

## CODE 217

### **APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE DIAGNÓSTICO COMBINADAS PARA LA CORRECTA IDENTIFICACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS DE HUMEDAD EN EDIFICIOS DE VIVIENDA CONTEMPORÁNEA**

**Hidalgo-Betanzos, Juan María<sup>1</sup>; Iribar-Solaberrieta, Eider<sup>2</sup>; Flores-Abascal, Iván<sup>3</sup>; Escudero-Revilla, César<sup>4</sup>; Sala-Lizarraga, Jose María Pedro<sup>5</sup>.**

- 1: Grupo ENEDI: Energética en la Edificación, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos  
Universidad del País vasco UPV/EHU  
e-mail: [juanmaria.hidalgo@ehu.eus](mailto:juanmaria.hidalgo@ehu.eus), web: <http://www.ehu.eus/enedi>
- 2: Grupo ENEDI, Dpto. MMT, Universidad del País Vasco UPV/EHU  
e-mail: [eider.iribar@ehu.eus](mailto:eider.iribar@ehu.eus)
- 3: Grupo ENEDI, Dpto. MMT, Universidad del País Vasco UPV/EHU  
e-mail: [ivan.flores@ehu.eus](mailto:ivan.flores@ehu.eus)
- 4: Grupo ENEDI, Dpto. MMT, Universidad del País Vasco UPV/EHU  
e-mail: [cesar.escudero@ehu.es](mailto:cesar.escudero@ehu.es)
- 5: Grupo ENEDI, Dpto. MMT, Universidad del País Vasco UPV/EHU  
e-mail: [josemariapedro.sala@ehu.es](mailto:josemariapedro.sala@ehu.es)

**PALABRAS CLAVE:** Patologías en la construcción; Calidad del aire interior; Monitorización de edificios; Termografía infrarroja; Condensaciones intersticiales.

#### **RESUMEN**

Se presenta un estudio de patologías de un edificio de vivienda colectiva contemporáneo, ubicado en el norte de España y construido según la norma NBE-CT 79. Tras percibir la presencia de humedades en diversos puntos del interior de las fachadas, se desarrollaron tres estudios complementarios para analizar la situación de los cerramientos del edificio y diagnosticar las posibles líneas de mejora.

El primer estudio consistió en la monitorización de las condiciones interiores de temperatura y humedad relativa en varias viviendas. Así se analizaron los niveles de uso, calefacción y ventilación durante varias semanas de invierno. El segundo estudio monitorizó el comportamiento de la fachada tipo, midiendo durante varias semanas los flujos de calor y las temperaturas superficiales interiores y exteriores de la fachada. Se verificaron el nivel de aislamiento térmico, la inercia térmica y los riesgos de condensación superficial en condiciones reales. El tercer estudio consistió en una inspección con termografía infrarroja, desde el interior y desde el exterior. Se detectaron algunas irregularidades en fachadas y sirvió para completar el análisis del problema del edificio.

Se demuestra la importancia de utilizar varias pruebas de diagnóstico. Para ello se explican las interpretaciones erróneas que hubieran podido suceder en caso de no realizar los ensayos complementarios, un aspecto clave en los diagnósticos de patologías y eficiencia energética. Se detalla el procedimiento para localizar los verdaderos orígenes del problema. Finalmente se proponen unas soluciones técnicas de ventilación o mejora del aislamiento térmico como posibilidades para corregir los altos niveles de humedad relativa interior y minimizar el riesgo de condensaciones.

#### **1. INTRODUCCIÓN**

El parque inmobiliario de España es mayoritariamente antiguo. Un estudio del INE de 2013 [1] calculó que el 67% de las viviendas era anterior a la primera normativa de ahorro energético NBE-CT 79 [2].

Esto demuestra que pese la numerosa edificación moderna del siglo XXI, la cantidad de viviendas con muy poco aislamiento sigue siendo muy elevada. Esta cifra es mayor en algunas regiones como en la Comunidad Autónoma del País Vasco, donde el 75% de las viviendas habían sido construidas antes de 1980.

Actualmente muchos edificios están siendo rehabilitados gracias al apoyo de las ayudas económicas como el PAREER-CRECE [3] de nivel estatal, o el programa RENOVE [4] en la CAPV, que fomentan la rehabilitación energética y la accesibilidad. Sin embargo, el diagnóstico de la situación actual del edificio que se utiliza está basado en la inspección visual, ya que sólo se exige la presentación de un Informe de Evaluación del Edificio (IEE) (o la Inspección Técnica del Edificio, ITE, en la CAPV). Lamentablemente, un mal diagnóstico puede provocar que las reformas no solucionen las patologías anteriores a la renovación.

El presente caso de estudio demuestra la complejidad del diagnóstico en un edificio residencial para identificar las posibles causas de diversas patologías y defectos en la envolvente. Se proponen unas herramientas de medición, análisis y cálculo que permiten descubrir los orígenes de los problemas. Un buen diagnóstico es la mejor y la única manera de planificar una buena rehabilitación que mejore las prestaciones energéticas, incorporando con el menor coste posible todas las demás prestaciones como la seguridad, salubridad, accesibilidad, durabilidad, etc.

## **2. OBJETIVO DEL ESTUDIO**

Se desea conocer las posibles causas de las humedades y problemas de salubridad presentes en algunas viviendas del edificio, para decidir qué actuaciones de mejora son las más adecuadas para solucionar o al menos mejorar los problemas existentes.

## **3. CASO DE ESTUDIO**

### **3.1 Metodología de análisis**

El análisis de los orígenes de las patologías mediante la observación no era concluyente, por ello se aplicaron tres estudios complementarios para identificar las posibles causas. En primer lugar, se monitorizaron las condiciones interiores de temperatura y humedad en las viviendas con problemas de humedad. Esto permitió conocer la ocupación, el nivel de calefacción y los hábitos de ventilación y analizar si su actividad puede ser la causa de las patologías detectadas. Se seleccionaron las viviendas A, D y E, por tener orientación Norte, que es donde se observaron las principales patologías. Se registraron la temperatura y humedad relativa (HR) del aire interior cada 15 minutos durante 40 días, del 23 de enero al 4 de abril de 2014. Adicionalmente, se midieron la temperatura y HR exteriores. Para el análisis, se promediaron los valores en base horaria y se calculó el riesgo de condensaciones mediante la norma UNE EN ISO 13788:2002, para verificar si las condiciones de uso real podían causar las condensaciones en la envolvente.

