



## AISLAMIENTO TÉRMICO

# HUMEDAD EN MATERIALES

En el estudio se analizan las causas que permiten la formación de humedad en los materiales de la construcción. Además, se sugieren iniciativas para evitar este fenómeno, y así eliminar la pérdida de confort térmico que produce la humedad al interior de las viviendas.

GABRIEL RODRÍGUEZ J.  
PROFESOR DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

**E**N ARTÍCULOS anteriores (BiT 58, página 40, y BiT 57, página 46, [www.revisabit.cl](http://www.revisabit.cl)) se analizó cómo la humedad deteriora la capacidad aislante térmica de los materiales que, en el caso de elementos envolventes de los edificios habitacionales, puede causar importantes pérdidas de calor que disminuyen los estándares de confort y elevan los gastos de energía en calefacción. En esta ocasión estudiaremos por qué y cómo se humedecen los materiales de la construcción y algunas sugerencias para evitar este fenómeno.

Como sabemos el agua se presenta en la naturaleza en tres formas o fases: hielo sólido, agua líquida y vapor gaseoso. Basta entregar al hielo cierta cantidad de calor para que se transforme en agua. Asimismo, el agua con cierta cantidad de calor se transforma en vapor de agua.

Esta fenomenología puede representarse por las siguientes ecuaciones por kg de agua:

- a)  $H_2O_{\text{HIELO}} + 80 \text{ kcal} \rightarrow H_2O_{\text{LIQUIDA}}$  fenómeno de licuación
- b)  $H_2O_{\text{LIQUIDA}} + 540 \text{ kcal} \rightarrow H_2O_{\text{VAPOR}}$  fenómeno de vaporización
- c)  $H_2O_{\text{VAPOR}} - 540 \text{ kcal} \rightarrow H_2O_{\text{LIQUIDA}}$  fenómeno de condensación
- d)  $H_2O_{\text{LIQUIDA}} - 80 \text{ kcal} \rightarrow H_2O_{\text{HIELO}}$  fenómeno de solidificación

Estos parámetros gráficamente se representan en la figura 1.

El valor 80 kcal/kg representa el calor de licuación en a) y el calor de solidificación en d). Como el hielo ocupa mayor volumen que el agua, este fenómeno de enfriamiento posee un tremendo efecto destructor al introducir agua en los materiales pétreos que luego al solidificarse se expande destruyéndolos. Es el fenómeno llamado comúnmente de "hielo deshielo" que se produce en aquellas regiones donde con

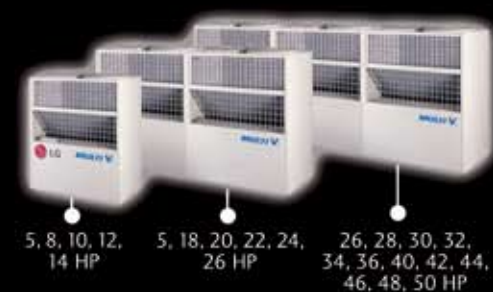
frecuencia la temperatura desciende bajo 0°C como en la zona cordillerana de altura y en el sur del país.

Por otro lado, 540 kcal/kg representa el calor de vaporización en la ecuación b) y el calor de condensación en c). Aquí el problema es de naturaleza muy distinta porque las propiedades físico-químicas del agua líquida son muy distintas a las del vapor de agua o las del hielo.

En efecto, el agua líquida cuenta con un gran poder disolvente de sales, a las cuales ioniza. Gran parte de esos iones, catión y anión, son muy activos químicamente. También disuelve gases y otras sustancias. Asimismo, debido a su tensión superficial presenta una gran fuerza de capilaridad que la hace desplazarse contra la gravedad en fisuras, grietas y capilares. Ésta y otras características como su viscosidad, calor específico, conductividad eléctrica y térmica, y movilidad iónica la hacen muy des-

Tecnología INVERTER:

**Ahorre más de un 35% de energía eléctrica**



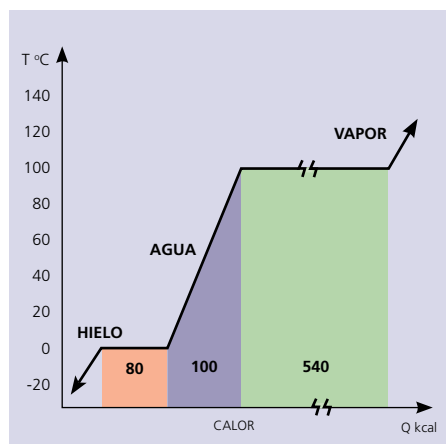
**MULTI V**

Multi V es un sistema multi-inverter el cual entrega frío y calor en forma simultánea con un sólo matriz de tuberías para llegar a toda las evaporadoras del sistema compuesto de una unidad externa y varias unidades internas, ahorrando energía al mismo tiempo que facilita la instalación. Este eficiente sistema de tuberías permite una instalación flexible, ya que, puede ser conectada a varios tipos de unidades interiores, reduciendo así los costos y los tiempos de instalación considerablemente.



