, que predice resultados muy buenos tanto para verano (ahorro de energía eléctrica en equipos de aire acondicionado) como en invierno (ahorro de energía asociada a calefacción) en la vivienda. Por permitir un importante ahorro energético con un costo energético de manufactura muy bajo (asociado al bajo costo del panel), este sistema de confort térmico para viviendas es altamente sustentable. Se proyecta la aplicación de este sistema también en otros usos, tales como techo completo en galpones y como toldo protector en paredes de alta insolación en edificios.

## MODELADO TÉRMICO

Utilizando el modelo 0-D (de capacitancias térmicas concentradas, el cual es válido cuando el número de Biot del sólido a resolver sea pequeño (del orden de 0.1 o menor), como sucede en este caso) podemos aproximar el campo de temperaturas en el sólido (techo),  $T(x,y,z,t)$ , por un punto,  $T(t)$ , y plantear su balance de energía en función del tiempo como (Juanicó, 2009):

$$m c (DT/Dt) = A \alpha_s q''_s(t) - A h (T(t) - T_a(t)) - A \varepsilon \sigma (T(t)^4 - T_k^4) \quad (1)$$

donde  $\alpha_s$  y  $\varepsilon$  son la absorptividad solar y la emisividad infrarroja respectivamente,  $\sigma$  es la constante de Steffan-Boltzmann ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ),  $q''_s$  es el flujo de irradiación solar,  $T_k$  es la temperatura equivalente de cielo y  $T_a$  es la temperatura ambiente, expresadas ambas en grados Kelvin.

De la ecuación (1), conociendo los parámetros térmicos y geométricos del techo y las condiciones de contorno a las que se encuentra sujeto (evolución diaria periódica  $q''_s(t)$  y  $T_a(t)$ ), e integrando la derivada temporal a lo largo de un día en forma iterativa empleando un esquema explícito de un paso (Juanicó, 2009) hasta obtener  $T(24h) = T(0)$ , podemos calcular la solución estacionaria periódica o evolución diaria o de la temperatura del techo,  $T(t)$ , con lo cual estaríamos obteniendo la solución asintótica correspondiente a la estación o condición climática considerada.

### Simulación numérica del techo sin toldo

Para el estudio térmico se consideró un techo horizontal de concreto de 100 m<sup>2</sup> y de 10 cm de espesor, utilizando datos publicados de Wallner (2006): densidad = 1.996 Kg/m<sup>3</sup>,  $k = 1,25 \text{ W/m K}$ ,  $c = 780 \text{ J/Kg K}$ ,  $\alpha_s = \varepsilon = 0,96$ . Se modeló la evolución temporal de su temperatura durante el ciclo diario como fue antes descrito, calculando numéricamente la solución del estacionario periódico al que se arriba tanto en verano como invierno, sujeto a sus diferentes condiciones del recurso solar y de temperatura ambiente. El coeficiente  $h$  es una función de muchos parámetros locales, pero para este estudio comparativo de nivel conceptual utilizamos un valor fijo de 3,8 W/m<sup>2</sup> K, característico de una condición sin viento (Incropera et al., 2007).

Se simuló la distribución temporal de la irradiación solar utilizando una función sinusoidal de 12 horas de período (Chen y Liu, 2004), y cuya integral diaria se corresponde con los valores obtenidos según el mapa de irradiación solar nacional (Righini et al, 2005) para una locación de la estepa cercana a Bariloche, siendo éstos de 7,5 kWh/m<sup>2</sup> en enero y de 1,5 kWh/m<sup>2</sup> en julio. Se simuló similarmente asimismo la distribución temporal de la temperatura ambiente,  $T_a(t)$ , en base a valores bibliográficos medios y de amplitudes del verano e invierno en esta región, asimilable también al desierto del oeste pampeano y centro-sur de la provincia de Río Negro (Filippin y Beascochea, 2007). El ciclo de  $T_a$  fue fijado con un valor medio  $T_m = 25\text{C}$  y una amplitud diaria  $\Delta T = 15\text{C}$  en verano y de -10C y 10C respectivamente en invierno, y  $T_k = 270\text{K}$ .

