

NUEVO MÉTODO DE ESTUDIO PARA EL ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE CERRAMIENTOS DE VIDRIOS ESPECIALES EN VIVIENDAS SOSTENIBLES

M^a del Carmen Giménez Molina, Benito Lauret Aguirregabiria
Departamento de Construcción y Tecnologías Arquitectónicas. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid.
Avda. Juan de Herrera 4, 28040, Madrid
mariadelcarmen.gimenez@upm.es

RESUMEN

La eficiencia energética es actualmente uno de los principales aspectos en lo que a la sostenibilidad en viviendas se refiere. En este sentido, la eficiencia energética está directamente relacionada con la reducción de emisiones de CO₂. Es seguramente la envolvente o piel de vidrio de las viviendas el punto más débil energéticamente hablando.

Por tanto, nos vemos en la necesidad de estudiar y mejorar la eficiencia energética de estas superficies.

Este estudio intenta explorar la contribución y optimización de nuevos tipos de vidrio de alta tecnología, a la mejora de la eficiencia energética general de superficies acristaladas. En el se desarrollará tanto la investigación de nuevos productos comerciales, y su aplicación en viviendas, como la realización de ensayos, por medio de un nuevo método basado en el uso de cajas térmicamente aisladas de 60x60x60 cm, con una de sus caras acristaladas, tomando datos de temperatura, humedad y radiación solar.

Los resultados de este estudio permitirán el diseño de nuevas envolventes acristaladas para su uso en viviendas eficientes energéticamente. Ello permitirá además, explorar la amortización de la inversión inicial en nuevos tipos de vidrio, teniendo en cuenta el ahorro energético conseguido.

1.- Introducción

"Si queremos elevar nuestra cultura a un nivel superior, para bien o para mal, estaremos obligados a transformar nuestra arquitectura, y esto solo nos sería posible si a los espacios que habitamos les sustraemos su carácter cerrado. Esto podemos lograrlo con la introducción de la arquitectura de cristal, que deja que la luz del sol, la luz de la luna y de las estrellas no se filtre solo a través de un par de ventanas, sino que entre directamente a través del mayor número posible de paredes que sean por entero de cristal."[1]

Durante el último siglo, debido a los grandes avances tecnológicos que han permitido un gran avance de la fabricación del vidrio, tanto en la creación de nuevos tipos, como el gran desarrollo constructivo que ha originado el aumento de las superficies vidrio-ventana, con respecto a la superficie total del muro, están ocasionando una baja significativa de los costes de producción y por tanto de comercialización. Es de aquí, que nuestra propuesta de estudio ofrece una investigación real ante todos estos nuevos productos, frente a una demanda cada vez mayor, ofreciendo una comparación entre ellos y su eficiencia energética, mediante un nuevo método de ensayo.

Merece mención como obras significativas de casas de vidrio la Maison de Verre (París, 1932) construida por Pierre Chareau, y la Casa Farnsworth (Plano, Illinois, 1950), como una materialización de las posibilidades máximas del vidrio por parte de Mies Van der Rohe, tal y como muestra la Figura 1.



Fig.1. Izquierda: exterior de la Masion de Verre. Derecha: Interior Casa Farnsworth.

Actualmente los productores de vidrio para arquitectura han mejorado sus cualidades de visibilidad, aislamiento, seguridad y comodidad. Hoy en día, el acristalamiento de un edificio se ha convertido en un sofisticado sistema que prevé resolver los problemas de iluminación, ventilación, humedad, polvo, sonido, climatización y hasta protección con respecto a los rayos ultravioleta e infrarrojos.

En línea con los ejemplos citados, el equipo de la UPM que ha participado en el concurso Solar Decathlon 07, realizó un anteproyecto de casa solar caracterizada por tener integradas las placas solares en una cubierta en voladizo; a su sombra y bajo este voladizo se situó, totalmente separada de ella, un volumen prismático, completamente acristalado, con los criterios de ahorro de energía y sostenibilidad más actuales, tal y como se indica en la Figura 2.

