

LAS CONDENSACIONES DE HUMEDAD EN LA CONSTRUCCION*

Pablo Enrique Azqueta**

La humedad en la construcción es a la vez causa y efecto de un importante número de procesos patológicos que afectan el confort de los usuarios, menoscaban el patrimonio edilicio y comprometen la salud de sus habitantes.

Los distintos tipos de humedades de acuerdo a su procedencia y localización, provocan diversos daños y lesiones, favoreciendo a su vez el desarrollo de procesos patológicos tales como la proliferación de diferentes tipos de organismos, las eflorescencias y criptoeflorescencias, la disgregación por heladicidad de materiales porosos, la oxidación y corrosión de elementos metálicos, la pudrición de elementos estructurales de madera y la disminución de la capacidad aislante de los cerramientos.

LAS HUMEDADES DE CONDENSACION

Se originan en el cambio de estado de parte del vapor de agua contenido en el aire, que se encuentra o se genera en los edificios, sobre las superficies interiores de los paramentos o dentro de los mismos.

La condensación se produce, o bien **por un incremento de la cantidad de vapor de agua del ambiente** sin modificación significativa de la temperatura del aire (esto genera un aumento de la *HR*, comenzando la condensación al alcanzarse la *Presión de Vapor de Saturación Pvs*), o **por un descenso de la temperatura**, aún sin variar el contenido de vapor de agua en el aire (lo que producirá de igual modo un aumento de la *HR*, iniciándose la condensación al alcanzarse la *Temperatura de Rocío tr*).

Si la condensación se produce en la superficie interior de un cerramiento se la llama **condensación superficial** y si ocurre dentro de aquel se la denomina **condensación intersticial**.

La condensación superficial

A la cantidad de vapor que hay en el ambiente se la representa en general, mediante la *Presión de Vapor Interior (Pvi)* que se expresa en kilopascales [kPa].

La *Humedad Relativa (HR)* es la relación entre la *Pvi* y la *Presión de Vapor de Saturación (Pvs)* que es la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener una masa de aire seco en determinadas condiciones de presión y temperatura.

Si la *Pvi* es menor a la *Pvs* ($HR < 100\%$) le corresponderá una *Temperatura de Rocío (tr)* inferior a la temperatura del ambiente, que será menor cuanto más baja sea la *HR*. **Es a esa temperatura a partir de la cual comenzará a producirse condensación.**

El riesgo de que se produzca condensación superficial depende:

- 1) **de la cantidad de vapor de agua que se halle en el ambiente** (*su humedad específica*), y
- 2) **de la temperatura superficial interior de los cerramientos (tsi).**

La presión de vapor interior

Los habitantes entregan al ambiente a través de la piel y mediante la respiración, una cantidad variable de vapor de agua que puede estimarse en alrededor de **4 litros / día para una familia tipo**. (Este valor se incrementa significativamente por el hacinamiento, frecuente en los grupos familiares de menores recursos).

La calefacción y cocción de alimentos utilizan en general en nuestro medio gas natural como combustible. Este produce en su combustión unos 180 g de agua por cada 1.000 kcal x hora. Es decir, que una estufa de fuego abierto de 3.000 kcal, encendida durante 12 horas aporta **6,5 litros / día**.

A esto deberíamos agregar el lavado y secado de ropa y la higiene personal, por lo que no resulta inverosímil estimar una producción de entre **20 y 35 Kg diarios de agua evaporada en ambientes que además, han ido reduciendo históricamente sus volúmenes habitables.**

Consecuentemente, las previsiones que deben tomarse son, en primer lugar, **tratar de reducir la producción de vapor de agua interior**. Esto se consigue, básicamente, reemplazando las estufas y calefones de combustión abierta por los de tiro balanceado.

La segunda estrategia a seguir para mantener baja la *HR* es el **"secado" del aire** a través de la simple ventilación natural o forzada, en virtud de que el aire exterior presenta, en general, una humedad específica más baja que la del aire interior.

Esto trae aparejado el inconveniente de que **al ventilar se pierde calor**, lo que no resulta un problema menor cuando se generan elevados niveles de vapor de agua que requieren la renovación de importantes volúmenes de aire y, consecuentemente, grandes consumos de energía para la calefacción. No obstante, y sin entrar en excesivos detalles, como en general en una vivienda sólo se requiere una buena ventilación por unos breves minutos un par de veces al día a fin de evacuar el exceso de humedad, el calor acumulado en la masa térmica edilicia, tiende a restaurar las condiciones térmicas anteriores en un lapso relativamente corto. La ventilación natural se favorece con la estratégica colocación de las aberturas o de rejillas "ad hoc" de dimensiones adecuadas, que deberán facilitar la circulación cruzada del aire pero que, por sí solas, pueden resultar insuficientes.

La ventilación forzada mediante aireadores electromecánicos o por conductos y extractores eólicos, se torna imprescindible en lugares de elevada producción de vapor como baños y cocinas.

La temperatura de las superficies interiores

El otro factor que incide en los procesos de condensación que nos ocupa es la **temperatura superficial interior (tsi)** de los cerramientos.

La pérdida invernal de calor de la envolvente depende de la *Resistencia Térmica Total (R_T)*, que es el resultado de la suma de las resistencias parciales de todas las capas que componen el cerramiento más las *Resistencias Superficiales Internas (R_{si})* y *Externas (R_{se})*.

Cuanto menor sea la R_T mayor será la pérdida de calor y, en consecuencia, *tsi* será también menor incrementándose su diferencia con la temperatura del aire interior.