La Figura 1 muestra la evolución diaria tanto en invierno como en verano de la temperatura del techo. En concordancia con datos experimentales reportados (Filippin y Beascochea, 2007) para esta región de gran amplitud térmica y muy fuerte irradiación solar (similares al desierto californiano en el cual Hay estudió su Skytherm), se observa un muy fuerte sobrecalentamiento diurno en verano (suavizado en parte por la masa relativamente elevada masa del techo de concreto), y un importante enfriamiento nocturno en invierno. En ambos casos se impone, desde el punto de vista de la arquitectura

biosostenible, la necesidad de construir techos de excelente calidad (aislante) térmica para mantener el confort térmico en la vivienda, so pena de recurrir a un elevado consumo de combustibles fósiles (para calefacción) en invierno como de electricidad (equipos de frío) en verano. Siguiendo esta figura, la Tabla 1 ilustra el consumo energético diario (debido al techo) necesario para mantener el confort térmico en la vivienda, considerando un techo de excelente calidad (coeficiente global de transmisividad de calor  $U = 0,25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ) y fijando una temperatura en el hábitat constante de  $22^\circ\text{C}$ . Se observa un consumo energético muy importante en ambas condiciones, a pesar de la calidad casi extrema del techo.

Este resultado nos permite reflexionar acerca de las limitaciones del diseño histórico de las viviendas desde el punto de vista de la arquitectura sostenible, siendo éste eminentemente pasivo. Este aspecto ampliamente conocido, demostrado por oposición en los diseños activos de techos configurables tales como el Skytherm y otros, sin embargo se ha mantenido casi inalterable en el tiempo, debido en parte a las dificultades del diseño mecánico de grandes superficies móviles expuestas.

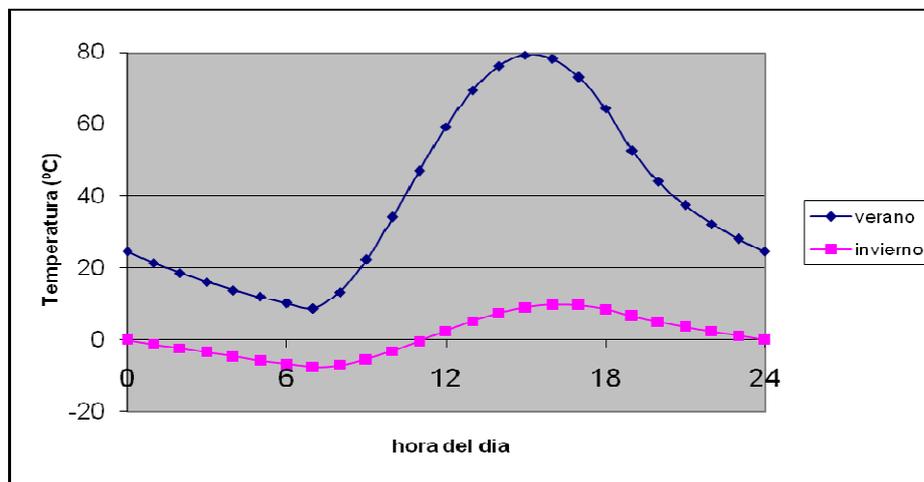


Figura 1. Simulación del techo (sin toldo) en verano e invierno.

	Verano	Invierno
Demanda térmica diaria (kWh)	11.8	13.2
$T_{\text{máxima}} / T_{\text{mínima}} (^\circ\text{C})$	79 / 9	10 / -7

Tabla 1. Demandas energéticas en vivienda originada por el techo sin toldo.

#### Simulación numérica del techo con toldo

Sumando el toldo de policarbonato al techo anterior obtenemos un nuevo techado, de propiedades ópticas e infrarrojas configurables (mantendremos la masa y propiedades másicas del techo anterior, despreciando la contribución del toldo). Para el caso del verano, utilizando un líquido opaco y/o reflectivo, asumiremos un bloqueo del 90% en la radiación solar incidente. En la condición invierno el efecto invernadero obtenido por la cubierta transparente será simulada asumiendo un 80% de transmisividad solar, y un menor coeficiente de convección equivalente sobre el techo de cemento,  $h = 0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ , derivado de considerar en serie con éste la resistencia térmica inherente al policarbonato alveolar ( $U = 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

La evolución temporal del techo con toldo fue simulada para las dos condiciones en la Figura 2, y los datos correspondientes de carga térmica en la Tabla 2. Como se observa aquí, la adición del nuevo sistema reduce significativamente la carga térmica impuesta en verano sobre el sistema de refrigeración (60%) y en invierno sobre el sistema de calefacción (80%).