La contradicción inicial que pudiera existir por el hecho de plantear una caja de cristal como prototipo de vivienda sostenible, se solucionaría recurriendo a las técnicas pasivas de bioclimatismo, junto con la ayuda de nuevas tecnologías existentes actualmente en el mercado, como la utilización de vidrios inteligentes, capaces de cambiar sus cualidades ópticas de transmisión y absorción de la radiación solar, contando con la ayuda de la domótica en todo momento, para el mantenimiento de unas medidas internas de confort agradables.



Fig.2. White Wing. Fotografía de archivo grupo Solar Decathlon 07.

2.- Eficiencia Energética y Sostenibilidad

Hoy en día se ha acuñado el término sostenibilidad como concepto que combina el poder tener calidad de vida sin afectar a las generaciones futuras. Precisamente, para vivir mejor, se entiende que es necesario que el ambiente que nos rodea sea de una mayor calidad. Así pues cuando hablamos de sostenibilidad nos estamos refiriendo a la calidad ambiental, que necesariamente debe ser regulada poniendo límites a los procesos productivos. Paradójicamente para poder crear tenemos que destruir o reducir el entorno natural, expulsando nuestro sistema de producción una cantidad ingente de tóxicos al aire, al agua, y al suelo, la mayoría de ellos venenosos o perjudiciales para la salud.

El impacto del uso de la energía, recae sobre tres aspectos fundamentales: el impacto ecológico, debido al consumo principal de energías fósiles, y las consiguientes emisiones de CO₂; el impacto económico, que nos afecta a nivel de economía doméstica (las facturas) y a nivel de la macroeconomía y su preocupación por la seguridad de suministro energético; el impacto social, que hace necesaria que la construcción de edificios sea de alta eficiencia energética y bajo impacto ambiental, manteniendo el objetivo de confort y satisfacción para todos los usuarios. Finalmente se hace imprescindible el controlar nuestro consumo energético.

Para intentar dar una solución a todos estos problemas, se abre desde una perspectiva internacional, dos grandes protocolos sobre el cambio climático, ambos enmarcados dentro de la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Se trata del Protocolo de Kioto (11 de diciembre de 1997) y del protocolo de Bali, que entra en vigor una vez que expire el primero, cuyo objetivo principal es disminuir el efecto invernadero y el cambio climático, reduciendo las emisiones de seis gases provocadores del calentamiento global en un porcentaje aproximado de un 5%,

Ante este panorama internacional, es importante dedicar esfuerzos al estudio de la eficiencia energética de los cerramientos de vidrio, no solo desde el punto de vista bioclimático, sino también arquitectónico.

3.- Vidrio y Eficiencia Energética

Es bien conocido, que la principal característica del vidrio es su transparencia, proporcionando un sinfín de posibilidades en el ámbito arquitectónico y de expresión plástica, abarcando un amplio abanico de soluciones funcionales, ya sea con respecto a la iluminación natural, o a la percepción o comunicación visual.

Por ello está considerado como un material único en construcción. Sin embargo, a pesar ello, en función del clima, lugar utilizado y época del año, el vidrio puede jugar bien en nuestra contra, o a nuestro favor. En efecto, su propiedad de captación térmica, también llamada efecto invernadero, resulta deseable en invierno pero contraproducente en verano. Igualmente su valor de bajo aislamiento térmico afecta negativamente, causando pérdidas térmicas en invierno.

Ya desde los inicios de la arquitectura moderna surgieron los primeros problemas técnicos en el uso de las superficies vidriadas de grandes dimensiones. Debido a ello la tecnología de producción de vidrio para la construcción ha ido diversificando su producto, bien variando la composición química del material, realizando tratamientos superficiales, agregando elementos o gases de baja emisividad entre dos vidrios, incluyendo sistemas pasivos o activos de control solar y térmico, o combinando varios de éstos, para ofrecer así distintos tipos de vidrios que pretenden solucionar uno o varios problemas: vidrios de comportamiento óptico modificado, de control solar, aislantes térmicos y acústicos, de baja emisividad, de seguridad, decorativos, laminados, resistentes al fuego, tintados, etc.

