



Interior air quality and thermal bridges: a two-way path

Calidad del aire interior y puentes térmicos: un camino de ida y vuelta

MARTA EPELDE MERINO

Passivhaus Designer y Arquitecto Técnico
martaepelde@coaatg.org

IÑAKI DEL PRIM GRACIA

Blancodelprim Arquitectura
ecopasiva. bdp@coavn.org

What is the relationship between a thermal bridge and indoor air quality? This paper aims to demonstrate that there is a direct two-way relationship between the two phenomena. Thermal bridges are abundantly present in the residential building stock throughout Spain. They are considered energetically unfavourable points, but we cannot forget that the CTE also affects the risk of mould formation and pathologies derived from them. It is precisely this last aspect, the growth of moulds, that is dealt with here: how indoor air quality influences the formation of moulds and how this circumstance seriously affects the healthiness of dwellings and the health of the inhabitants due to the consequences that the presence of this type of microbiological contamination has for the respiratory system. The graphs presented in this work show that, in many cases, the indoor air quality is due to the poor response that the building can give to the ventilation needs of its inhabitants. Therefore, one of the hypotheses put forward is that condensation aggravated by indoor air quality does not always originate from user behaviour. In conclusion, it is analysed whether Nearly Zero Energy Buildings (Nzeb) can minimise this problem of lack of healthiness due to the presence of thermal bridges and indoor air quality, beyond achieving a reduction in energy consumption or whether there is a risk of making very cost-saving thanks to active systems but unhealthy in terms of air quality.

Puente Térmico; Condensaciones; Calidad Del Aire; Salubridad.

¿Qué relación existe entre un puente térmico y la mala calidad del aire interior? En la presente comunicación se pretende demostrar que existe una relación directa de ida y vuelta entre ambos fenómenos. Los puentes térmicos están presentes de manera abundante en el parque residencial construido de todo el Estado. Se consideran puntos energéticamente desfavorables, pero no podemos olvidar que el CTE también incide en el riesgo de formación de mohos y patologías derivadas de los mismos. Es precisamente este último aspecto, el crecimiento de mohos, el que se trata aquí: cómo la mala calidad del aire influye en la formación de moho y cómo llega a afectar gravemente esta circunstancia en la salubridad de las viviendas y la salud de los habitantes por las consecuencias que tiene la presencia de este tipo de contaminación microbiana para el aparato respiratorio. Las gráficas presentadas en este trabajo demuestran que, en muchos casos, la mala calidad del aire está en la pobre respuesta que el edificio puede dar a las necesidades de ventilación de sus habitantes. Por ello, una de las hipótesis que se plantean es que las condensaciones agravadas por la mala calidad del aire no siempre tienen origen en un mal uso por parte del usuario. Como conclusión, se analiza si los edificios de Energía Casi Nula (nZEB) pueden minimizar esta problemática de falta de salubridad por la presencia de puentes térmicos y mala calidad del aire, más allá de alcanzar una reducción de consumos energéticos, o si se corre el riesgo de hacer edificios muy ahorradores gracias a los sistemas activos pero poco salubres en términos de calidad del aire.

Thermal bridging insulation; Condensation; Air quality; Salubrity.

1. INTRODUCCIÓN

En la presente comunicación se pretende demostrar que existe una relación directa de ida y vuelta entre un puente térmico y la mala calidad del aire interior.

En primer lugar, conviene recordar que los puentes térmicos son definidos en la última versión del Código Técnico de la Edificación (en adelante, CTE) como "zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento" [1]. Siguiendo literalmente esta definición

es posible concluir que estas variaciones de uniformidad constructiva están presentes de manera abundante en el parque residencial construido en todo el Estado y, por tanto, se puede afirmar que los puentes térmicos son una constante en los edificios existentes objeto de rehabilitación.

Debido a la implantación de estándares constructivos orientados a la construcción de Edificios de Consumo Casi Nulo, así como al salto cualitativo realizado por el CTE con la publicación del nuevo DB-HE en diciembre de 2019, los puentes térmicos y su tratamiento han adquirido una gran importancia tanto en obra nueva como en rehabilitación, ya que se consideran puntos energéticamente muy desfavorables, y por tanto contrarios a los objetivos y prestaciones de los Edificios de Consumo Casi Nulo con muy baja demanda energética.