En segundo lugar, se analizaron las temperaturas superficiales de los cerramientos. Por un lado, se midieron las partes homogéneas de dos fachadas. Por otro lado, se seleccionaron los dos puentes térmicos con mayores patologías visibles, el encuentro de forjado-fachada y el pilar de esquina junto a las carpinterías exteriores. Este estudio más detallado permitió conocer la evolución de las temperaturas superficiales más frías de la envolvente en relación a las temperaturas del aire interior y analizar el riesgo de condensaciones superficiales e intersticiales en mayor detalle.

En tercer lugar, se realizó una inspección mediante termografía infrarroja de toda la envolvente, para detectar las irregularidades en los cerramientos y contrastar las temperaturas superficiales de las distintas orientaciones del edificio. Las imágenes exteriores se tomaron de 7 a 8 horas del 17 de febrero, cuando el salto térmico era superior a los 10 °C. Cumpliendo el procedimiento simplificado de la norma EN 13187:1998 para detección de irregularidades en cerramientos de edificios. Las imágenes interiores se

tomaron la tarde del 4 de marzo de 16 a 19 h, cuando se pudo acceder a las viviendas, habiendo un salto térmico también superior a los 10 °C.

Finalmente, se combinaron los resultados de los tres estudios para analizar el comportamiento global del edificio, identificar los posibles orígenes y proponer intervenciones de mejora.

### 3.2 Descripción del edificio y patologías existentes

Se estudia un edificio de 14 viviendas terminado en 2008 en el País Vasco según NBE-CTE-79. La planta inferior es comercial, hay dos plantas de 5 viviendas y un bajocubierta de 4 viviendas abuhardilladas. Las viviendas tienen una o dos orientaciones y se accede a través de un patio interior cubierto donde están las escaleras y el ascensor. La Figura 1 muestra la distribución de la planta tipo de viviendas, las plantas 1 y 2, y una sección transversal. La fachada se compone de mortero (1,5cm), hoja exterior de 1/2 pie de ladrillo perforado (11 cm), poliuretano proyectado (PUR) (4 cm), cámara de aire no ventilada (3 cm), hoja interior de ladrillo hueco doble machetón (7 cm) y guarnecido interior de yeso (1,5cm). Los pilares y forjados están recubiertos por fuera con piezas de vidrio celular. La Figura 2 muestra los detalles constructivos de fachada y los encuentros con forjados. La ventilación es natural.

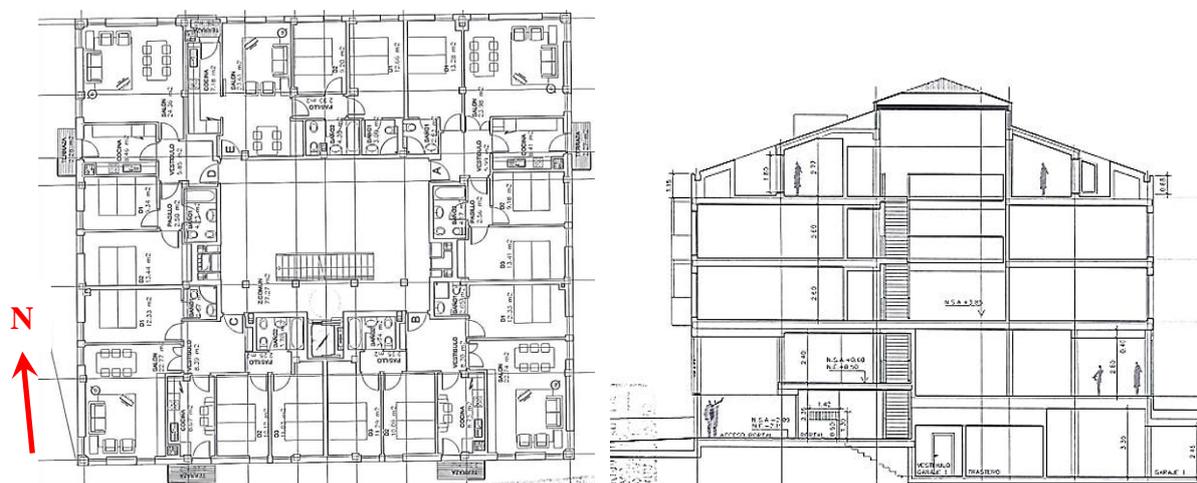


Figura 1. Planta tipo de viviendas en 1º y 2º piso (izq.) y sección Norte-Sur (dcha.)

El edificio presentaba manchas visibles de humedad en 6 de las 10 viviendas ubicadas entre los pisos 1º y 2º, todas ellas estaban ubicadas en viviendas con orientación norte. Las viviendas a sur no presentaban patologías visibles. Adicionalmente, se habían desarrollado colonias de hongos o microorganismos, localizados en su mayoría en zonas cercanas a puentes térmicos de pilar o de forjado y perímetros de carpinterías. El resto de viviendas ubicadas en planta bajocubierta indicaron que no tenían patologías y no quisieron participar en el estudio.

