

## CÓDIGO 2.4.01

### NUEVOS VIDRIOS PARA REDUCIR LA DEMANDA TÉRMICA DE EDIFICIOS

**Renedo Estébanez, Carlos <sup>(1)</sup>, Fernández Fernández, Manuel <sup>(1)</sup>, Carcedo Haya, Juan <sup>(1)</sup>  
Fernández Diego, Inmaculada <sup>(1)</sup>, Blanco Silva, Fernando <sup>(2)</sup>, López Díaz, Alfonso <sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Universidad de Cantabria, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética

<sup>(2)</sup> Universidad de Santiago de Compostela, Unidad de Energía y Sostenibilidad

<sup>(3)</sup> Universidad Católica de Ávila, Facultad de Ciencias y Artes

renedoc@unican.es

**PALABRAS CLAVE:** Demanda térmica, vidrio activo, vidrio inteligente.

#### RESUMEN

España es un país con gran dependencia energética del exterior, donde en el año 2011 más del 76% de la energía se debió importar. Por sectores, la edificación es uno de los consumidores más importantes; en el año 2010 en las viviendas y en los comercios se llegaron a demandar el 14% y el 8% del consumo energético nacional respectivamente. Las necesidades energéticas de los edificios son tanto eléctricas (electrodomésticos, ordenadores, iluminación...), como térmicas (climatización y ACS).

Uno de los aspectos que tiene gran influencia sobre esta demanda es la epidermis del edificio, teniendo gran relevancia en ello las superficies acristaladas. Estas tienen aspectos positivos (favorecen la iluminación natural y aumentan la habitabilidad de los locales) y negativos (aumentan la demanda energética de la climatización).

Intentando reducir la demanda térmica, el mercado tradicional se dedicó a mejorar los vidrios: aumentando el espesor, introduciendo una o varias cámaras de aire intermedias, y mejorando la calidad para disminuir el calor radiante que los atraviesa. Pero en los últimos años se han ido aplicando diferentes tecnologías que han permitido fabricar los llamados vidrios activos o inteligentes. Éstos, mediante diferentes fenómenos físicos, modifican su comportamiento respecto al paso de la radiación solar, y por lo tanto mejoran su comportamiento térmico con lo que reducen la demanda térmica del edificio.

En esta ponencia se realiza un estudio, mediante simulación, del comportamiento de la demanda térmica en un edificio tomando como variable el factor solar de los vidrios que componen los huecos en las diferentes fachadas. Además, se presentan los diversos tipos de vidrios activos o inteligentes que se están introduciendo en el mercado; la incipiente irrupción de estos vidrios en el mercado obligará a la modificación de los programas de cálculo de cargas térmicas y simulación de demanda energética para que consideren su inclusión entre los elementos del edificio, ya que estos programas tienen en cuenta aspectos como la colocación de toldos u otras protecciones, pero no el cambio en las propiedades del vidrio.

#### 1. INTRODUCCIÓN

España es un país con gran dependencia energética del exterior, donde en el año 2011 más del 76% de la energía se debió importar [1]. Por sectores, la edificación es uno de los consumidores más importantes, en el año 2010 en las viviendas y en los comercios se llegaron a demandar el 14% y el 8% del consumo energético nacional [2]. Las necesidades energéticas de los edificios son tanto eléctricas (electrodomésticos, ordenadores, iluminación...), como térmicas (climatización y ACS).

Uno de los aspectos que tiene gran influencia sobre esta demanda es la epidermis del edificio, jugando un papel muy importante las superficies acristaladas [3-6]. Estas tienen aspectos positivos, como son favorecer la iluminación natural y aumentar la habitabilidad de los locales; y otros negativos, como son el aumento de la demanda energética de la climatización en determinadas condiciones. Esto adquiere mayor importancia con la construcción de fachadas acristaladas.