En tales condiciones **es grande el riesgo de que la temperatura superficial *tsi* alcance la temperatura de rocío t_r y se produzca condensación.**

La acción preventiva a realizar consiste sintéticamente en **aumentar la temperatura de las superficies interiores** (de un modo análogo a lo que realizamos comúnmente para desempañar los parabrisas y lunetas de nuestros vehículos). Esto se consigue, de un modo activo, mediante una adecuada calefacción y de manera pasiva, **incrementando el aislamiento térmico de la envolvente.**

Los métodos de cálculo y los valores de conductividades térmicas de materiales y los distintos valores de resistencias que deben adoptarse están indicados en las Normas IRAM 11601/96, 11625/00 y 11630/00. **(Ver figura 6).**

Puentes térmicos geométricos y constructivos

Las diferencias de temperaturas entre las superficies y el aire están determinadas en buena medida por las resistencias superficiales interiores y éstas dependen fuertemente del movimiento del aire. En aristas y rincones o detrás de muebles o en el interior de placares, donde la circulación convectiva del aire se ve restringida, **las diferencias son máximas** o lo que es lo mismo, **las *tsi* son menores que en el resto de la envolvente.**

Estos sitios constituyen aspectos críticos en la problemática que estamos tratando al igual que lo son **los puentes térmicos geométricos (puntos singulares** en los que **transmitancia térmica se ve aumentada por la forma de la envolvente**, presentándose en los encuentros de muros exteriores de una construcción y en elementos constructivos salientes). **(Ver figura 1).**

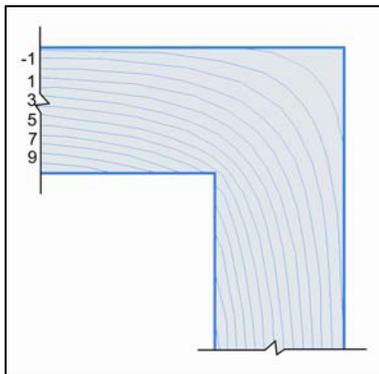


Figura 1

Gráfica de las isoterma que caracterizan un puente térmico **geométrico** (bi-dimensional) en el diedro de paredes de mampostería de ladrillos comunes de 0,30 m de espesor. $t_i = 18\text{ }^\circ\text{C}$; $t_e = -5\text{ }^\circ\text{C}$

Nota 1: Estas imágenes fueron cedidas gentilmente por el Ing. Paul Bittner.

Nota 2: Las imágenes presentadas están dibujadas en diferentes escalas.

Por su parte, los **puentes térmicos constructivos** son los que **se forman por la inserción de un elemento, generalmente estructural, de menor resistencia térmica que el resto del paramento**, produciendo una disminución de la temperatura superficial interior por un aumento de la transmitancia térmica respecto a la que poseen los elementos circundantes. **(Ver figura 2).**

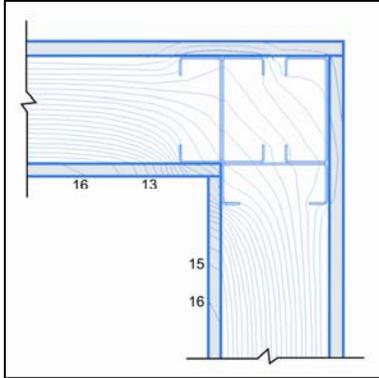


Figura 2

Puente térmico geométrico (el ángulo incrementa la superficie de intercambio térmico) y **constructivo**, en el diedro de un paramento realizado con una estructura conformada por perfiles de chapa doblada, cerramiento interior de placas de roca-yeso y exterior de placas de cemento hidrofugado; con el espacio interior relleno de aislante liviano. Presenta, como en el otro caso, el efecto concomitante de la arista como punto de circulación convectiva de aire restringida y consecuente aumento de la resistencia térmica superficial. $t_i = 18\text{ }^\circ\text{C}$; $t_e = -6\text{ }^\circ\text{C}$

Efectos patológicos de la condensación superficial de humedad

Las condensaciones de humedad sobre las superficies interiores de los paramentos producen problemas de salubridad, higiene, pérdida de confortabilidad y menoscabo del patrimonio edilicio, coadyuvando a que el bien que respalda una eventual deuda hipotecaria se deteriore, al grado de tornarla prácticamente irrealizable, o causa de demandas por los vicios constructivos derivados de una ejecución o proyecto inadecuados.



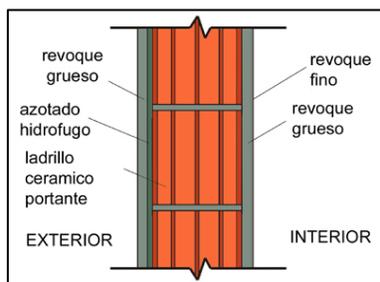
Uno de los procesos que se desencadenan más frecuentemente y que ponen en riesgo la salud de los habitantes es la proliferación de colonias de hongos o mohos que sólo necesitan que las esporas con las que se reproducen entren en contacto con los nutrientes (que en forma de partículas en suspensión abundan en el ambiente), un poco de oxígeno del aire y un elevado tenor de humedad. (En rigor, y tal como lo acota Paul Bittner (1), no es ni siquiera necesario que haya condensación para que una infestación con hongos se produzca, es suficiente tan solo, que durante un cierto tiempo se mantengan determinadas humedades relativas en el aire en contacto con la superficie.

