

CODE 224

MONITORIZACIÓN, ANÁLISIS Y PROPUESTA DE SOLUCIONES PARA PATOLOGÍAS DE HUMEDADES / CONDENSACIONES EN VIVIENDAS TRADICIONALES

**Ruiz de Vergara, Imanol¹; García-Gáfaró, Carlos²; Sellens, Isabel³; Iribar, Eider⁴;
Sala Jose María⁵.**

1: Grupo ENEDI: Energética en la Edificación, Departamento de Máquinas y Motores Térmicos

Universidad del País Vasco UPV/EHU

e-mail: imanol.ruizdevergara@ehu.eus

2: Grupo ENEDI

Universidad del País Vasco UPV/EHU

carlos.garciaga@ehu.eus

3: Grupo ENEDI

Universidad del País Vasco UPV/EHU

isabel.sellens@ehu.eus

4: Grupo ENEDI

Universidad del País Vasco UPV/EHU

eider.iribar@ehu.eus

5: Grupo ENEDI

Universidad del País Vasco UPV/EHU

josemariapedro.sala@ehu.eus

PALABRAS CLAVE: Gasto energético, Monitorización edificios, Mejoras asociadas a la rehabilitación, Salubridad, Condensaciones superficiales/intersticiales.

RESUMEN

Se expone un caso de estudio de un edificio de construcción tradicional del año 1970 en Vitoria-Gasteiz, que presenta como principal patología condensaciones en todas las viviendas del mismo. La consecuencia derivada de dichas condensaciones es un incremento en el gasto energético del edificio, además de empeorar considerablemente la salubridad en el interior de las viviendas.

Como primer paso se monitorizan las condiciones interiores de las viviendas (Temperatura ambiente, temperaturas superficiales en diferentes puntos y humedad relativa) y se realiza un ensayo no destructivo para determinar la transmitancia térmica de la envolvente del edificio. Se analizan la diferencia de temperaturas en cada punto de medida registrado y se determina la posibilidad de que existan condensaciones en cada una de las viviendas.

Para completar el estudio, se utilizara el software de simulación WUFI® donde se analizarán 2 casos distintos de solución de rehabilitación (SATE y fachada ventilada), comprobando si las patologías se corrigen en cada caso y exponiendo posibles problemáticas de las mismas (aparición de condensaciones intersticiales y/o mohos).

Con los resultados se demostrará que la rehabilitación no solo supone ventajas energéticas de sobra conocidas, sino que mejora sustancialmente la salubridad de las viviendas, actuando en parámetros higrotérmicos.

1. INTRODUCCIÓN

En las capitales de la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) al igual que en las grandes ciudades españolas, al finalizar la Guerra Civil (1939) y durante más de 4 décadas, se construyeron una gran cantidad de viviendas de tipo social. Este parque edificado supone en España un 45% del total construido, y un 68% en el caso de la Comunidad Autónoma del País Vasco [1]. Estas viviendas

fueron realizadas antes de la aparición de las primeras normas que incluyen medidas de acondicionamiento térmico (NBE CT 79). Muchas de ellas no cumplen con los requerimientos actuales en cuanto al confort y tienen grandes deficiencias respecto a los estándares energéticos actuales, con las consecuencias que esto implica en cuanto a pérdidas energéticas, falta de confort ambiental y costes innecesarios.

En el presente estudio se han analizado las condiciones ambientales interiores de 3 viviendas pertenecientes a un edificio tradicional ubicado en Vitoria-Gasteiz, construido según características indicadas en el párrafo anterior, con el fin de dimensionar la severidad de patologías denunciadas por sus ocupantes asociadas a la presencia continua de condensaciones interiores y la correspondiente formación de hongos, fundamentalmente en la orientación norte. De acuerdo a los objetivos globales marcados desde de la Unión Europea [2], los cuales abogan por la reducción de consumo de energía, reducción de emisiones y un mayor uso de las energías renovables, todo el parque inmobiliario antiguo es susceptible de ser rehabilitado.