Intentando reducir la demanda térmica, el mercado tradicional se dedicó a mejorar los vidrios: aumentando el espesor, introduciendo una o varias cámaras de aire intermedias, y mejorando la calidad para disminuir el calor radiante que los atraviesa. Pero en los últimos años se han ido aplicando diferentes tecnologías que han permitido fabricar los llamados vidrios activos o inteligentes [7]. Éstos, mediante diferentes fenómenos físicos, modifican su comportamiento respecto al paso de la radiación solar, y por lo tanto mejoran sus características térmicas y reducen la demanda térmica del edificio [8].

Conocer estos nuevos vidrios y la manera en que actúan, es un aspecto que deben contemplar los programas de simulación del comportamiento energético de los edificios; esto deben hacerlo tanto los de cálculo de cargas térmicas como los de calificación energética.

## 2. EL VIDRIO

El vidrio es uno de los cerramientos esenciales en la construcción de los edificios a los que aporta su propiedad principal, la transparencia. Todo vidrio funciona básicamente como se muestra en la Figura 1, en la que se puede observar como una parte de la radiación recibida es transmitida al interior del edificio, otra parte es reflejada al medio exterior y otra absorbida por el vidrio. Dependiendo de las necesidades se emplea un vidrio de unas características u otras, donde el principal parámetro de selección suele ser el coeficiente de transmitancia de calor (U).



Figura 1.- Principio de funcionamiento del vidrio

Los procesos de fabricación del vidrio han sido muy diversos (soplado, estirado mecánico, laminado continuo, laminado discontinuo...), pero en las últimas décadas se ha impuesto el flotado, “float”, que consiste en hacer flotar el vidrio fundido sobre una capa de estaño. Este proceso, debido a que permite la producción continua de vidrio, y a que ofrece la posibilidad de producir una amplia gama de distintos tipos de vidrios, es el que actualmente se emplea mayoritariamente para los vidrios usados en la construcción de edificios.

## 3. TIPOS DE VIDRIO EN LA EDIFICACIÓN

La clasificación de los vidrios en base a su composición química tiene gran relevancia durante el proceso de fabricación, pero en el sector de la edificación es de mayor relevancia clasificarlos en base a su funcionalidad, por la que se pueden clasificar en tres grandes grupos: vidrios básicos, vidrios procesados y vidrios inteligentes (pasivos y activos).

### 3.1. Vidrio básico

Se obtiene directamente de la transformación de la materia prima durante el proceso de flotado. Dentro de este grupo se encuentran [9]: Float incoloro, Float color, Armado, Impreso, y Difuso.

### 3.2. Vidrio procesado

Se produce a partir del float básico. Dependiendo de su tratamiento, pueden mejorar las condiciones seguridad, aislamiento térmico o acústico. Los principales vidrios procesados se describen a continuación [9]: Tratado térmicamente, Esmaltado, Grabado al ácido, Laminado, Con cámara o de doble vidriado hermético (DVH), y Reflectivo.

Se pueden realizar otros vidrios procesados tomando como base la estructura de los vidrios con cámara y combinando los diferentes vidrios presentados anteriormente, esto permite obtener configuraciones muy efectivas frente a la radiación solar, lo que hace que se pueda mejorar en gran medida las demandas energéticas de climatización de los edificios.

### 3.3. Vidrio inteligente

Es capaz de cambiar alguna de sus propiedades (transparencias, color...) frente a algún cambio en el ambiente en el que se encuentra instalado. Hay dos grupos:

- **Pasivo**: está controlado por las condiciones externas a las que está expuesto, su comportamiento depende en gran medida de su composición química. Hay dos subtipos: Fotocrómicos [12] y Termocrómico [13-15].
- **Activo**: cambian su transparencia por la aplicación de una pequeña corriente eléctrica, entre ellos están los: Gasocrómico [18], Electrocrómico (EC) [19-21], Cristal líquido disperso (LCD) [22], y Partículas en suspensión (SPD) [22]. Además están los que contienen una cámara de agua (Intelliglass), cuyas características cambian con el caudal y el tipo de fluido bombeado por su interior [23].

Como resumen de las propiedades de los vidrios inteligentes, en la Tabla 7 se realiza una comparativa de las principales características de los mismos encontrada en la bibliografía.