A. Presidente Riesco 5711, Piso 2 Las Condes, Santiago  
Teléfonos:(56-2)438 6900, Fax:(56-2)438 6901/2

**FIGURA 1.** Para convertir 1 kg de hielo a 0°C en vapor a 100°C se debe agregar 80 + 100 + 540 kcal. En cambio, para convertir vapor a 100°C en agua se resta 540 kcal, para enfriarla se disminuye 100 kcal y para convertirla en hielo restar 80 kcal.



tructiva en metales, no metales y materiales orgánicos.

La vida, tanto microscópica como macroscópica, vegetal y animal, se ve muy favorecida por la presencia de agua líquida que facilita toda clase de fenómenos físicos, químicos y biológicos, como corrosiones, oxidaciones, ascensión capilar, eflorescencias, crecimiento de mohos, insectos, micro-líquenes, hinchamientos, pudriciones y decoloraciones, entre otros.

Escasos materiales logran resistir incólumes la presencia sostenida de agua líquida. Sin embargo, no ocurre lo mismo con el

agua gas ni con el hielo, los cuales, a menos que se transformen al estado líquido, casi no producen daños.

En consecuencia, los materiales en los edificios, sean pétreos, metálicos u orgánicos, deben mantenerse secos para garantizar su integridad en el tiempo.

### Tipos de humedades en la construcción

La humedad puede estar en dos estados: vapor y líquido. La primera se encuentra en el aire y la líquida puede provenir de lluvias, del suelo, residual de construcción, de derrames accidentales, de condensación y de licuación.

**HUMEDAD DEL AIRE:** No representa una amenaza para los materiales porque como se ha dicho el vapor no es dañino por ser un gas. De hecho, hay una cantidad importante de agua gas en los materiales porosos, fibrosos, esponjosos, con huecos o espacios que quedan por diseño y construcción.

El aire atmosférico seco no existe, siempre contiene vapor. Su cantidad varía con la temperatura, a mayor temperatura crece la capacidad del aire para contener vapor (ver Tabla 1). Cuando no puede contener más vapor se dice que está saturado. Cualquier exceso sobre esa cantidad se transforma en agua líquida. La humedad que contiene el aire se expresa como humedad relativa, siendo la relación porcentual entre el contenido de humedad que tiene en un mo-

**TABLA 1.** Humedad de saturación del aire en g H<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup>, según temperatura

°C	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
g/m <sup>3</sup>	3,37	3,64	3,92	4,22	4,55	4,89	5,23	5,94	5,98	6,39
°C	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
g/m <sup>3</sup>	6,82	7,28	7,76	8,28	8,82	9,39	10,01	10,64	11,32	12,03
°C	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
g/m <sup>3</sup>	12,82	13,59	14,43	15,31	16,25	17,22	18,25	19,33	20,48	21,64
°C	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
g/m <sup>3</sup>	22,93	24,24	25,64	27,09	28,62	30,21	31,89	33,64	35,48	37,40

Fuente: F. Ulsamer "Las humedades en la construcción".

mento dado respecto al contenido de humedad que tendría si estuviese saturado, vale decir, a cierta temperatura es:

$$\% \text{ de humedad relativa (HR)} = \frac{\text{cantidad de vapor H}_2\text{O (g/m}^3\text{)}}{\text{cantidad de vapor de saturación (g/m}^3\text{)}} \times 100$$

