



Tenemos claro que cuando hay una diferencia de temperatura entre el interior y el exterior existe un flujo de calor que atraviesa el cerramiento. Lo mismo ocurre con las diferencias de presión de vapor entre el interior y el exterior.

Este flujo de vapor permite que no se acumule humedad dentro de los edificios. En función de qué materiales y en qué orden los coloquemos conseguiremos un cerramiento con más o ninguna posibilidad de condensación, siempre en función de las condiciones de humedad y temperatura interiores y exteriores. Para saber cómo se comporta el vapor de agua primero tendremos que entender algunos conceptos como presión de vapor, presión de saturación, permeabilidad.

El aire y el vapor de agua

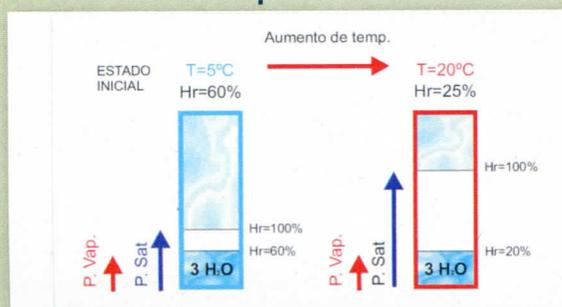
El aire está formado por distintos gases, entre ellos el vapor de agua. En función de las condiciones de temperatura este aire admitirá más o menos vapor de agua. Cuando por las condiciones de temperatura el aire ya no admite más vapor de agua el excedente lo

convierte en agua en estado líquido, diremos que condensa.

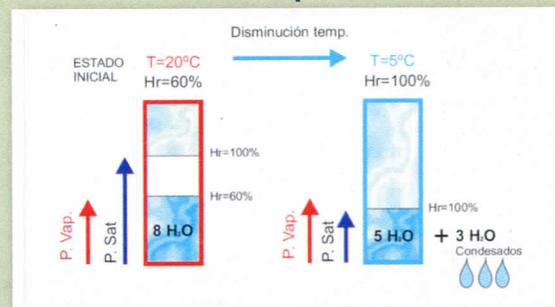
Por ejemplo, el aire a una temperatura de 20°C admite hasta una humedad específica (W) de 14.7 gr por kg de aire, mientras que si está a 5°C admite 5.4 gr por kg de aire. En los dos casos la humedad relativa (Hr) sería del 100%, llegando a la presión de saturación (Psat) a partir de la cual el vapor de agua condensa.

Veamos que pasa cuando cambiamos la temperatura del aire con la cantidad de agua que contiene. Si aumentamos la temperatura automáticamente incrementará la presión de vapor por lo que admitirá más vapor de agua. En el caso contrario si disminuimos la temperatura disminuye la presión de vapor hasta llegar a la presión de saturación y se producen condensaciones.

Aumento de temperatura



Disminución de temperatura



Qué ocurre en nuestros edificios

En nuestros edificios queremos tener unas condiciones de confort térmico interior, temperaturas cercanas a 20°C en invierno y a los 25°C en verano y unas condiciones de humedad relativa de entre el 40 y el 60%. El ambiente exterior suele presentar unas condiciones muy diferentes y variables. Estas diferencias crean presiones de vapor distintas entre el exterior y el interior. Evidentemente la naturaleza busca el equilibrio y lo único que se lo impide son los cerramientos. Así que el vapor de agua sobrante de un lado intenta atravesar el cerramiento hasta conseguir equilibrar la presión de vapor interior - exterior.

Como se puede ver en los siguientes gráficos, existe un flujo de vapor que en invierno se produce del interior al exterior y en verano en sentido contrario. En función de la diferencia de presión interior-exterior este flujo será más o menos intenso. En las condiciones de verano típicas de la península ibérica, difícilmente se pueden dar condensaciones.

La permeabilidad al vapor de agua

La permeabilidad al vapor de agua de un material nos indica la cantidad de vapor que pasa por unidad de superficie por un espesor determinado por unidad de tiempo cuando entre sus caras se establece una diferencia de presión de vapor.

El factor de resistencia al vapor de agua (μ)

El factor μ es un coeficiente a dimensional. Es resultado del cociente entre la permeabilidad de 1 metro de aire(*) respecto a la permeabilidad de otro material.

(*) Se considera que el aire con unas condiciones de temperatura de 23 °C, 50% Hr y 1 Atmosfera de presión atmosférica es tiene una permeabilidad al vapor de agua de 1,95 E-10 kg/(m. s. Pa).



W: Humedad específica gr de agua / kg aire seco



W: Humedad específica gr de agua / kg aire seco

Así que un material con una μ de 2 significa que tiene una resistencia al vapor equivalente a dos veces la ejercida por dos metros lineales de aire.