Tabla 7.- Comparativa de las características de los vidrios inteligentes

Componente	CONTROL PASIVO		CONTROL ACTIVO			
	Fotocrómicos	Termocrómicos	Gasocrómicos	EC	LCD	SPD
Agente	Haluros metálicos	Gel termocrómico	Gas hidrógeno	Materiales electrocrómicos	Cristales líquidos	Partículas en suspensión
Efecto	Claro - oscuro	Opaco - transparente	Claro - oscuro	Claro - oscuro	Opaco - transparente	Claro - oscuro
Estado de transparencia	-	-	Apagado	Apagado	Encendido	Encendido
Estado de transición ON - OFF	Si	Si	Si	Si	No	Si
Aplicación de tensión para mantener el estado	-	-	No	Si	No	No
Transmitancia	En experimentación	En experimentación	0,10-0,59	0,5-0,7 a 0,02-0,25	0,05-0,22 a 0,12-0,57	0,05-0,22 a 0,12-0,57
Factor U	En experimentación	En experimentación	Dependiendo del tipo de vidrio usado. No varía en la transición			

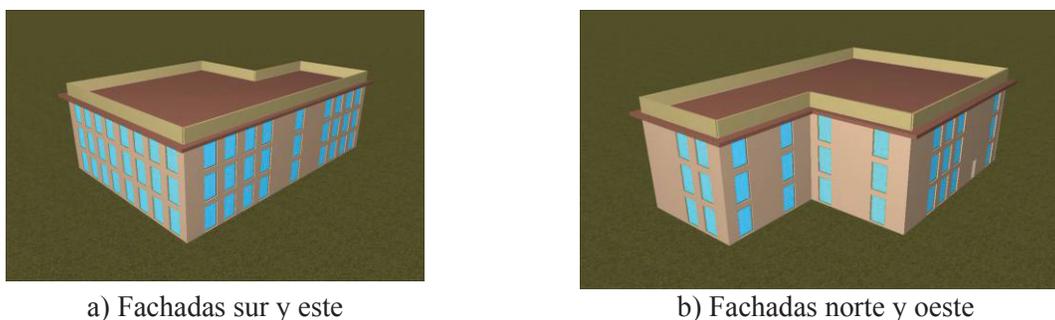
## 4. INFLUENCIA DEL VIDRIO EN LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LOS EDIFICIOS

Tanto en condiciones climáticas de verano como en condiciones de invierno la influencia de los vidrios en la demanda energética de los edificios es de extraordinaria relevancia. Por un lado, los vidrios que forman parte de la envolvente térmica de los edificios son responsables de que una cierta cantidad de calor atraviese dicha envolvente, en forma de conducción y convección. Por este motivo se ha de tener especial cuidado en la selección de vidrios con un coeficiente de transmisión U adecuado. Por otro lado, los vidrios son también responsables de una gran parte de la carga térmica de acondicionamiento debido a su

comportamiento frente a la transmisión de calor por radiación. En este trabajo se incide especialmente en este aspecto, tratando de poner de manifiesto la importancia del factor solar del vidrio.

Se define el factor solar de un vidrio como la relación entre la energía solar que atraviesa una superficie transparente y la que incide sobre esa misma superficie. De tal manera, un vidrio con un factor solar de 0,3 únicamente deja pasar el 30% de la energía solar que sobre él incide.

Para mostrar la importancia del factor solar de los vidrios utilizados en la edificación, así como para cuantificar dicha influencia, se ha simulado el comportamiento térmico de un edificio con uso administrativo y una superficie útil de aproximadamente 1.500 m<sup>2</sup> distribuida en tres plantas. Este edificio se encuentra ubicado en la ciudad de Madrid (zona climática D3), y tiene unos porcentajes de huecos acristalados en las fachadas norte, sur, este y oeste de aproximadamente el 25, 55, 35 y 25% respectivamente. En cuanto a las características de los cerramientos, se trata de soluciones constructivas convencionales (materiales cerámicos, hormigón y aislantes térmicos) de tal manera que los coeficientes de transmisión de calor resultan: 0,61 W/m<sup>2</sup>/K en fachadas, 0,44 W/m<sup>2</sup>/K en suelos y 0,35 W/m<sup>2</sup>/K en cubiertas. La Figura 2 ofrece dos vistas diferentes del edificio.