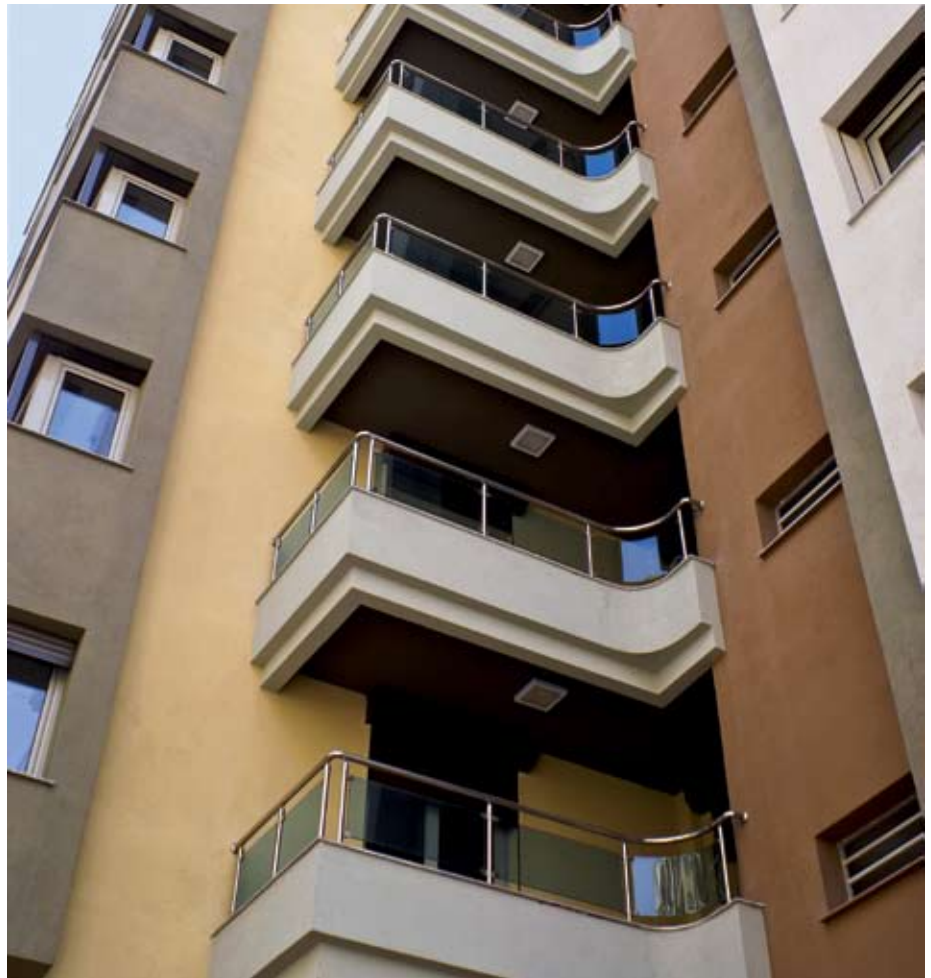
La tabla 1 muestra el contenido de vapor de saturación que puede tener el aire (HR = 100%), pudiéndose calcular el contenido para cualquier otra humedad relativa, multiplicando por el % correspondiente.

**HUMEDAD LÍQUIDA:** Hay numerosos materiales que absorben agua (humedad) y la retienen en cierta medida como la madera. Otras, entre ellas gran cantidad de ciertas sales, absorben cantidades importantes de agua o la extraen de la atmósfera, hasta formar soluciones acuosas recibiendo el apelativo de “delicuescentes”, por ejemplo ciertos cloruros, sulfatos y fosfatos, entre otros. Esto es un problema práctico bastante generalizado ya que forman manchas rebeldes de eliminar llamadas “eflorescencias”, soluciones salinas que afloran a la superficie de muros o losas, generalmente por ascensión capilar y que al evaporarse dejan sales cristalizadas.

El origen de agua líquida puede provenir de:

- a) Agua residual de construcción
- b) Agua del suelo
- c) Agua de lluvia especialmente en zonas ventosas
- d) Aguas accidentales
- e) Agua de condensación

**a) Agua residual de construcción:** En numerosas construcciones se emplean cantidades importantes de materiales hidráulicos



que necesitan agua para su fraguado, en especial hormigones, morteros y yesos. En las albañilerías de ladrillos, por ejemplo, éstos se mojan y el mortero de pega es húmedo, dando como resultado que el muro queda húmedo interiormente. El agua aflora lentamente a la superficie desde donde se evapora secando el muro. Este proceso puede durar meses o años dependiendo de la temperatura, de la ventilación y de la humedad relativa del aire circundante. Mientras mayor espesor de muro, más demora en secarse. La siguiente relación empírica entrega el tiempo de secado bajo condiciones normales de temperatura y humedad del aire:

$$D = k * e^2$$

Donde:

**D** = tiempo de secado en días

**e** = espesor del muro en cm

**k** = constante que depende del material (Hormigones y morteros 1 a 2,5; materiales porosos 0,25 a 1).

Puede observarse que para elementos de gran espesor, el secado natural puede durar años. Para disminuir el problema, se debe ser cuidadoso en el uso de agua durante la construcción, elevar la temperatura del aire (por cada alza de temperatura de 10°C el secado se reduce la mitad del tiempo), secar la obra gruesa, ventilar, demorar todo lo posible las terminaciones, y no usar pinturas impermeables por ambos lados de los muros, entre otros resguardos.

