

VENTANAS CON CÁMARA DE AGUA CIRCULANTE EN EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO

Luis J. Claros-Marfil

Belén Pérez-Pujazón

Graciela Ovando

Benito Lauret

Dpto. Construcción y Tecnología Arquitectónicas

E.T.S. Arquitectura. UPM.

J. Francisco Padial

Dpto. Matemática aplicada a la Edificación, al Medio ambiente y al Urbanismo

E.T.S. Arquitectura. UPM.

Resumen

Según la normativa Europea relacionada con la eficiencia energética en edificios, a partir del año 2020 todos los edificios de nueva planta deberán considerarse como Edificios de consumo energético casi nulo o Near zero energy buildings (nZEB). Aunque aún no existe una definición exacta de los requisitos que tendrán que cumplir este tipo de edificios, resulta evidente que deberán tener una demanda energética reducida. Dado que las ventanas pueden llegar a ser responsables de aproximadamente el 30% del consumo energético destinado a acondicionar térmicamente un edificio, constituyen uno de los elementos cuya eficiencia debe mejorarse para lograr este tipo de edificios. Frente a este panorama, las ventanas con cámara de agua circulante constituyen un tipo de ventana dinámica poco conocido, pero cuya contribución a los edificios de consumo de energía casi nulo tanto nuevos como rehabilitados, puede ser muy interesante en climas cálidos como los del sur de Europa.

Abstract

According to EU energy efficiency regulations in buildings, from 2020 on every new building must be a Near Zero Energy Building (nZEB). At this moment there is no exact definition of the requirements for this kind of buildings, however becomes evident that they will have a reduced energy demand. Since windows may be responsible of about 30% of energy consumption related with the achievement of thermal comfort in a building, they are a key element which needs to be improved. Facing this scenario, water-flow windows are a type of dynamic window not widely known but with an interesting role in the energy savings contribution to achieve Near Zero Energy Buildings, especially in southern European climates.

Palabras clave: *ventanas con cámara de agua; vidrios dinámicos; edificios de consumo casi nulo; eficiencia energética en vidrios*

Área temática: *Diseño sostenible de los edificios.*

1. Introducción

Aunque el término Edificio de consumo de energía casi nulo o *Near zero energy building* (nZEB) que introduce la Directiva Europea 2010/31/UE (EPBD UE, 2010) no está totalmente definido, existen pocas dudas acerca de que estos edificios implicarán una demanda energética muy reducida, y de que el aporte energético requerido deberá proceder fundamentalmente de fuentes renovables (Marszal et al., 2011). Por tanto idealmente, un edificio en correspondencia a esta definición ha de aprovechar las técnicas de la construcción solar pasiva, captar el calor solar en invierno y reflejarlo en verano, además de incluir tecnologías solares activas.

Asimismo, habrán de disponer de un acristalamiento óptimo, ya que las pérdidas de calor en invierno y las ganancias de calor no deseado en verano, son cuestiones inherentes a las superficies transparentes y pueden llegar a ser responsables de hasta un 30% del consumo destinado al acondicionamiento térmico de los edificios (Arasteh et al., 2006). Un acristalamiento óptimo en un edificio de bajo consumo energético posibilita un alto nivel de transmisión de la radiación solar en invierno, reduciendo el consumo de calefacción, mientras que durante los meses de verano, su nivel de transmisión de calor debe ser mínimo para evitar el sobrecalentamiento interior y reducir el consumo de aire acondicionado.

En este contexto, varios autores (Chow et al. 2011, Giménez, 2011, Gil-López et al., 2013 y Claros et al. 2013) han indicado que los acristalamientos activos con agua en circulación pueden contribuir a esta reducción de la demanda de calefacción en invierno y de refrigeración en verano, pudiendo formar parte de estrategias de rehabilitación en el caso de los edificios ya construidos, cuando la existencia de grandes superficies acristaladas generen elevadas ganancias solares.

2. Ventanas con cámara de agua circulante y su contribución energética

2.1 Estado del arte

La idea de emplear ventanas en las que se introduce agua en una cámara existente entre los vidrios no es nueva. En 1982, el investigador norteamericano R. Seeman patenta el sistema *All season window* (Seeman, 1982) y propone un innovador acristalamiento activo (Figura. 1), apto para todas las estaciones del año. Este acristalamiento está formado por tres paneles de vidrio (números 16, 18 y 20 en la Figura. 1) que dan lugar a dos cámaras (números 36 y 38 en la Figura. 1), donde el panel central (número 18 en la Figura. 1) debe tener buena capacidad para absorber radiación solar. El sistema incorpora líquido en una de las dos cámaras, en función de la estación del año. Así, en verano el agua llena la cámara externa (número 38 en la figura Figura. 1) favoreciendo la salida del calor almacenado en el panel central, mientras que en invierno la cámara llena es la interior de manera que se favorece la transmisión del calor hacia el interior de la estancia actuando la cámara exterior como elemento aislante.