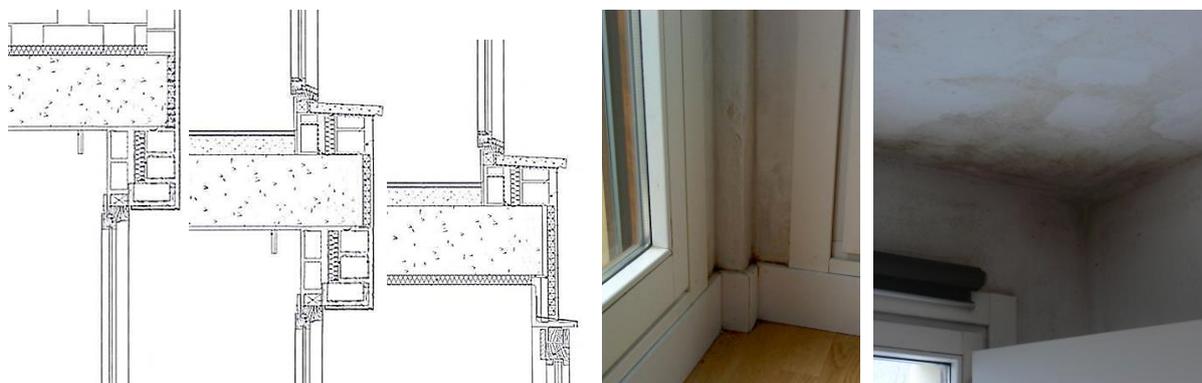


Figura 2. Detalles constructivos de fachada y forjados (izq.) y patologías visibles en viviendas 1A y 1E (dcha.)

### 3.3 Descripción de la instrumentación empleada

Para monitorizar las temperaturas y HR del aire interior se instalaron termohigrómetros en cada una de las viviendas con orientación norte (6 en total). Se seleccionaron las estancias en las que se identificaron mayor incidencia de problemas de humedad, 5 en salones y 1 en dormitorio. La instrumentación se colocó entre 1,80 y 1,90 metros de altura, dentro del volumen de confort de los ocupantes. En la parte exterior se instaló otro termohigrómetro para registrar las condiciones ambientales. Las características de la instrumentación de medida están recogidas en la Tabla 1.

Para medir la evolución de las temperaturas interiores de los cerramientos en su parte homogénea y en las zonas de puente térmico, se instalaron sensores de temperatura superficial a modo de perfiles de temperatura superficial, como se indica en la Figura 3. Los sensores se colocaron en el punto más crítico de cada puente térmico y en posiciones progresivamente más alejadas del mismo hasta alcanzar la zona de comportamiento térmico unidireccional. La adquisición de datos se realizó mediante 2 adquisidores modelo ALMEMO.

Tabla 1. Descripción de los sensores empleados.

Cantidad	Variable	Equipo / Sensor	Unidad	Precisión
14	T. superficial	Pt100, 4 hilos, clase 1/3 DIN	°C	± 0.2 °C
2	T. aire	Pt100, 4 hilos, clase 1/3 DIN	°C	± 0.2 °C
7	T. aire, HR	Termohigrómetro 175-H2	°C, %	± 0.5°C, ± 3.0 % HR

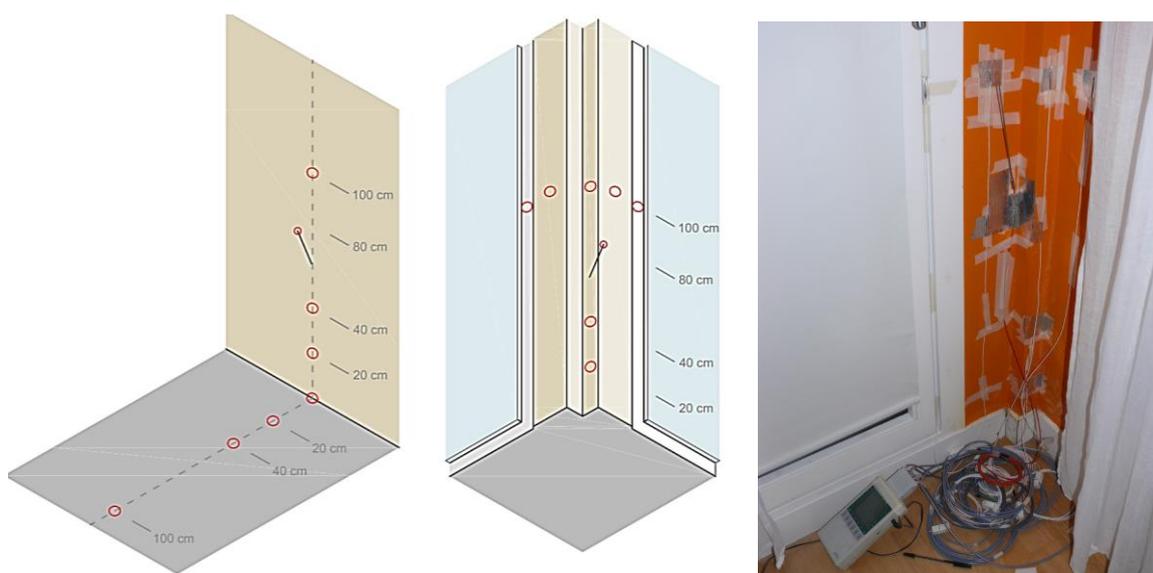


Figura 3. Esquemas de los sensores en PT de forjado-fachada (izq.) y pilar de esquina (centro y dcha.)

Para la inspección mediante termografía infrarroja, se utilizó una cámara termográfica FLIR T640, con una resolución de 640x640 píxeles. De forma complementaria se emplearon un termohigrómetro de mano para verificar las condiciones exteriores, cintas de emisividad conocida 0,93 y una placa de baja emisividad. Las termografías se ajustaron en emisividad y en temperatura reflejada por orientaciones.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Monitorización de las condiciones interiores de las viviendas

Las mediciones del aire de las seis viviendas durante 40 días mostraron condiciones de uso diferentes, como se observa en la Figura 4. Destacan dos viviendas con temperaturas frías (1A y 2A) con poco uso de la calefacción y otra vivienda (1E) con niveles de humedad elevada, que evidencia una única apertura de ventanas al día.

En general, las temperaturas de aire en las viviendas son bajas, en torno a 16-17 °C. Los picos de temperatura de calefacción son en torno a 19-20 °C. En conjunto, parece que no es suficiente para alcanzar las condiciones interiores recomendadas por el RITE para alcanzar el confort térmico (>21 °C).