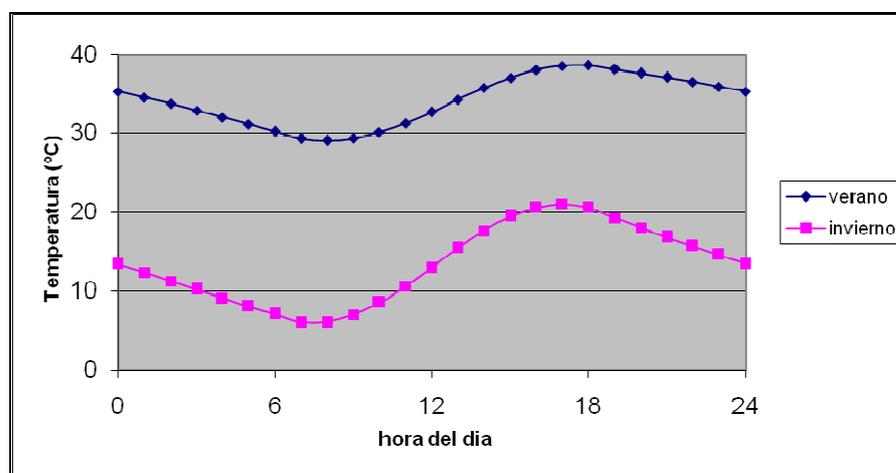


Figura 2. Simulación techo (con toldo) en verano e invierno.

	Verano	Invierno
Demanda térmica diaria (kWh)	4.3	2.5
$T_{\text{máxima}} / T_{\text{mínima}}$ (C)	34 / 21	27 / 1

Tabla 2. Demandas energéticas en vivienda originada por el techo con toldo.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

Construimos un primer prototipo de pequeña escala (1m x 1m) con el cual demostramos en primer lugar la factibilidad técnica del concepto del toldo líquido. Como ya hemos señalado, la construcción masivamente probada de colectores solar que emplean cubiertas de policarbonato alveolar nos eximía en verdad de este punto, pero orientamos nuestro estudio a proveer una solución mecánicamente más simple para el sellado de ambos cabezales, en los cuales el panel se conecta hidráulicamente con el tanque acumulador. En efecto, la solución original del colector brasileño exige un trabajo de precisión sobre los tubos colectores de PVC, pudiéndose hasta cierto punto salvar las tolerancias de construcción mediante el uso de algún sellador siliconado común de fontanería. Pero a diferencia del colector solar, en el cual se establece un flujo continuo de agua por convección natural, el cual impone que el conexionado sea de baja pérdida de carga, en nuestro caso y como primera propuesta, el movimiento del líquido se puede reducir a dos veces al año (al comienzo de la estación calurosa se llena el toldo del líquido opaco/reflectivo y al comienzo de la estación fría se vacía), sin limitación de caudal alguno. Es por ello que utilizamos un “tapón hermético ciego” para sellar ambos cabezales del panel, pudiéndose para este fin utilizar los tapones plásticos convencionales (fabricados por matricería y por ende de muy buena tolerancia) que provee el fabricante del panel de policarbonato, generalmente usados para evitar el ingreso de polvo. Comunicamos hidráulicamente los múltiples canales paralelos que forman el panel, perforando lateralmente el mismo los tabiques separadores por medio de varias perforaciones de pequeño diámetro, realizadas desde ambos cabezales unos 2 o 3 cm adentro, siendo esta zona fácilmente accesible antes de sellar los cabezales con los tapones ciegos. Conectamos luego (por medio de una manguera fina flexible, tipo catéter) el extremo lateral inferior (donde colocamos un acople de unión) al tanque conteniendo el volumen aforado de líquido opaco, y conectamos el extremo superior a una pequeña manguera de purga. Esta es la configuración de uso más simple posible, en la cual el toldo se diseña para ser utilizado sobre un techo inclinado (lo cual define cual es el extremo inferior y el superior antes mencionados), conectado a un simple tanqucito reservorio del líquido opaco, como ilustra la Figura 3 donde se aprecia el prototipo real. Según este esquema, basta con subir el tanque a la cumbrera del techo en el comienzo del verano, para que el líquido inunde el toldo y lo transforme en opaco, mientras que al comienzo del invierno alcanza con bajar al tanque a la solera del techo para que por gravedad decante, obteniendo un sobre techo transparente.



