

## LAS CONDENSACIONES DE HUMEDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

*La condensación superficial de humedad. Sus Causas y efectos. La presión de vapor. La temperatura de las superficies interiores. Los puentes térmicos. Estrategias para evitarla. La insuficiencia preventiva de los niveles mínimos de aislación térmica exigidos por las normas en vigencia.*

En la edición 472 de noviembre de 2001 nos ocupamos del fenómeno de **condensación intersticial**, en especial en techos livianos con cubiertas de tejas. En esta nota, nos detendremos en la condensación de humedad que se produce en las superficies interiores de los cerramientos en condiciones invernales, sus consecuencias, las causas que la provocan y que hacer para evitarla.

### La condensación superficial

Se origina en el cambio de estado a fase líquida, 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.

**A la cantidad de vapor** que hay en el ambiente se la expresa mediante la *presión de vapor interior* ( $P_{vi}$ ).

La *humedad relativa* ( $HR$ ) es la relación entre la  $P_{vi}$  y la *presión de vapor de saturación* ( $P_{vs}$ ).

Si la  $P_{vi}$  es menor a la  $P_{vs}$  ( $HR < 100\%$ ) 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** ( $t_{si}$ ).

### 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.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.

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.

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 ( $t_{si}$ )** 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,  $t_{si}$  será también menor incrementándose su diferencia con la temperatura del aire interior.

En tales condiciones **es grande el riesgo de que la temperatura superficial  $t_{si}$  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 la aislación térmica de la envolvente.**

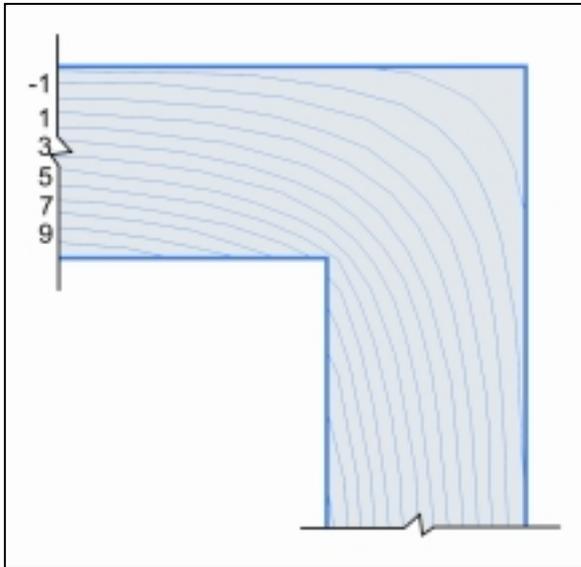
Los métodos de cálculo y los valores de conductividades térmicas de materiales y los distintos valores de resistencias que deben adoptarse están indicados en las Normas Iram 11601/96, 11625/00 y 11630/00. (Ver figura 6).

## 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 placáres, donde la circulación convectiva del aire se ve restringida, **las diferencias son máximas** o lo que es lo mismo, **las  $t_{si}$  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).

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).

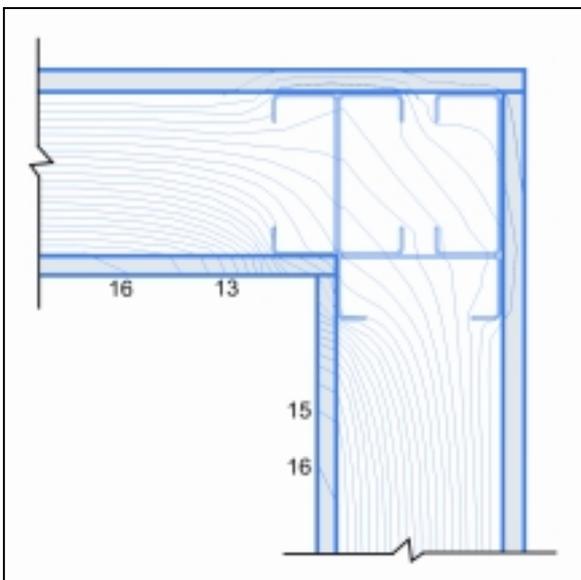


**Figura 1**

Gráfica de las isotermas que caracterizan un puente térmico geométrico (bidimensional) 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.