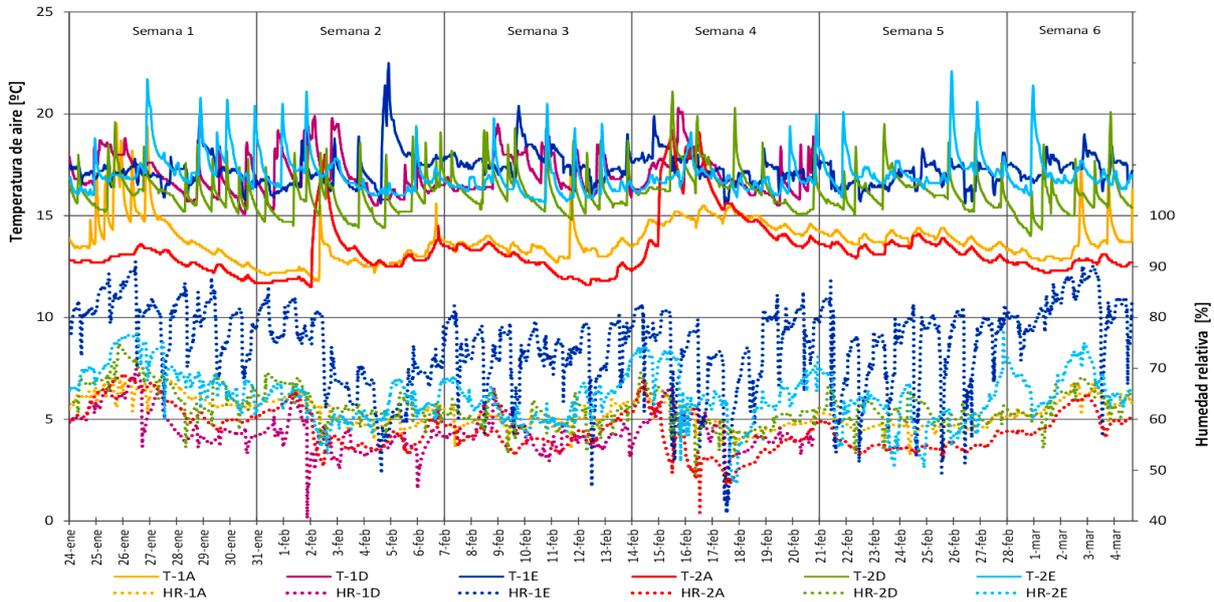


Figura 4. Lecturas de condiciones interiores de T y HR de las viviendas monitorizadas

#### 4.2 Medición de temperaturas superficiales interiores y efectos de puente térmico

La medición continua de las temperaturas superficiales en los puentes térmicos permitió verificar a lo largo de 40 días si existe riesgo de condensación superficial interior. La Figura 5 muestra una comparación entre la temperatura de rocío del aire interior (calculada según la temperatura y la HR instantánea) y las temperaturas superficiales en el perfil de encuentro fachada-forjado. Se observa que hay una diferencia de 3-4 °C entre la temperatura de rocío interior y los puntos más fríos. Según las mediciones no existe un riesgo de condensación superficial durante todo el tiempo analizado.

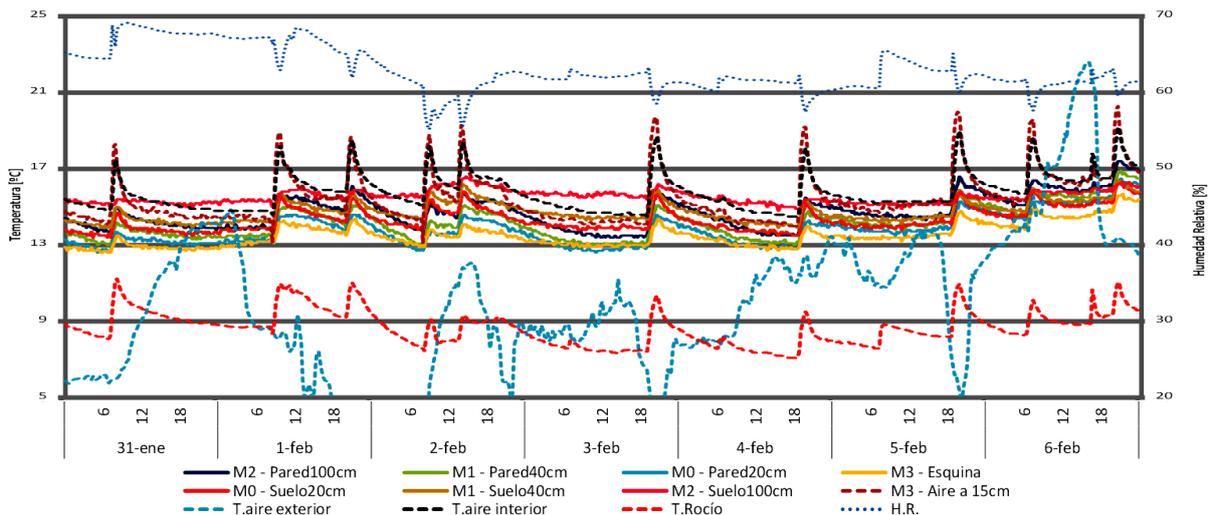


Figura 5: Semana de T y HR en puente térmico de fachada y forjado (31ene-6feb, viv. 2ºD)

La Figura 6 muestra una comparación similar del puente térmico de pilar de esquina. En este caso las diferencias son más reducidas, con una diferencia mínima de 1 °C y un periodo frío de tres días consecutivos con valores entre 1-2 °C. Por lo que sí existe un riesgo de condensación superficial, que podrá ocurrir especialmente cuando las condiciones interiores y/o exteriores sean más desfavorables.