Figura 3. Dr. R. Piacentini (izquierda) y Téc. W. Giménez, constructores del prototipo (centro).

También es posible estudiar el uso de sistemas automáticos de recirculación y bombeo del líquido que eviten la necesidad de maniobrar sobre el techo, aunque sea sólo dos veces al año, como ilustra la Figura 4. Esta alternativa puede ser útil sobre todo casos en el cual el policarbonato forma el techado en sí mismo (no como sobre techo), por ejemplo en galpones o fábricas. Se podría así regular el pasaje de luz natural, por medio de activar distintos líquidos. En particular hemos experimentado con el uso de soluciones de sulfato de cobre, de característico color verde azulado, la cuales nos han permitido obtener un grado de transmisividad del orden del 50%, pero sobre todo un efecto de difusión de la luz muy interesante, ya que reduce notablemente el rayo de luz directo, que puede provocar incomodidad sobre los usuarios.

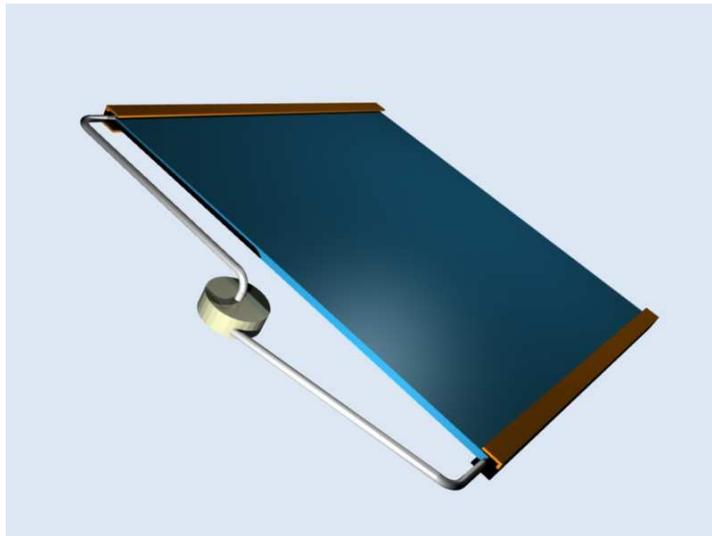


Figura 4. Esquema conceptual del toldo con líquido opaco y con bomba recirculante.  
Mediciones experimentales

Una vez construido el prototipo, se procedió a medir su transmisividad ante la irradiación solar (en espectro total y en el ultravioleta). Las mediciones fueron realizadas en el laboratorio del Dr. Piacentini, en la Universidad Nacional de Rosario, e involucraron la medición del panel limpio (sin líquido), empleando una solución de cal al agua y también con una tinta negra diluida. Los resultados obtenidos se muestran en las Tabla 4 a 6, donde se aprecia que cumplen (o exceden) los niveles prefijados en el estudio térmico anterior.

Hora:	Temperatura	Humedad	Preción(Bar)	Solar	UV Index	Trans TOTAL	Trans UV
13:42							
sin panel	28,4	36%	1004,7	930	8,6		
panel vacío	28,4	36%	1004,7	895	0,7	95,8%	8,2%
panel vacío	28,4	36%	1004,7	895	0,6	95,8%	7,0%
panel vacío	28,4	37%	1004,7	721	0,6	77,2%	7,0%
panel vacío	28,4	37%	1004,7	721	0,6	77,2%	7,0%
sin panel	28,4	38%	1004,5	939	8,5	<b>86,5%</b>	<b>7,3%</b>

Tabla 4. Mediciones del toldo vacío

14:29	Temperatura	Humedad	Preción(Bar)	Solar	UV Index	Trans TOTAL	Trans UV
sin panel	28,5	38%	1004	877	7,2		
color blanco	28,2	41%	1004	244	0	28,0%	0,0%
color blanco	28,2	40%	1004	237	0	27,2%	0,0%
color blanco	28,2	38%	1004	234	0	26,9%	0,0%
color blanco	28,3	39%	1004	230	0	26,4%	0,0%
sin panel	28,2	39%	1004	863	7,1		
						<b>27,2%</b>	<b>0,0%</b>