Sin embargo, no se puede obviar que los puentes térmicos, además de suponer importantes pérdidas energéticas en un edificio, son también zonas sensibles en las que aumenta la probabilidad de producirse humedades por condensación. De nuevo, es el propio CTE quien describe cómo el riesgo de formación de condensaciones superficiales aumenta en un puente térmico debido a que en ellos se concentran superficies con temperaturas superficiales bajas. No obstante, el CTE no se detiene únicamente en el riesgo de condensaciones superficiales, sino que va un paso más allá e indica cómo las condensaciones superficiales en los puentes térmicos *“suponen un riesgo para la salud al propiciar la formación de moho”* [1].



Fig. 1: Formación de moho en puentes térmicos de pilar y encuentro de fachada con forjados.

1.1. EL MOHO Y LA HUMEDAD

Los puntos o superficies frías que se crean en los puentes térmicos, son lugares propicios para la formación de condensaciones debido a que en ellos se alcanza la temperatura de rocío o humedad de saturación (100%). Sin embargo, debe diferenciarse el riesgo de condensación del riesgo de formación de moho, ya que este último no requiere saturación (humedad 100%), sino una humedad relativa superficial superior al 80% durante varios días.

El moho se desarrolla de manera más abundante en altos niveles de humedad, con contenidos medios de humedad en el material entre el 70% al 90%. Pero una vez que ha iniciado su crecimiento, algunas variedades de moho pueden sobrevivir en contenidos de humedad menores del 60% [2]. En principio, es habitual encontrar este tipo de contaminación microbiológica en materiales de construcción que contengan celulosa, como pueden ser papel, la madera o fibras textiles naturales [2].

Esta afirmación podría hacernos pensar que la mayoría de los edificios existentes de la península, al estar construidos en fábrica, debieran estar fuera de riesgo de crecimiento de moho. Sin embargo, la realidad y la bibliografía indican que el moho también puede crecer en materiales como el plástico, el metal o el hormigón, siendo su fuente de alimento una capa de suciedad orgánica (a veces llamada biofilm) compuesta por células de la piel, grasas, aceites o residuos de los insectos [2].

Del párrafo anterior se deriva que humedades superficiales elevadas favorecen claramente el crecimiento de moho. Sin

embargo es necesario remarcar que dichas humedades superficiales elevadas se generan a causa de las temperaturas superficiales bajas creadas por las variaciones de la resistencia térmica del elemento constructivo, es decir, por la presencia de un puente térmico.

Para la elaboración de este documento, además de analizar una serie de puentes térmicos representativos en los que se ha detectado la presencia de estas temperaturas superficiales bajas y como consecuencia humedades superficiales elevadas que generarán riesgos de formación de moho, se ha pretendido profundizar en cómo las condiciones ambientales del interior de los edificios pueden empeorar las condiciones superficiales de los puentes térmicos analizados hasta crear situaciones de riesgo inicialmente no previstas.

El análisis de cómo estas condiciones interiores empeoran, habitualmente por la mala calidad del aire interior, es el objetivo final de este escrito. Se pretende mostrar cómo la mala calidad del aire interior influye de manera determinante en la formación de moho y cómo llega a afectar gravemente esta circunstancia en la salubridad de las viviendas y por tanto en la salud de los habitantes debido a las consecuencias que tiene la presencia de este tipo de contaminación microbiológica para el aparato respiratorio.

La relación evidente entre las patologías de condensaciones y las afecciones a la salud de los usuarios, se basa en la existencia de suficiente evidencia epidemiológica derivada del riesgo de aparición de síntomas e infecciones respiratorias o asma en ocupantes de edificios que presentan patologías con existencia de mohos o altos contenidos de humedad interior [3].

Por ejemplo, algunos estudios consultados indican que el riesgo de desarrollar asma es un 50% mayor en viviendas donde se ha detectado moho o humedad [4].

Estas evidencias han sido estudiadas para diferentes países y diferentes condiciones climáticas por la OMS (Organización Mundial de la Salud), llegando a resultados que demuestran cómo la reducción de la humedad en los edificios puede reducir los efectos adversos para la salud [3].

