

AISLAMIENTO TÉRMICO HUMEDAD EN ELEMENTOS ENVOLVENTES II

Tras abordar en la edición anterior el aumento de la conductividad térmica en los materiales que absorben humedad, en este artículo se entregan los resultados preliminares de una investigación experimental sobre conductividad de determinados materiales con diferentes grados de humedad. Además, se analiza el efecto del viento.

GABRIEL RODRÍGUEZ J.
PROFESOR DE FÍSICA DE LA CONSTRUCCIÓN
DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL DE
LA UNIVERSIDAD DE CHILE

RODRIGO ERAZO A.
MEMORISTA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA
UNIVERSIDAD DE CHILE

EN NUESTRA edición anterior, Número 57 Revista BIT¹, se abordó la problemática de los materiales que absorben humedad incrementando su conducción de calor y aumentando el valor de la conductividad térmica lambda (λ), según señala la bibliografía extranjera. Así se deteriorarían los valores reales de la transmitancia térmica U estipulada en la OGUC en su artículo 4.1.10, que se encuentran vigentes desde enero de 2007. La situación afecta principalmente a los elementos que conforman la envolvente de los edificios que se exponen a humedades, exteriormente a la lluvia y/o interiormente a las condensaciones.

Trabajo experimental²

En el presente artículo se informan los resultados preliminares de una investigación experimental realizada en los laboratorios de la Sección Habitabilidad del IDIEM, sobre conductividad de determinados materiales con diferentes grados de humedad. También se analiza el efecto del viento.

La conductividad térmica de los materiales de construcción homogéneos se mide por el método del anillo de guarda especificado en

la norma NCh 850³. Consiste básicamente en colocar dos probetas iguales de paredes planas y paralelas entre las cuales se ubica un calefactor eléctrico plano que genera una pequeña cantidad conocida de calor (ver figura 1). El calor fluye atravesando las probetas para ser absorbido por dos placas frías refrigeradas ubicadas en el lado opuesto al calefactor. Midiendo la diferencia de temperatura entre las caras de las probetas, se determina la conductividad por medio de la fórmula:

$$\lambda = \frac{\text{Flujo} \times \text{espesor}}{\text{Superficie} \times \text{diferencia de temperatura}}$$

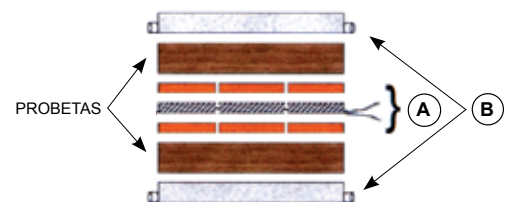


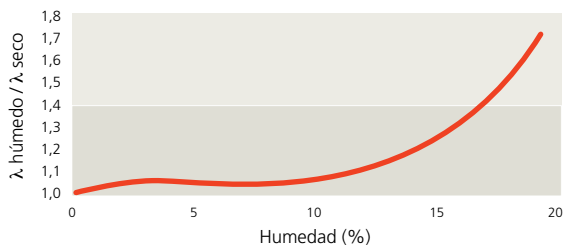
FIGURA 1. Esquema en corte del método del anillo de guarda señalado en la NCh 850 para determinar la conductividad térmica de materiales de construcción.

A: CALEFACTOR ELÉCTRICO PLANO

B: PLACAS ENFRIADAS TERMOSTÁTICAMENTE

GRÁFICO 1.

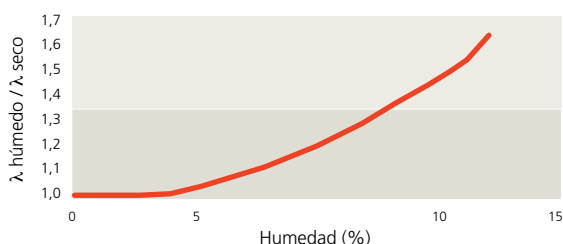
λ húmedo / λ seco v/s humedad para ladrillo hecho a mano



EL PUNTO DE SATURACIÓN ES DE 19,3%

GRÁFICO 2.