a) Fachadas sur y este

b) Fachadas norte y oeste

Figura 2.- Vista del edificio

La simulación se ha realizado con la aplicación informática EnergyPlus, desarrollada por el U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy. En la web de la citada entidad pueden consultarse otros programas de simulación [24]. Los parámetros de cálculo se han ajustado a lo establecido en el Real Decreto 1826/2009, de 27 de noviembre, así como al Real Decreto 486/1997, de 14 de abril.

En primer lugar se ha realizado la simulación de la demanda energética variando el factor solar de los vidrios en las cuatro fachadas de manera secuencial. Así por ejemplo, se ha calculado la demanda térmica anual variando el factor solar de los vidrios de una determinada orientación entre 0,1 y 1,0 y manteniendo fijo e igual a 1,0 el valor del factor solar en el resto de orientaciones. Los resultados se muestran en las Tablas 1 y 2. Todos los valores están expresados en kWh por metro cuadrado de superficie útil del edificio.

Tabla 1. Demanda de calor en kWh/m<sup>2</sup> del edificio/año

Factor solar	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Norte	13,75	13,59	13,46	13,35	13,24	13,14	13,03	12,93	12,85	12,77
Sur	29,67	26,42	23,64	21,28	19,24	17,46	15,91	14,46	13,52	
Este	16,04	15,47	14,97	14,56	14,20	13,87	13,57	13,23	12,96	
Oeste	14,86	14,52	14,21	13,96	13,72	13,52	13,32	13,11	12,93	

Tabla 2. Demanda de frío en kWh/m<sup>2</sup> del edificio/año

Factor solar	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Norte	123,45	124,91	126,16	127,20	128,13	128,98	129,85	130,84	131,68	132,32
Sur	88,08	95,04	100,98	105,98	110,32	114,26	118,26	123,74	128,58	
Este	100,72	105,09	109,31	113,16	116,77	120,16	123,51	127,25	129,99	
Oeste	110,02	113,35	116,32	119,04	121,55	123,92	126,26	128,86	130,77	

Tabla 3. Influencia de la orientación en la demanda de energía (kWh/m<sup>2</sup> del edificio/año)

	Demanda de calor		Demanda de frío	
	Promedio	Desviación	Promedio	Desviación
Norte	13,21	0,33	128,35	2,94
Sur	19,44	5,73	111,76	14,49
Este	14,16	1,09	117,83	10,72
Oeste	13,69	0,69	122,24	7,54

En la Tabla 3 se ofrecen los valores promedio de las demandas de calor y refrigeración así como el valor de la desviación típica, estadísticos que se extraen de las Tablas 1 y 2.

De los anteriores resultados se desprenden las siguientes conclusiones:

- Como cabía esperar, el efecto del factor solar es en verano opuesto al de invierno; al aumentar el factor solar disminuye la demanda de refrigeración, pero aumenta la de calefacción.
- El factor solar de los vidrios con orientación norte tiene una influencia en la demanda térmica menor que el resto de orientaciones.
- Teniendo en cuenta el porcentaje de vidrio en las fachadas, la influencia del cambio en la demanda térmica en las orientaciones E y O es similar.
- La orientación sur es la que se muestra más sensible al cambio de los vidrios.

A continuación se centra el estudio en el factor solar de los vidrios con orientación sur, que como se ha visto son los más influyentes en la demanda energética. Para el caso presentado la Tabla 4 muestra la demanda energética total, obtenida como la suma de la demanda de calor y la demanda de frío, considerando el resto de vidrios con factor solar unidad.