2. DESARROLLO / METODOLOGÍA

2.1. ANÁLISIS DE FORMACIÓN DE MOHO EN UN PUENTE TÉRMICO

A la hora de realizar la simulación de un puente térmico, se debe tener en cuenta que las condiciones de contorno no son las mismas para el cálculo del flujo energético a través de un detalle constructivo que para valorar el riesgo de condensación del puente térmico.

Las diferentes normativas (UNE-EN ISO 10211:2012 [5], UNE-EN ISO 13788:2016 [6]) fijan estos parámetros y por tanto obligan a un doble cálculo del puente térmico: por un lado el que se realiza para evaluar el flujo energético que lo atraviesa y por otro el que evalúa las condensaciones.

Son raras las veces en las que se llevan a cabo ambas comprobaciones, incluso hoy en día aún es poco habitual encontrarse al menos uno de los dos análisis en proyectos de rehabilitación energética. Dentro de que ambos análisis (el energético y el de condensaciones) son importantes para asegurar una adecuada rehabilitación energética, debe tenerse en cuenta que evitar que un puente térmico condense siempre será prioritario frente a la evaluación energética del mismo: lo primordial será que no condense y de manera secundaria que tenga la menor pérdida energética posible.

A la hora de establecer el riesgo de formación de moho en un puente térmico, el CTE [1] utiliza un parámetro llamado factor de temperatura superficial (f_{Rsi}) cuya formulación es sencilla y simplemente requiere datos de temperatura interior, temperatura exterior y temperatura superficial:

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e) \quad (1)$$

- ◆ θ_{si} temperatura mínima en la superficie interior del cerramiento (°C)
- ◆ θ_i temperatura del ambiente interior (°C)
- ◆ θ_e temperatura del ambiente exterior (°C)

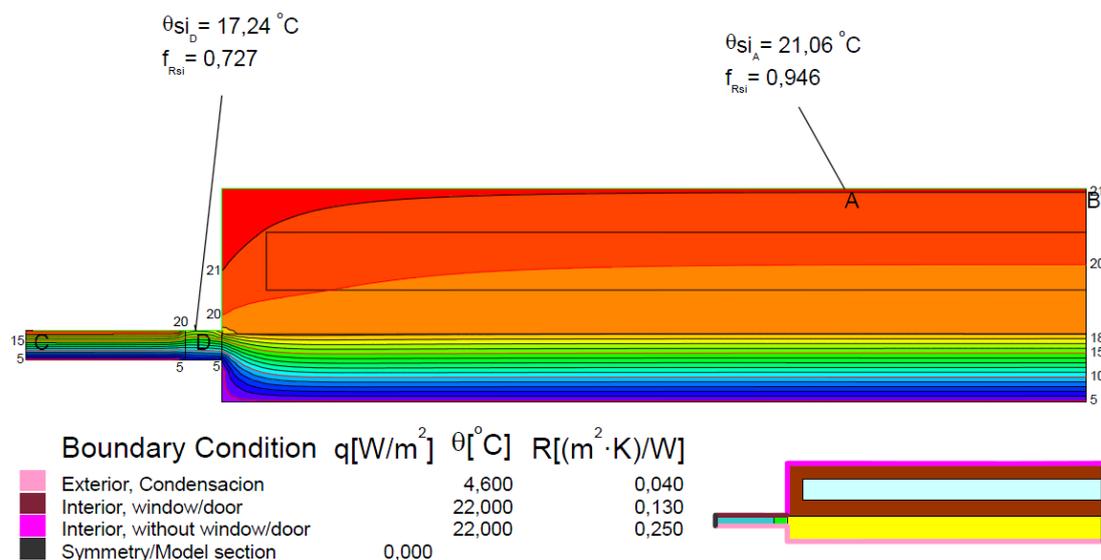


Fig. 2: Puente térmico calculado con Flixo Energy mostrando como resultados la temperatura superficial y el factor f_{Rsi} en los puntos A y D, para unas condiciones de contorno concretas.