Por tanto, tras el creciente interés en la construcción por la incorporación del vidrio en las fachadas, se ha potenciado el uso de nuevas tecnologías que mejoren y aumenten el confort, la productividad y la comodidad para sus ocupantes, reduciendo los costes y contribuyendo a una

mejora de la salud del planeta reduciendo el uso de energía y el consecuente impacto negativo medioambiental. Una progresión de innovaciones se ha ido produciendo en el sector del vidrio plano. Entre ellos, podemos destacar las siguientes:

- Vidrio laminado: Múltiples capas de vidrio o películas de plástico, mejoran la resistencia térmica y reducen las pérdidas caloríficas atribuidas a la convección entre las capas del vidrio. [2]
- Capas bajo emisivas: Las capas bajo emisivas son totalmente transparentes e invisibles, pero tienen una alta reflectancia a las longitudes de onda infrarrojas, reduciendo por tanto la transferencia de calor en el conjunto de la ventana. [2]
- Vidrios y capas de control solar: Para reducir la demanda de climatización, nuevos tipos de vidrio tintando y nuevas capas pueden reducir el impacto de la radiación solar sin sacrificar la vista. Estas capas absorben y reflejan la porción infrarroja de la radiación mientras que transmite la radiación visible, reduciendo por tanto el factor solar y las cargas de climatización. Estas capas de control solar pueden incluir además dispositivos y capas bajo emisivas. [2]
- Relleno de gases bajo emisivos: Con el uso de una capa bajo emisiva, la transferencia de calor a través de la cámara está dominada por conducción y por convección natural. Aunque el aire es relativamente un buen aislante, existen otros gases, tales como Argón, Krypton y xenón) con conductividades térmicas más bajas. Usando por tanto uno de estos gases, se consigue reducir la transferencia de calor entre las capas de vidrio. [2]

Sin embargo, una de las evoluciones más interesantes a corto plazo es el desarrollo comercial de vidrios con una delgada película electrocrómica. Estos vidrios inteligentes, o también llamados Smart glazings, pueden cambiar su color y por lo tanto la irradiación solar sobre él, en respuesta a las necesidades de los ocupantes del edificio, manteniendo siempre invariable el factor de transmisión de calor característico del vidrio. Estos vidrios pueden dividirse en activos y pasivos.

Por un lado los vidrios pasivos están controlados exclusivamente por las condiciones externas al cual es expuesto el edificio o vidrio, en respuesta bien a la intensidad lumínica o bien por el efecto de temperatura. Dependen por tanto de la composición química del vidrio.

Por otro lado encontramos los vidrios activos, que son capaces de cambiar su transparencia aplicándoles un pequeño potencial eléctrico, controlado por los ocupantes del edificio.

3.1.- Vidrios pasivos

Un vidrio pasivo, es controlado por las condiciones externas al cual es expuesto el edificio.

- **Fotocrómicos:** El material fotocromico cambia su transparencia en respuesta a la intensidad lumínica, oscureciendo en función de la radiación. Estos vidrios permiten la transmisión suficiente de luz, según las necesidades requeridas, recortando los excesos de luz que crea excesiva luminosidad y sobrecargas del sistema de refrigeración. [3]
- **Termocrómicos:** Un vidrio termocrómico, cambia su transparencia en respuesta a la temperatura, que varía desde un estado claro, cuando ésta disminuye, a un color difuso y blanco, que refleja la luz, cuando sube la temperatura. La temperatura del vidrio, la cual va en función del ambiente exterior e interior, regularía la cantidad de radiación solar que incide. [3]

3.2.- Vidrios activos

Un vidrio activo cambia su transparencia, por la aplicación de una pequeña corriente eléctrica, controlado por los propios ocupantes del edificio.

