

# Algunos lugares comunes (erróneos) respecto de la *transpirabilidad* de la construcción

Por Carlos Castro, arquitecto del dpto. técnico de *Dow Building Solutions*

## Primer lugar común sobre el concepto de *transpirabilidad*: ¿¿es que el aire debe pasar a través de los cerramientos??

Al hablar de *transpirabilidad*, se llega a confundir el movimiento del vapor de agua a través del cerramiento, dado por el puro mecanismo físico de difusión, debido a las diferentes concentraciones y presiones de vapor entre interior y exterior, con el inaceptable movimiento de aire (y con el aire, el vapor contenido en él) a través del cerramiento.

En efecto, el buen comportamiento higrotérmico del edificio exige que sus cerramientos sean lo más estancos que se pueda al paso de aire por simple convección a su través. Cuando ocurre este movimiento por convección se producen tres efectos perniciosos:

1. La transmisión térmica aumenta a través del cerramiento. No hay que olvidar que la convección es uno de los tres mecanismos físicos de transmisión de calor. Así, una cámara de aire con aislante instalado en ella ve fácilmente reducida a la mitad su resistencia térmica si el aislante no se instala correctamente y no se impiden las corrientes de convección en la cámara.
2. Asimismo las infiltraciones de aire excesivas introducen aire frío exterior en el interior. En definitiva el balance energético del edificio se desequilibra y aumenta la demanda energética por excesiva -e incontrolada- renovación del aire.
3. Lo peor es que si hay *in*-filtraciones, también hay *ex*-filtraciones, es decir, aire interior con alto grado de humedad sale al exterior a través de los cerramientos, incorrectamente “transpirables”. ¿Qué pasa entonces? Pues que es tal la cantidad de humedad que porta consigo el aire, que se alcanza fácilmente la saturación (punto de rocío) en el interior del cerramiento. Esta es la principal razón, y con mucha diferencia, para que se produzcan las llamadas *condensaciones intersticiales*. En realidad, la cantidad de vapor movido por convección y condensado puede ser del orden de uno (x 10), dos (x 100) y hasta tres (x 1000) órdenes de magnitud la cantidad condensada por mera difusión del vapor. Es decir, si se suele considerar, en el cálculo estricto de condensación por difusión de vapor, un valor máximo aceptable de unos pocos cientos de gramos (200-500) de vapor condensado por m<sup>2</sup> de cerramiento al mes, resulta que ese mismo valor y bastante más se puede tener, ¡cada día o menos!, si el vapor se ha introducido en el cerramiento por exfiltraciones y convección asociada.

Ahora bien, una vez aclarado que la *transpirabilidad* así entendida no lleva a una buena construcción sino, todo lo contrario, lleva a una patología, cabe preguntarse dónde puede producirse en los edificios y, en tal caso, qué soluciones adoptar.

En la construcción habitual de una pared exterior con aislamiento en cámara sucede que la doble hoja que cobija dicha cámara suele ser muy desequilibrada en la típica construcción que se da en España:

- La hoja exterior, el “medio pie” o, en el mejor de los casos, “pie” de fábrica de ladrillo (o de bloque), sea cara vista o tosco para enfoscar, se puede considerar estanca al aire, sobre todo por la presencia de ese enfoscado, y en particular si se tiene la tradicional precaución de enfoscar también por la cara interior de esa hoja exterior. De este modo dicha

fábrica exterior queda construida aceptablemente, sobre todo por la idea de que es la parte del muro expuesta a las inclemencias meteorológicas (lluvia-viento).

➤ Sin embargo, la hoja interior con la que se ha trasdosado la cámara con el aislamiento, es una fábrica más endeble, incluso de ladrillo de hueco sencillo (el vulgar “panderete”), que, además, recibe todo el impacto de rozas abiertas para tomas de corriente, mecanismos y canalizaciones eléctricas y de todo tipo. Resultado: fisuraciones, grietas, juntas y todo tipo de vías sin sellar adecuadamente, por las que el aire interior “exfiltra” a la cámara y condensa en cuanto alcanza el punto de rocío. Esto comenzará más bien en el propio espesor del aislamiento, si es bastante o totalmente poroso, o más bien en su cara fría, si es poco o nada poroso.

Junto a las múltiples rozas para paso de instalaciones, la colocación de las ventanas puede originar también numerosas entradas de aire en comunicación con la cámara si su instalación no se ha hecho mediante un sellado cuidadoso en el encuentro con el muro...¡Por no hablar de capialzados y cintas de persianas!.