El factor f_{Rsi} , que se obtiene de aplicar la fórmula (1) o de una simulación (ver Figura 2), debe cumplir para todos los meses del año la condición:

$$(2)$$

Cumpliendo este requisito, se asegura que la temperatura superficial interior es superior a la temperatura superficial

El dato de la temperatura superficial se supone un dato conocido obtenido a través de la simulación del puente térmico o mediante la medición directa y los datos de temperatura interior y exterior, a priori están fijados por la normativa estatal con valores de 20°C para la temperatura interior y la temperatura media del mes de enero de la población en la que se ubica el edificio como valor para la temperatura exterior.

Programas avanzados para la simulación de puentes térmicos aportan resultados de f_{Rsi} automáticamente, pero no se debe olvidar que habrán sido calculados para las temperaturas interior y exterior que hayan sido fijadas por el calculista como parámetros en el programa.

En consecuencia, a la hora de evaluar el riesgo de condensación en una simulación de puente térmico, es importante verificar las condiciones de contorno con las que ha sido calculado para garantizar que se ajustan a la normativa de limitación de condensación que se esté aplicando y que no se confunden con los parámetros para cálculo de flujo energético en un puente térmico. En el ejemplo que se muestra a continuación, se puede observar el resultado f_{Rsi} aportado automáticamente por el programa Flixo Energy, así como las condiciones de contorno (Boundary Conditions) con las que ha sido realizada dicha simulación:

aceptable, que es aquella que implica una humedad relativa superior al 80% en la superficie interior del cerramiento [1]. Para no extender la explicación sobre el procedimiento de obtención de la temperatura superficial aceptable o, dicho del otro modo, del factor $f_{Rsi \text{ min}}$ (ampliamente explicado en el DA DB-HE / 2 [7] y la ISO 13788:2016 [6]); la comprobación de la condición de la fórmula (2) puede realizarse mediante la tabla aportada por el CTE [2] en la que, para una zona climática definida y una higrometría definida, se obtiene un valor de $f_{Rsi \text{ min}}$:

Categoría del espacio	α	Zona climática de invierno				
		A	B	C	D	E
Clase de higrometría 5	0,70	0,80	0,80	0,80	0,90	0,90
Clase de higrometría 4	0,56	0,66	0,66	0,69	0,75	0,78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0,42	0,50	0,52	0,56	0,61	0,64

Tabla 1. Factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi\ min}$

A título ilustrativo, y para visualizar la simplicidad de esta comprobación, se toma como ejemplo la verificación del riesgo de moho para un puente térmico que arroja una temperatura superficial interior (θ_{si}) de $14,5^{\circ}\text{C}$, con una temperatura ambiental interior (θ_i) de 20°C y una temperatura exterior (θ_e) correspondiente al mes de enero en la ciudad de Vitoria, que resulta ser de $4,6^{\circ}\text{C}$ según los datos climáticos aportados por el CTE [7]:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} = \frac{14,5 - 4,6}{20 - 4,6} = 0,64 \quad (3)$$

Este factor de temperatura superficial (0,64) se compara con el factor temperatura superficial mínimo que se obtiene de la tabla 1: para la zona climática de Vitoria (zona climática D) y

clase de higrometría 3 o inferior, cuyo valor $f_{Rsi\ min}$ es 0,61, y por tanto se cumple la condición de la fórmula (2) sobre la limitación de riesgo de moho.

No obstante, en este punto del análisis se profundiza en cómo los parámetros de ambiente interior (temperatura y humedad ambiental) pueden llevar a que puentes térmicos inicialmente fuera de riesgo de formación de moho, sí presenten riesgo cuando las condiciones interiores varían. Esta afirmación se demuestra al comparar el valor f_{Rsi} obtenido en el ejemplo (0,64), con las diferentes clases higrométricas mostradas en la tabla 1 de $f_{Rsi\ min}$: cuando la clase higrométrica es 3 o inferior, el factor f_{Rsi} cumple la condición de tener un valor mayor que $f_{Rsi\ min}$ ($0,64 > 0,61$). Sin embargo, si se compara el valor f_{Rsi} (0,64) con los $f_{Rsi\ min}$ para las clases higrométricas 4 ó 5, se observa que la comprobación deja de cumplir los parámetros ($0,64 < 0,75$ y $0,64 < 0,90$), arrojando riesgo de condensación.