- **Gasocrómicos:** Un vidrio gasocrómico está compuesto de gas hidrógeno, solo o mezclado con otros inertes, que en cooperación con una capa electrocatalítica, hacen cambiar el color del vidrio, debido al hidrógeno introducido. [4]
- **Vidrio de cristal líquido disperso (LCD):** Consiste en una fina película de cristal líquido que es colocado entre dos conductores eléctricos transparentes sobre delgadas películas de plástico y todo ello laminado entre dos capas de vidrio. Cuando está apagado, el cristal líquido está desordenado y desalineados, reflejando la luz, y consiguiendo un estado translúcido. Algunas aplicaciones realizadas sobre los rayos ultravioleta, permiten su aplicación en exteriores, pero comúnmente es usado en interiores. [4]
- **Vidrio de partículas en suspensión (SPD):** Este vidrio, controlado eléctricamente, utiliza una delgada capa de líquido, en el cual numerosas partículas microscópicas están suspendidas. En un estado apagado, las partículas están desordenadas y bloquea parcialmente la transmisión solar y la vista. [4]
- **Vidrios electrocrómicos:** Una capa electrocrómica es un conjunto de capas “encendibles” de delgadas películas, que aplicados al cristal o al plástico, siempre en la superficie del vidrio externo, pueden cambiar su apariencia desde un amarillo claro a un azul oscuro cuando se le aplica un pequeño voltaje, permitiendo la visión a través de él. La transmitancia (T_v) y el coeficiente de ganancia de calor (SHGC), varía dependiendo de la composición del material. El factor U, no se ve afectado por el tintado. [4]
- **Vidrios con cámara de agua:** El objetivo fundamental consiste en fabricar un acristalamiento ligero activo formado por dos lunas de vidrio laminado y cámara de aire y agua en circulación, proporcionando el control de la carga térmica y el confort térmico, al reducirse la radiación infrarroja en la cámara de agua. El control de la iluminación se conseguiría gracias a la introducción de un fluido activo que al circular por la cámara, permite regular la transparencia del vidrio.

4.- Estudio de la contribución del vidrio a la eficiencia energética. Diseño de ensayos.

Aunque estos productos se hallan en una fase aún temprana de investigación, resulta interesante su estudio en la medida en que puedan en un futuro contribuir a la eficiencia energética de los acristalamientos. Este estudio, servirá igualmente de ayuda al proyectista en su elección de diferentes tipos de vidrio en función de sus prestaciones y de los costes correspondientes.

Para ello se propone un método de estudio experimental mediante ensayo de distintos tipos de vidrio, incluyendo acristalamientos con cámara ventilada y sin ventilar, utilización de fluidos estáticos y en circulación, colocación de persianas exteriores, interiores o intermedias y vidrios especiales.

El procedimiento de ensayo se está realizando mediante unas cajas de dimensiones 60x60x60 interiores, abierto por una de sus caras, en madera contrachapada de 10 mm antihumedad, barnizada convenientemente la parte que queda a la intemperie, aislada al exterior con 4 centímetros de poliuretano y aislamiento térmico reflectivo, excepto la cara acristalada. En la cara abierta (acristalada) se irán ensayando las distintas composiciones de vidrio. En la figura 3, se puede observar tanto las cajas de ensayo realizadas como el lugar de realización de los ensayos. La elección de las dimensiones de la caja responde a que es el tamaño más grande y a la vez fácil de transportar, permitiendo el paso libre por puertas y pasillos, facilitando así su transporte y permitiendo de este modo la colocación de las cajas en localizaciones diversas. Los resultados de los primeros ensayos realizados muestran además que los valores de las temperaturas interiores

son superiores a los esperados en una habitación real, por lo que tiene la ventaja de mostrar los resultados con mayor dramatismo que un ensayo realizado a escala 1/1.



Fig.3. Cajas de ensayo. Fotografía de archivo.

Estas medidas pueden también entenderse como la cuarta parte de una habitación tipo de 2.40x2.40x2.40m a escala 1:4 (mucho más difícil de construir y de transportar). Esto permite estudiar el factor de escala energéticamente hablando, extrapolarlo el comportamiento del modelo real, cuya realización no se descarta en un futuro próximo. Estas cajas de ensayo permitirían en un futuro la incorporación de sensores activos y de una pequeña instalación domótica adosada a la caja, que pueda reaccionar activamente desplegando persianas, haciendo circular fluidos por la cámara de vidrio o activar el vidrio electrocrómico en su caso.

Los datos se están recogiendo mediante sensores de Temperatura y Humedad, Marca Hobo y Modelo Hobo Temperature, RH ©, 1996 ONSET para interior, y HOBO pro series Temp, RH © 1998 ONSET para exterior, tomados en intervalos de cada 15 minutos. (Fig.5).



Fig.4. Sensores Hobo de Temperatura y Humedad exterior e interior. Fotografía de archivo.