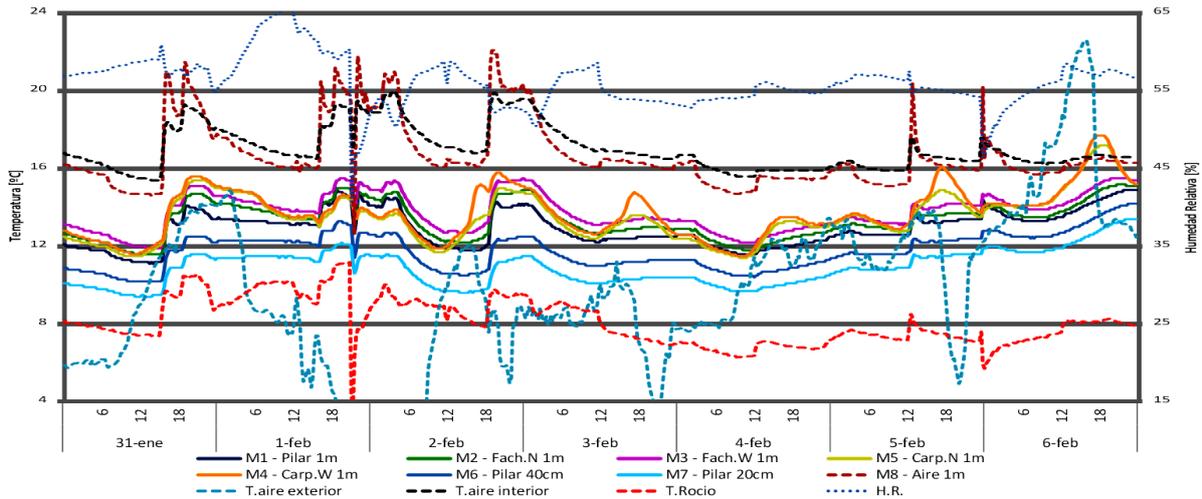


Figura 6. Semana de T y HR en puente térmico de pilar de esquina (31 ene-6 feb, viv. 1ºD)

### 4.3 Inspección con termografía infrarroja

El estudio con termografía infrarroja realizado por el exterior confirmó que las temperaturas exteriores de las fachadas eran similares en todas las orientaciones. Se detectaron algunas diferencias debidas a las condiciones interiores de uso. Los puentes térmicos eran leves con incrementos de temperatura de entre 1-2 °C respecto a los tramos de fachada adyacentes. Se observaron manchas de humedad en el frente del forjado de planta primera, pero no se detectaron otras manchas de humedad que pudieran corresponderse con los lugares con patologías interiores. Ver ejemplos en Figura 7 y Figura 8.



Figura 7: Fachada Oeste, termografía general de viviendas 1ºD y 2ºD.

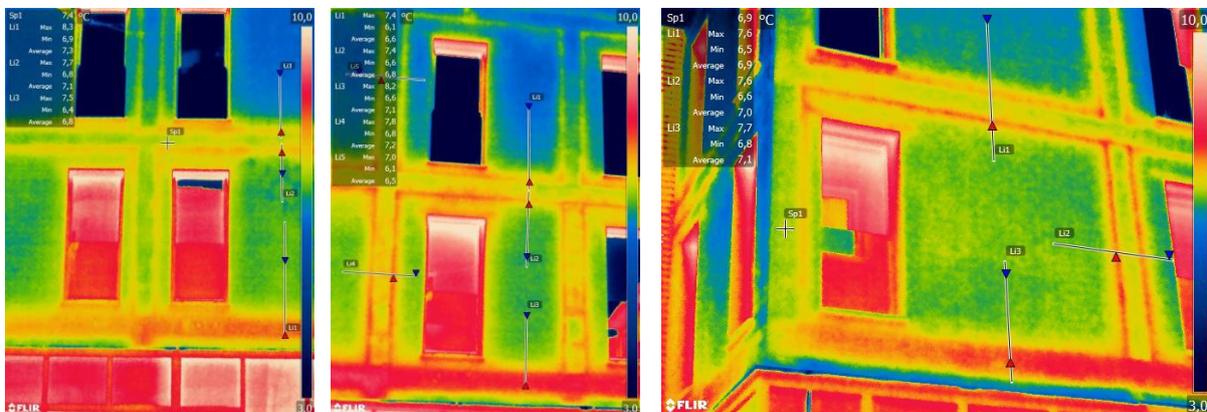


Figura 8: Fachada Norte, 1º y 2º A (izq.), 1º y 2º E (centro) y fachada Este 1º y 2º B (dcha.)

Se detectaron algunas irregularidades en el aislamiento de vidrio celular de la estructura. La Figura 9 muestra como hay piezas separadas entre sí, e incluso una parte sin aislar en la esquina noreste del 1C. Parece que en algunos puntos del edificio no se instaló todo el aislamiento térmico previsto en proyecto.

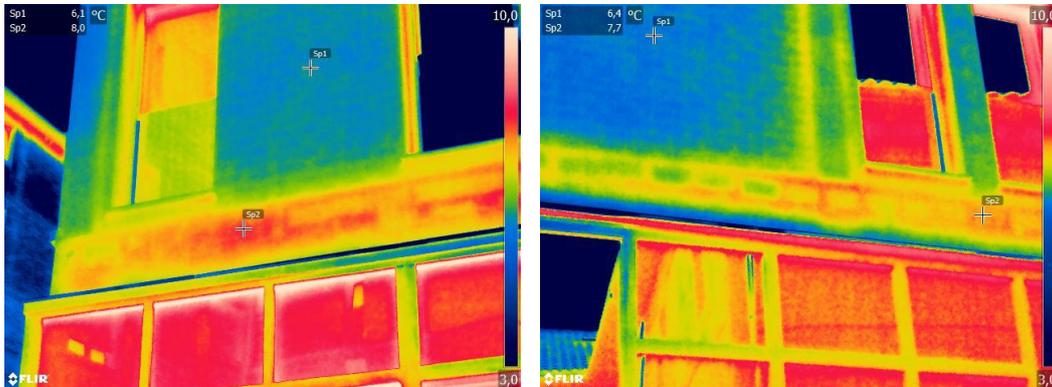


Figura 9: Fachada Sur, detalles de forjado inferior de las viviendas 1 °C (izqda) y 1°B (dcha).