Figura 3

Detalle de colonia de hongos cuyo desarrollo es promovido por la condensación (o por elevados tenores de humedad relativa) sobre las superficies interiores de los cerramientos.

Consideraciones sobre las normas vigentes

A juzgar por el análisis de innumerables casos registrados, el cumplimiento de los valores menos exigentes de las Normas IRAM de Aislamiento Térmico de Edificios, **no garantiza en la práctica la prevención de riesgos de condensación superficial, tanto en sistemas constructivos tradicionales, como en algunos de los industrializados.**



En el ejemplo de la **figura 5**, el muro que aparece esquematizado a la izquierda (**figura 4**), cumple con las exigencias mínimas de la normativa en vigencia, tal como se verifica en el cuadro de la **figura 6**.

No obstante, **su comportamiento en la realidad puede apreciarse observando las figuras 7 y 8.**

(1) Ing. Paul U. Bittner. "Algunos comentarios adicionales sobre la importancia de la correcta aplicación de la Norma IRAM 11625/91 con vistas a las condiciones de salubridad de los edificios". Seminario Actualización de Normas Iram sobre Aislamiento Térmico de Edificios. Buenos Aires 1998.

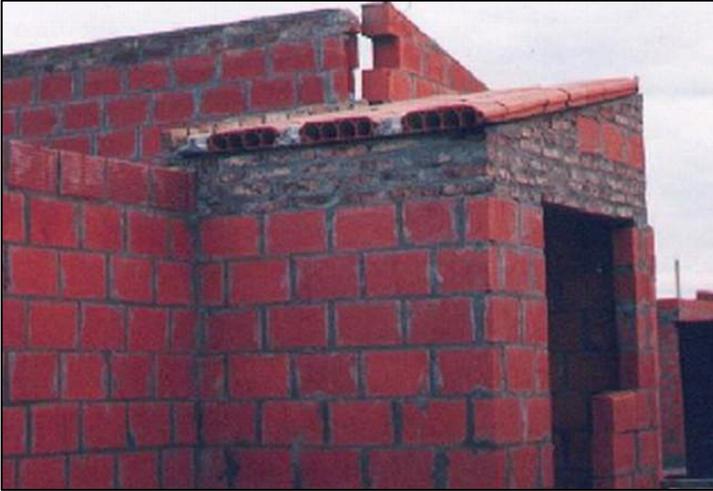


Figura 5

Ejemplo prototípico de una construcción tradicional con mampuestos de cerámicos huecos portantes. Posee un $K=1,54 \text{ W/m}^2\text{K}$ (con $R_{si}=0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$), que representa el 89% del máximo admisible para el Nivel C de la IRAM 11605/96 ($1,73 \text{ W/m}^2\text{K}$). De acuerdo al cálculo de riesgo de condensación para paños centrales según IRAM 11.625/00 **no se presentan riesgos de condensación superficial** en las condiciones del cálculo descriptas en el cuadro adjunto, en que $t_{si}=13,9 \text{ }^\circ\text{C}$ y $t_r=12,9 \text{ }^\circ\text{C}$ (correspondiente a una $HR=72 \%$)