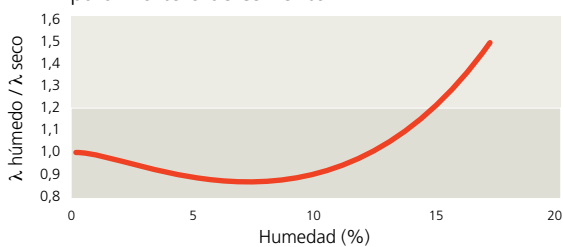
λ húmedo / λ seco v/s humedad para ladrillo de producción industrial



EL PUNTO DE SATURACIÓN ES DE 12,9%

GRÁFICO 3.

λ húmedo / λ seco v/s humedad para mortero de cemento



La inflexión de la curva parece deberse a que las probetas al humedecerse siguen hidratándose aunque se curaron más de un mes. Por esta razón se hicieron en total 10 mediciones. Punto de saturación 13%.

La norma especifica que los materiales se evalúan en estado seco para eliminar la influencia del contenido de agua durante el ensayo, que tendería a migrar dentro del material desde la cara caliente hacia la cara fría.

No obstante, para los efectos de las experiencias realizadas en este trabajo, las probetas, luego de secadas a peso constante, se humedecieron en cierto porcentaje y se sellaron con un film de plástico dejándolas herméticamente cerradas para evitar que el agua pueda escapar.

El contenido de humedad se determinó por diferencia de peso respecto al peso seco.

Las experiencias se hicieron para ladrillos hechos a mano (artesanales), ladrillos de producción industrial y mortero de cemento. Se determinaron diferentes conductividades correspondientes a distintos grados de humedad hasta la saturación.

EXPERIENCIA A. Se inició la tanda de mediciones con ladrillos artesanales. Se hicieron 6 determinaciones cuyos valores se graficaron para obtener la curva señalada en el gráfico 1, colocando en el eje de las abscisas el contenido porcentual de la humedad en peso y en el eje de las ordenadas el aumento de la conductividad térmica λ respecto al valor λ del material seco.

Se puede observar que los ladrillos artesanales mantienen su conductividad térmica aumentada en un 5% respecto a la seca, desde el 1% al 10% de humedad. De allí crece λ hasta llegar a 70% de incremento cuando se satura con 19,3% de agua. Valor de λ seco 0,47 [W/m² °C] para la densidad de 1.625 [kg/m³].

EXPERIENCIA B. Para ladrillos de producción industrial se hicieron 5 mediciones cuyos puntos se han ajustado para obtener la curva del gráfico 2, en forma similar al anterior.

Se aprecia que los ladrillos industriales mantienen su conductividad térmica hasta 3% de humedad y de allí crece hasta la saturación de humedad con 13% donde la conductividad llega a aumentar 65% respecto al material seco. Valor de λ seco 0,41 [W/m² °C] para la densidad de 1.920 [kg/m³].

EXPERIENCIA C. Para mortero de cemento se realizaron 10 mediciones cuyos puntos se han ajustado para obtener la curva del gráfico 3, en forma similar a los anteriores.

Se puede observar que el mortero de cemento nuevo baja ligeramente su conductividad térmica desde el estado seco hasta el 6% de humedad, y de allí aumenta λ hasta 50% cuando se satura. Valor de λ seco 0,60 [W/m² °C] para la densidad de 1.840 [kg/m³].

Conclusiones del aumento de la conductividad con la humedad

1. Resulta evidente que los materiales al humedecerse aumentan su conductividad térmica como se analizó en el artículo anterior (BIT 57, página 46).

2. La tasa de aumento es distinta para cada material.

3. Es necesario dar a conocer este fenómeno y tomar los resguardos correspondientes en las normas de cálculos relacionados con pérdidas térmicas, como la NCh 853 y sus derivadas.