Soluciones:

➤ Sellar cualquier posible entrada de aire en la cámara, en particular las originadas por la instalación de las ventanas.

➤ Disponer como hoja interior del muro una fábrica que asegure la estanqueidad al aire, a pesar de las rozas previstas (ladrillo de hueco doble como mínimo).

➤ Incorporar membranas paravientos “transpirables”. Sin embargo este tipo de láminas se utilizan sobre todo en construcción ligera (madera, paneles prefabricados, etc.) más que en construcción pesada, basada en hormigón y albañilería tradicional.

➤ Disponer en la cámara *aislantes higrotérmicos* como el XPS, prácticamente insensibles a ataques de humedad, de forma que, si llega aire cargado de humedad que condensa, al menos no afectará a las prestaciones del aislante.

➤ Disponer *aislante térmicos*, pero con la consistencia adecuada y la protección necesaria dada por barreras o frenos paravapor. Es muy importante entonces comprobar la cuidadosa instalación de la barrera y su correcto y efectivo sellado/encintado. Puede ser más efectivo aún prever una cámara de aire muy ventilada en la cara fría del aislante. De esta forma, si se forma condensación, también se favorecerá su evaporación y, en definitiva, su secado (es la imagen de la ropa húmeda tendida y puesta a secar).

➤ Como propuesta relativamente novedosa en la construcción española, puede ser recomendable hacer, al término de la obra, un ensayo in-situ tipo “puerta soplante” (*blower door test*, norma de referencia UNE EN 13829). Es el tipo de ensayo más generalizado para verificar la estanqueidad al aire del edificio.

**Segundo lugar común sobre el concepto de *transpirabilidad*: ¿¿es que es un problema constructivo el que los cerramientos puedan ser “poco” transpirables, es decir, resistentes a la difusión del vapor??**

Una vez que descartamos el movimiento del aire a través del cerramiento, comprendiendo que es algo negativo y patológico (lo cual, por lo demás, es bien sabido por todos los niños que han escuchado el cuento de “los tres cerditos”...), queda examinar el puro proceso de difusión del vapor. A tal fin, nos podemos valer del método de cálculo definido en la norma UNE EN 13788, que permite hacer el cálculo de difusión de vapor siguiendo el conocido método del diagrama de Glaser.

Se empieza definiendo unas condiciones interiores y exteriores para las que basta dar las medias mensuales de temperatura y humedad relativa. Sirven las medias mensuales dada la gran lentitud del proceso de difusión de vapor.

En realidad, definida una temperatura  $T$  y una humedad relativa  $HR$ , lo que se tiene es una presión de vapor que caracteriza al ambiente.

Debido a las numerosas fuentes productoras de vapor en el ambiente interior habrá siempre unas condiciones de mayor presión de vapor en el interior que en el exterior. Esto se aplica especialmente a las condiciones climáticas europeas en invierno. En climas tropicales y en la estación cálida y húmeda es al revés: habrá más presión de vapor en el exterior que en el interior.

En la norma UNE EN 13788 se caracterizan los diversos ambiente interiores en función de su grado higrotérmico (o humedad relativa,  $HR$ ). Pues bien, se considera adecuado en toda Europa ( $EN =$  Norma Europea) que una vivienda tenga  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $55\%$   $HR$  como condiciones mensuales medias.

¿Cómo se logra mantener esas condiciones interiores? Es decir, ¿cómo se logra que la vivienda no vea aumentado su grado higrométrico hasta el punto en que se favorezca la aparición de moho en las superficies interiores de los cerramientos exteriores -con  $> 80\%$   $HR$ - o incluso de condensaciones superficiales -en saturación =  $100\%$   $HR$ -?

Evidentemente la respuesta es ventilando. Con tal objeto se debe garantizar una renovación del aire interior. Con  $0.5$  renovaciones a la hora (es decir, el volumen interior de aire se renueva entero cada dos horas) ya es suficiente, en el uso de la vivienda, para mantener las condiciones interiores mencionadas y para todas las condiciones climáticas exteriores existentes en nuestro país y en todos los países europeos.

Con dicha renovación del aire interior alrededor del  $95-99\%$  del vapor producido en el interior de la vivienda se elimina al exterior sin ninguna dificultad.

El  $1-5\%$  restante se va a difundir sin mayor dificultad a través de los cerramientos que forman la envolvente de la casa o vivienda.