Desde el interior, el efecto de la estructura se apreció en dos formas. Había zonas frías sin efectos o patologías asociadas y también se detectaron áreas con humedad visible debido al contorno frío del efecto evaporativo. Como se aprecia en la Figura 10, esto se extiende al rodapié de madera y las carpinterías cercanas, pudiendo ocasionar otros efectos a largo plazo.

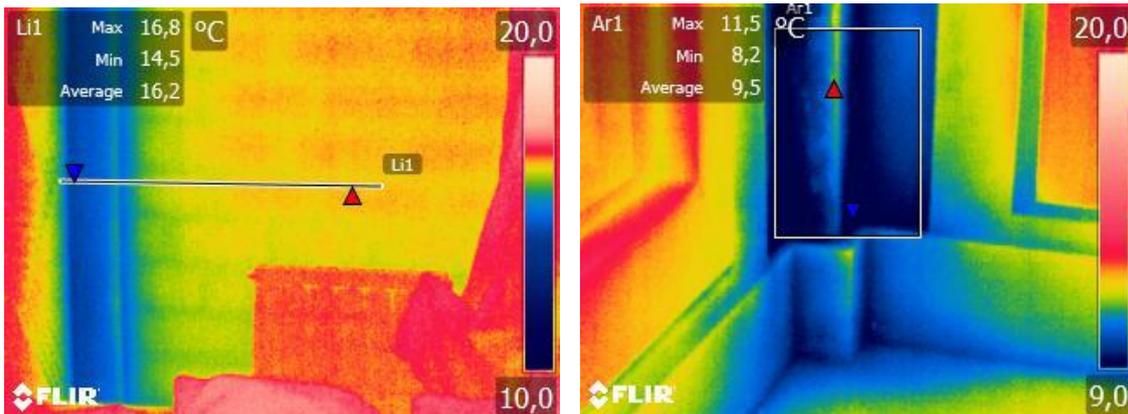


Figura 10: Temperaturas interiores en pilares, en fachada (izquierda) y en esquina (dcha) de la viv. 1°A

También se detectaron otros puntos con condensaciones, la Figura 11 muestra dos encuentros de ventana-forjado-fachada, una con un área fría por evaporación de humedad interna y otra seca con un gradiente menor. La Figura 12 muestra zonas húmedas en torno a otro hueco y a un pilar de fachada.

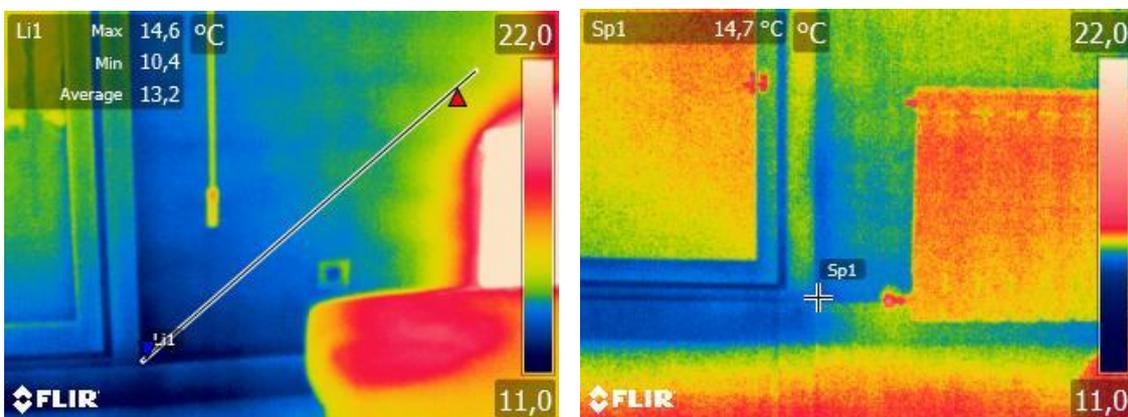


Figura 11: Comparación entre huecos en fachada norte del 1°A (izquierda) y fachada oeste del 1°D (dcha)

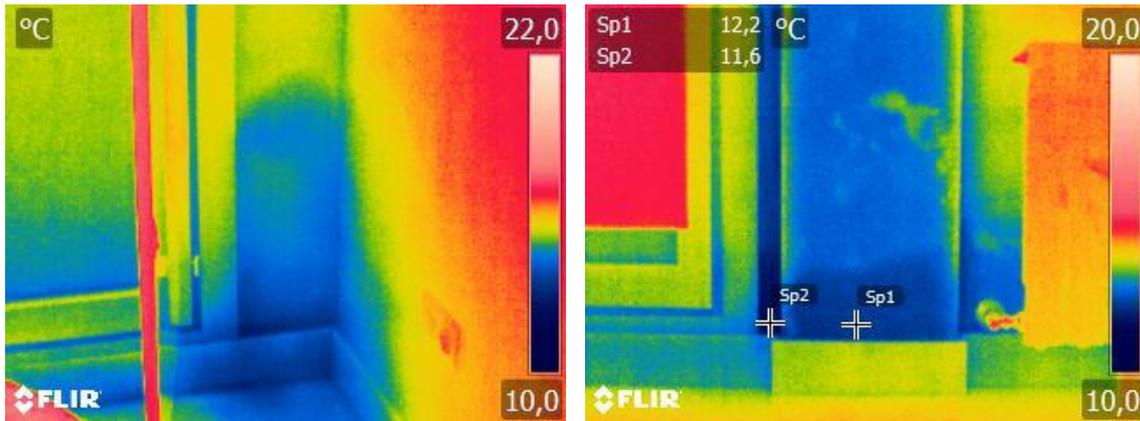


Figura 12. Humedades en torno a punto frío en 1ºE (izq.) y en pilar norte de 1ºD (dcha.)