4. Pedir a los laboratorios de investigación que hagan esfuerzos para medir la conductividad en estado húmedo de la mayor cantidad de materiales posibles, en especial de aquellos que se usan en elementos envol-

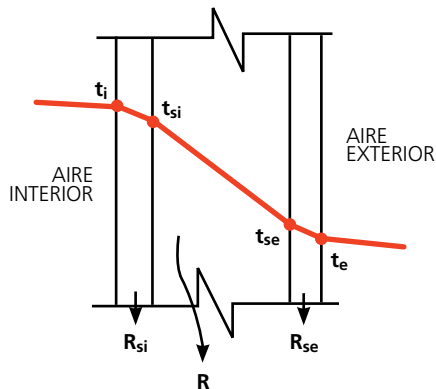


FIGURA 2.

El flujo debe vencer la resistencia de la capa de aire por el lado interior ($R_{si} = 0,12$), luego la resistencia del muro ($R = e/\lambda$) y finalmente la capa de aire por el exterior $R_{se} = 0,05$. Pero cuando hay viento $R_{se} \approx 0$.

EN LA FIGURA:

ti es la temperatura interior

tsi es la temperatura superficial interior

tse es la temperatura superficial exterior

te es la temperatura exterior

Obviamente en condición de invierno, cuando el edificio mantiene calefacción, se cumple que $t_i > t_{si} > t_{se} > t_e$.

ventes de los edificios susceptibles de humedecerse.

Zonas del país donde los materiales pueden humedecerse

En la Tabla 3 del artículo anterior se vio que las zonas con humedades relativas del aire mayores de 80% corresponden a regiones costeras, prácticamente desde La Serena hasta el extremo sur. Además las localidades con meses lluviosos acompañados de vientos que mojan los muros, se extienden desde la V Región hasta la XII Región inclusive, aumentando las lluvias con vientos a medida que se avanza hacia el sur. De hecho, es costumbre generalizada desde Bío Bío al sur, proteger los muros expuestos a la lluvia con madera tinglada, planchas de fibrocemento o planchas de acero galvanizado, principalmente en viviendas de uno a dos pisos.

En consecuencia, en dichas regiones cobran importancia las pérdidas térmicas por humedecimiento de los muros exteriores dado el aumento de los valores de λ y, consecuentemente los de U, como se han estado analizando en este trabajo, más aún considerando que en esas zonas la calefacción es imperiosa.

El viento, otro factor que aumenta las pérdidas térmicas

Habíamos dejado planteado que el viento también influye negativamente en las pérdidas térmicas. En efecto, cuando no hay viento o

éste es muy suave (menos de $2 \text{ m/s} = 7,2 \text{ km/h}$) la resistencia que opone al paso del calor la capa de aire adherida por el lado exterior de los muros es $R_{se} = 0,05 \text{ [m}^2 \text{ C/W]}$, según señala la NCh 853. Si la velocidad del viento aumenta, la capa de aire exterior se adelgaza, al punto que cuando el viento llega a una velocidad de unos 30 km/h la capa de aire prácticamente desaparece y no opone resistencia al paso del calor, por tanto su resistencia al paso del calor es nula, $R_{se} \approx 0 \text{ [m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W]}$.

Debe recordarse que el flujo térmico que atraviesa cada m^2 de elemento perimetral (muro, ventana y techo) cuando entre interior y exterior hay 1°C de diferencia de temperatura se llama transmitancia térmica total y es igual al recíproco de la suma de las resistencias térmicas (ΣR) de todas las capas del elemento de construcción considerado que el flujo debe atravesar, desde la capa de aire por el lado interior hasta la capa de aire exterior, como se aprecia en la figura 2.

TABLA 1.

Transmitancia térmica de muros de espesor $0,14 \text{ m}$, secos, húmedos, con y sin viento.