Tabla 5. Mediciones del toldo relleno con cal al agua

14:41	Temperatura	Humedad	Preción(Bar)	Solar	UV Index	Trans TOTAL	Trans UV
sin panel	27,8	39	1004	853	6,9		
color negro	27,8	38	1004	49	0	5,8%	0,0%
color negro	27,8	38	1004	53	0	6,3%	0,0%
color negro	27,7	39	1004	53	0	6,3%	0,0%
color negro	27,8	38	1004	54	0	6,4%	0,0%
sin panel	27,7	41	1004	838	6,6		
						<b>6,2%</b>	<b>0,0%</b>

Tabla 6. Mediciones del toldo relleno con tinta negra diluida.

## ESTUDIO INICIAL DE COSTOS

Considerando el costo del panel de policarbonato en una plancha completa (75 \$/m<sup>2</sup>), y sin considerar el costo de la mano de obra, podemos estimar el costo total (sumando los tapones en ambos cabezales) en 100 \$/m<sup>2</sup> o de \$10,000 para una vivienda de 100m<sup>2</sup> como la estudiada. Considerando que el costo de un techo convencional de calidad media a alta oscila entre 400 a 500 \$/m<sup>2</sup>, la inversión extra ascendería en 20 a 25%. Esta inversión se recuperaría luego a través del ahorro de calefacción y

de electricidad estival. Respecto de este último punto, cabe destacar que la eliminación de los equipos de aire acondicionado a instalar en la vivienda, permitiría ahorrar más del 50% de la inversión aquí requerida.

Como una alternativa al período variable de recupero de la inversión (fuertemente dependiente del costo de los combustibles asequibles en cada caso), considerando la mejora en calidad de aislación térmica que permite obtener este sistema, podríamos optar en un techo nuevo por construirlo con menores capas aislantes, y recuperar así fácilmente la inversión del toldo.

Por último y saliendo del foco puntual del análisis, queremos destacar que la difusión del sistema en climas cálidos en las urbes donde se concentra la mayor población nacional (Rosario, Córdoba y Buenos Aires), permitiría reducir apreciablemente los actuales problemas de provisión del fluido eléctrico en el pico de consumo del Sistema Interconectado, provocado por la instalación masiva de aires acondicionados. Este aspecto no ha sido contemplado en este estudio inicial de costos, pero seguramente podría impactar muy favorablemente en ésta y muchas otras soluciones sustentables que han sido propuestas por otros colegas en el pasado, de ser seriamente consideradas.

## CONCLUSIONES

Se presenta un diseño innovativo de un sistema de toldo o techo de transmitancia solar configurable, junto con su inicial desarrollo experimental y modelado térmico. Su principal fortaleza radica en la utilización de elementos comerciales y de arquitectura convencional, ya empleados con éxito en otros sistemas solares, para conformar un nuevo sistema que podría ser replicado rápida y universalmente por los propios usuarios.

Siendo un sistema novel y de desarrollo incipiente, el mismo requerirá ciertamente de futuros estudios de mayor profundidad para completar una evaluación acerca de sus reales posibilidades de implementación práctica. Es necesario en futuras etapas, por ejemplo, profundizar la investigación acerca de su comportamiento térmico, técnico y económico, siendo el objetivo de esta presentación el darlo a conocer a todos los colegas interesados en participar del mismo. Siguiendo esta misma filosofía es que se incluyen aquí consideraciones generales acerca de la potencialidad del uso de la cubierta configurable como techado de galpones. Esta alternativa muestra otra dimensión de posible utilización del sistema.

Este toldo podría permitir transformar cualquier techado convencional en otro configurable, que permitiría reducir apreciablemente el consumo energético para climatización de viviendas debidas al techo, tanto en verano como invierno, empleando para ello un medio sustentable. En este sentido, este diseño revitaliza una línea muy conocida pero marginal, iniciada con el Skytherm de Hay. Un estudio interesante a futuro en este sentido, podría ser el considerar el montar este toldo líquido sobre un techo Skytherm.