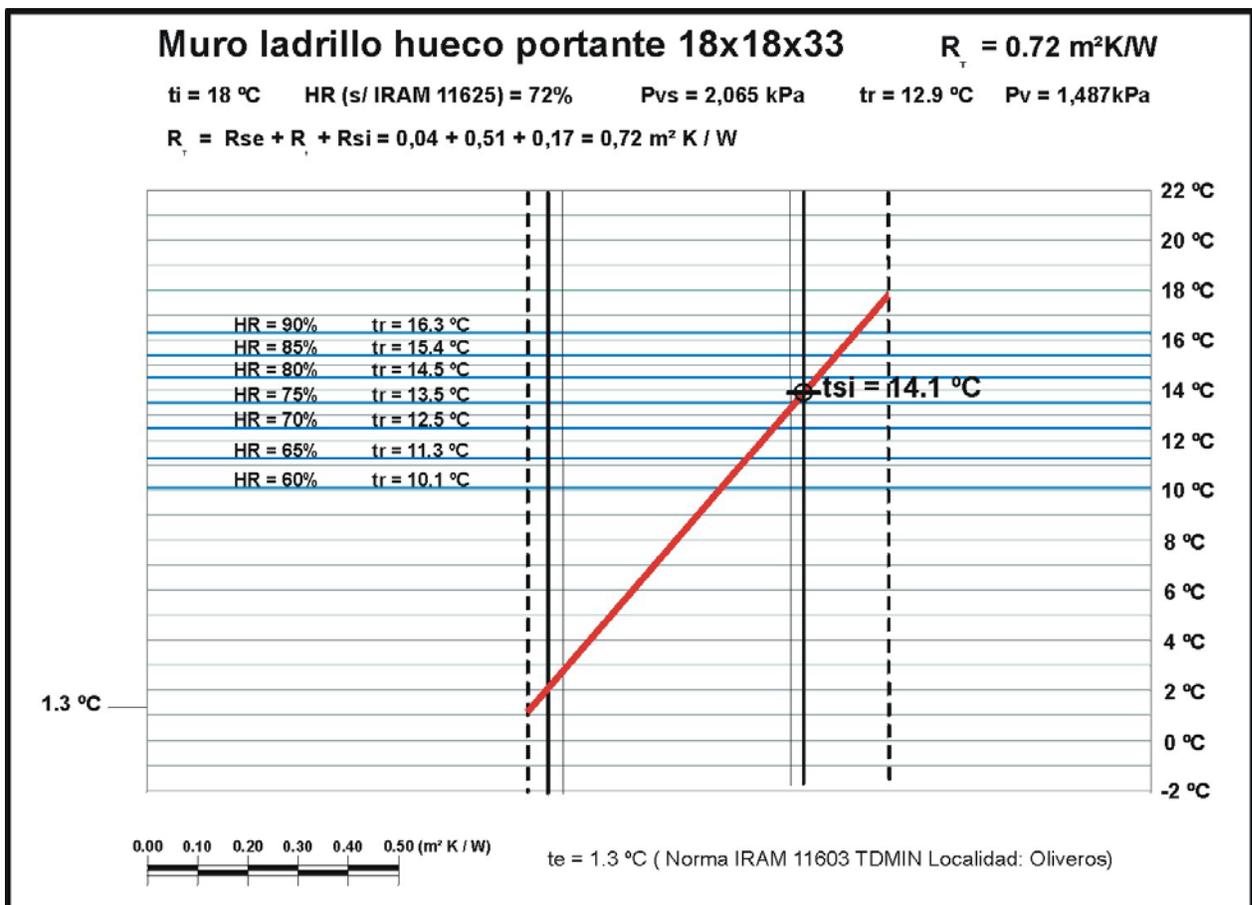


Figura 6

Gráfica del comportamiento Higrotérmico del muro del ejemplo, dibujado en escala de resistencias térmicas con superposición de temperaturas de bulbo seco y temperaturas de rocío correspondientes a distintas humedades relativas; para la zona Bioclimática de emplazamiento (Sur de la Provincia de Santa Fe). Según IRAM 11625/00, **no presenta riesgo de condensación superficial**. Veremos luego las imágenes tomadas de la realidad.

Los valores de las transmitancias máximas admisibles de IRAM11605/96 para **Nivel C** (el menos exigente) resultan exageradamente permisivos y su cumplimiento teórico dista mucho de verificarse en la realidad. Las *conductividades térmicas* (λ) que se utilizan en el cálculo de las resistencias y transmitancias térmicas según IRAM 11601/96 fueron obtenidos en su mayoría en pruebas de laboratorio utilizando muestras “secas” y no existe en nuestro medio el hábito de aplicar algún factor de corrección que contemple el grado de humedad que habitualmente presentan. Esto aún a pesar de que en el ítem A.2 “**Variación de la conductividad térmica (λ) con el contenido de humedad del material**”, de la norma citada en último término, se lee en el punto A.2.1 “**La conductividad térmica de los materiales varía sensiblemente con el contenido de humedad**”... y en el punto A.2.2 “**En caso de materiales constituidos en morteros y hormigones, que al formar parte de un cerramiento quedan expuestos a la variación de su contenido de humedad respecto del adoptado en las condiciones de ensayo, los valores de conductividad térmica pueden experimentar un incremento de hasta un 70% con respecto a los que figuran en la tabla 6.**”



Figuras 7 y 8

Manchas de humedad y presencia de moho verificados en el ejemplo analizado. Manifestación patológica de la condensación de humedad sobre las superficies. Detectable tanto en los paños centrales como en puntos singulares de la envolvente. Puentes térmicos constructivos (producto de la mayor transmitancia térmica de las viguetas) y geométricos (debido a la circulación convectiva restringida del aire en los ángulos).



Figuras 9 y 10

Otros ejemplos de manchas de humedad y presencia de moho, con el consiguiente deterioro en las condiciones de higiene y salubridad de los moradores.

Debemos también tener en cuenta que en general, **se subestiman las reales condiciones de uso** al no considerarse el efecto concurrente de distintas fuentes de humedad que pueden estar afectando simultáneamente un dado paramento y alterando sustancialmente su comportamiento higrotérmico. **Un muro húmedo por infiltración, capilaridad o condensación intersticial, con sus poros saturados de agua posee una transmitancia térmica mucho mayor y, consecuentemente, su temperatura superficial interior es menor a la estimada teóricamente, aumentando el riesgo de condensaciones de humedad y facilitándose el desarrollo de los diversos procesos patológicos antes descriptos.**

La condensación intersticial

Durante el período invernal, aún cuando la *HR exterior* resulte sensiblemente mayor a la *HR interior*, su *humedad absoluta* es menor debido a la baja temperatura del aire, por lo que la *presión de vapor interior* (P_{vi}) será mayor que la del exterior ($P_{vi} > P_{ve}$).

Como consecuencia de este desequilibrio es que se produce **la difusión de vapor desde el interior al exterior**, la que será proporcional a la diferencia de presiones y dependerá, además, del espesor y de la *Permeabilidad al Vapor de Agua* (δ) de los materiales que constituyen el cerramiento.

En invierno en los paramentos se establece un gradiente de temperaturas decrecientes hacia el exterior, correspondiéndole a cada valor de temperatura una dada *Presión de Vapor de Saturación* (P_{vs}).

En el proceso de difusión, **a medida que el vapor atraviesa el cerramiento va disminuyendo su presión** pero puede ocurrir que en su recorrido se encuentre con una capa cuya temperatura sea igual o menor a la *Temperatura de Rocío* (tr) correspondiente a la tensión de vapor en ese punto (P_{v_x}), en cuyo caso **se producirá condensación intersticial**.

Para evitar la condensación intersticial es necesario que **la P_{v_x} en ningún momento alcance la P_{vs}** (o lo que es igual, que la temperatura en cada punto del cerramiento se encuentre siempre por encima de la correspondiente tr). Esto se logra, en primer lugar, **disminuyendo la HR del aire interior** y en segundo término, **elevando la temperatura interior del cerramiento mediante el incremento de su resistencia térmica**. Lo que se consigue aumentando el aislamiento térmico existente.