Categoría del espacio	f_{Rsi}	$f_{Rsi\ min}$	$f_{Rsi} > f_{Rsi\ min}$
Clase higrom. 3 o inferior (55% humedad rel. o inferior)	0,64	0,61	Cumple
Clase higrométrica 4 (62% humedad relativa)	0,64	0,75	No cumple
Clase higrométrica 5 (70% humedad relativa)	0,64	0,90	No cumple

Tabla 2: Ejemplo comprobación f_{Rsi} y $f_{Rsi\ min}$ para $\theta_{si} 14,5^{\circ}\text{C}$; $\theta_i 20^{\circ}\text{C}$; $\theta_e 4,6^{\circ}\text{C}$.

Esto deja en evidencia cómo los cambios que solo intervengan en la humedad relativa interior, afectan directamente al riesgo de formación de moho en los puentes térmicos. Por tanto, el análisis de las condiciones de temperatura y humedad interiores será un parámetro a tener muy en cuenta a la hora de establecer diagnósticos y soluciones ante la aparición de esta patología en las viviendas.

El propio Código Técnico da pistas sobre cómo los parámetros ambientales interiores pueden ser muy variables y por tanto pueden desvirtuar los cálculos iniciales realizados con arreglo a los parámetros normativos (20°C interiores, temperatura media de invierno y 55 % de humedad relativa para residencial): “Debe cuidarse el uso de datos de temperatura y humedad relativa interior que se correspondan adecuadamente con las condiciones existentes ya que en caso contrario los cálculos pueden dar lugar a resultados incorrectos.

Por ejemplo, para una vivienda en zona marítima la humedad relativa interior puede ser muy superior al 55% indicado y producirse condensaciones con gran facilidad que no se detectarían de usar el valor por defecto” [7].

2.2. INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LOS PARÁMETROS DE CÁLCULO Y COMPROBACIÓN DEL RIESGO DE CONDENSACIÓN

En diversas monitorizaciones realizadas en inmuebles situados en la provincia de Guipúzcoa, hemos observado que las humedades relativas interiores en los edificios suelen alcanzar habitualmente valores por encima del 60 % y, que en los casos donde las viviendas sufren patologías de condensación, esas humedades relativas interiores a menudo se sitúan cercanas al 70 y 80%, incluso con máximos de 90% de humedad relativa.

Esta diferencia entre los parámetros a priori marcados por el CTE y los que finalmente se han obtenido en las diferentes casuísticas medidas, pone de manifiesto la importancia de monitorizar el estado real de las viviendas con el objetivo de analizar y prevenir problemáticas de condensación, ya que un puente térmico aparentemente fuera de riesgo en proyecto, considerando temperaturas de 20°C interiores y humedades medias del 55 % para el cálculo, puede entrar en zona de riesgo cuando las condiciones reales del ambiente interior varían respecto de los parámetros de cálculo.

¿Cuáles son los factores que provocan humedad elevada en las viviendas afectadas por moho? Tradicionalmente el exceso de humedad en las viviendas se achaca al mal uso que pueden hacer los usuarios debido a una escasa ventilación, calefacción insuficiente, exceso de plantas o actividades que pro-

vocan mucha producción de humedad (secado de ropa en el interior de la vivienda, cocina,...).

Sin embargo, en las monitorizaciones realizadas hemos observado cómo la mala calidad del aire interior está directamente relacionada con estas humedades interiores elevadas que no siempre tienen como único culpable al usuario.

En los casos monitorizados se observa que las viviendas con problemáticas de moho en sus puentes térmicos presentan humedades interiores elevadas en conjunto, con elevadas concentraciones de CO₂. Es más, se observa de manera clara en la toma de datos, cómo las humedades y las concentraciones de CO₂ se elevan exponencialmente en los dormitorios por la noche para volver a reducirse ambos de manera gradual al realizar las ventilaciones habituales por la mañana.