## REFERENCIAS

- Chel, A., Nayak, J., y Kaushik, G. Energy conservation in honey storage building using Trombe wall. *Energy and Buildings* 40 (9) (2008) 1643–1650.
- Chen, W. y Liu, W. Numerical and experimental analysis of convection heat transfer in passive solar heating room with greenhouse and heat storage, *Solar Energy* 76 (2004) 623–633.
- H. Hay, J. Yellott, International aspects of air conditioning with moveable insulation, *Solar Energy* 12 (4) (1969) 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.
- Haggard Kenneth et al., 1978. Application of the Skytherm system to a moderate density office building. In: Proceedings of the Second Passive Solar Conference, ASES/ISES, Philadelphia, PA, USA.
- Fernández-González, A. Economic analysis of the cost effectiveness of passive solar heating strategies in the Midwest of the U.S. En: Proceeding del 2005 World Solar Congress, Orlando, Florida, 2005.
- Juanicó, L. A new design of roof-integrated water solar collector for domestic heating and cooling, *Solar Energy* 82 (6) (2008) 481–492.
- Juanicó, L. New Design of Solar Roof for Household Heating and Cooling. *Int. Journal of Hydrogen Energy*, vol. 35 (11), 5823-5826, 2010.
- Juanicó, L. A new design of configurable solar awning for managing cooling and heating loads. *Energy and Buildings*, vol. 41(12), 1381-1385, 2009.
- Jain Dilip. Modeling of solar passive techniques for roof cooling in arid regions. *Building and Environm.* 41, 2006, 277–287.
- Wallner, G., Hausner, Hegedys, Schobermayr y Lang. Application demonstration and performance of a cellulose triacetate polymer film based transparent insulation wall heating system, *Solar Energy* 80 (2006) 1410–1416.
- Righini, R., Grossi Gallegos, H. y Raichijk, C. Approach to drawing new global solar irradiation contour maps for Argentina. *Renewable Energy*, vol. 30, pp.1241-1255, 2005.
- Filippin, C. y Beascochea, A. Performance assessment of low-energy buildings in central Argentina, *Energy and Buildings* 39 (5), 546–557, 2007.
- Incropera, F., DeWitt, D., Bergman, T. y Lavine, A. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th ed., John Wiley & Sons, New York, 2007.
- Feng, W., Ma, Li y Zhang, L. Application investigation of awning to roadway engineering on the Qinghai-Tibet Plateau cold regions science and technology, *Renewable Energy* 45 (2006) 51–58.
- Wenjie, F., Wei, Dongqing, L. y Luxin, Z. Application investigation of awning to roadway engineering on the Qinghai-Tibet Plateau, *Cold Regions Science and Technology* 45 (2006) 51–68.
- Papadopoulos A. M. 2005. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, vol. 37 (1), 77-86.

Barral J., Morichetti G., Galimberti P., Fasulo A. Evaluación de la energía solar absorbida por un colector acumulador integrado monotanque con cubiertas de policarbonato alveolar. *Avances en Energías Renovables* vol. 5, 2001, 3.21.

Tilca F. y Cadena C. Degradación acelerada en cámara de radiación uv-c, de policarbonato alveolar utilizado en equipos solares y en la construcción. *Avances en Energías Renovables* vol. 8, N°2, 2004, pp. 91-96.

Putans, H., Zagorska, V., Ziemelis I., Jesko, Z. Research on solar energy collector with cell polycarbonate absorber. *Proceedings of the 8<sup>th</sup> Int. Sc. and Practical Conf.*, 2011, vol.1, ISBN 978-9984-44-070-5. Disponible en: [http://zdb.ru.lv/conferences/4/VTR8\\_I\\_213.pdf](http://zdb.ru.lv/conferences/4/VTR8_I_213.pdf).

Skyline. Diseño patentado en U.S. por la empresa SolarRoofs ([www.solarroofs.com](http://www.solarroofs.com)).

#### **ABSTRACT**

The thermal modeling, developing of first prototype and experimental characterization of an innovative awning with configurable solar gain is presented. Being this an easy-made awning by means of standard building materials, this system could be universally mounted onto every roof by end-users. This configurable awning could avoid the requirement of air conditioning cooling system during summers, and reduce noticeably the space heating systems during winters. During summers, the awning (based in an alveolar polycarbonate sheet) mounted over roof is filled with an opaque & reflective liquid in order to blockage solar irradiation, and so, minimizing the heat load. During winters the liquid is drained, and the awning becomes a transparent greenhouse heating the roof, and providing additional thermal insulation too. The feasibility of this innovative concept for sustainable architecture was tested, and its economical impact was surveyed.

**Keywords:** solar energy, solar architecture, prototype development.