La localización del aislante resulta aquí de singular importancia, ya que si bien no afecta la *Transmitancia Térmica Total* (K_T) del paramento, influye en el riesgo de condensación intersticial. Los mismos materiales colocados en diferente orden pueden provocar en algunos casos condensaciones y en otros no.

Si lo que se busca es aislar térmicamente y evitar la condensación intersticial, **el aislante del cerramiento debería ser localizado lo más externo posible**, incluso sobre la cara exterior de éste, donde las P_{v_x} serán menores. Esto aleja el riesgo de condensación y, adicionalmente elimina el pernicioso efecto de los puentes térmicos. Ahora bien, si por razones constructivas o de funcionamiento fuera necesario colocar el aislante adicional en el medio, o incluso sobre la cara interior del cerramiento, **se vuelve imprescindible la incorporación de una barrera de vapor** a fin de reducir el elevado riesgo de que se produzca condensación intersticial.

Conviene recordar en este punto, que IRAM 11549 define como **barrera de vapor** a una "Capa de material, generalmente de pequeño espesor, que ofrece alta resistencia al pasaje de vapor de agua." Agregando en una nota siguiente: "Para que un material se considere apto como barrera de vapor, su permeancia debe ser menor que $0,75 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{kPa}$." **(Ver figura 11)**

TECHO DE ESTRUCTURA DE MADERA Y CUBIERTA DE TEJAS

Aislamiento Térmico y Riesgo de Condensación en Techos Livianos con Cubiertas de Tejas. Con Aislantes Tradicionales y con Membranas Reflectivas. El Techo Ventilado.

Las cubiertas de tejas cerámicas sobre estructura de cabios de madera a la vista y cielo raso de madera machihembrada poseen una amplia difusión en nuestro país.

Un primer aspecto a tener en cuenta en este tipo de techos es **la disgregación que por heladicidad puede sufrir la cubierta** y un segundo punto, **el control de la humedad producida por infiltración o condensación**, que provoca la putrefacción de la estructura de madera y favorece la proliferación de diversos organismos xilófagos.