2. CASO DE ESTUDIO

2.1 Descripción del edificio

El edificio estudiado se ubica en Vitoria-Gasteiz siendo de uso residencial colectivo y fue terminado de construirse en el año 1972, previo a la normativa NBE-CTE-79. El edificio está compuesto por 12 viviendas distribuidas en 4 plantas con 3 manos de viviendas cada planta. Las viviendas tienen una o dos orientaciones exteriores, dando al Norte a la calle exterior y la Sur a un patio interior formado por los edificios colindantes. En la Figura 1 se muestra el aspecto exterior del edificio.

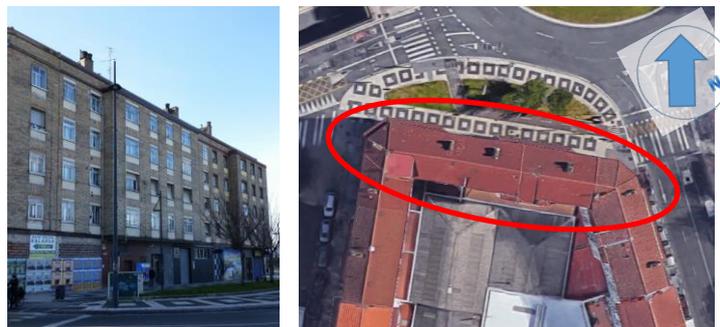


Figura 1: Aspecto exterior del edificio.

El cerramiento vertical se compone de exterior a interior de: ladrillo macizo perforado con enfoscado de mortero, cámara de aire, ladrillo hueco sencillo con un guarnecido de yeso. El edificio carece de aislamiento térmico y de soluciones específicas en los encuentros con pilares y forjados. Las ventanas de las viviendas se mantienen como en su estado original, teniendo marco metálico y vidrio simple en todos los casos. En la Figura 2 se aprecia la distribución en planta de las viviendas y la solución constructiva de fachada. Actualmente, las 3 viviendas que han sido muestra de estudio y análisis (1ºG, 3ºG y 4ªH) presentan manchas derivadas de las comentadas patologías.

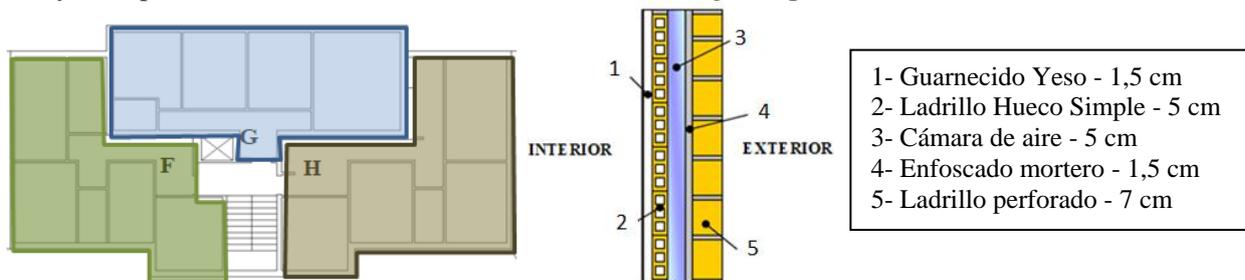


Figura 2: Distribución en planta viviendas (izq.) y solución constructiva de fachada (dcha).

2.2 Descripción de la monitorización

Para conocer con exactitud las condiciones ambientales interiores de temperatura (T^a) y humedad relativa (HR) de las diferentes viviendas se instalaron termohigrómetros en cada una de las mismas (3 en total). Se seleccionaron para ello las estancias en las que se identificaron mayor incidencia de problemas de humedad. La instrumentación se colocó en las viviendas a alturas similares, entre 1,80 y 1,90 metros de altura, dentro de la altura del área de confort.

Por otra parte, para medir la evolución de las temperaturas superficiales en los cerramientos, se instalaron sensores de temperatura superficial en torno a los puntos críticos de la envolvente y puentes térmicos. De esta manera se pueden conocer las temperaturas más frías de la envolvente y valorar el riesgo de condensaciones según las temperaturas superficiales más frías y las temperaturas de rocío interiores.

Adicionalmente, un medidor de flujo de calor (fluxímetro) en la pared de una de las viviendas, junto con otra sonda de temperatura superficial en el exterior de la misma pared, ha permitido determinar in-situ la resistencia térmica del cerramiento tipo de fachada. En la Tabla 1 se muestra la instrumentación utilizada, y en la Figura 3 la ubicación de dicha instrumentación en las 3 viviendas diferentes.