En 1985, el ingeniero británico F.B. McKee patenta un sistema denominado *Windows* (McKee, 1985) para mejorar el rendimiento térmico de los edificios con grandes superficies de vidrio expuestas a la radiación solar (Figura. 2). El sistema consistía en una ventana (número 5 en la Figura. 2) que se añadía a una ya existente (número 2 en la Figura. 2) dando lugar a una cámara. Este tipo de ventanas se integran en un circuito primario, que a su vez asiste a un circuito secundario en cada nivel de fachada, lo que permite los oportunos intercambios térmicos. En cada una de ellas el agua es alimentada a la cámara mediante la parte exterior del marco (número 4 en la Figura. 2) a través de las conducciones de entrada (número 6 en la Figura. 2) y salida (número 7 en la Figura. 2).

Figura. 1 Ventana propuesta por Seeman.
 Fuente: Patente Seeman.

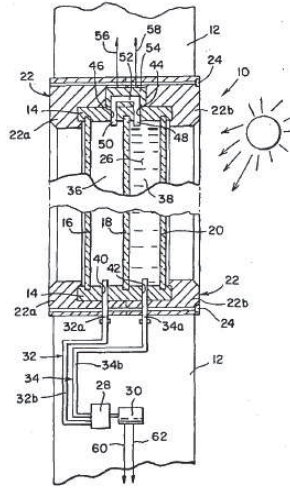
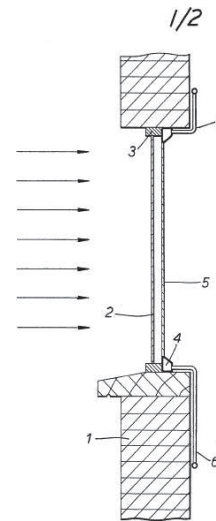
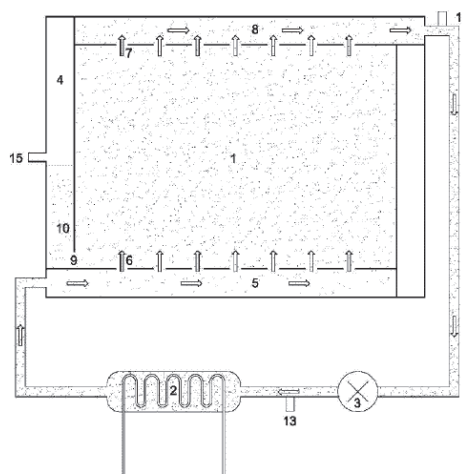


Figura. 2 Ventana patentada por McKee.
 Fuente: Patente McKee.



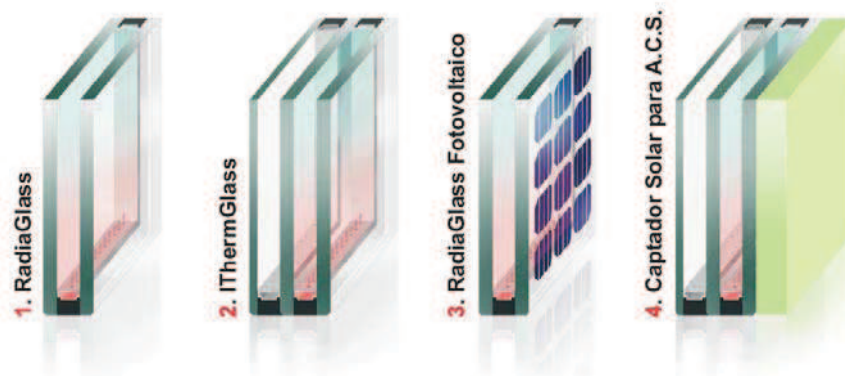
Por otro lado, en 2007, se crea la empresa Intelliglass, con el fin de explotar la tecnología de los acristalamientos activos (Intelliglass, 2013). Más tarde, en 2008, los miembros de esta empresa patentaron un cerramiento transparente con circulación de agua bajo la denominación "Cerramientos activos transparentes o translúcidos, con capacidad de gestión de la energía" (Hernández et al., 2008). La principal novedad que aporta esta patente, es el empleo de un sistema destinado a reducir la presión hidrostática de la ventana (Figura. 3) a la que se ven sometidos los paneles de vidrio que componen el cerramiento (número 1 en la Figura. 3). Dicho sistema se basa en variar de forma controlada la altura de líquido (número 10 en la Figura. 3) mediante aire a presión introducido por un orificio (número 15 en la Figura. 3).