 Tabla 4. Influencia de los vidrios SUR en la demanda **total** (kWh/m<sup>2</sup> del edificio/año) – Zona D3

Factor solar	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	Min
Enero	9,57	8,76	8,03	7,39	6,81	6,3	5,88	5,49	5,26	5,08	5,08
Febrero	5,39	4,7	4,12	3,62	3,22	2,9	2,65	2,48	2,38	2,34	2,34
Marzo	1,57	1,39	1,38	1,51	1,68	1,91	2,17	2,53	2,82	3,08	1,38
Abril	1,18	1,66	2,15	2,58	2,97	3,31	3,65	4,11	4,53	4,85	1,18
Mayo	6,91	7,78	8,46	8,99	9,41	9,77	10,11	10,63	11,15	11,5	6,91
Junio	15,79	16,68	17,32	17,79	18,15	18,47	18,78	19,27	19,75	20,07	15,79
Julio	24,57	25,63	26,41	26,97	27,4	27,76	28,11	28,68	29,27	29,65	24,57
Agosto	23,22	24,49	25,5	26,29	26,91	27,42	27,9	28,63	29,34	29,84	23,22
Septiembre	13,49	14,84	16,03	17,05	17,94	18,72	19,47	20,39	21,15	21,76	13,49
Octubre	2,92	3,77	4,63	5,46	6,25	6,98	7,72	8,56	9,17	9,7	2,92
Noviembre	3,51	2,93	2,48	2,15	1,93	1,81	1,78	1,85	1,91	2	1,78
Diciembre	9,63	8,83	8,11	7,46	6,89	6,37	5,95	5,58	5,37	5,22	5,22
<b>Total</b>	<b>117,75</b>	<b>121,46</b>	<b>124,62</b>	<b>127,26</b>	<b>129,56</b>	<b>131,72</b>	<b>134,17</b>	<b>138,2</b>	<b>142,1</b>	<b>145,09</b>	<b>103,88</b>

En este caso, el valor mínimo de demanda energética total es de 117,75 kWh/m<sup>2</sup> de edificio/año y corresponde a unos vidrios con factor solar 0,1 en orientación sur (el resto de vidrios se consideran con factor solar unidad).

En el caso de contar con vidrios inteligentes en orientación sur, la demanda energética total correspondería al sumatorio del valor mínimo de cada fila, valor que en este caso asciende a 103,88 kWh/m<sup>2</sup> de3 edificio/año, lo cual supone una reducción de dicha demanda de energía respecto a la conseguida con vidrios de un factor solar óptimo en torno al 12%. En el caso de haberse contado previamente con vidrios convencionales sin tratamiento alguno, Factor solar 1, el ahorro de energía sería cercano al 40%.

La consideración del factor solar unidad sólo tiene sentido a efectos teóricos para mostrar, como se pretende en este estudio, la influencia de la variación de dicho factor solar. Como valor de referencia más

realista se podría considerar el correspondiente a un vidrio doble incoloro convencional de tipo 4/6/4 con un factor solar medio de 0,8. De disponerse inicialmente de vidrios con factor solar 0,8 la demanda energética total ascendería a 129,47 kWh/m<sup>2</sup> de edificio/año, por lo que el ahorro de energía sería del 19%.

Finalmente, se realiza a continuación un estudio similar al anterior considerando dos ubicaciones bien distintas: Burgos (zona climática E1) y Almería (zona climática A4), Tablas 5 y 6.

En el caso de Burgos, Tabla 5, si se cuenta con vidrios inteligentes en orientación sur la demanda energética total ascendería a 96,47 kWh/m<sup>2</sup> de edificio/año, lo cual supone una reducción de demanda de energía respecto al caso de contar con vidrios de factor solar 0,1 en torno al 18%. En el caso de haberse contado previamente con vidrios convencionales sin tratamiento alguno, el ahorro de energía sería cercano al 25%.

De disponerse inicialmente de vidrios con factor solar 0,8 la demanda energética total ascendería a 117,64 kWh/m<sup>2</sup> de edificio/año, por lo que el ahorro de energía sería del 18%.