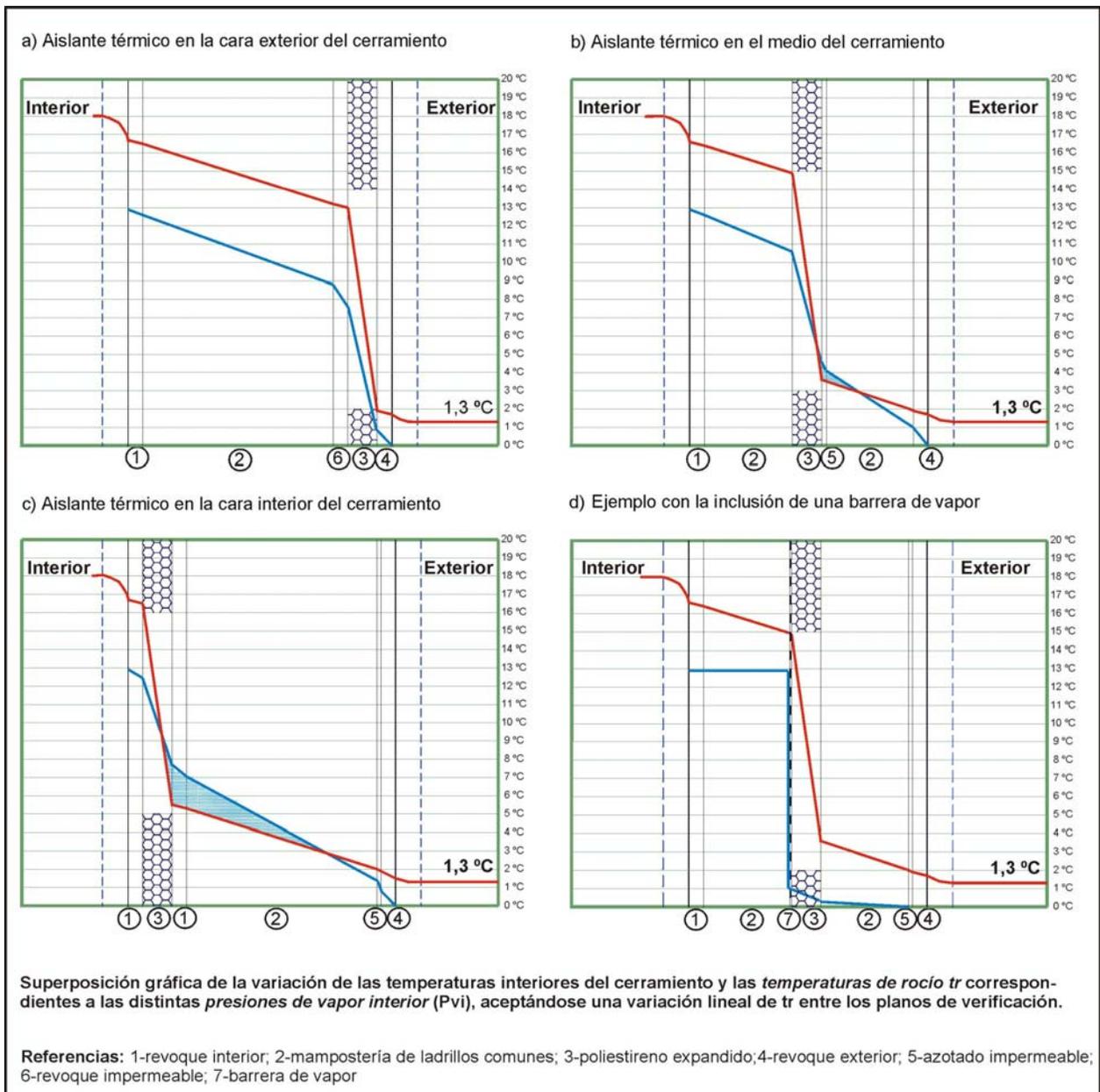


Figura 11 Cómo afecta al riesgo de condensación intersticial la localización del aislante térmico en paredes de igual espesor y configuradas con los mismos materiales. En el último ejemplo (d) se verifica la incorporación de una barrera de vapor.

El aumento de volumen por congelamiento del agua infiltrada o condensada en el interior de un elemento poroso, produce erosión física, desprendimientos y hasta el colapso de piezas, en especial de revestimientos pétreos o cerámicos.

Es bien conocido el fenómeno de **radiación a cielo frío** por el que una superficie expuesta a cielo abierto puede alcanzar niveles de congelamiento aún cuando la temperatura ambiente exterior esté varios grados por encima de 0 °C.

Si el elemento poroso se encuentra saturado o con un alto grado de humedad (como suele ocurrir frecuentemente debido a filtraciones, condensación o simple **adsorción** de la humedad del ambiente), el riesgo de heladicidad es grande pues el agua, al aumentar su volumen no encuentra poros vacíos en los cuales expandirse sin deteriorar la estructura interna del material.

Esa es la razón por la que para las cubiertas de tejas cerámicas se especifica el llamado "**techo ventilado**". En éste, la cara inferior de las piezas está en contacto directo con el aire exterior, lo que facilita la evaporación del exceso de humedad que contengan y las aleja de las condiciones críticas.

De un modo semejante se ven favorecidos todos los componentes de madera, que debido a su higroscopicidad suelen ver acortada su vida útil al ser afectados por diversos procesos patológicos derivados de la humedad.

Si bien los beneficios del techo ventilado resultan fundamentales en climas fríos, no debemos olvidar que en buena parte de la Zona Bioclimática III (templado cálida), en donde se hayan emplazados los principales centros urbanos del país, se presentan condiciones invernales con humedades elevadas y se producen un importante número de heladas y precipitaciones pluviales anuales; lo que torna sumamente adecuado a este sistema.