Figura. 3 Ventana con sistema de reducción de presión hidrostática.
 Fuente: Patente Hernández.



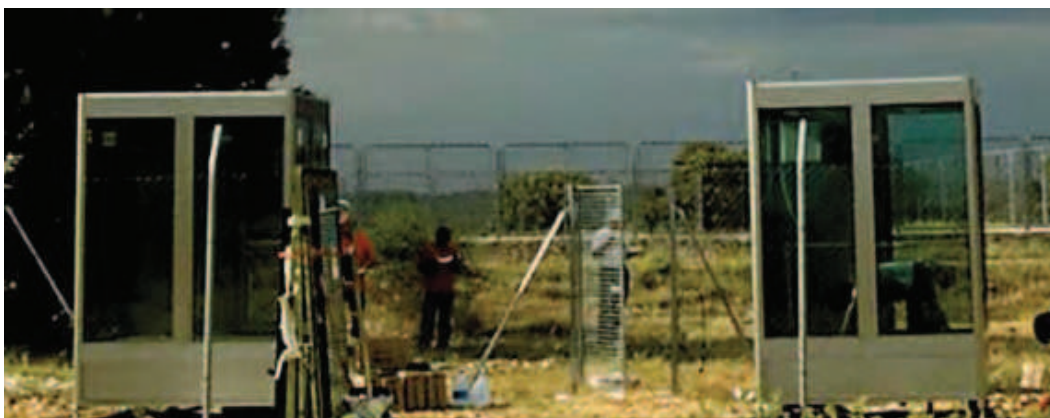
Actualmente la empresa Intelliglass comercializa diferentes sistemas de acristalamientos con cámara de agua circulante (Figura. 4). Así, el denominado Radiaglass consta de una cámara por la que circula agua captando parte de la radiación solar incidente, existiendo una variante que incluye células fotovoltaicas. Por su parte la variante IThermGlass consta además de la cámara de agua, de una cámara de aire adosada. Si se añade un panel aislante al otro lado de la cámara de agua circulante, puede utilizarse como un captador de ACS.

Figura. 4 Productos de la empresa Intelliglass.
Fuente: Página Web Intelliglass.



Un ejemplo del empleo de esta tecnología lo constituye la estación energética experimental construida en Peralverche (Guadalajara) por parte de Intelliglass. Dicha estación está constituida por las dos cabinas experimentales mostradas en la Figura. 5. La primera de ellas está equipada con un acristalamiento doble convencional, mientras que la segunda está dotada con el sistema de acristalamiento con agua circulante conectado a un sistema de intercambio de calor por geotermia.

Figura. 5 Cabinas experimentales en Peralverche.
Fuente: Página Web Intelliglass.

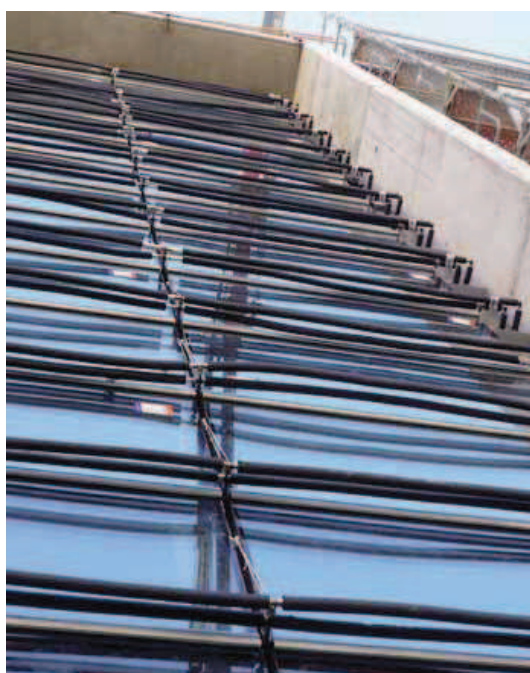


Como ejemplo arquitectónico a una escala de edificio real puede citarse el muro cortina activo acristalado con cámara de agua del aula polivalente de la Facultad de Periodismo de la Universidad de Castilla La Mancha, construido en Cuenca en el año 2010 (Figura. 6, Figura. 7 y Figura. 8).