### 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, el análisis del riesgo de condensaciones basado en las condiciones de uso de cada vivienda indicó un riesgo generalizado de condensaciones superficiales en las temperaturas habituales de las viviendas monitorizadas cuando la HR superase el 70%, mediante el procedimiento anual de la norma UNE EN ISO 13788:2002. La Figura 13 resume las condiciones interiores más frecuentes de cada vivienda. La gráfica evidencia que tres viviendas presentaban periodos frecuentes de HR por encima del 70%, relacionado con un uso puntual de la calefacción y pocos periodos de ventilación natural. La Figura 14 muestra en detalle dos ejemplos de condiciones interiores y en la Tabla 2 se ha resumido la situación de cada vivienda incluyendo el riesgo de condensaciones. En resumen, sólo una vivienda tenía riesgo de condensaciones intersticiales acumulables mensuales, el resto sólo tenía riesgo de condensaciones superficiales. Por ello, no se pudo justificar el origen o causa probable de las humedades presentes en las viviendas de manera generalizada y fue necesario ampliar el análisis.

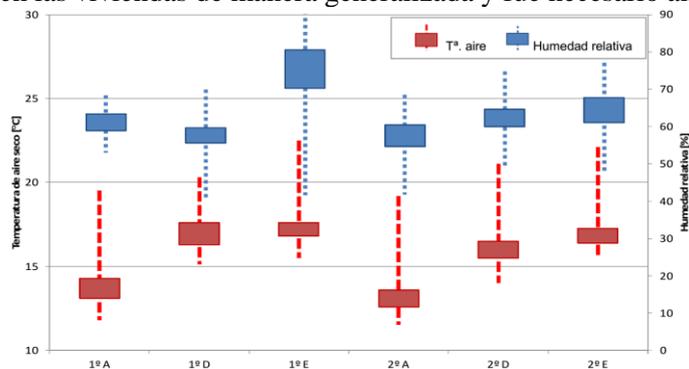


Figura 13. Condiciones de uso interior de las viviendas monitorizadas, gráfica de cuartiles o box and whisker

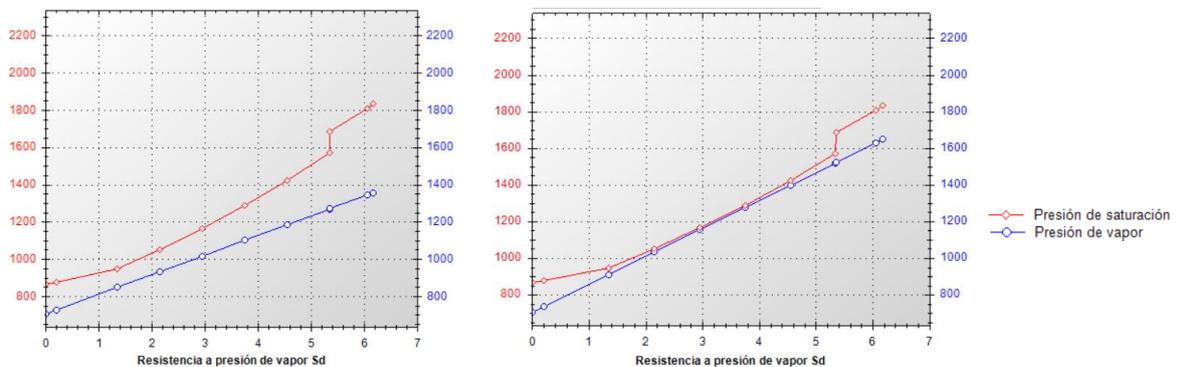


Figura 14: Presión de vapor frente a presión de saturación, interiores a 17 °C y 65% (izq.), 17 °C y 80% (dcha.).

Tabla 2. Resumen de condiciones interiores, patologías observadas y riesgo de condensaciones calculado

Vivienda	1º D	1º E	1º A	2º D	2º E	2º A
T media	17,2	17,5	13,8	16,2	17,0	13,2
HR media	61,0	75,0	63,0	62,0	65,0	58,0
Patologías	Pilar esquina, fachadas N y W	Fachada N, techos	Pilar esquina, fachada N	Pilar esquina, fachadas N y W, pilar W	Rodapié N	Pilar esquina, fachada N rodapié N
Calefacción (T > 17 °C)	Si	Si	No, muy poca	No	Si	No, muy poca
Ventilación (HR < 60 %)	No	No, muy poca	No	No	No	Si
Condensación puntual	No	Si	Si	Si	No	Si
Condensación anual (UNE EN ISO13788:2002)	No	Si	No	No	No	No

En segundo lugar, el estudio de los perfiles de temperatura superficial en dos puentes térmicos mostró que existen momentos cercanos a la condensación en el pilar de esquina, pero no en el encuentro de forjado-fachada. La Figura 14 muestra los puntos más fríos de cada puente térmico. Esto puede explicar el origen de las condensaciones e hinchamiento de carpinterías en torno a los pilares de esquina; pero no explica las patologías detectadas en rodapiés y frentes de forjado norte generalizados.

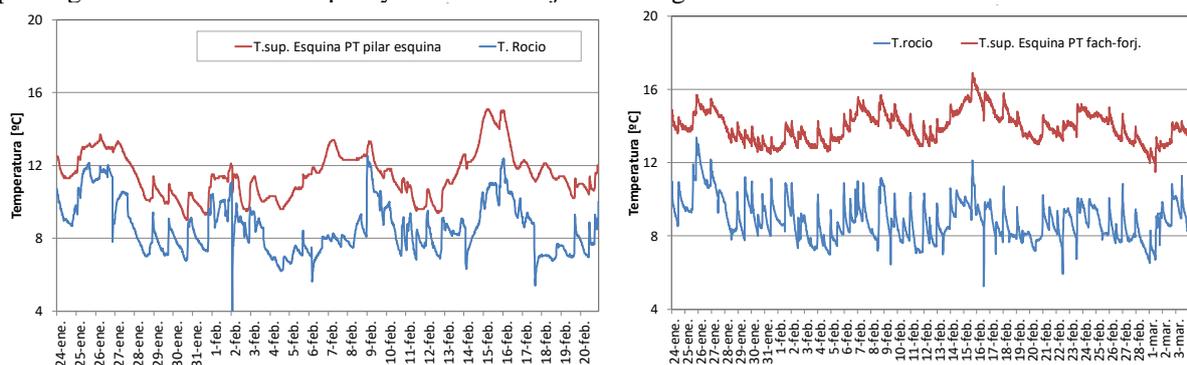


Figura 15: Análisis de temperatura de rocío y puntos fríos del frente de forjado (izq.) y pilar de esquina (dcha.).