La pregunta ahora es la siguiente: ¿en qué medida influye la resistencia a la difusión del vapor de los cerramientos a la hora de evitar problemas ocasionados por esta difusión de vapor?

O, dicho en lenguaje coloquial: ¿en qué medida influye la *transpirabilidad* de los cerramientos a la hora de evitar problemas ocasionados por esta difusión de vapor?

Lo primero que hay que entender es que el único problema que puede acarrear la difusión del vapor a través de un cerramiento es que se condense en el interior del cerramiento. Un flujo de vapor sin condensación asociada no es problema, sea cual sea la cantidad que se esté difundiendo (poca, en todo caso). Repitamos, entonces, la pregunta: ¿en qué medida influye la *transpirabilidad* de los cerramientos a la hora de evitar condensaciones intersticiales?

La respuesta es que la mayor *transpirabilidad*, o más exactamente, la mayor permeabilidad a la difusión del vapor, es una característica adecuada en la medida en que el material que la presenta sea igualmente transmisor de la energía, del calor.

Consecuentemente los materiales aislantes del calor que no sean análogamente resistentes a la difusión del vapor, presentan mayor riesgo de condensación intersticial.

Sin necesidad de poner cifras está claro que los aislamientos térmicos dividen el cerramiento en una parte cálida y una parte fría. En tal caso un aislante térmico permeable al vapor (“transpirable”) implica una presencia de vapor más elevada en su cara fría, tan elevada que será más probable que se alcance la saturación (= condensación intersticial).

Los materiales de construcción usuales “transpiran” el vapor en medida equivalente a como “transmiten” el calor. Ese comportamiento digamos “armónico” reduce el riesgo de formación de condensaciones intersticiales.

Los *aislantes higrotérmicos*, como el XPS, “transpiran” (vapor) y “transmiten” (calor) en forma proporcional y armónica también (“transpiran” menos exactamente en la medida en que transmiten menos).

El problema viene, pues, de la mano de materiales aislantes puramente térmicos que presentan comportamientos disímiles frente a los dos fenómenos de difusión de vapor y de transmisión de calor. Es por ello que, en casos donde las condiciones climáticas y de uso lo requieran, habrá que disponer barreras o frenos paravapor, productos que, esta vez sí, conllevan una *transpirabilidad* varios órdenes de magnitud inferior.

## Caso práctico de análisis de difusión de vapor y riesgo de condensaciones: fachada con SATE (ETICS).

Se exponen a continuación tres cálculos higrotérmicos para condiciones climáticas de inviernos fríos (clima de Turín -Italia-, equivalente al de la meseta norte castellana, con inviernos muy fríos). Se corresponden con un sistema SATE para fachada con tres tipos de aislamientos:

- Aislamiento con resistencia a la difusión del vapor muy baja, factor  $\mu = 1$
- Aislamiento con resistencia a la difusión del vapor media, factor  $\mu = 30$
- Aislamiento tipo XPS, con resistencia a la difusión del vapor media, factor  $\mu = 100$

El lugar común discutido aquí podría llevar a pensar que lo más favorable es tener un factor  $\mu$  lo más bajo posible, es decir una permeabilidad al vapor lo más alta posible (vulgo “*una transpirabilidad lo más alta posible...*”). Veamos los resultados.

El clima de Turín se recoge en la siguiente tabla. Se muestran valores medios mensuales (según EN 13788) y se determinan por consiguiente las presiones de vapor a uno ( $p1$ , ambiente exterior) y otro lado ( $p2$ , ambiente interior) del cerramiento, el “motor” que moverá el vapor por difusión. Es importante notar que el ambiente interior se supone a condiciones estables de 20 °C y 55% de humedad relativa a lo largo de todo el año.