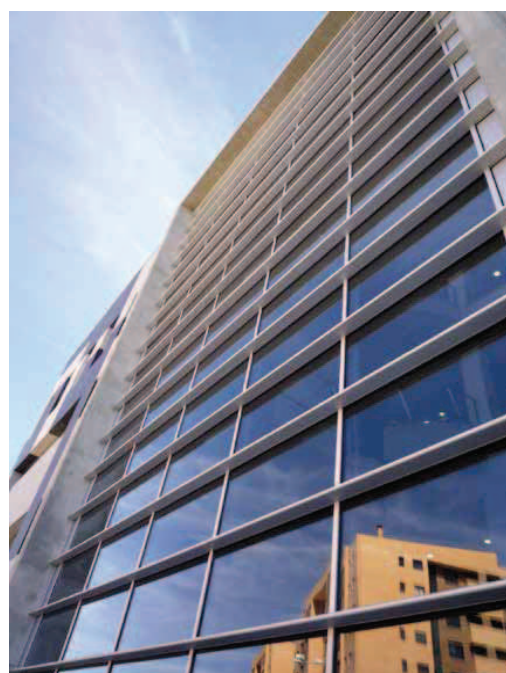
**Figura. 6 Fachada del edificio polivalente de la UCLM en Cuenca.
Fuente: Página Web Intelliglass.**



**Figura. 7 Vista de los tubos distribuidores.
Fuente: Página Web Intelliglass.**



**Figura. 8 Vista final exterior de la fachada.
Fuente: Página Web Intelliglass.**

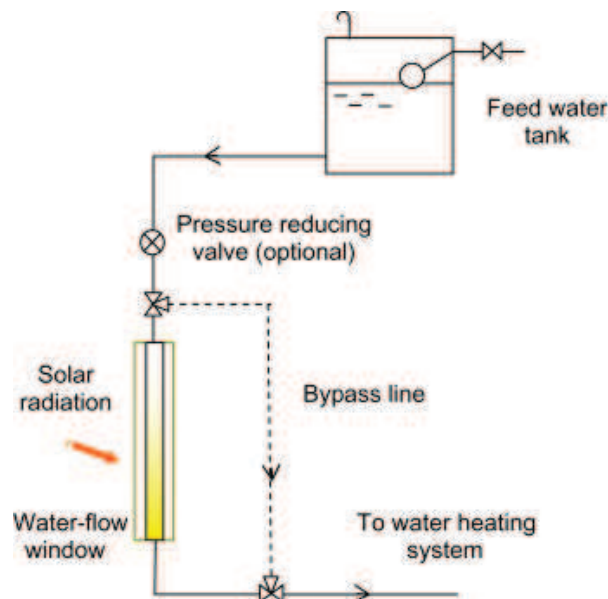


En el año 2009, la Unidad de Investigación en Energía aplicada a la Edificación y el Medioambiente de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Hong Kong (*Department of Civil and Architectural Engineering, City University of Hong Kong*) inicia una investigación dirigida por T.T. Chow sobre ventanas solares y su aplicación en climas con alta demanda de refrigeración (Chow et al., 2009). El estudio analiza la gestión energética del sistema de acristalamiento activo con fluidos en la cámara. Los resultados indican que este tipo de ventanas solares pueden reducir las cargas de refrigeración en edificios con grandes superficies acristaladas, mejorando así el confort interior tanto desde el punto de vista térmico como visual. De esta forma, el estudio concluye que se trata de una tecnología emergente, apta para climas con demanda de refrigeración, y cuyo coste inicial de instalación se espera que sea bajo, o al menos comparable al de una instalación solar térmica.

En 2011, Chow publica nuevas investigaciones donde realiza desarrollos teóricos y de simulación sobre las ventanas con agua (Chow et al., 2011a). En ellas el autor describe un acristalamiento activo (Figura. 9) que incorpora un depósito de agua fría que alimenta el acristalamiento activo por gravedad. Este agua posteriormente absorbe parte de la radiación solar y es reconducida al circuito de ACS. El citado autor aporta aquí una primera definición de importancia, puesto que afirma que el vidrio puede generar agua caliente y comportarse de forma semejante a colector solar térmico.