En tercer lugar, las termografías confirmaron que la estructura estaba aislada por el exterior, aunque en algunos puntos el vidrio celular no era continuo y había juntas sin aislamiento. No se detectaron humedades en los cerramientos, a excepción del frente de forjado inferior, posiblemente provocado por la pieza metálica de remate de las carpinterías de los locales comerciales. Las termografías interiores mostraron unas manchas frías por evaporación que fueron decisivas para el estudio. Estas imágenes mostraron evidencias de acumulación de agua en la unión entre fachada, ventana y forjado, así como en los tramos de pequeñas dimensiones, entre dos ventanas o entre ventana y pilar. Esto evidenció que en la cámara de aire se producían condensaciones intersticiales en las partes de fachada donde la cámara de aire está en contacto con puntos más fríos, como los puentes térmicos o los machones sin aislar.

El análisis combinado de las tres herramientas de diagnóstico concluyó que existe una combinación de varios factores que, si bien no son suficientes por separado, en conjunto sí pueden provocar las patologías del caso. Primero, las condiciones de calefacción y ventilación no son las recomendadas por las normativas de diseño como el RITE, lo que favorece periodos de condensaciones intersticiales. Segundo, los puentes térmicos están poco aislados y en los pilares de esquina existe un riesgo de condensación superficial frecuente. Tercero, la cámara de aire no ventilada y la baja permeabilidad del aislamiento de PUR provocan que la humedad contenida en la cámara sea alta y que se produzcan condensaciones en los puntos fríos como perímetros de carpinterías, pilares, forjados y techos, etc. Esto explica la ausencia de humedades en otras orientaciones, debido al soleamiento directo en cerramientos. De forma complementaria, este estudio podría haberse ampliado con estudios de confort, puerta ventilador, mediciones de humedad de las capas intermedias, simulaciones 2D del comportamiento higroscópico en perímetros de hueco y estructura, etc.

## 6. PROPUESTAS DE MEJORA

Se propone la apertura de perforaciones en la fachada norte para la ventilación de las cámaras de aire. Esto evitaría en gran medida la condensación de las fachadas en puntos críticos más fríos. La aplicación de un aislamiento térmico exterior (SATE), pero cubriendo los machones de huecos para minimizar los puentes térmicos detectados; en caso contrario las patologías podrían empeorar debido a mayores diferencias de temperatura en los huecos y las cámaras adyacentes. Es prioritario aumentar los niveles de calefacción y de ventilación en las viviendas ya que favorecería el secado de los cerramientos. Sin embargo, sin la actuación anterior probablemente no solucionaría todos los problemas en la envolvente.

## 7. CONCLUSIONES

Se ha demostrado la utilidad y la necesidad de combinar diferentes herramientas de diagnóstico para identificar correctamente las posibles causas de cada problema. La monitorización del aire interior, la medición de temperaturas superficiales en puentes térmicos y las termografías fueron imprescindibles para orientar el análisis, definir los límites de los cálculos y verificaciones de condensaciones en viviendas actuales.

Las condiciones de uso de las viviendas son determinantes para las condensaciones y su duración en el tiempo afecta a los cerramientos. En general, las viviendas no mantuvieron unas condiciones de uso adecuadas, tanto en calefacción como en ventilación. El riesgo de condensaciones superficiales estaba presente en todas las condiciones de uso monitorizadas de las viviendas y en una vivienda se producía riesgo de condensación intersticial. Sin embargo, las condiciones de uso no eran la principal causa.

El comportamiento de los tramos opacos de fachada ha sido homogéneo y no se han detectado defectos constructivos generales en su composición. La estructura estaba revestida con aislamiento en su cara exterior y los potenciales puentes térmicos presentaron diferencias de 1-2 °C respecto a los tramos homogéneos adyacentes. Sin embargo, se detectaron notables caídas de temperatura superficial interior en el pilar de esquina y en menor medida en el encuentro de forjado-fachada. Lo que denota que los posibles puentes térmicos han tenido efecto no sólo en el consumo energético o el confort térmico; si no que también han favorecido la aparición de humedades, microorganismos y mohos en los cerramientos. La sección constructiva de fachada agravó el problema, por su baja permeabilidad al vapor y una cámara de aire no ventilada que favorece las condensaciones intersticiales.

Se proponen tres mejoras, la ventilación de la cámara de aire de fachada con pequeñas perforaciones, un revestimiento con aislamiento térmico exterior que revista los huecos completamente y un mejor uso de las viviendas; ya que los resultados del estudio subrayan la importancia de alcanzar temperaturas de calefacción y una ventilación adecuadas para reducir los riesgos de condensaciones intersticiales.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco por su soporte e instrumentación.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

[1] Norma Básica de la Edificación de Condiciones Térmicas en los Edificios NBE-CT 79, RD 2429/79.

[2] Instituto Nacional de Estadística INE, <http://www.ine.es>

[3] Programa de ayudas para la rehabilitación energética de edificios existentes del sector residencial (PAREER+CRECE), IDAE, Resolución de 28 de abril de 2015/20/16, BOE nº107 de 05/05/2015.

[4] Medidas financieras para rehabilitación de vivienda RENOVE, BOPV ORDEN de 26/11/2014.