**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\*\*, 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. (Ver figura 3)



**Figura 3**

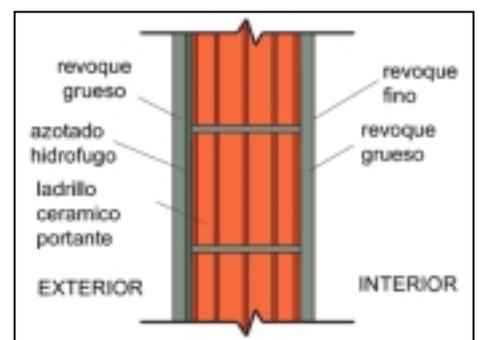
Detalle de colonia de hongos cuyo desarrollo es promovido por la condensación (o por elevados tenores de humedad relativa) sobre las superficies interiores de los cerramientos

## 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.**



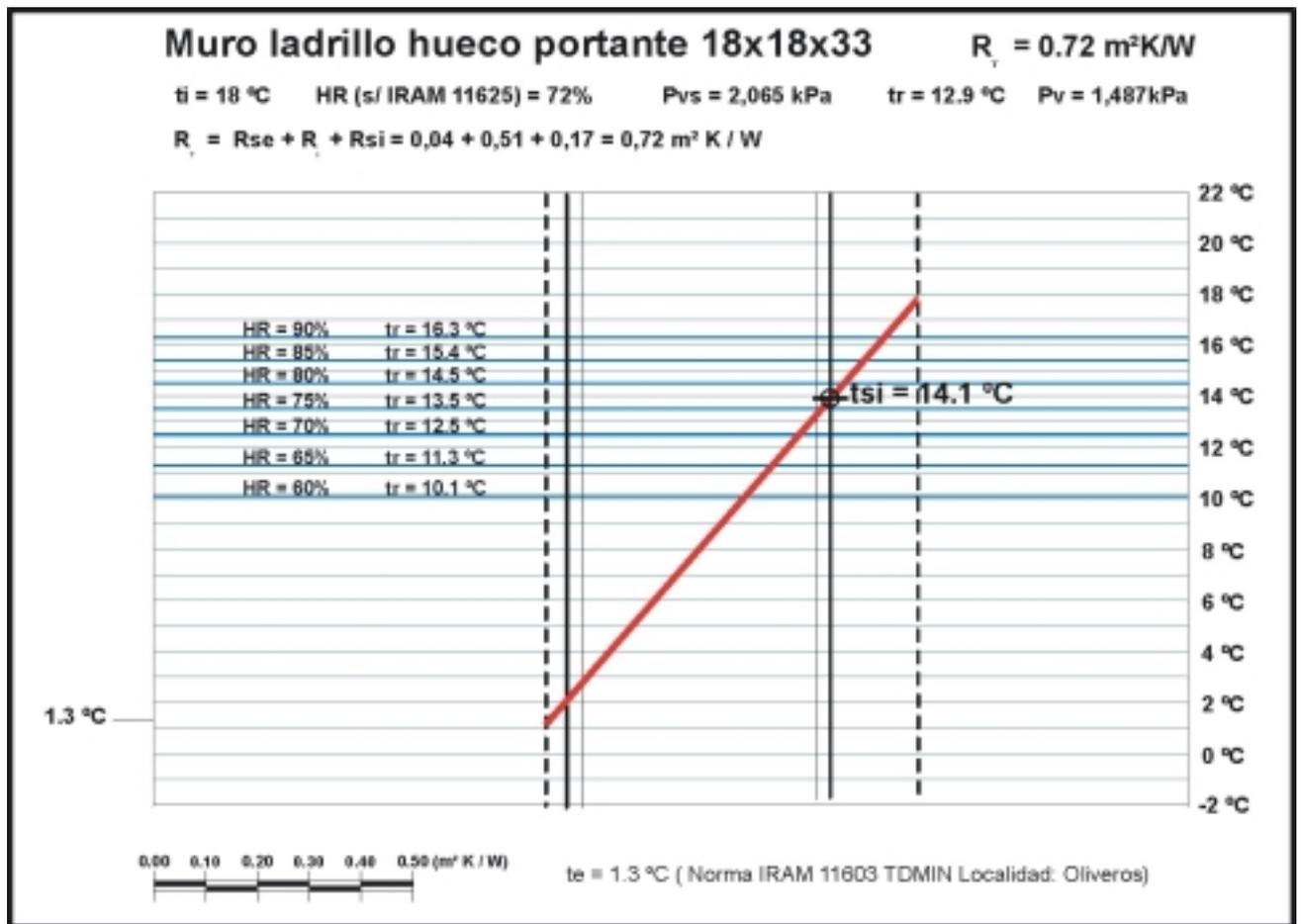
En el ejemplo de la **Figura 4**, el muro que aparece luego esquematizado en la **Figura 5**, cumple con las exigencias mínimas de la normativa en vigencia (Ver figura 6).