Más recientemente, en el año 2012, tiene lugar la publicación de la tesis doctoral denominada *Performance Evaluation of Water-flow Window Glazing*, sobre el rendimiento energético de las ventanas con agua circulante (Chunying, 2012). Realizada en el mismo departamento de la Universidad de Hong Kong, desarrollada por L. Chunying, y dirigida por T.T. Chow, en dicha tesis doctoral se investiga el rendimiento térmico y visual del sistema mediante la realización de ensayos con ventanas verticales e inclinadas, acristaladas con circulación de agua, que posteriormente validan las simulaciones informáticas llevadas a cabo.

Figura. 9 Esquema de principio del acristalamiento activo como dispositivo de pre-calentamiento de ACS.
Fuente: Chow, 2011a.



En este trabajo se indica que los acristalamientos con agua en circulación pueden ayudar al empleo de una cantidad considerable de energía solar sin necesidad de ocupar superficie extra ni distorsionar la estética del edificio. Asimismo, se concluye que parte de la energía solar incidente puede ser almacenada en forma de agua caliente y posteriormente ser empleada por los ocupantes del edificio, y se incide en que las necesidades de refrigeración y el consumo de aire acondicionado pueden verse reducidos de manera efectiva. A partir de estas consideraciones, se afirma que el periodo de amortización del sistema puede ser menor de cinco años para los casos más estandarizados.

Por último, esta tesis subraya que las ventanas que incorporan cámara de agua en circulación tienen un gran potencial para ser empleadas en edificios comerciales cuando el porcentaje de superficie acristalada es relativamente alto, especialmente cuando existe una demanda elevada de ACS.

2.2.- Funcionamiento de las ventanas con cámara de agua circulante

Las ventanas con cámara de agua circulante basan su funcionamiento fundamentalmente en dos aspectos. Por un lado, el agua absorbe parte de la radiación incidente, esencialmente en el área infrarroja del espectro, reduciendo la radiación solar que atraviesa el conjunto vidrios-cámara y afectando por tanto al *factor solar g* del acristalamiento. Por el otro, este agua que circula a baja velocidad a través de la cámara modifica la composición del cerramiento, por lo que al mismo tiempo queda modificado el valor de la transmitancia térmica U ($W/(m^2 \cdot K)$). Además, la propia circulación del agua tiene una cierta influencia en las temperaturas superficiales de los vidrios que componen el cerramiento, dando lugar a una variación en los diferentes coeficientes convectivos tanto interiores como exteriores.

La Figura. 10, en la que se representan los mecanismos de calor que intervienen en un acristalamiento activo con cámara de agua circulante, da una idea de la complejidad de los fenómenos que ocurren en él de manera simultánea. Por un lado parte de la radiación solar incidente se refleja en la cara exterior del vidrio exterior, otra parte es absorbida por los diferentes elementos que constituyen la ventana y una última parte penetra en la estancia. La energía que absorben los elementos de la ventana (vidrio exterior, cámara de agua y vidrio interior) es intercambiada de nuevo tanto entre sí como entre los ambientes exterior e interior mediante radiación. Además, las superficies exteriores de los vidrios intercambian calor con el aire mediante el mecanismo de convección, al igual que hacen las superficies interiores con el agua que circula a través de la cámara.

Tal y como se ha comentado anteriormente, en este tipo de ventanas, el agua, una vez que pasa por la cámara formada por ambos vidrios, puede ser recirculada entre ventanas situadas en fachadas con diferentes orientaciones. De esta forma, la energía captada por una ventana situada en una fachada con un elevado grado de soleamiento, como puede ser la sur, puede ser transportada a otra fachada, o almacenada en un depósito de inercia para ser empleada en otro momento, tal y como se ilustra en la Figura. 11.

Es interesante destacar que este tipo de sistemas puede emplearse de manera independiente a las condiciones de temperatura exteriores, lo que supone una alternativa frente a los sistemas basados en ventilación con aire exterior a través de una doble fachada, cuyo uso puede resultar contraproducente en el caso de que existan temperaturas exteriores elevadas (Eicker et al., 2008), tan típicas en los cálidos veranos del sur de Europa.

Figura. 10 Mecanismos de transferencia de calor en una ventana con cámara de agua circulante. Fuente: Chow, 2011a.