Tabla 1: Instrumentación utilizada.

Instrumentación				
Cantidad	Variable medida	Equipo / Sensor	Unidad	Precisión
11	T^a superficial	Pt100, 4 hilos, clase 1/3 DIN, Marca: TC	[°C]	$\pm 0,2$ °C
3	T^a aire, H ^a relativa	Termohigrómetro 175-H1, Marca: TESTO	[°C], [%]	$\pm 0,5$ °C, ± 3 % HR
1	Medidor de flujo de calor	Fluxímetro flexible de 180x100x0,6 mm en sustrato de Teflón PTFE. Marca: Ahlborn Referencia: 150-1	[W/m ²]	± 5 %
Equipo de adquisición y control				
Cantidad	Equipo		Función	
1	Almemo 2890-9, Marca ALHBORN		Medición y adquisición datos cada 10 min.	
2	Almemo 2450-1, Marca ALHBORN		Medición y adquisición datos cada 10 min.	

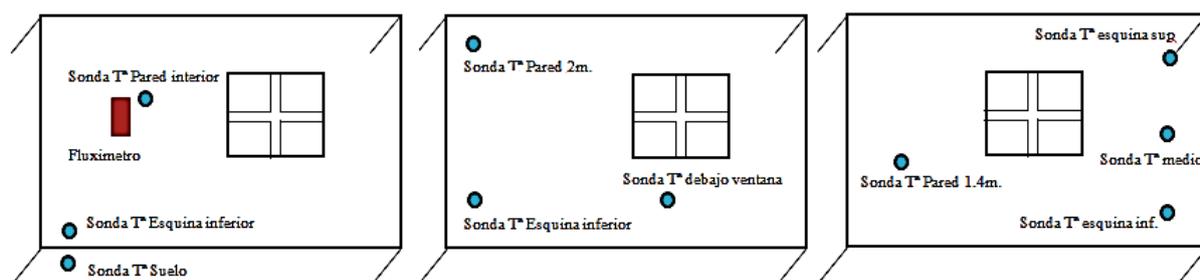


Figura 3: Ubicación de la instrumentación en las 3 viviendas, 1er piso (izq.), 3º piso (medio) y 4º piso (dcha.).

2.3 Metodología

Para la realización del estudio se ha utilizado la norma 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)”, y la norma ISO 9869-1:2014 “Thermal insulation – Building elements -- In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance -- Part 1: Heat flow meter method”.

Las mediciones se han desarrollado en invierno durante 21 días completos, empezando la misma el 11 de Enero y acabando el 1 de Febrero del año 2017. La consigna de medición y adquisición de datos se ha establecido cada 10 minutos. Los datos registrados se han descargado a través de programas específicos y se ha unificado su tratamiento en hojas de cálculo.

Para el cálculo de la temperatura de Rocío se han utilizado las lecturas instantáneas de temperatura y humedad relativa del aire interior, de acuerdo con las siguientes fórmulas [3]:

$$P_{ws} = A * 10^{\left(\frac{m*T}{T+T_n}\right)} \quad (1)$$

$$P_w = P_{ws} * RH/100 \quad (2)$$

$$T_d = \frac{T_n}{\frac{m}{10 \log\left(\frac{P_w}{A}\right)} - 1} \quad (3)$$

Siendo P_{ws} [hPa]: Presión de saturación del vapor de agua; P_w [hPa]: Presión de vapor de agua; RH [%]: Humedad Relativa; T_d [°C]: Temperatura de Rocío (Punto de Rocío); T_n, A, m : constantes.

Para el cálculo de la resistencia térmica de la envolvente del edificio se aplica el cálculo dinámico, basado en la identificación de parámetros a través de la aproximación de los componentes de ensayo empleando un modelo de parámetros concentrados RC de segundo orden, ver Figura 4.

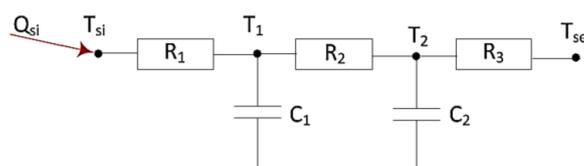


Figura 4: Modelo RC de segundo orden para el ajuste dinámico de los componentes.