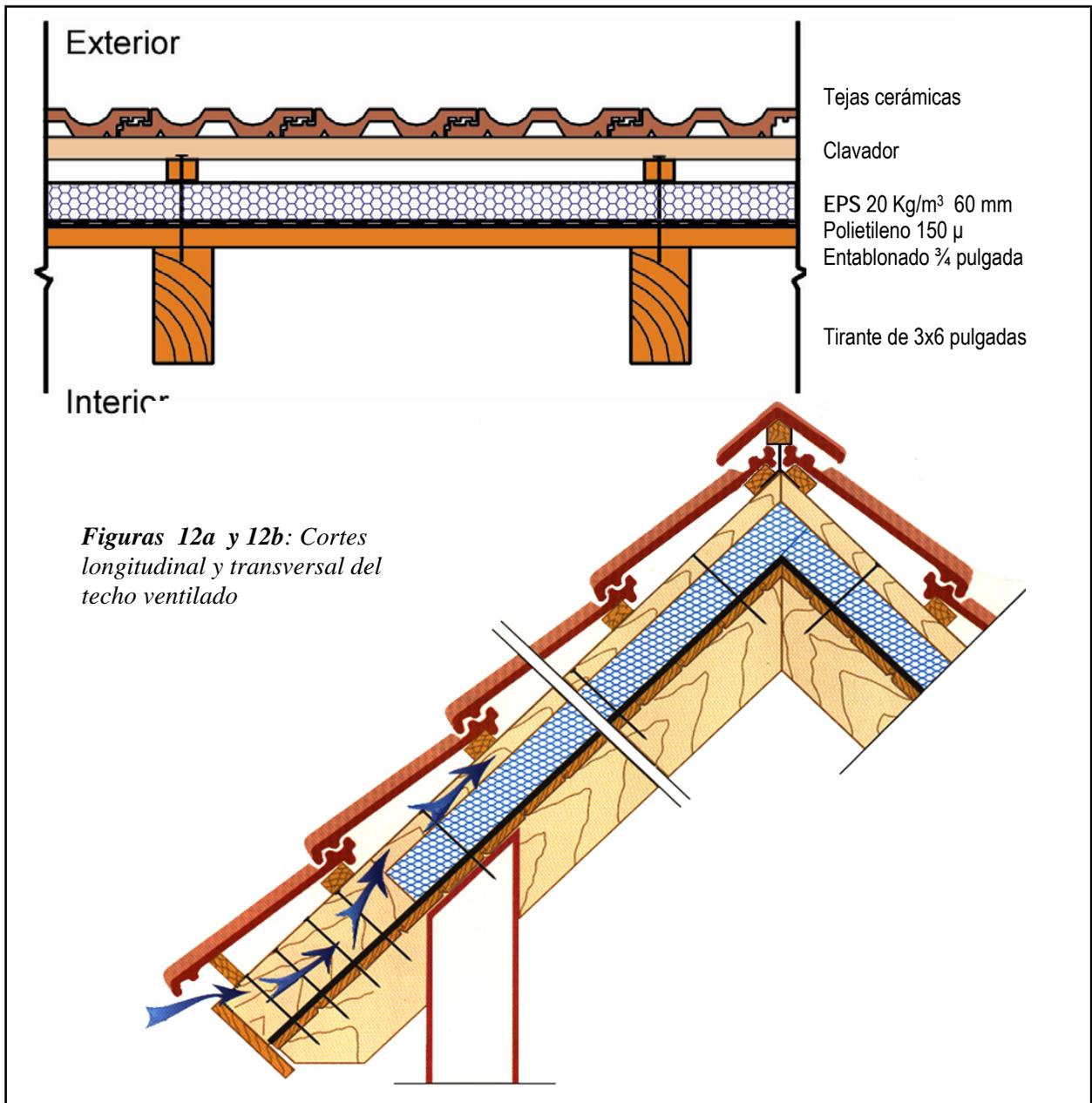
Una solución constructiva apropiada

Una vez resuelta la aislación hidráulica del techo y superado el peligro de heladicidad de las tejas y deterioro de su estructura mediante la ventilación de la cubierta, sólo resta proponer un adecuado aislamiento térmico y evitar el riesgo de **condensación intersticial**. Esto se resuelve, a simple modo de ejemplo no excluyente, con un film de polietileno de 150 micrones como barrera de vapor y placas continuas (**sin puentes térmicos**) de poliestireno expandido EPS de 20 kg/m³; fijadas con alfajías de 2 x 1" clavadas a los cabios a través del machimbre. (**Ver figuras. 12a y 12b**)

Respecto al espesor, debo decir que con sólo **2,7 centímetros** se cumple con la *Transmitancia Máxima Admisible* ($K_{MAX ADM}$) según IRAM 11605/96 en condiciones de verano para **Nivel C** (el menos exigente), con una Resistencia Total $R_T = 1,32 \text{ m}^2\text{K/W}$ y se elimina el riesgo de condensaciones. (**Ver planilla de cálculo**).

Planilla de cálculo de transmitancias térmicas y riesgo de condensación según Iram 11605/96 e Iram 11625/00														
Sistema de "TECHO VENTILADO": machimbre 3/4" + film de polietileno 150 μ + EPS de 20 kg / m ³ + cámara de aire ventilada + teja cerámica														
Condición: Invierno. (Kmáximo adm. 1,00 W/m².K). S/ Iram 11605 para cámaras de aire muy ventiladas: $R_T = 2 R_{si} + R_i$														
Condición: Verano (Kmáximo admisible Nivel C 0,76 W/m².K) $R_{min.} = 1/ K = 1/ 0,76 = 1,316 \text{ m}^2\text{.K/W}$														
Nº	CAPA	e	λ	R	T	δ	R_v	ϕ	P	t_r	ΔT	e	λ	R
		m	W/mK	m ² K/W	°C	g/mh kPa	m ² h kPa/g	%	kPa	°C	°C	m	W/m K	m ² K/W
	Aire interior				18,0			75%	1.549					
1	Resistencia superficial Interior			0,10	16,7									0,17
2	Machimbre 3/4"	0,015	0,13	0,115	15,1	0,04	0,375		1.544	13,5	3,2	0,015	0,13	0,115
3	Film de Polietileno 150 μ	0,00015	0,10	0,002	15,0		62,50		1.544	13,5	1,6	0,0002	0,10	0,002
4	Poliestireno expandido 20 Kg/m ³	0,027	0,035	0,771	4,5	0,015	1,80		0,708	2,1	12,9	0,027	0,035	0,771
5	Resistencia superficial Cámara			0,10	3,1				0,688	1,5	3,0			
6	Cámara de aire muy ventilada				3,1				0,688	1,5	1,6	~0,040		0,20
7	Teja cerámica roja				3,1				0,688	1,5	1,6	0,015	0,76	0,02
8	Resistencia superficial exterior				3,1				0,688	1,5	1,6			0,04
	Aire exterior				3,1			90%	0,688					
				R= 1,09	$\Delta t=14,9$									R= 1,318
						Rv= 64,68			$\Delta P= 0,861$					

No obstante y por razones de seguridad antes expuestas, lo aconsejable es no bajar del **Nivel B** (medio), que se logra con **5,4 centímetros de EPS o su equivalente en algún otro aislante tradicional** que además, tanto sea de fibras o de plásticos celulares, no presentan variaciones estacionales significativas (salvo por la presencia de cámaras de aire). Con este espesor en el sistema de techo ventilado, se obtiene para verano una $R_T = 2,09 \text{ m}^2\text{K/W}$ y para invierno una $R_T = 1,86 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Ahora bien, ¿resultan los distintos “sistemas” de Aislación por Membranas Reflectivas y Cámaras de Aire Estancas soluciones alternativas valederas y especialmente, en condiciones invernales?

En un artículo de la Revista Vivienda del mes de septiembre de 2001 (N°470), los Ings. Mac Donnell efectuaron un detallado análisis del comportamiento de las membranas reflectivas en techos de chapa, adoptando debidamente para el cálculo, los valores de resistencia de cámaras de aire **no ventiladas** de baja emitancia, como indica IRAM 11601/96 para ser aplicados a cámaras “débilmente ventiladas”.