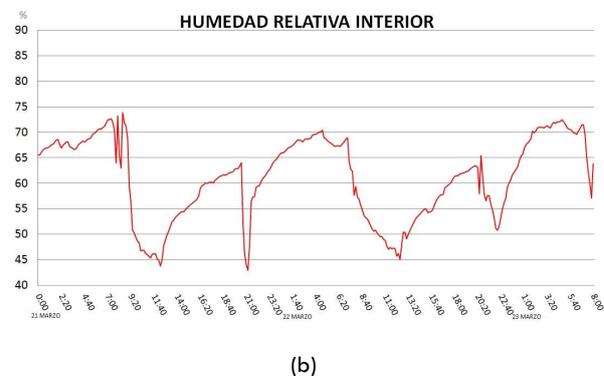
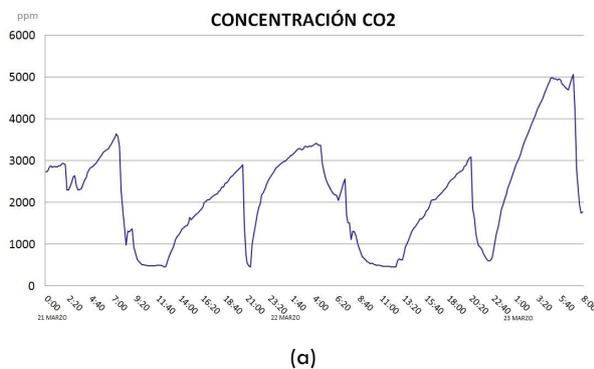


Fig. 3. (a) Relación entre el comportamiento de los valores de concentración de CO₂ y (b) los valores de humedad relativa interior.

La razón de que las concentraciones de CO₂ sean elevadas por la noche, está relacionada con el hecho de que las viviendas no son capaces de realizar ventilaciones efectivas en aquellos momentos en el que las personas duermen y por tanto no pueden llevar a cabo ventilaciones de forma manual.

Por la noche, el cuerpo en reposo emite unos 40gr/h de vapor de agua por persona [8] y los sistemas de ventilación previstos en las viviendas, en general, extracciones en baños y cocinas y micro-ventilaciones en las ventanas, no son suficientes para mantener una correcta calidad del aire.

Por contra, debe tenerse en cuenta que el nivel de hermeticidad de ventanas y cerramientos ha mejorado notablemente reduciendo los caudales de ventilación por infiltraciones no deseadas en favor de la eficiencia energética.

Por tanto, se produce una descompensación entre la buena hermeticidad de los cerramientos y la falta de eficacia de los sistemas de ventilación existentes, que se traduce en un aumento de humedad y riesgo de moho.

Debido a que no se mantiene una correcta calidad del aire, la estancia en cuestión no se puede beneficiar de la regulación de humedad que provoca una ventilación adecuada, y por tanto comienza lo que hemos convenido en denominar como el

camino de ida y vuelta entre una mala calidad del aire, una falta de control de humedad y los efectos adversos del exceso de humedad en los puentes térmicos del edificio.

Ante esta perspectiva de humedades interiores mayores a las establecidas en los parámetros básicos de cálculo del Código Técnico y también ante temperaturas interiores diferentes a los 20°C marcados en el mismo, en el desarrollo del presente estudio se ha planteado la idoneidad de parametrizar el riesgo de condensación en función de diferentes ambientes interiores, de manera que pueda realizarse una valoración veraz de los riesgos en función de las condiciones ambientales interiores reales que habitualmente se recogen en las viviendas monitorizadas por los autores.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la redacción del presente estudio se han analizado proyectos de rehabilitación energética de manera sistemática, simulando y calculando más de 70 puentes térmicos de diferentes casuísticas, lo cual nos ha llevado a concluir que varias situaciones analizadas que a priori parecían alarmantes en cuanto a flujo energético a través de la envolvente debido a que se producían cam-

bios de espesor bruscos, no lo eran tanto a la hora de verificar el riesgo de condensaciones superficiales y formación de moho. Sin embargo el bajo riesgo de condensación obtenido en estas casuísticas es debido a que

las condiciones de contorno consideradas fueron de 20° C de temperatura interior y 50 % humedad relativa, parámetros de ambiente interior que alejan por definición la aparición del riesgo de condensación.