La identificación se lleva a cabo mediante la herramienta LORD (Logical R-Determination) para el modelamiento y cálculo de sistemas térmicos a partir de modelos RC [4]. En el estudio de identificación se emplea el flujo de calor medido en la superficie interior y la temperatura superficial exterior como funciones de entrada mientras que la temperatura superficial interior se ha empleado como función objetivo de ajuste. La validez del modelo se evalúa a través del ajuste entre los valores medidos y los calculados para la función objetivo, en este caso T_i .

3. RESULTADOS

El valor corregido por comportamiento dinámico de la resistencia térmica obtenida del ensayo in-situ para la fachada del edificio es: $R_{IN-SITU} = 0,77 \pm 0,01 \frac{m^2K}{W} \rightarrow U = 1,22 \pm 0,05 \frac{W}{m^2K}$

3.1 Vivienda 1er piso

Esta vivienda tiene parte de su forjado en voladizo, por lo que se acrecienta el efecto de puente térmico. Se ha monitorizado una estancia que se utiliza como habitación dormitorio. Las temperaturas superficiales del pilar en esquina son bajas durante el periodo monitorizado, produciéndose las temperaturas superficiales más frías en el suelo. En la Figura 5 superior se muestran todas las variables monitorizadas (temperaturas superficiales, de aire interior y exterior, humedad de aire y punto de rocío) durante el periodo de estudio, mientras que la Figura 5 inferior muestra la evolución de la temperatura superficial del punto más frío de la monitorización (suelo) y la temperatura de rocío del aire interior a lo largo de la monitorización.

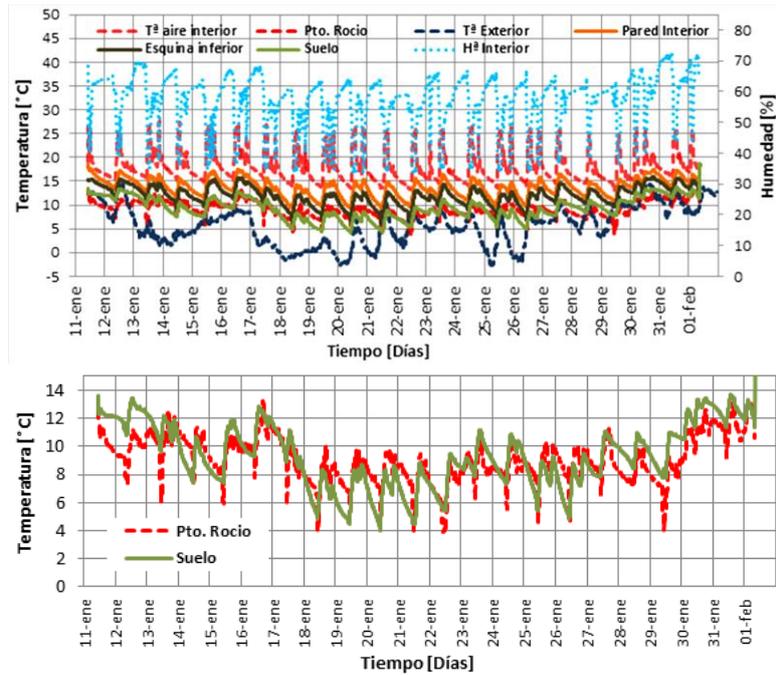


Figura 5: Punto frío del pilar en esquina en suelo y T^a. rocío (superior) y evolución de T^a y H^a (inferior) en la vivienda 1ºG durante la monitorización.

3.2 Vivienda 3er piso

Esta vivienda tiene igual distribución que la vivienda 1ºG, y se ha monitorizado la misma estancia que en el caso anterior. El espacio se usa por los inquilinos como salón-cuarto de estar. Las temperaturas superficiales del pilar en esquina son bajas durante el periodo monitorizado, produciéndose las temperaturas superficiales más frías cerca de la esquina de pilar. La Figura 6 superior muestra todas las temperaturas monitorizadas y humedad relativa interior durante el periodo de estudio, mientras que la Figura 6 inferior indica la evolución de la temperatura superficial del punto más frío de la monitorización (esquina) y la temperatura de rocío del aire interior en el mismo periodo.