Los datos de temperatura y humedad exteriores, son obtenidos de la Estación Meteorológica del Departamento de Geofísica Y Meteorología de la Universidad Complutense de Madrid, agradeciendo la cesión de los datos a los profesores D. Carlos Yagüe y D. Carlos Armenta.

Los ensayos se están realizando en la Terraza Norte de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid a 40°25'N, 3°41'W, porque permite orientar las cajas a Sur, con el 100% de la bóveda celeste sin obstáculos y con la posibilidad de hacerse cualquier día del año.

5.- Método de ensayo: procedimiento operativo

Previo al comienzo de los ensayos, se ha establecido un plan de vidrios a ensayar así como se ha prefijado la época del año para realizarlos, ya sea que se trate del solsticio de invierno, de verano o de equinoccio. Para ello se programan los sensores y se efectúa el ensayo en la terraza Norte de la ETSAM, durante el número de días prefijados.

Se pretende comparar el comportamiento energético de una determinada composición de cerramiento con el del vidrio sencillo de 6 mm, lo que se realiza tomando medias simultáneas en dos cajas idénticas, tomando siempre como patrón el de 6 mm, que es el vidrio más común y más fácil de fabricar que se usa hoy día en construcción, realizando el ensayo al aire libre, cubriendo todo el recorrido del sol. Estas cajas están orientadas actualmente a Sur, pero en futuro pueden dirigirse a otras orientaciones, analizando sus ventajas-inconvenientes.

Como resultado de estos ensayos, obtenemos unos datos que representados en gráficas, nos proporcionan el recorrido diario de las temperaturas y de la humedad relativa en cada una de las dos cajas, permitiendo comparar porcentualmente el comportamiento energético de un determinado acristalamiento con respecto al de 6 mm, a lo largo de varios días completos.

6.- Ensayos preliminares

Hasta el momento se han ensayado dos tipos de vidrio doble. Se trata de un doble acristalamiento formado por dos vidrios flotados Planilux de Saint Gobain Glass incoloros de 6 mm y cámara de aire 8 mm y otro similar, con la particularidad de ir sellado en frío con silicona estructural para evitar filtraciones de agua al exterior.