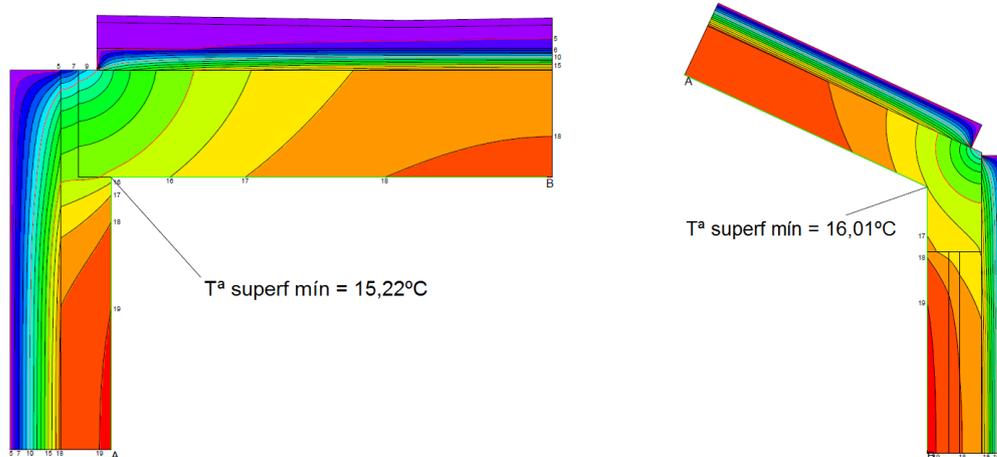


Fig. 4. Ejemplos de temperaturas superficiales en puentes térmicos calculados en condiciones de 20°C de temperatura interior, 50% humedad relativa y temperatura exterior del mes de enero de la localidad.

Clase higrométrica	Figura 5			Figura 6		
	f_{Rsi}	$f_{Rsi\ min}$	$f_{Rsi} > f_{Rsi\ min}$	f_{Rsi}	$f_{Rsi\ min}$	$f_{Rsi} > f_{Rsi\ min}$
3 o inferior (55% h. rel. o inf.)	0,69	0,61	Cumple	0,74	0,61	Cumple
4 (62% humedad relativa)	0,69	0,75	No cumple	0,74	0,75	No cumple
5 (70% humedad relativa)	0,69	0,90	No cumple	0,74	0,90	No cumple

Tabla 3: Comprobación de riesgo de moho para distintas humedades relativas interiores.

En las tablas mostradas a continuación, se han querido tomar unos rangos de análisis acordes con las distintas mediciones que se han llevado a cabo en el interior de viviendas monitorizadas, con el objetivo de caracterizar aquellas situaciones más habituales.

Se presentan por tanto las tablas parametrizadas con humedades relativas interiores correspondientes a las clases higrométricas que marca el Código Técnico (las cuales también resultan representativas de lo monitorizado), cruzadas con temperaturas interiores acordes a las casuísticas más habituales:

En la tabla 4 se estudia para diferentes temperaturas interiores y humedades interiores, las temperatura resultantes a partir de las cuales existe riesgo tanto para la condensación (100% de humedad relativa en la superficie) como para la formación de moho (80% de humedad relativa en la superficie).

Como se puede observar, los rangos varían notablemente en función de las humedades interiores y, en función del aumento de dicha humedad ambiental interior, las temperaturas superficiales a partir de las cuales existe riesgo de condensaciones

y formación de moho, resultan ser temperaturas muy fácilmente alcanzables en los puentes térmicos analizados.

Tª interior	H. relativa	Tª condensación	Tª formación moho
20 °C	70%	14,4 °C	17,9 °C
20 °C	62%	12,5 °C	15,9 °C
20 °C	55%	10,7 °C	14,1 °C
18 °C	70%	12,4 °C	15,9 °C
18 °C	62%	10,6 °C	14,0 °C
18 °C	55%	8,8 °C	12,2 °C

Tabla 4: Temperaturas superficiales de condensación y formación de moho en función de un ejemplo concreto de temperaturas exteriores e interiores y el grado de humedad relativa interior.

Como manera alternativa de visualizar la influencia de la humedad interior en los puentes térmicos, en la tabla 5 se propone analizar la relación de la temperatura interior y la temperatura superficial con las humedades ambientales interiores que generan riesgo de condensación o riesgo de formación de mohos en dichos espacios.