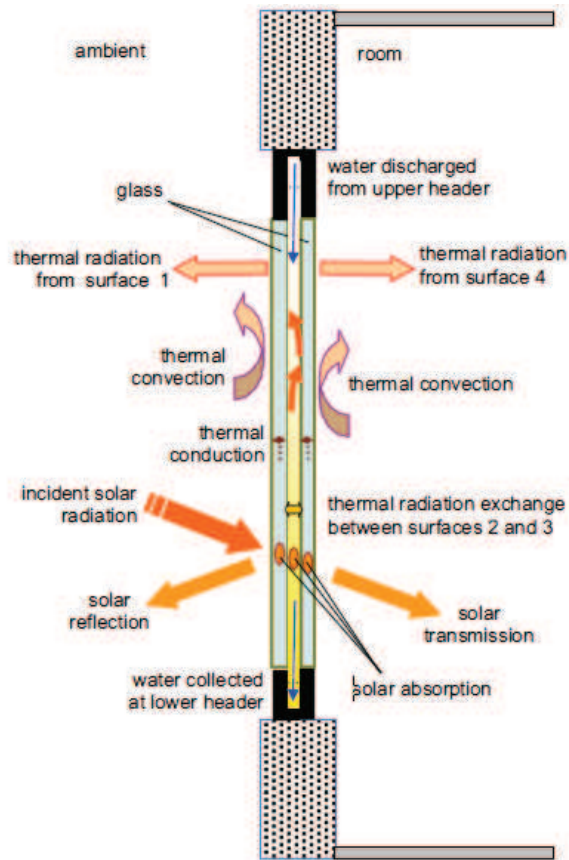
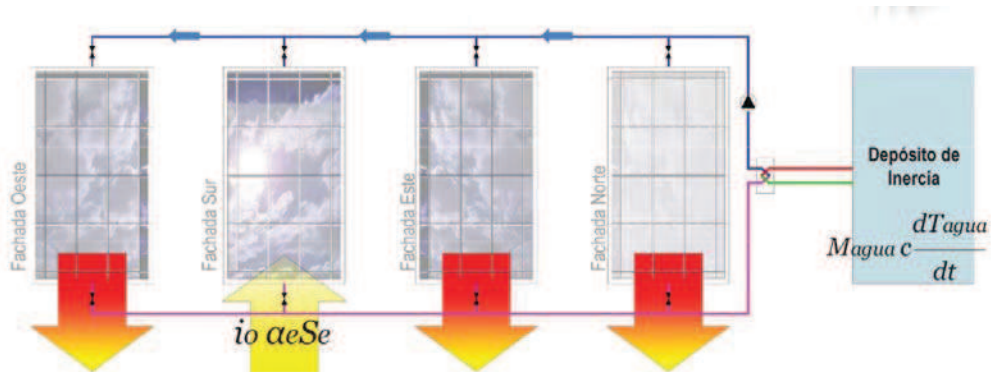


Figura. 11 Esquema de instalación de ventanas con cámara de agua circulante en varias fachadas. Fuente: Web Intelliglass.



Por otro lado, es conveniente indicar que este tipo de acristalamientos activos también resultan de interés para acondicionar espacios interiores en los que no interviene de manera directa la radiación solar, ya que, al tener una especial relevancia la transferencia de calor por radiación, dan lugar a una sensación de elevado confort térmico similar a la obtenida al entrar en construcciones realizadas con materiales de elevada masa térmica.

2.3.- Prestaciones energéticas obtenidas mediante ventanas con cámara de agua circulante.

Es evidente que las ventanas de los futuros edificios de consumo casi nulo, deberán ofrecer unas prestaciones energéticas mucho mejores que las existentes en la actualidad. Sobre todo considerando que las superficies acristaladas en los edificios tienden a ocupar una mayor proporción de la envolvente en todo tipo de edificios, y muy especialmente en los edificios no residenciales.

En lo que se refiere a la reducción de ganancias solares, los acristalamientos con cámara de agua circulante ofrecen un valor del 32 % con respecto a ventanas equipadas con acristalamientos dobles y un 52% con respecto a los sencillos (Chow et al., 2011a).