Tabla 5. Influencia de los vidrios SUR en la demanda **total** (kWh/m<sup>2</sup> de edificio/año) – Zona E1

<b>Factor solar</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>	<b>Min</b>
Enero	17,5	16,88	16,31	15,79	15,31	14,87	14,45	14,04	13,77	13,56	13,56
Febrero	11,53	10,76	10,08	9,46	8,91	8,4	7,93	7,46	7,14	6,88	6,88
Marzo	7,35	6,61	6,01	5,56	5,23	4,99	4,81	4,66	4,56	4,52	4,52
Abril	3,34	2,97	2,71	2,58	2,51	2,48	2,49	2,57	2,65	2,74	2,48
Mayo	1,83	2,26	2,65	2,98	3,27	3,52	3,77	4,16	4,53	4,8	1,83
Junio	8,16	9,02	9,68	10,18	10,58	10,92	11,25	11,76	12,25	12,59	8,16
Julio	16,19	17,33	18,19	18,83	19,32	19,73	20,12	20,75	21,39	21,81	16,19
Agosto	15,48	16,84	17,95	18,83	19,54	20,12	20,67	21,47	22,24	22,8	15,48
Septiembre	6,94	8,12	9,17	10,1	10,92	11,66	12,37	13,22	13,93	14,49	6,94
Octubre	2,48	2,57	2,77	3,03	3,34	3,69	4,07	4,54	4,89	5,21	2,48
Noviembre	9,69	8,93	8,25	7,64	7,1	6,61	6,19	5,81	5,58	5,38	5,38
Diciembre	16,73	16,1	15,52	14,98	14,48	14,01	13,56	13,1	12,82	12,57	12,57
<b>Total</b>	<b>117,22</b>	<b>118,39</b>	<b>119,29</b>	<b>119,96</b>	<b>120,51</b>	<b>121</b>	<b>121,68</b>	<b>123,54</b>	<b>125,75</b>	<b>127,35</b>	<b>96,47</b>

Tabla 6. Influencia de los vidrios SUR en la demanda **total** (kWh/m<sup>2</sup> de edificio/año) – Zona A4

<b>Factor solar</b>	<b>0,1</b>	<b>0,2</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>	<b>Min</b>
Enero	0,87	1,11	1,58	2,2	2,93	3,7	4,5	5,38	5,97	6,5	0,87
Febrero	1,07	1,59	2,24	2,96	3,7	4,44	5,2	6,03	6,62	7,14	1,07
Marzo	3,53	4,48	5,36	6,15	6,84	7,48	8,09	8,85	9,49	10,01	3,53
Abril	7,78	8,79	9,62	10,28	10,82	11,28	11,71	12,33	12,93	13,36	7,78
Mayo	15,19	16,23	16,98	17,54	17,98	18,35	18,71	19,29	19,85	20,23	15,19
Junio	26,34	27,26	27,89	28,35	28,71	29,03	29,36	29,86	30,35	30,65	26,34
Julio	37,79	38,86	39,6	40,14	40,55	40,91	41,26	41,84	42,4	42,76	37,79
Agosto	37,49	38,8	39,82	40,59	41,19	41,67	42,14	42,87	43,59	44,07	37,49
Septiembre	28,43	30,01	31,36	32,49	33,43	34,24	35	35,98	36,84	37,5	28,43
Octubre	14,67	16,35	17,87	19,23	20,45	21,55	22,6	23,8	24,71	25,47	14,67
Noviembre	3,31	4,47	5,64	6,78	7,89	8,96	10,02	11,14	11,88	12,52	3,31
Diciembre	1,53	1,79	2,23	2,79	3,45	4,2	4,99	5,86	6,43	6,94	1,53
<b>Total</b>	<b>178</b>	<b>189,74</b>	<b>200,19</b>	<b>209,5</b>	<b>217,94</b>	<b>225,81</b>	<b>233,58</b>	<b>243,23</b>	<b>251,06</b>	<b>257,15</b>	<b>178</b>

En este caso de Almería, Tabla 6, el valor mínimo de demanda energética total es de 178 kWh/m<sup>2</sup> de edificio/año y también se corresponde a unos vidrios con factor solar 0,1 en orientación sur. En este caso, puesto que el valor mínimo de cada fila se tiene siempre en la misma columna, factor solar 0,1, no tendría

sentido la utilización de vidrios inteligentes, sino que sería suficiente disponer de estos vidrios en la orientación sur. En el caso de haberse contado previamente con vidrios convencionales sin tratamiento alguno, factor solar 1, el ahorro de energía sería superior al 30%.