Espesor de aire equivalente (sdn)

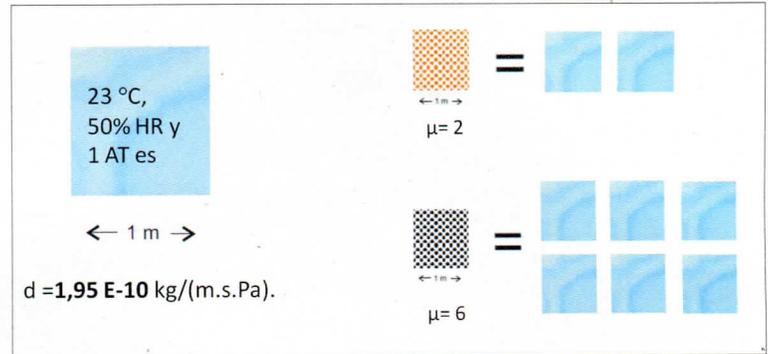
Es el resultado de multiplicar el coeficiente μ por el espesor del material. Como resultado tenemos el equivalente en metros de aire.

Por ejemplo:

14 cm de pared ($\mu=10$) + 5 cm de lana de oveja ($\mu=1$).

$Sdn = 0.14 \times 10 + 0.05 \times 1 = 1.45$ (equivale a 1,45 metros de aire).

Comportamiento de los cerramientos al paso del vapor de agua



El paso del vapor de agua por los cerramientos puede presentar distintas situaciones debido a las propiedades de los materiales y condiciones interiores y exteriores.

El paso del vapor de agua se verá condicionado en primer lugar por la permeabilidad de los materiales. Si son materiales transpirables el vapor pasará rápidamente, en cambio si son impermeables el flujo quedará cortado, pudiendo producir condensaciones intersticiales.

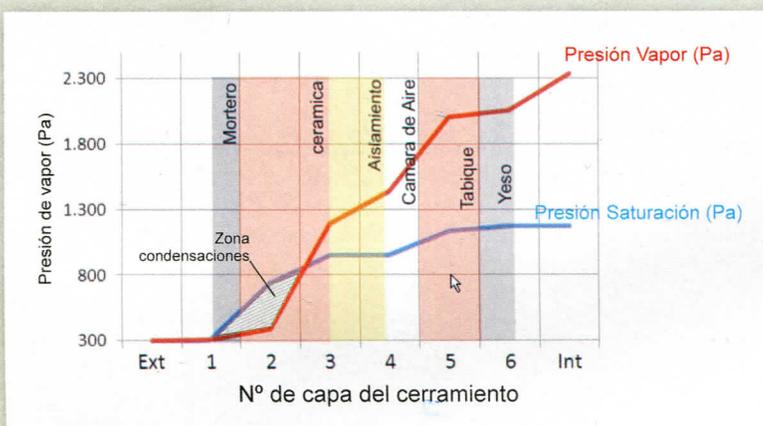
Valores orientativos de distintos materiales

MATERIAL	Vapor μ
Corcho aglomerado negro	5-10
Lana de oveja	1
Poliestireno expandido	20-100
MW Lana mineral	1,00
MW Lana mineral + papel kraft	5,00E+04
Poliuretano	100,00
Poliestireno extrusionado	100,00
Lámina oxiesfalto	5,00E+04
Pared cerámica	10,00
Balas de Paja	1
Barro	8
Hormigón armado	70-150
Madera frondosa muy ligera	20-50
Yeso	4,00
Aluminio	1,00E+30
Monocapa convencional	10
Piedra arenisca	50-100
Vidrio	1,00E+30

Riesgo de condensaciones en función de la permeabilidad de los materiales y su situación frente al flujo de vapor

Exterior					Interior
	Muy permeable	Permeable	Impermeable	Riesgo de condensaciones	
	Material impermeable al final del sentido del flujo.	Material impermeable al principio del flujo.	Materiales colocados de más permeables a más impermeables siguiendo el sentido del flujo.	Materiales colocados de más impermeables a más permeables siguiendo el sentido del flujo.	
Consecuencias					
	Se producirán condensaciones con facilidad en las capas interiores.	Los materiales permanecerán secos, pero la humedad se va a concentrar en el interior de la vivienda.	En condiciones extremas tenemos riesgo de condensaciones.	No vamos a tener condensaciones.	

Gráfica de Glaser



En la figura de arriba podemos observar el riesgo de condensaciones en función de la permeabilidad de los materiales y su situación frente al flujo de vapor.

Otro factor importante son las condiciones de humedad y temperatura, tanto interior como exterior. Este factor, unido a las propiedades de aislamiento y espesor de los materiales, nos va a determinar si tenemos riesgo de condensaciones dentro del cerramiento.