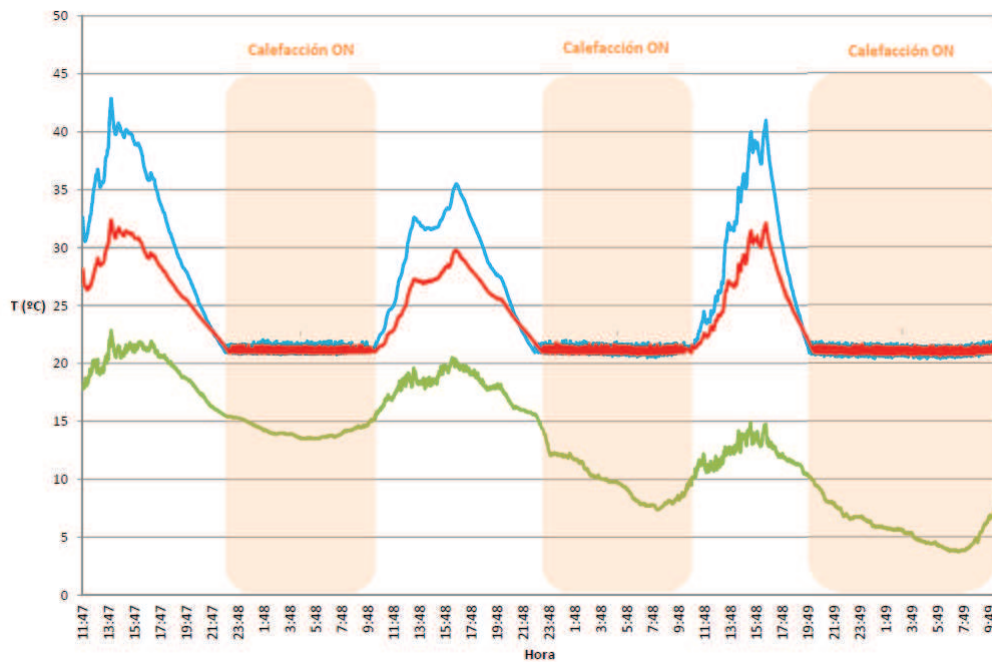
En cuanto a la producción de ACS, donde la ventana actúa como un colector solar térmico de precalentamiento, Chow, a partir de algunas simulaciones realizadas, indica que es posible aprovechar hasta un 20% de la energía solar incidente en un año típico (Chow et al., 2011b). También mediante simulaciones de un cierto edificio de referencia con dimensiones reducidas situado en Madrid, Gil-López indica que se pueden alcanzarse reducciones de consumos destinados a su acondicionamiento térmico en torno al 18% (Gil-López et al., 2013).

Con idea de mejorar los ahorros energéticos que se obtienen con este tipo de acristalamientos, Giménez propone en su tesis doctoral la incorporación de un sistema de control que permita gestionar de manera autónoma su funcionamiento (Giménez, 2011), alternando entre los diferentes modos de operación de acuerdo a las condiciones ambientales exteriores e interiores.

Siguiendo esta línea, Claros-Marfil ha diseñado y construido un prototipo de sistema de control capaz de controlar una instalación que cuenta con dos módulos, uno equipado con una ventana con cámara de agua circulante y otro con un vidrio sencillo, manteniendo en ambos una temperatura de consigna dada (Claros-Marfil et al., 2013). Tal y como puede verse en la Figura. 12, durante las horas diurnas las temperaturas en el interior del módulo equipado con la ventana con cámara de agua circulante (línea de color rojo), son menores que las del módulo equipado con un vidrio sencillo (línea de color azul), siguiendo ambas un patrón similar a la temperatura exterior (línea de color verde). Esta diferencia se debe a que parte del calor excedente se transfiere al agua circulante, que es almacenada de un tanque de acumulación.

Por la noche, el sistema de control se encarga de mantener una temperatura de confort dada en ambos módulos, 21°C en este caso, mediante el encendido de un sistema de calefacción (zonas marcadas con Calefacción ON). En el módulo equipado con el vidrio con cámara de agua se aprovecha el calor del agua previamente acumulada, por lo que su consumo de calefacción se ve reducido.

Figura. 12 Temperaturas de los módulos gestionados por el sistema de control. Fuente: Archivo propio.



Mediante el uso de este sistema de control, que gestiona el aprovechamiento del acumulador de agua, se han alcanzado ahorros del 28% en consumo destinado a la calefacción de los módulos para condiciones de invierno en Madrid.

Es necesario incidir en que, frente a otros sistemas de acristalamientos activos que evitan la entrada de radiación solar perteneciente a la parte visible del espectro, como los vidrios termocrómicos y electrocrómicos, los acristalamientos activos con cámara de agua en circulación mantienen un alto grado de transparencia, lo cual contribuye a lograr también ahorros en los consumos de iluminación, que suponen una parte considerable de la factura energética de los edificios (Marszal et al. 2011).

2.4 Conclusiones

Considerando la creciente tendencia existente en el empleo de superficies acristaladas en los edificios, resulta evidente que debe producirse una mejora sustancial en la eficiencia energética de los cerramientos no opacos de la envolvente arquitectónica para lograr edificios de consumo energético casi nulo (nZEB).