De disponerse inicialmente de vidrios con factor solar 0,8 la demanda energética total ascendería a 228,56 kWh/m<sup>2</sup> de edificio/año, por lo que el ahorro de energía sería del 22%.

## 5. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

Los vidrios son uno de los puntos claves en demanda energética de la climatización de los edificios. Es por esto por lo que hay un interés creciente en la fabricación de vidrios de mejor calidad. Desde el punto de vista del coeficiente de transmisión U del vidrio, en general se percibe que los agentes de la edificación han asumido adecuadamente la importancia de cuidar dicho aspecto, no sin dificultades y reticencias, a raíz de la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación. Respecto al factor solar, es sabido que cuando un vidrio reduce la demanda térmica de calefacción tiende a aumentar la de refrigeración. No obstante lo anterior, se sigue cometiendo de manera recurrente el mismo error en el diseño de huecos y fachadas, resultando que el coste de explotación del edificio con frecuencia se dispara debido a la carga térmica de acondicionamiento del mismo, especialmente en condiciones de verano.

Para reducir la demanda de refrigeración, hasta ahora se había considerado la instalación de protecciones solares, tales como toldos y persianas exteriores de lamas. Sin embargo, estos elementos no siempre resultan aceptables desde el punto de vista del diseño estético del edificio, quedando en todo caso supeditados al criterio del proyectista. Además, en demasiadas ocasiones, con el fin de eliminar los problemas de deslumbramientos por iluminación natural se tiende a mantener las persianas bajadas durante el día, especialmente en edificios de uso administrativo, disparándose el consumo de energía eléctrica para alumbrado. El desarrollo de la tecnología ha hecho que aparezcan en el mercado multitud de tipos de vidrios distintos, lo que permiten encontrar soluciones técnicamente muy aceptables para la diversidad de situaciones que se puedan plantear.

Las últimas tecnologías han creado los vidrios activos, cuyas características térmicas se pueden modificar para adecuar su comportamiento a las necesidades térmicas de los locales en función de las diferentes épocas del año. La aplicación de estos nuevos vidrios hace que los programas de cálculo de la demanda térmica de los edificios, así como los de calificación energética, se tengan que revisar para adaptarse a estos nuevos componentes.

Finalmente un aspecto que, aunque importante, excede el alcance de esta ponencia, es la consideración del coste de este tipo de vidrio así como el retorno de la inversión realizada. Sobre estos extremos pueden consultarse algunas conclusiones en [25]. A pesar del alto coste inicial de esta tecnología, la consideración del coste de explotación puede aconsejar su utilización, especialmente en latitudes mediterráneas. Asimismo, es razonable esperar que el aumento del uso de esta tecnología haga que su coste inicial sea decreciente, lo que puede incrementar su utilización en los próximos años.

## 6. REFERENCIAS

- [1] [http://www.cores.es/pdf/Resumen\\_BEH\\_Cores\\_2011.pdf](http://www.cores.es/pdf/Resumen_BEH_Cores_2011.pdf)
- [2] [http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos\\_Informe\\_consumos\\_energeticos\\_2010\\_17.12.11\\_2f654291.pdf](http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_Informe_consumos_energeticos_2010_17.12.11_2f654291.pdf)
- [3] Aboulnaga M.M. Towards green buildings: Glass as a building element. *Renewable Energy* 2006, vol 31, pp 631–653
- [4] Cetiner, I., Ertan Ozkan E., An approach for the evaluation of energy and cost efficiency of glass facades, *Energy and Buildings* 2005, Vol 37 pp 673–684
- [5] Oliveti G., Arcuri N., Bruno R., De Simona M., An accurate calculation model of solar heat gain through glazed surfaces. *Energy and Buildings* 2011 Vol 43 pp 269–274