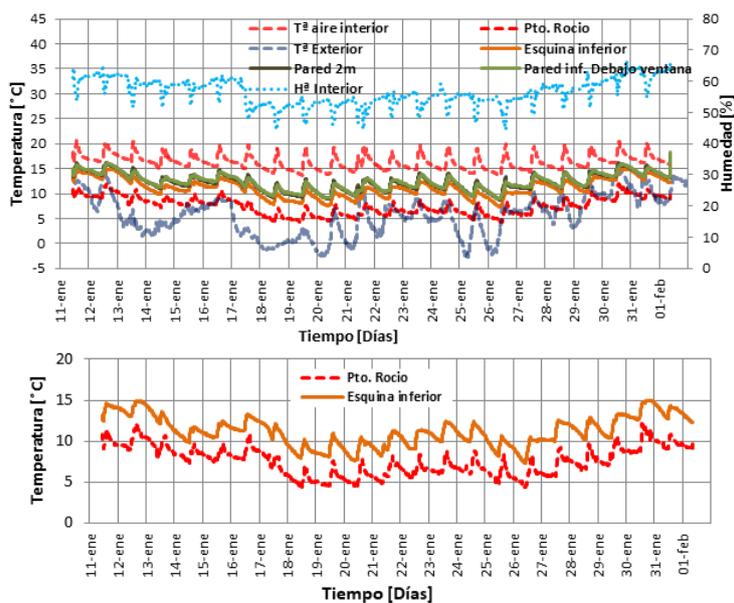


Figura 6: Evolución de T^a y H^a (superior), y punto frío del pilar en esquina en suelo vs T^a rocío (inferior) en la vivienda 3ºG durante la monitorización.

3.3 Vivienda 4º piso

La distribución de esta vivienda es diferente a los dos casos expuestos anteriormente (viviendas 1ºG y 3ºG). Se ha seleccionado una de las habitaciones con uso de dormitorio, que presenta patologías apreciables a simple vista. En la Figura 7 superior se aprecian todas las temperaturas monitorizadas y humedad relativa interior durante el periodo de estudio, mientras que la Figura 7 inferior muestra la evolución de la temperatura superficial de los puntos más fríos de la monitorización (pared medio y esquina inferior) y la temperatura de rocío del aire interior a lo largo de la monitorización.

Se aprecian periodos en los que hay condensación y otros en los que por la proximidad entre las temperaturas el riesgo de que suceda es muy elevado.

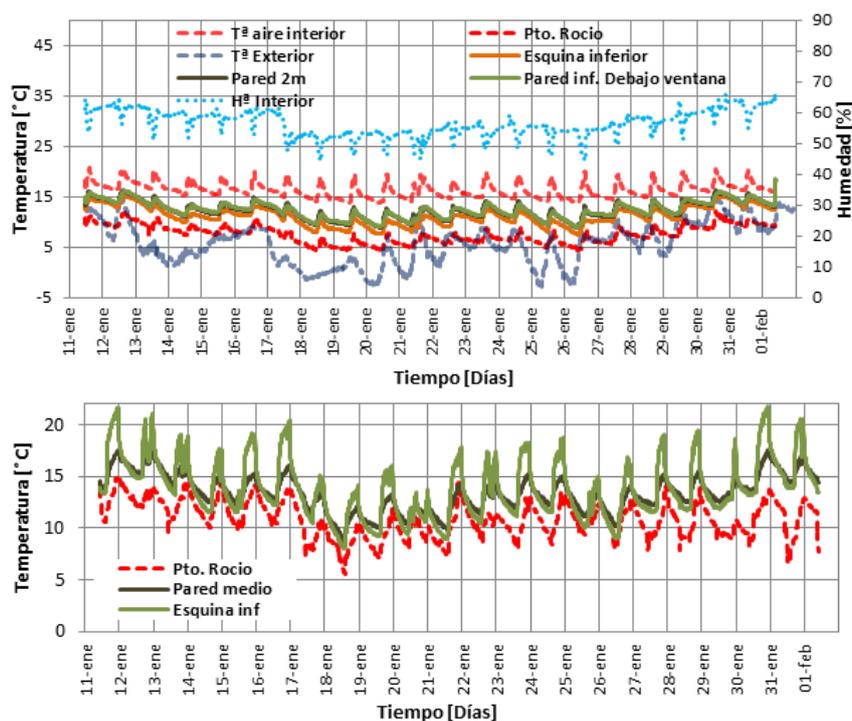


Figura 7: Evolución de Tª y Hª (superior) y punto frío de la pared vs Tª rocío (inferior) en vivienda 4ªH durante el periodo monitorizado.

4. DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

4.1 Vivienda 1er piso

La temperatura de rocío promedio durante la monitorización ha sido de 9,09 °C con una desviación estándar de $\pm 1,63$ °C, mientras que la temperatura promedio de la esquina del puente térmico entre forjado y pilar en suelo ha sido de 9,4 °C con una desviación estándar de $\pm 2,3$ °C y la temperatura promedio de la esquina inferior en pared ha sido de 12,1 °C con una desviación estándar de $\pm 2,0$ °C. Se observa como la vivienda 1ºG ha estado acondicionada con temperaturas de aire en torno a 18 °C y HR al 60%, y sin embargo el pilar presenta temperaturas superficiales bajas, tanto en suelo como en pared de 9-12 °C.

La evolución de la temperatura de rocío indica que existe riesgo de condensaciones superficiales por un periodo prolongado. Se aprecia un periodo de funcionamiento de la calefacción en dos periodos diferenciados del día durante el que las temperaturas superficiales interiores en torno al pilar suben progresivamente además de un descenso brusco de la humedad relativa de la estancia. La temperatura de aire interior alcanza valores máximos de 25 °C. En la Figura 8 se muestra la evolución a lo largo de un día representativo (20 de Enero) de las temperaturas superficiales de los distintos puntos monitorizados y las condiciones interiores de temperatura, humedad relativa y temperatura de rocío del aire interior de la vivienda monitorizada así como la temperatura exterior.

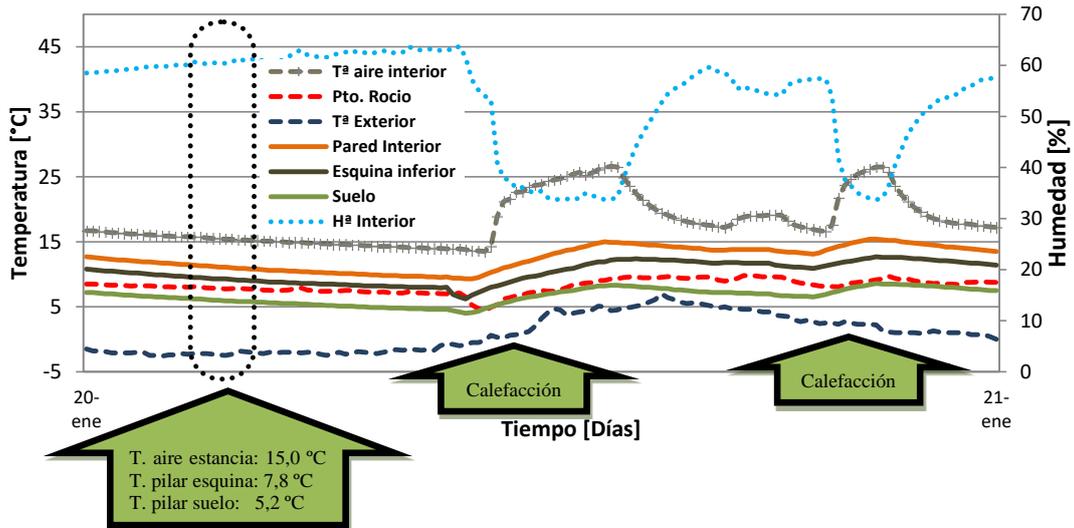


Figura 8: Detalle de Tª y HR en la vivienda 1ºG durante el día 20 de Enero de 2017.