MATERIAL DE MURO	CONDICIÓN	CONDUCTIVIDAD _ $[\text{W/m } ^\circ\text{C}]$	TRANSMITANCIA U $[\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}]$
Ladrillo artesanal	seco sin viento	0,47	2,1
Ladrillo artesanal	seco con viento	-	2,4
Ladrillo artesanal	húmedo sin viento	0,78	2,9
Ladrillo artesanal	húmedo con viento	-	3,3
Ladrillo máquina	seco sin viento	0,41	2,0
Ladrillo máquina	seco con viento	-	2,2
Ladrillo máquina	húmedo sin viento	0,67	2,6
Ladrillo máquina	húmedo con viento	-	3,0
Mortero cemento	seco sin viento	0,60	2,5
Mortero cemento	seco con viento	-	2,8
Mortero cemento	húmedo sin viento	0,93	3,1
Mortero cemento	húmedo con viento	-	3,7

Nota: 1. Húmedo saturado. 2. En las albañilerías de ladrillo no se ha considerado la influencia del mortero de pega que se ha supuesto tiene el mismo valor λ que los ladrillos.

Cálculo de la nueva transmitancia térmica U

En consecuencia la fórmula para calcular U (ver BIT 57, pág. 48) cuando hay viento es:

$$U = \frac{1}{\Sigma R} = \frac{1}{0,12 + e/\lambda} \quad [W/m^2 \text{ } ^\circ C]$$

DONDE:

e = espesor del muro en [m]

λ = conductividad térmica real del muro húmedo [W/m °C]

0,12 = resistencia superficial por el lado interior (R_{si}) del muro, según NCh 853 expresada en [m² °C/W]

Nota: La resistencia superficial exterior se considera R_{se} ≈ 0 [m² °C/W] y por tanto tse = te

Considerando el mismo ejemplo desarrollado en BIT 57, páginas 48 a 49, para un muro de ladrillo de e = 0,14 [m] y λ seco = 0,4 [W/ m °C], el nuevo cálculo con el material húmedo, vale decir λ húmedo = 0,4 x 1,65 (ver gráfico 2), y con viento será:

$$U = \frac{1}{0,12 + (0,14 / 0,4 \times 1,65)} = 3,01 \quad [W/m^2 \text{ } ^\circ C]$$

Repetiendo similar cálculo para muros hechos con los materiales empleados en las experiencias realizadas en el presente trabajo, vale decir ladrillos artesanales, ladrillos hechos a máquina y hormigón con áridos finos (mortero de cemento), se obtienen los siguientes valores de U para espesores de muro de 0,14 m, como se muestra en Tabla 1.

Conclusiones

1. Para los casos analizados, la humedad empeora la transmitancia térmica U en más de 30%.
2. Cuando se agrega el viento, la transmitancia térmica aumenta aproximadamente en 50%.
3. Lo señalado no es considerado en la OGUC en su artículo 4.1.10 como se ha hecho referencia en este trabajo. En consecuencia en zonas de lluvia con viento los

valores de U se hacen aproximadamente 50% más transmisores de calor, aumentando consecuentemente las pérdidas de energía de calefacción.

En una futura publicación se analizarán las posibles soluciones al problema planteado porque existen variados factores que ocasionan que los materiales de la envolvente se humedezcan por lluvia, condensaciones u otras causas. ■

REFERENCIAS

1. Gabriel Rodríguez "Aislamiento térmico. Humedad en elementos envolventes". Revista BIT N° 47, pags. 46-49. Noviembre 2007.
2. Rodrigo Erazo "Variación de la conductividad térmica con la humedad en materiales de construcción" Memoria para optar al título de ingeniero civil, Departamento Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 2007.
3. Norma NCh 850 "Aislamiento térmico – Método para la determinación de la conductividad térmica en estado estacionario por el método del anillo de guarda", 1983.

BIT 58 ENERO 2008 ■ 43

KRINGS CHILE

RAPIDEZ

SEGURIDAD

EFECTIVIDAD

Solución Integral en Entibaciones Metálicas

- Sistemas de cajones KS-100
- Sistemas con guías deslizantes:
 - Sistema corredera (4-6 Metros)
 - Sistema paralelo (5-8 Metros)
- Sistema esquinero para pozos, cámaras y plantas elevadoras



Casa Matriz

Av. Americo Vespucio Sur 80 Of. 32 - Las Condes
Fono: (56-2) 241 3000

Guillermo Schrebler
gschrebler@krings.cl

WWW.KRINGS.CL