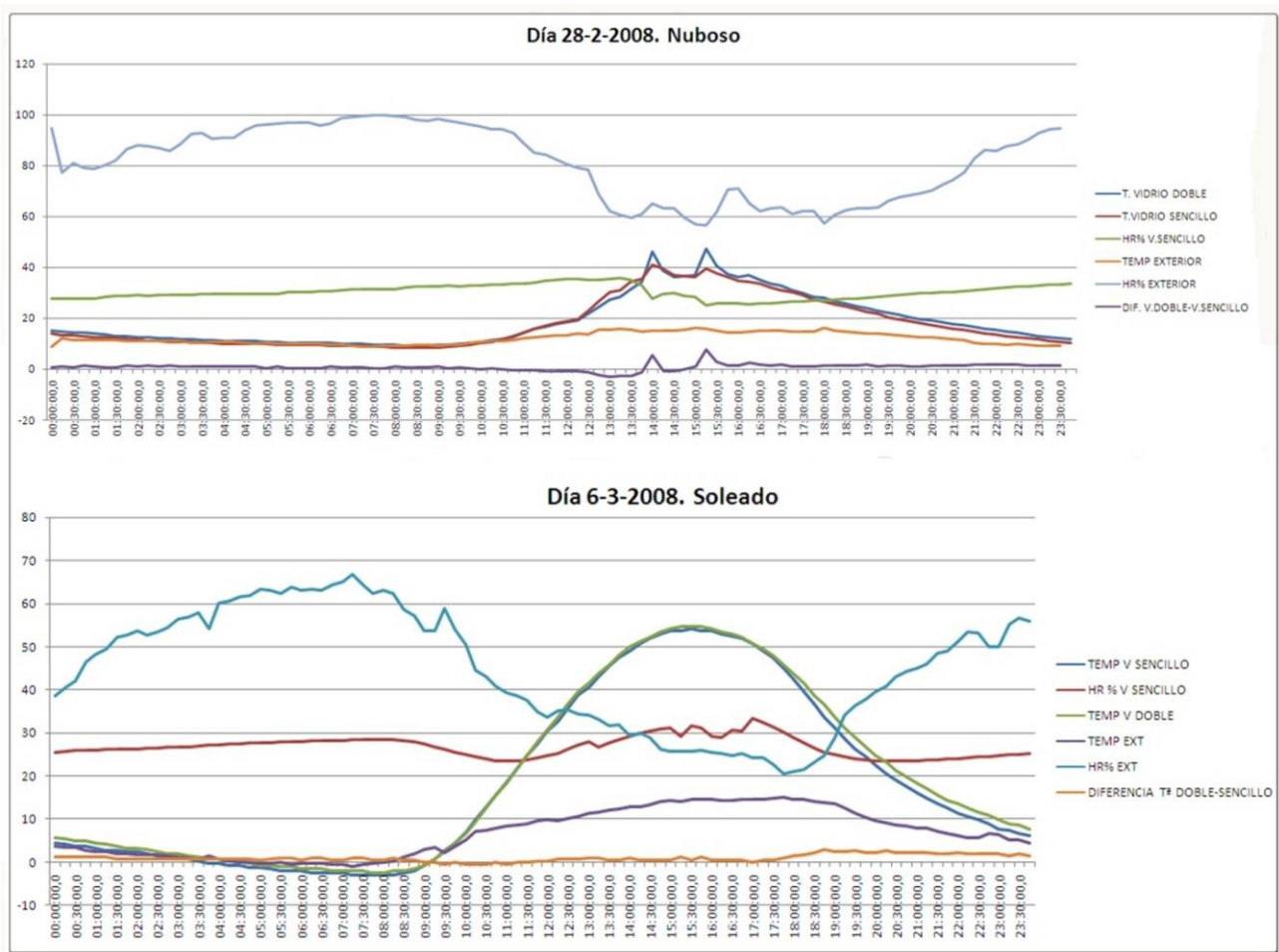
Los ensayos realizados hasta el momento, ascienden a 15 días (vidrio simple y doble con cámara de aire) y 8 días (vidrio simple y doble con cámara de agua). Como se pueden observar en las gráficas 1 y 2 adjuntas, (realizadas a partir de los datos obtenidos de los sensores de temperatura y humedad), representan un ciclo de un día, que se entiende como unidad que se repite cíclicamente. La curva de temperatura resulta asimétrica en la mitad de un ciclo de 12 horas diurno, a pesar de que el camino del sol es simétrico. Por la noche, la temperatura exterior baja, y progresivamente, conforme avanza el día, la temperatura empieza a subir, aumentándose la temperatura de la caja. Una vez que se ha calentado, coincidiendo con las horas de sol, comienza a descender muy lentamente, mucho más lentamente de lo que desciende la temperatura exterior, debido a la inercia térmica de la caja, hasta llegar casi a igualarse con la temperatura exterior, notándose la asimetría por la diferencia entre la rapidez del calentamiento en contraste con el enfriamiento progresivo.

Comparación vidrio sencillo con vidrio Climalit 6/8/6 con cámara de aire.

El ensayo se ha realizado durante los días 26 de Febrero al 11 de Marzo del 2008, cogiendo los días 28 de Febrero y 6 de Marzo como días soleado (6-3-08) y nuboso (28-2-08) con precipitaciones. En el día soleado escogido se han observado unas temperaturas cambiantes entre -4°C y 15°C con temperaturas frías durante la noche, ascendiendo a una temperatura templada durante las horas centrales del día. Como se puede observar en la gráfica 1 del día 6 de marzo, curva de color morada. En el día nuboso del día 28 del febrero, se mantienen unas temperaturas constantes de unos 15°C-20°C durante todo el día con una precipitación acumulada de 1.2mm, lo cual viene reflejado en el aumento de la humedad relativa durante las primeras horas de la mañana a un 100%. (Ver gráfica 1, curva azul para la humedad y naranja para la temperatura). Se puede observar en ambos casos como a medida que aumenta la temperatura la humedad disminuye.

En ambos casos, la temperatura alcanzada en el interior de las cajas de ensayo, se mantiene siempre a una temperatura muy parecida (siempre 3 o 4°C) por encima de la temperatura exterior por la noche, ascendiendo por el día, en horas de sol a una diferencia de 20°C en el día nublado, y 40°C en el soleado. (Ver curvas de Temperatura exterior y vidrio doble en ambas gráficas).