El vapor de agua condensará cuando pase a través de un material y, debido a su temperatura, se sobrepase la presión de saturación y deba convertirse parte del vapor en agua en estado líquido.

A través de las gráficas de Glaser se puede ver si hay riesgo de condensaciones en un cerramiento para unas determinadas condiciones de temperatura y humedad.

Este gráfico está compuesto por la presión de vapor en cada una de las capas que forman el cerramiento y la presión de saturación para la temperatura de cada capa.

La presión de vapor es en función del flujo de vapor entre el interior y el exterior y la permeabilidad de los materiales (azul).

La presión de saturación sólo es función de la temperatura de cada material (roja).

Se determina que cuando la presión de vapor es superior a la de saturación se van a producir condensaciones.

Conclusiones

Como concepto de bioconstrucción, primero tenemos que conseguir un cerramiento con un índice de espesor equivalente sdn lo más bajo posible para conseguir un mejor ambiente interior. Los materiales que se emplean en la bioconstrucción tienen muy buenas prestaciones en este sentido, morteros de cal, barro, aislantes de fibras. Después de analizar los gráficos vemos que cuanto más permeables sean los materiales que colocamos en el exterior y cuanto más al exterior esté el aislamiento menores serán las probabilidades de condensación. En el caso de una pared monolítica toda de barro y paja, no vamos a tener condensaciones. En una pared de piedra se tendrá que analizar el tipo de piedra, tipo de mortero, espesor del mismo y las condiciones extremas a considerar en cada caso para determinar el riesgo de condensaciones. Respecto a las barreras de vapor vemos que nos solucionan el problema de la condensación a costa de reducir la permeabilidad de la pared, con lo cual son desaconsejables. En el caso de las láminas impermeabilizantes de cubiertas, se utilizarán preferentemente láminas que permiten la transpiración en uno de los sentidos, en cada caso tendríamos que obtener las especificaciones y recomendaciones del fabricante.

Es importante evitar las humedades dentro de los cerramientos ya que ello provoca que los aislamientos se humedezcan y sus propiedades aislantes queden inutilizadas. Además, esta humedad puede deteriorar los materiales y provocar humedades en las superficies del cerramiento. ●

* Arquitecto Técnico especialista en eficiencia energética. Actualmente trabaja en el comportamiento energético de los edificios. Durante años ha indagado en diferentes métodos de cálculo y programas de simulación energética desde un punto de vista ecológico. El fruto de este trabajo se ha reflejado en el nacimiento de oogwy, www.oogwy.com, empresa dedicada a la eficiencia energética y sostenibilidad en los edificios.

Estudio comparativo de las gráficas de presión de vapor de distintos cerramientos en distintas condiciones