Frente a los vidrios tradicionales, existen diferentes alternativas basadas en acristalamientos activos. Entre ellas merecen destacarse los acristalamientos activos con cámara de agua circulante, ya que son capaces de reducir las ganancias solares aprovechando además parte de la radiación incidente bloqueada. Esta reducción puede alcanzar el 52% cuando se comparan con acristalamientos sencillos y el 32% cuando esta comparación se realiza con acristalamientos dobles.

En condiciones de invierno, la energía solar captada mediante el agua en circulación puede almacenarse y usarse como agente de calefacción con un cierto desfase horario. Mientras que, en condiciones de verano, la energía solar captada puede usarse en el precalentamiento de ACS formando parte de un sistema solar térmico, pudiendo llegar a captar hasta el 20% de la radiación solar incidente.

Por último, es interesante destacar que para asegurar un funcionamiento apropiado de los acristalamientos activos, y más concretamente de ventanas con cámara de agua circulante de manera que se optimice su capacidad de ahorro energético, es fundamental hacer uso de un sistema de control y gestión capaz de seleccionar en cada momento el modo de funcionamiento más apropiado. El empleo de uno de estos sistemas de control diseñado *ad hoc*, ha permitido obtener una reducción del consumo energético del 28% en la calefacción de un pequeño módulo solar en condiciones de invierno en Madrid, con respecto a un módulo de referencia equipado con un vidrio sencillo.

Debido a las mencionadas características, este tipo de acristalamientos pueden resultar muy apropiados para lograr edificios de consumo energético casi nulo, tanto de nueva planta como rehabilitados, especialmente en los climas cálidos como los del sur de Europa.

2.5 Referencias

- D.K. Arasteh, S.E. Selkowitz, J. S. Apte, and M. LaFrance. *Zero Energy Windows*. In 2006 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings. Pacific Grove, CA, 2006.
- T.T. Chow, C. Li, Z. Lin. *Innovative solar windows for cooling demand climate*, Solar Energy Materials and Solar Cells, 94 (2009) 212-220.
- T.T. Chow, C. Li, Z. Lin. *The function of solar absorbing window as water-heating device*, Building and Environment, 46 (4) (2011), 955-960.
- T.T. Chow, C. Li, J.A. Clarke. *Numerical prediction of water-flow glazing performance with reflective coating*. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, 14-16 November 2011, Sydney.
- L. Chunying. *Performance Evaluation of Water-flow Window Glazing*, Department of Civil and Architectural Engineering, PhD Thesis, City University of Hong Kong, 2012.
- L. J. Claros-Marfil, J. F. Padiál, V. Zetola, G. Ovando, J. M. Lirola, B. Lauret. *Home automation controller for a water-flow window*. Sustainable Building Contribution to Achieve the EU 20-20-20 Targets - SB13 Portugal Conference, 30 Nov- 1 Oct 2013, Guimarães, Portugal (En prensa).
- Directiva 31/2010 UE relativa a la Eficiencia energética en los edificios, Diario Oficial de la Unión Europea, 2010.
- U. Eicker, V. Fux, U. Bauer, L. Mei, D. Infield, *Façades and summer performance of buildings*, Energy and Buildings, Volume 40, Issue 4, 2008, 600-611.

- T. Gil-Lopez, C. Gimenez-Molina, *Environmental, economic and energy analysis of double glazing with a circulating water chamber in residential buildings*, Applied Energy, Volume 101, 2013, 572-581
- C. Giménez Molina, *Alternativas para la mejora de la eficiencia energética de los acristalamientos: los vidrios dinámicos*. Tesis Doctoral, E.T.S. Arquitectura (UPM), 2011.
- J. A. Hernández, M. Hermanns, Ama Gonzalo, F. del Ama, C. J. Hernández. *Ceramientos transparentes o translúcidos activos con capacidad de gestión energética*. Patente ES2304871. 2008.
- Intelliglass, página web, <http://www.intelliglass.es>. (Comprobada Julio 2013).
- A.J. Marszal, P. Heiselberg, J.S. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori, A. Napolitano, *Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies*, Energy and Buildings, Volume 43, Issue 4, April 2011, 971-979.
- F. B. McKee. *Windows*. Patente USA 561221. 1985.
- R. A. Seemann. *All season window*. Patente USA4380994. 1982.
- H. Walter. *Composite Windows*. Patente DE3716563 (A1). 1987.

Correspondencia (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: Luis J. Claros-Marfil

Phone: +34 610 847 247

Fax: +

E-mail: luisj.claros@gmail.com

Cesión de derechos

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.