Tª interior	Tª superf. interior	¿A qué % H.rel. condensa?	¿A qué % H.rel. riesgo moho?
20 °C	16 °C	78%	62%
20 °C	14 °C	68%	55%
20 °C	12 °C	60%	48%
18 °C	16 °C	88%	70%
18 °C	14 °C	77%	62%
18 °C	12 °C	68%	54%

Tabla 5: Humedades relativas interiores a partir de las cuales existe riesgo de condensación o formación de moho.

4. CONCLUSIONES

Los puentes térmicos no dejan de ser puntos higrotérmicamente débiles que favorecen temperaturas bajas en las superficies de los cerramientos y por tanto elevan el riesgo de condensación y formación de moho.

Son un problema de origen constructivo, a los que se debiera prestar especial atención por su alto potencial de riesgo para la salud debido a la formación de moho, además de las pérdidas energéticas que generan.

Tal y como se ha podido observar en este estudio, los puentes térmicos son origen potencial para la formación de moho cuando se analizan adecuadamente y se valora su riesgo, no solo bajo condiciones normativas, sino bajo condiciones de ambiente interior características de la zona climática estudiada. Por tanto, una correcta monitorización de la realidad debería tomarse como base para el diagnóstico y solución de la contaminación microbiológica formada por el moho.

El registro y análisis del ambiente interior real mediante datos de temperatura y humedad relativa, también debiera examinar la calidad del aire, analizando al menos datos de concentración de CO₂ de la estancia afectada, con el objetivo de obtener una visual de cuánto se ventila (tanto por los usuarios como por los sistemas) y por tanto cuánto, y de que manera influye en la humedad interior la escasez de ventilación.

La llegada de la normativa que exige Edificios de Consumo Casi Nulo (ECCN) debería ayudar a minimizar esta problemática de falta de salubridad por la presencia de puentes térmicos y mala calidad del aire, más allá de alcanzar una reducción de consumos energéticos. Sin embargo, esto ocurrirá solo si se presta la suficiente atención a la correcta resolución de los puentes térmicos tanto en proyecto como en ejecución.

De lo contrario se corre el riesgo de realizar edificios muy ahorradores gracias a los sistemas activos, pero poco salubres debido a la existencia de puentes térmicos, y a las patologías de formación moho y mala calidad del aire interior que de ellos derivan.

Ante los retos de eficiencia energética y cambio climático que son ya parte del presente, debemos pensar en una nueva

filosofía de construcción donde primen las envolventes sin puentes térmicos, la correcta ejecución y control de las obras y los sistemas de ventilación pensados para la salud y la calidad del aire.

5. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CTE: Código Técnico de la Edificación

DB-HE: Documento Básico-Ahorro de Energía

OMS: Organización Mundial de la Salud

ISO: International Organization for Standardization

CO₂: Dióxido de Carbono

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Código Técnico de la Edificación. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía DA DB-HE / 3. Puentes térmicos. Mayo 2014. Ministerio de Fomento.

[2] Kathleen Parrott, Ph.D. MOLD BASICS. Virginia Tech, Virginia Polytechnic Institute and State University. 2009

[3] World Health Organization (WHO). WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould. World Health Organization (WHO), 2009.

http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf (2009)

[4] Mendell, M.J., Mirer, A.G., Cheung, K., Tong, M., Douwes, J.: Respiratory and allergic health effects of dampness, mould and dampness-related agents: a review of the epidemiologic evidence. *Environmental Health Perspectives*, 119 (2011), p.748-756.

[5] UNE-EN ISO 10211:2012. Puentes térmicos en edificación. Flujos de calor y temperaturas superficiales. Cálculos detallados. (ISO 10211:2007)

[6] UNE-EN ISO 13788:2016. Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación. Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo. (ISO 13788:2012).

[7] Código Técnico de la Edificación. Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía DA DB-HE / 2. Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos. Mayo 2014. Ministerio de Fomento.

[8] Schneider, Anton. Fernlehgang Baubiologie IBN, Innenraumklima. Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN

WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at bm.edificacion@upm.es. Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.