4.2 Vivienda 3er piso

Se aprecia que durante todo el periodo no existen grandes diferencias entre la temperatura de esquina inferior y la de punto de rocío (menores a 2 °C), existiendo gran riesgo de aparición de condensaciones en todos los momentos en los que las temperaturas son similares. La temperatura de rocío promedio durante la monitorización ha sido de 7,56 °C con una desviación estándar de ±1,77 °C, mientras que la temperatura promedio de la esquina del puente térmico entre forjado y pilar en pared ha sido de 11,2 °C con una desviación estándar de ±1,8 °C y la temperatura promedio de la pared a 2 metros de altura ha sido de 12,3 °C con una desviación estándar de ±1,7 °C.

La vivienda 3ºG ha estado acondicionada con temperaturas de aire en torno a 16,5 °C y HR al 56% (Figura 9). Se observa que las temperaturas superficiales no alcanzan el límite del punto de rocío y no se detectan condensaciones superficiales por saturación del aire interior durante la monitorización, si bien es cierto, que en momentos puntuales y debido a la proximidad de dichos valores el riesgo de condensaciones existe. Se aprecia un periodo de funcionamiento de la calefacción de un periodo prolongado del día durante el que las temperaturas superficiales interiores en torno al pilar suben progresivamente además de un descenso brusco de la humedad relativa de la estancia. La temperatura de aire interior alcanza un valor de consigna de 20 °C y la calefacción se apaga, quedando el resto del día en proceso libre.

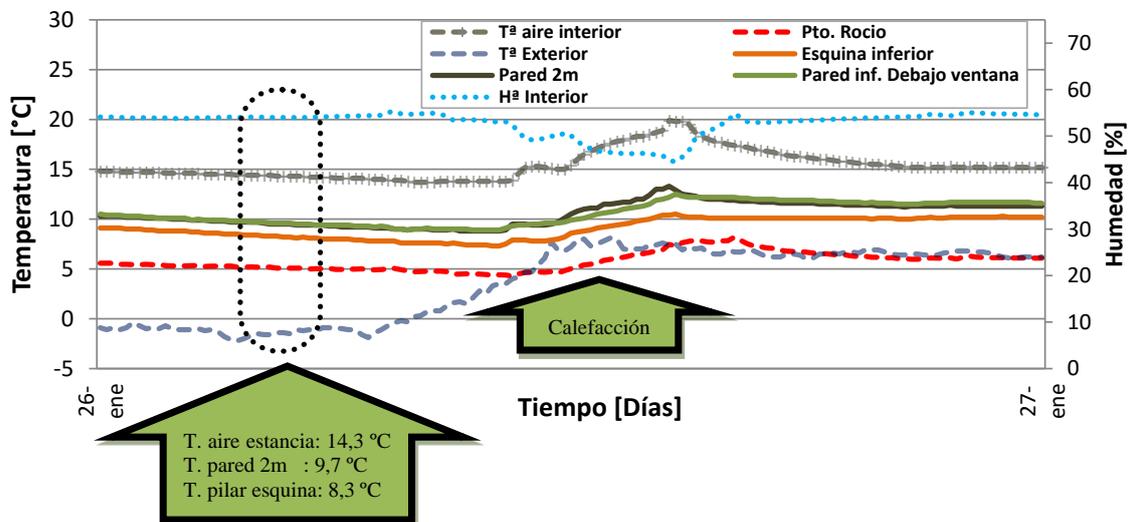


Figura 9: Detalle de T y HR en la vivienda 3ºG durante el día 26 de Enero de 2017

4.3 Vivienda 4º piso

Se aprecia que la diferencia de temperaturas entre la sonda colocada en el lado izquierdo de la pared y las otras 3 sondas colocadas cerca del pilar oscila entre los 3 °C. La temperatura de rocío promedio durante la monitorización ha sido de 10,87 °C con una desviación estándar de ±1,73 °C, mientras que la temperatura promedio de la esquina superior del pilar en pared ha sido de 14,8 °C con una desviación estándar de ±2,1 °C y la temperatura promedio de la pared a media altura ha sido de 13,4 °C con una desviación estándar de ±1,8 °C, siendo la temperatura promedio del punto inferior en la esquina del pilar de 13,9 °C con una desviación estándar de 2,8 °C.