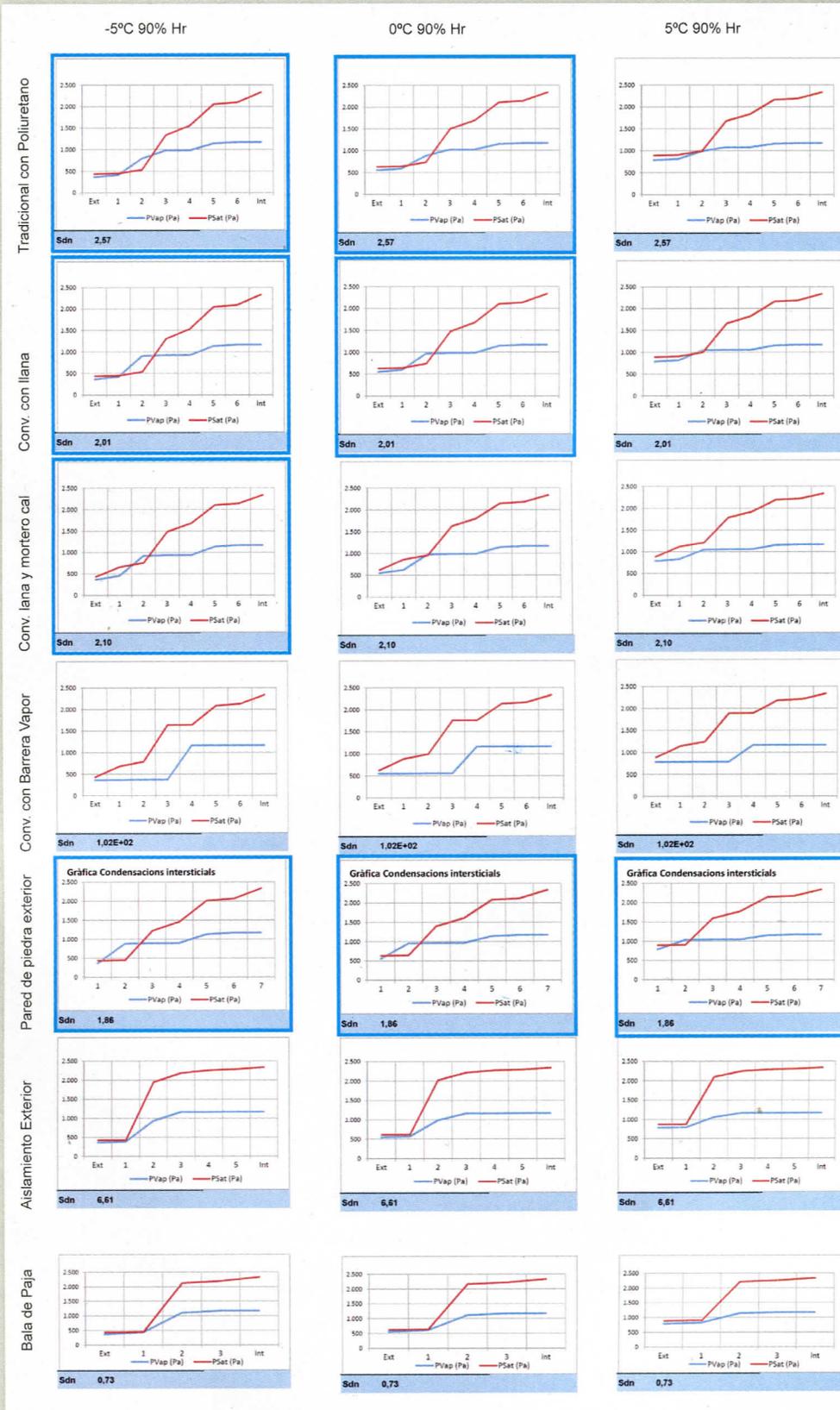
Se ha realizado un estudio comparativo entre siete cerramientos donde se han cambiado las propiedades de distintos materiales para ver qué efectos tienen sobre la transmisión de vapor, y poder determinar qué prestaciones o limitaciones tiene cada uno de ellos en función de unas condiciones de temperatura y humedad.

Los cálculos se han realizado atendiendo a distintas temperaturas exteriores (-5°C, 0°C, 5°C) con una humedad relativa del 90%. Para el ambiente interior se ha considerado una temperatura de 20°C y 50% Hr. Estas temperaturas se consideran temperaturas medias, no es significativo que en un momento puntual del día se llegue a una de esas temperaturas. Es necesario remarcar que si la temperatura interior se eleva también se eleva el riesgo de condensaciones al aumentar la diferencia entre la presión de vapor interior y exterior.

Para poder ver el efecto de distintas soluciones se ha partido de una pared convencional formada por un mortero monocapa exterior, una pared de ladrillo de 12 cm un aislante a base de espuma de poliuretano, cámara de aire, tabique de cerámica y enyesado. A partir de esta situación inicial se han cambiado algunas capas. Primero se ha cambiado el aislante de espuma de poliuretano ($\mu=100$) poco permeable, por uno de lana ($\mu=1$) muy permeable. Otra opción ha sido cambiar el mortero monocapa ($\mu=10$) por mortero de cal más transpirable ($\mu=6$). Otra variante que se ha considerado analizar ha sido cambiar la pared de cerámica por una de piedra. Luego se ha probado el efecto de una barrera de vapor entre el aislante y el tabique. Por último se han elegido dos tipologías distintas de pared, una con aislante en el exterior y otra con un muro con balas de paja.

RESULTADOS

A la vista de estas gráficas observamos que el cerramiento que tiene más riesgos de condensaciones intersticiales es el convencional con lana y la pared de piedra. Si lo analizamos po-



demostremos que el vapor pasa por el tabique, rápidamente pasa la lana pero luego tiene dificultades para pasar la cerámica y sobre todo el monocapa. Si cambiamos el monocapa por un revoco transpirable vemos que el cerramiento mejora significativamente y que, a partir de 0°C, ya no se producen condensaciones. El cerramiento con poliuretano funciona porque el poliuretano casi

actúa como un barrera de vapor, como contrapartida es tres veces más impermeable al vapor de agua. La pared de piedra es un caso singular en el que nos encontramos con un elemento muy impermeable en la cara exterior que es la responsable de que se produzcan las condensaciones. En el caso de la barrera de vapor vemos que no se producen condensaciones, pero pasamos

de un sdn de 2 a 102, por lo que la calidad interior se puede ver gravemente afectada alcanzando niveles de humedad relativa más altos que los habituales. Las mismas prestaciones las conseguimos en las dos últimas soluciones, colocando el aislamiento en la capa exterior o con un muro monolítico, en este caso de paja, sin mermar la permeabilidad del cerramiento.