**b) Agua del suelo:** Los suelos suelen permanecer húmedos por variadas causas: terrenos bajos o cercanos a cursos de agua, aguas freáticas próximas a la superficie, falta de drenajes o exceso de aguas de riego hacen que haya riesgo de ascensión capilar vía cimientos y radieres.

Para evitar estos inconvenientes conviene hacer buenos drenajes, usar hormigón impermeable en cimientos y radieres, separar éstos del suelo intercalando láminas impermeables, evitar aguas de riego y bajadas de agua lluvias cercanas a los cimientos.



Los materiales en los edificios, sean pétreos, metálicos u orgánicos, deben mantenerse secos para garantizar su integridad en el tiempo.

**c) Agua de lluvia especialmente en zonas ventosas:** En los artículos anteriores (BIT 58 y 57) nos referimos a la lluvia con viento que azota los muros y el daño térmico debido a su humedecimiento. Una manera eficiente de paliar este problema consiste en colocar recubrimientos o protecciones contra la lluvia del tipo sobrepuestos, que dejan un espacio entre muro y protección que facilitan la circulación de aire (similar al tinglado de madera usado en el sur de Chile).

**d) Aguas accidentales:** Filtraciones habituales producidas por deficiente mantenimiento del edificio o imperfecciones, mala calidad de materiales, defectuosa construcción y, en ocasiones, mal diseño de techos, bajadas de agua, instalaciones de agua y alcantarillado. Las medidas de prevención resultan obvias, como ejecutar construcción e instalaciones de calidad.

**e) Condensaciones:** Ocurren cuando la humedad relativa del aire interior es alta y simultáneamente la temperatura superficial interior de muros, losas, ventanas u otros elementos perimetrales es baja. Tal condición se produce por escaso aislamiento térmico del muro y cuando la temperatura exterior es baja, lo cual ocurre generalmente en los días fríos de invierno, al amanecer justamente, cuando la temperatura exterior es mínima. La fórmula que relaciona estos parámetros es:

$$tsi = ti - Rsi \cdot U \cdot (ti - te)$$

(ver figura 2, BIT 58, página 44, [www.revistabit.cl](http://www.revistabit.cl))

Donde:

**ti** es la temperatura del muro por la cara interior.  
**Rsi** es la resistencia térmica de la capa de aire interior = 0,14 m<sup>2</sup> °C/W según NCh 853.

**ti** es la temperatura ambiente interior ≈ 20°C (temperatura de confort).

**te** es la temperatura mínima ambiente exterior.

Si la tsi es inferior a la temperatura de saturación del aire (ver Tabla 1) se produce condensación sobre esa superficie. Una vez depositadas gotitas de agua condensada esta empieza a hacer los daños que hemos comentado en ediciones anteriores de revista BIT.

Veamos un caso común: ¿Por qué se producen con tanta facilidad condensaciones sobre los vidrios de las ventanas? Respuesta: Supongamos una temperatura exterior de 0°C e interior de 20°C con 60% de humedad relativa. El vidrio corriente tiene una transmitancia térmica U = 5,8 W/m<sup>2</sup> °C. Reemplazando valores en la ecuación precedente se tiene:

$$tsi = 20 - 0,14 \cdot 5,8 \cdot (20 - 0) = 3,76 \text{ °C} \approx 4 \text{ °C}$$

Según Tabla 1 a esta temperatura el aire se satura con 6,39 g de agua por m<sup>3</sup>. Como a 20°C se satura con 17,22 g/m<sup>3</sup> y solo tiene 60% habrán: 17,22 \* 0,6 = 10,33 g/m<sup>3</sup>. Como a 4°C se satura con 6,39 g y hay 10,33 g entonces sobran 3,94 g de agua que condensan en la ventana por cada m<sup>3</sup> de aire posándose en el vidrio. ■

#### REFERENCIAS

1. Gabriel Rodríguez. "Aislamiento térmico. Humedad en elementos envolventes". Revista BIT 57.
2. Gabriel Rodríguez y Rodrigo Erazo. "Aislamiento térmico. Humedad en elementos envolventes II". Revista BIT 58.
3. Federico Ulsamer. "Las humedades en la construcción", Editorial CEAC, Barcelona, 1970.



Barras Anti-Pánico



Cilindros de Seguridad



Quicios y Cierra Puertas



Cierres Multi-Puntos

#### Sistemas de Seguridad Integral



#### Herrajes para PVC, Aluminio y Madera



Muro vidriado plegable

Giratorias

Puertas automáticas

#### Control de accesos para Centros Comerciales

#### G-U Herrajes Sud América Ltda.

Visite nuestro sitio:  
[www.g-u.cl](http://www.g-u.cl)

Patricia Viñuela 335-A  
 Lampa, Santiago

☎ 713 1700 / Fax 713 1710