Se observa que la temperatura alcanzada por ambos vidrios va siempre en paralelo, manteniendo en cada caso la temperatura más elevada la del vidrio doble cuando la temperatura es más baja (por la noche), con una diferencia de 1,24°C, disminuyéndose esta diferencia conforme avanza el día, lo que nos refleja que el vidrio doble con cámara de aire nos aísla durante la noche. Para ver esta diferencia se ha elaborado una gráfica comparativa de los dos tipos de vidrio, a base de restar el vidrio doble con el vidrio sencillo y así poder apreciar el comportamiento relativo entre ambos, observando las fluctuaciones de la curva sobre el valor "0" (ver gráfica 1, día soleado color naranja y nublado color morado).



Gráfica 1. Vidrio sencillo-doble acristalamiento. Soleado y nublado.

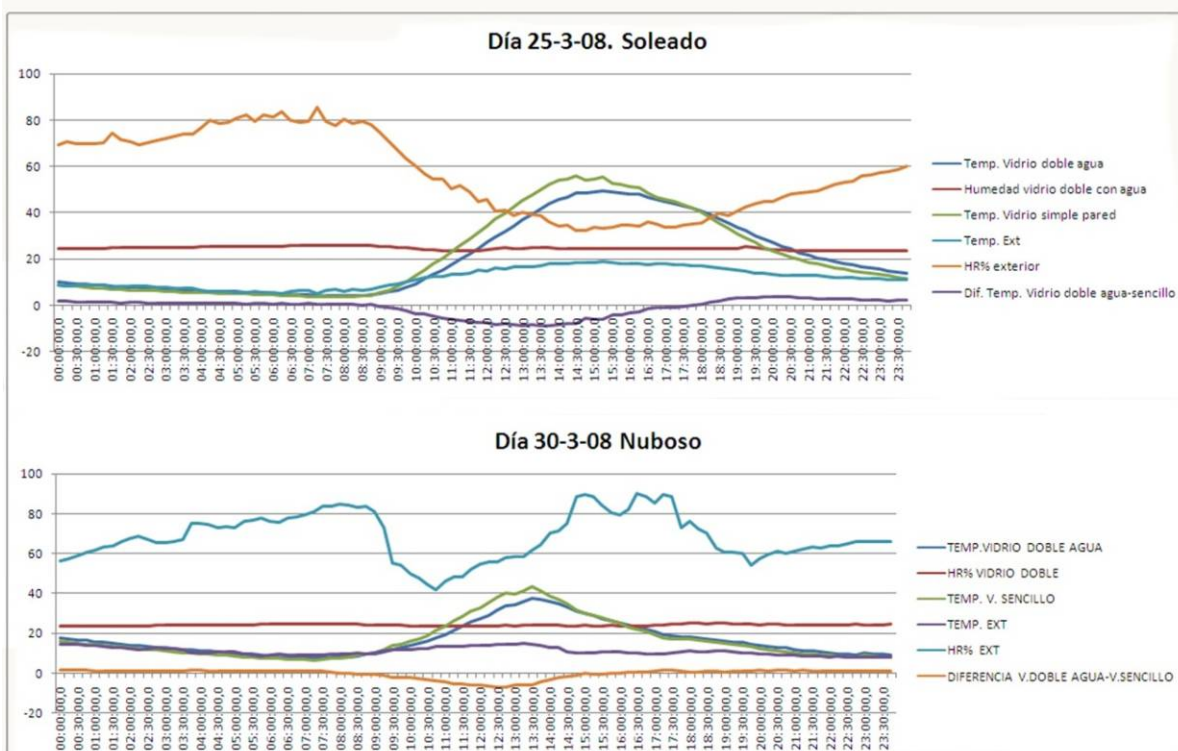
Doble acristalamiento 6/8/6 con cámara de agua

El presente ensayo se ha realizado durante los días 24-31 de Marzo. Para ello, se ha rellenado con agua un vidrio doble 6/8/6, descrito anteriormente, al que se le dejó previamente dos tubos de plástico que unían el exterior con la cámara, con el fin de llenar la cámara con agua a temperatura ambiente, a unos 20°C (ver Fig.5).