Clima: **TURIN (45°11'N 7°39'E 282m)**

No.	Nombre	Duración [Días]	T1 [°C]	HR1 [%]	p1 [Pa]	T2 [°C]	HR2 [%]	p2 [Pa]
1	Enero	31.00	0.1	84.3	519.0	20.0	55.0	1285.8
2	Febrero	28.25	1.6	82.7	567.0	20.0	55.0	1285.8
3	Marzo	31.00	7.2	54.3	551.0	20.0	55.0	1285.8
4	Abril	30.00	11.0	56.7	744.0	20.0	55.0	1285.8
5	Mayo	31.00	15.5	65.9	1160.0	20.0	55.0	1285.8
6	Junio	30.00	19.2	72.8	1619.0	20.0	55.0	1285.8
7	Julio	31.00	22.0	68.4	1808.0	20.0	55.0	1285.8
8	Agosto	31.00	20.4	79.4	1902.0	20.0	55.0	1285.8
9	Septiembre	30.00	17.2	72.1	1414.0	20.0	55.0	1285.8
10	Octubre	31.00	11.6	81.4	1112.0	20.0	55.0	1285.8
11	Noviembre	30.00	5.6	88.9	808.0	20.0	55.0	1285.8
12	Diciembre	31.00	1.6	85.0	583.0	20.0	55.0	1285.8

Los cerramientos parten de la misma sección constructiva, pero variando el tipo de material aislante, lo que determina tres diferentes factores  $\mu$  o, lo que vale por lo mismo, tres diferentes valores de permeabilidad (¿transpirabilidad!). Se muestra para el caso de un poliestireno extruido -XPS- *STYROFOAM™ ETICS-A* con factor  $\mu = 100$ :

Pared: **SATE 03.WAL**

Nombre lado 1: EXTERIOR  $h_1$  [W/m<sup>2</sup>K]: 25.0000  $\mu d-1$  [m]: 0.0014

No.	Nombre	e [m]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	$\mu$ [-]	$\mu d$ [m]
1	Monocapa SATE	0.0050	1.200	0.0042	400.0	2.0000
2	XPS	0.1000	0.036	2.7778	100.0	10.0000
3	Adhesivo cementoso	0.0050	1.400	0.0036	50.0	0.2500
4	Fábrica ladrillo	0.2500	0.400	0.6250	6.0	1.5000
5	Enlucido	0.0100	0.700	0.0143	18.0	0.1800

Nombre lado 2: INTERIOR  $h_2$  [W/m<sup>2</sup>K]: 7.6920  $\mu d-2$  [m]: 0.0084

**Total:  $d = 0.3700$  m  $U = 0.278$  W/m<sup>2</sup>K  $R = 3.425$  m<sup>2</sup>K/W  $\mu d = 13.9300$  m**

Con estos datos de partida el cálculo higrotérmico ofrece el siguiente resultado:

**Pared:** SATE 03.WAL    **Clima:** TURIN.BOC    **Método de cálculo:** GLASER

ciclo 1 - período 1 (Enero)

	e	t	ps	p	Qm	cond
	[m]	[°C]	[Pa]	[Pa]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]
EXTERIOR		0.1	615	519	0.0266	
		0.3	625	519		-
Monocapa SATE	0.0050				0.0266	
		0.3	626	626		0.0008
XPS	0.1000				0.0274	
		15.7	1786	1179		-
Adhesivo cementoso	0.0050				0.0274	
		15.7	1788	1193		-
Fábrica ladrillo	0.2500				0.0274	
		19.2	2225	1275		-
Enlucido	0.0100				0.0274	
		19.3	2236	1285		-
INTERIOR		20.0	2338	1286	0.0274	
<b>Total:</b>	<b>0.3700</b>					<b>0.0008</b>

En las columnas de la tabla anterior se muestra, de izquierda a derecha:

- la sección constructiva, desde el exterior al interior
- el espesor físico, e, de cada capa de la sección constructiva [en metros]
- la temperatura en cada interfase entre dos capas sucesivas [en °C]
- la presión de saturación en cada interfase entre dos capas sucesivas [en Pascal]
- la presión efectiva en cada interfase entre dos capas sucesivas [en Pascal]
- el flujo de vapor por difusión en cada interfase entre dos capas sucesivas [en kg de agua por m<sup>2</sup> de cerramiento; hay que notar que se muestra un valor mensual, para el mes de enero]
- en su caso, la condensación habida, en la interfase en que ocurra [en kg de agua por m<sup>2</sup> de cerramiento; hay que notar que se muestra un valor mensual, para el mes de enero]

En la tabla anterior es interesante resaltar el muy bajo valor de “transpiración” del muro. En un mes de enero, se difunden unos 27 gramos de vapor por cada metro cuadrado de fachada. Es decir, algo menos de un gramo por día.

La condensación formada entre el aislamiento de XPS y el revoco de mortero monocapa es de solo 8 décimas de gramo en todo el mes de enero. Se considera inapreciable a todos los efectos.