**Figura 4 y 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 %**)

No obstante, su comportamiento en la realidad puede apreciarse observando las **Figuras 7, 8, 9 y 10.**



**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 Iram 11605/96 para **Nivel C** (el menos exigente) resultan exageradamente permisivos y su cumplimiento teórico dista mucho de verificarse en la realidad. Las *conductividades térmicas* ( $\lambda$ ) 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 ( $\lambda$ ) 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.*”



**Figura 7**



**Figura 8**



**Figura 9**  
**Figura 10**

**Figura 7.** Manchas de humedad y presencia de moho, detectado en los paños centrales y en los puentes térmicos constructivos (debido a la mayor transmitancia térmica de las viguetas).

**Figura 8.** En el zócalo puente térmico geométrico y zona de circulación convectiva de aire restringida.

**Figuras 9 y 10.** Colonia de hongos, manifestación patológica de la condensación de humedad sobre las superficies (o de una elevada humedad relativa) y en especial en triedros y aristas verticales de los cerramientos exteriores de los edificios con el consiguiente deterioro en las condiciones de higiene y salubridad de los moradores.



Por otra parte, se minimizan 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.**

En Chile, país próximo geográficamente y con condiciones socioeconómicas comparables a las nuestras (aunque movidos por el interés de un uso racional de la energía desconocido entre nosotros), se exigen valores de aislamiento para techos que en condiciones bioclimáticas semejantes a las de la Capital Federal y el conurbano bonaerense, **equivalen a un aislante tradicional de un espesor del orden de los siete centímetros**, próximo a lo indicado para **Nivel B** (medio) por Iram 11605/00 .

No obstante lo dicho, resulta auspicioso que en los “**Estándares Mínimos de Viviendas de Interés Social**” de la Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, se exija al menos, cumplir con la transmitancia máxima admisible para techos del **Nivel C** (en rigor el menos exigente), de la norma Iram 11605/96 y la verificación del riesgo de condensación en los paños centrales de muros y techos, según Iram 11625/00 (aún cuando **tal riesgo es siempre mayor** en los llamados “**puntos singulares**” como las aristas y esquinas de los encuentros de paredes exteriores, pisos y techos, contemplados por IRAM 11630/00, pero cuya verificación no es exigida).

El problema que nos ocupa ha sido tradicionalmente ignorado o subestimado. Para evitarlo deberemos:

- 1) *Adoptar valores de conductividades térmicas de los materiales que contemplen 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:*

*\* **Autor:** Arq. Pablo E. AZQUETA. Asesor Técnico de la Cámara Argentina del Poliestireno Expandido (AAPE) / Profesor Adjunto UNR. Especialista en Patología y Terapéutica de la Edificación. Universidad Politécnica de Madrid.*

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

*\*\*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.*

*Colaborador en el diseño de gráficos y revisión de la nota: Arq. Marcelo Graziani*

*Revista VIVIENDA N° 474 – Enero de 2002 (páginas 54 a 57)*