Lo cierto es que, buena parte de la capacidad aislante que se les atribuye a tales sistemas, se pierde por la aparición de fenómenos convectivos y por la acumulación de polvo atmosférico y la humedad que afecta la emitancia de la superficie (“...la resistencia del espacio de aire disminuye un 20% en sólo un año por depósito de polvo ambiental”). (2)

(2) V.Volantino y E.Cornejo. “Mediciones de resistencia térmica de sistemas de techo con cámara de aire”. ASADES 1998

En la mencionada nota sus autores concluyeron que en un techo con cubierta de chapa de acero galvanizado, **sólo es posible evitar la condensación intersticial** con dos cámaras (una de 2 cm y otra superior de 5 cm) separadas por una membrana doble aluminizada de 10 mm (con la de 5 mm no se llegaba al $K_{MAX ADM}$ para condición de invierno para **Nivel C** (el menos exigente) de IRAM 11605/96).

Tales condiciones **no son aplicables para una cubierta de tejas** donde, al menos la cámara de aire contigua resulta ventilada y en la que el efecto de baja emitanancia se perdería en breve tiempo.

Para cumplir con las mínimas exigencias normativas de invierno y evitar la condensación intersticial se debió en el ejemplo citado, incrementar el espesor de la membrana (esto sólo es posible en las que tienen una base de espuma de polietileno, en las de películas de aluminio reforzado con fibra de vidrio sólo se podría aumentar el número de cámaras de aire). También se debió modificar la forma de colocación más usual y recurrir a una solución con cierta complejidad de ejecución, cuya responsabilidad, al igual que la de materializar las necesarias “cámaras de aire estancas” que requiere el sistema, es delegada en la buena voluntad e idoneidad del techista.

No obstante la elaborada solución, del análisis del ejemplo se desprende que **la condensación en el machimbre se produciría de igual modo si la HR interior ascendiese a tan solo el 81,4 %**.

Y esto no resulta caprichoso, toda vez que en el anexo A de IRAM 11625/00 (pág12) se advierte que *...“en viviendas, el riesgo de condensación aumenta considerablemente cuando el volumen sea reducido, el grado de ventilación sea bajo o la producción de vapor de agua supere los niveles corrientes. En estos casos es conveniente, a los efectos de realizar las verificaciones que establece esta norma **augmentar el valor de la humedad relativa interior de diseño**”*.

Volviendo al tema que nos ocupa, en un techo de tejas, tanto sea porque se lo diseñe como “ventilado” o por las inevitables infiltraciones de aire entre las piezas **no es posible considerar la cámara de aire superior no ventilada y de baja emisividad** (si lo fuera, tal condición desaparecería en poco tiempo por acumulación de polvo ambiental).

En tal caso, y utilizando los datos del ejemplo de la cubierta de chapa, pero adoptando lo indicado por IRAM 11605 para cámaras de aire ventiladas (**Ver el ejemplo de cálculo**), el espesor de la membrana a colocar entre las dos cámaras (la ventilada y la “débilmente ventilada”) para alcanzar el $K_{MAX ADM}$ para condición de invierno para **Nivel C** debería ser de **19 mm**. (*Recuérdese que el mismo efecto se consigue con 27 mm de EPS y de un modo más sencillo*).

Si por el contrario, lo que se desea es cumplir con el **Nivel B** (medio) para condiciones de verano (más exigentes que las de invierno), bastaría con **54 mm** de EPS ($R_T = 2,09 \text{ m}^2 \text{ K/W}$). Esto se puede emular aumentando el número de cámaras (*2 estancas y 1 ventilada*) y el número y espesor de las membranas de espuma de polietileno aluminizadas (**2 de 15 mm cada una**). La solución con membranas de películas de aluminio armada, que sólo pueden aumentar la aislación incrementando el número de cámaras de aire quieto, **resulta prácticamente irrealizable**.

Deseo por último mencionar que a estos “sistemas” se les atribuyen virtudes que, aunque respaldadas algunas veces por inobjetables ensayos en rigurosas condiciones de laboratorio, en prestigiosas instituciones; resultan virtualmente **irreproducibles en obra**. E incluso, se le asignan a algunas de estas membranas, propiedades tales como la de ser “**anticondensantes**”, cuando en rigor no existen productos con tales atributos sino soluciones constructivas que permiten evitar ese fenómeno.

CONCLUSIONES

Además de las recomendaciones ya expuestas a lo largo del trabajo, conviene remarcar la necesidad de:

- 1) *Adoptar valores de conductividades térmicas reales de los distintos materiales, que contemplen el incremento debido a los diversos grados de humedad con que se los encuentra en las obras.*
- 2) *Valorar debidamente la producción de vapor de agua interior y procurar reducir su cuantía, evaluando los costos energéticos de una adecuada ventilación.*
- 3) *Focalizar la atención en la apropiada resolución de los puentes térmicos en la etapa de diseño.*
- 4) **Aumentar sensiblemente los valores del aislamiento térmico**, no sólo para evitar los procesos patológicos aquí tratados sino en procura de una significativa economía en el costo de funcionamiento de los sistemas de climatización y en el **uso más racional de la energía**.

REFERENCIAS

* Este trabajo forma parte de una serie de recopilaciones de artículos y ponencias del autor publicados en diversos medios y como columnista de la Revista Vivienda, realizado con fines didácticos para el dictado de Cursos de grado y postgrado.

** El autor es Profesor Adjunto del Taller de Materialidad I, II y III de la Cátedra del Arq. Utges / FAPyD UNR

PABLO AZQUETA / 1° de mayo 2563 / 2000 Rosario / Argentina / Telefax: (+ 54 341) 481 6598 / e-mail: pabloazqueta@ciudad.com.ar