Para un aislamiento con factor  $\mu = 30$ , se obtiene, con la misma sección constructiva, la siguiente tabla:

**Pared:** SATE 02.WAL    **Clima:** TURIN.BOC    **Método de cálculo:** GLASER

**cycle 1 - período 1 (Enero)**

	e	t	ps	p	Qm	cond
	[m]	[°C]	[Pa]	[Pa]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]
EXTERIOR		0.1	615	519	0.0267	
		0.3	626	519		-
Monocapa SATE	0.0050				0.0267	
		0.3	627	627		0.0395
Aislante térmico $\mu=30$	0.1000				0.0662	
		15.6	1775	1027		-
Adhesivo cementoso	0.0050				0.0662	
		15.7	1778	1060		-
Fábrica ladrillo	0.2500				0.0662	
		19.2	2222	1261		-
Enlucido	0.0100				0.0662	
		19.3	2233	1285		-
INTERIOR		20.0	2338	1286	0.0662	
<b>Total:</b>	<b>0.3700</b>					<b>0.0395</b>

Vemos que la fachada con SATE deja difundir más vapor, hasta 66 gramos por m<sup>2</sup> en el mes de enero (2.13 gramos diarios), pero ello se produce a costa de una condensación, si bien no preocupante, al menos ya de cierta entidad, unos 40 gramos por m<sup>2</sup> de fachada, difundiendo al exterior finalmente una cantidad, unos 27 gramos por m<sup>2</sup> (0.87 gramos diarios), igual a la del caso de haber aislado con un aislante de factor  $\mu = 100$ .

Finalmente para un aislamiento con factor  $\mu = 1$ , se obtiene, con la misma sección constructiva, la siguiente tabla:

**Pared:** SATE 01.WAL    **Clima:** TURIN.BOC    **Método de cálculo:** GLASER

**ciclo 1 - período 1 (Enero)**

	e	t	ps	p	Qm	cond
	[m]	[°C]	[Pa]	[Pa]	[kg/m <sup>2</sup> ]	[kg/m <sup>2</sup> ]
EXTERIOR		0.1	615	519	0.0536	
		0.3	626	519		-
Monopaca para SATE	0.0050				0.0536	
		0.4	627	627		0.1067
Aislante térmico $\mu=1$	0.1000				0.1603	
		15.5	1755	659		-
Adhesivo base cementosa	0.0050				0.1603	
		15.5	1757	740		-
Fábrica ladrillo	0.2500				0.1603	
		19.2	2218	1225		-
Enlucido	0.0100				0.1603	
		19.2	2229	1283		-
INTERIOR		20.0	2338	1286	0.1603	
<b>Total:</b>	<b>0.3700</b>					<b>0.1067</b>

De nuevo vemos que la fachada con SATE deja difundir más vapor, hasta 160 gramos por m<sup>2</sup> en el mes de enero (unos 5.16 gramos diarios), pero ello se produce a costa de una condensación ya bastante elevada de 107 gramos por m<sup>2</sup> de fachada (que habrá que valorar ciertamente en cuanto a riesgo de excesiva condensación a lo largo del año), difundiendo al exterior finalmente una cantidad de unos 54 gramos por m<sup>2</sup> (unos 1.74 gramos diarios), el doble que en el caso haber aislado con los aislantes de factor  $\mu = 100$  y de factor  $\mu = 30$ .

La diferencia en permeabilidad de la fachada entre dichos productos queda pues reducida a  $1.74 - 0.87 = 0.87$  gramos diarios por m<sup>2</sup> de fachada. De hecho, para evitar las condensaciones se recurrirá, en el caso del aislante con factor  $\mu = 1$  a protegerlo con barreras o frenos para vapores, con lo que la permeabilidad será, en realidad, inferior (por no decir nula).

Pero hay que notar que este proceso de difusión de vapor resulta insignificante si, por ejemplo, la sección constructiva no ofrece adecuada estanqueidad al aire y se ve invadida de aire que arrastra vapor por convección -no difusión-, como se explicó anteriormente.

A título comparativo baste señalar que una barrera de vapor mal sellada, mal encintada, deja pasar (insistamos: por convección) hasta 800 gramos de agua en forma de vapor cada día, ¡por cada metro lineal mal sellado!. Por supuesto, las enormes condensaciones intersticiales a que pueda dar lugar son el auténtico problema constructivo, y magro consuelo sería decir que la pared, a cambio, “transpira” con facilidad...