Fig.5. Procedimiento de llenado del vidrio doble con cámara de agua. Fotografía de archivo.

La gráfica 2 adjunta a continuación corresponden a las realizadas el día 25-3-08 (soleado) y 30-3-08 (nuboso), elegidos entre los 8 días que duró el ensayo. Como se pueden observar en ellas, en el día soleado del 25-3, la temperatura exterior varía desde los 3-4°C en horas nocturnas hasta casi los 20°C en horas de sol, con unas fluctuaciones de humedad relativa del aire entre el 80% y el 35%, coincidiendo esta bajada con la subida de temperatura. (Ver colores azul para temperatura y naranja para humedad de gráfica 2). Sin embargo para el día nuboso la temperatura exterior (color magenta) se mantiene casi constante a unos 18°C, con grandes variaciones de humedad, debido a las precipitaciones acumuladas a lo largo de la tarde (color azul). Como se puede observar, el doble acristalamiento con cámara de agua, reduce la ganancia térmica hasta unos 8°C en horas de sol, manteniéndose casi a la misma temperatura que el sencillo en horas nocturnas, según la línea de diferencia de temperatura del vidrio doble con agua y el sencillo, tomando como referencia el valor "0". (Ver en gráfica 2 en día soleado línea morada y en día nublado línea naranja).



Gráfica 2. Vidrio sencillo-doble acristalamiento con agua. Días soleado y nublado

Por último, comparamos el vidrio doble con cámara de aire con el de la cámara llena de agua. Se observa como el comportamiento diurno de la cámara de agua reduce la ganancia térmica en 8°C al de cámara de aire.. En horas nocturnas, ambos tienen un comportamiento parecido, aislando en unos 3-4°C más el de la cámara de aire.

7.- Conclusiones

De los datos obtenidos en los ensayos se obtienen las siguientes conclusiones:

- El vidrio sencillo de 6 mm, produce captación energética diurna con diferencias observadas hasta 38°C con el exterior. El vidrio doble con aire produce 39°C de diferencia con el exterior. Por lo tanto el vidrio doble con aire produce una captación de un 2% superior al patrón de 6mm.
- El vidrio sencillo de 6 mm, produce captación energética diurna con diferencias observadas en los ensayos correspondientes hasta 36,74°C con el exterior. El vidrio doble con agua produce 30,39°C de diferencia con el exterior. Por lo tanto el vidrio doble con agua reduce la captación en un 20% con respecto al de 6mm.
- Por lo tanto, el vidrio con cámara de agua mejora al vidrio con cámara de aire en un 22% en la reducción de ganancias térmicas diurnas.
- Con los datos que se irán obteniendo a partir de los ensayos respecto a los datos de temperatura y humedad tanto exterior como interior de la caja, así como los de radiación y luminosidad exteriores e interiores, pueden servir para la elaboración de un manual de aplicaciones y guía al proyectista acerca de qué acristalamiento sería más eficiente.
- Una vez determinado el comportamiento de los vidrios estudiados, se hará un balance económico sobre el ahorro energético que ello conllevaría a largo plazo, con respecto al desembolso económico que supondría al usuario el instalar dichos vidrios.
- Estos datos también permitirán ajustar las curvas de comportamiento que utilizan los programas de simulación energética.

REFERENCIAS

- [2] CARMODY, John; SELKOWITZ, Stephen and HESCHONG, Lisa. Residential Windows : A Guide to New Technologies and Energy Performance. New York: W.W. Norton, 2007. ISBN 0-393-73004-2.
- [4] COMPAGNO, Andrea. Intelligente Glasfassaden : Material, Anwendung, Gestaltung = Intelligent Glass Façades : Material, Practice, Design. 4. rev. und erw. Aufl ed. Basel: Birkhauser, 1999. ISBN 3-7643-5996-X.
- [3] PLATZER, W. J. Architectural and Technical Guidelines- Handbook for the use of Switchable Façades Technology. Freiburg: Fraunhofer Institute for Solar Systems, 2003.
- [1] SCHEERBART, P. Glass Architecture, ed. Dennis Sharp, Preager, New York, 1972.