- [6] Chaiyapinunta S., Phueakphongsuriyaa B., Mongkornsaksita K., Khomporn N., Performance rating of glass windows and glass windows with films in aspect of thermal comfort and heat transmission. *Energy and Buildings* 2005 Vol 37 pp 725–738
- [7] Baetens R., Jelle B., Gustavsen A., Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2010, vol 94, pp 87–105
- [8] Carmody J., Selkowitz S., Heschong L., “Residential Windows: A Guide to New Technologies and Energy Performance”. New York: W.W. Norton, ISBN 0-393-73004-2, 2007.
- [9] Caviplan, “Manual del vidrio plano”, 3ª Edición, Diciembre 2009
- [10] Shena H., Tanb H., Tzempelikosa A., The effect of reflective coatings on building surface temperatures, indoor environment and energy consumption—An experimental study. *Energy and Buildings* 2011 Vol 43 pp 573–580
- [11] Rosencrantz T., Bulow-Hube H., Karlsson B., Roos A., Increased solar energy and daylight utilisation using anti-reflective coatings in energy-efficient windows. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2005 Vol 89 pp 249–260
- [12] Trotter D.M., Vidrios fotocromicos y fotosensibles. *Investigación y ciencia*, ISSN 0210-136X, N° 177, págs. 66-72, 1991
- [13] Yanfeng Gao Y. et al. Nanoceramic VO<sub>2</sub> thermochromic smart glass: A review on progress in solution processing *Nano Energy*. 2012 Vol 1 pp 221–246
- [14] Arutjunjan, R.E.; Markova, T.S.; Halopenen, I.Y.; Maksimov, I.K.; Tutunnikov, A.I.; Yanush, O.V., Thermochromic Glazing for “Zero Net Energy” House; *Proc. Glass Processing Days: Tampere, Finland*, 2003; pp. 299-301.
- [15] Ye H., Meng X., Bin Xu, B., Theoretical discussions of perfect window, ideal near infrared solar spectrum regulating window and current thermochromic window. *Energy and Buildings* 2012 Vol 49 pp 164–172
- [16] Saeli M., et al, Energy modelling studies of thermochromic glazing, *Energy and Buildings* 2010 Vol 42 1666–1673
- [17] Saeli M., et al. Nano-composite thermochromic thin films and their application in energy-efficient glazing. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2010 Vol 94 pp 141–151
- [18] Yoshimura K et al. Preparation and characterization of gasochromic switchable-mirror window with practical size. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2009 Vol 93, pp 2138–2142.
- [19] A. Piccolo, A. Thermal performance of an electrochromic smart window tested in an environmental test cell. *Energy and Buildings* 2010, Vol 42 pp 1409–1417
- [20] Huang L.M., et al. Photovoltaic electrochromic device for solar cell module and self-powered smart glass applications. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2012 Vol 99 pp 154–159
- [21] Jonsson A., Roos A., Jonson E., The effect on transparency and light scattering of dip coated antireflection coatings on window glass and electrochromic foie. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 2010 Vol 94 992–997
- [22] Oltean M., Switchable Glass: A possible medium for Evolvable Hardware. *NASA conference on Adaptive Hardware Systems*, IEEE CS Press, pp 81-87, 2006
- [23] Hernández J.A. et al, Cerramientos transparentes o translúcidos activos con capacidad de gestión energética. *Patente ES 2 304 871 A1*, Publicada 16.10.2008
- [24] [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/alpha\\_list.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm)
- [25] Lymperopouloy L., “Estudio comparativo de la eficiencia energética de los edificios de oficina en clima mediterráneo a partir de la utilización de diferentes tipos de acristalamiento”. *Tesina vidrios estáticos y dinámicos*, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, 2012.