La vivienda 4ºH ha estado acondicionada con temperaturas de aire en torno a 19 °C y HR al 60%. Como se aprecia en la Figura 10, La proximidad de la temperatura de rocío con las temperaturas más bajas obtenidas en el pilar, provocan alto riesgo de condensaciones, dándose este proceso en un momento del día (reflejado en el gráfico con un círculo rojo). Se aprecia un periodo de funcionamiento de la calefacción de un periodo prolongado del día durante el que las temperaturas superficiales interiores en torno al pilar suben progresivamente además de un ligero descenso de la humedad relativa de la estancia. La temperatura de aire interior alcanza un valor de consigna de 22 °C y la calefacción se apaga, quedando el resto del día en proceso libre.

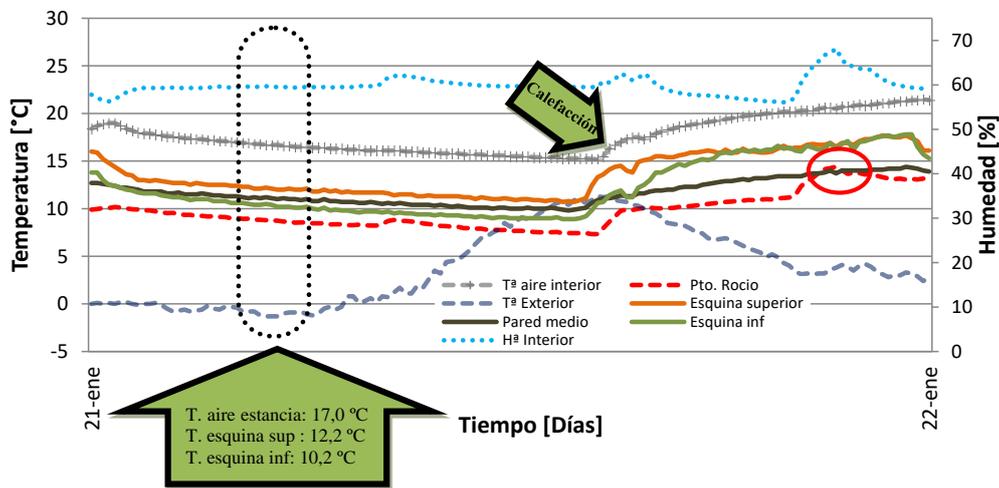


Figura 10: Detalle de T y HR en la vivienda 4ºH durante el día 21 de Enero de 2017

4.4 Riesgo de formación de hongos.

A partir de una simulación WUFI® en un periodo de 2 años para la fachada norte sin aislamiento, asumiendo una temperatura ambiente interior constante para el aire de 20 °C, se obtiene el comportamiento mostrado en la Figura 11.

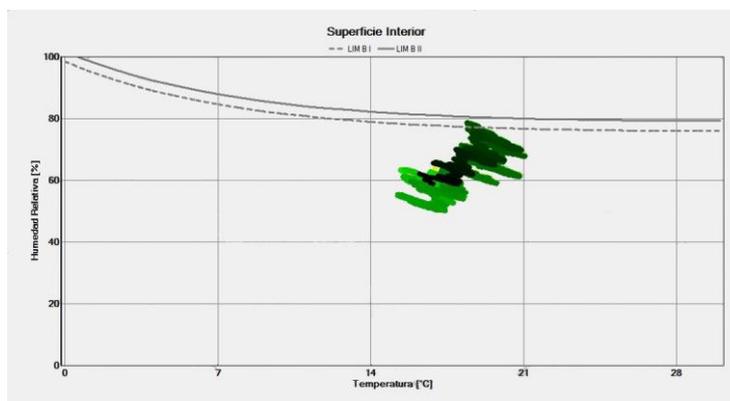


Figura 11: Riesgo de formación de moho en la fachada norte sin aislamiento

Se observa que las condiciones de temperatura y humedad relativa de la superficie interior presentan gran cantidad de periodos muy cercanos a las isopletas que delimitan el riesgo de presencia de moho en dicha superficie.

Por el contrario la simulación para las condiciones de fachada rehabilitada, tanto en una solución SATE como una solución de fachada ventilada (Figura 12), el riesgo de presencia de moho se reduce en un nivel similar, teniendo una leve mayor oscilación térmica en el caso de la fachada ventilada.

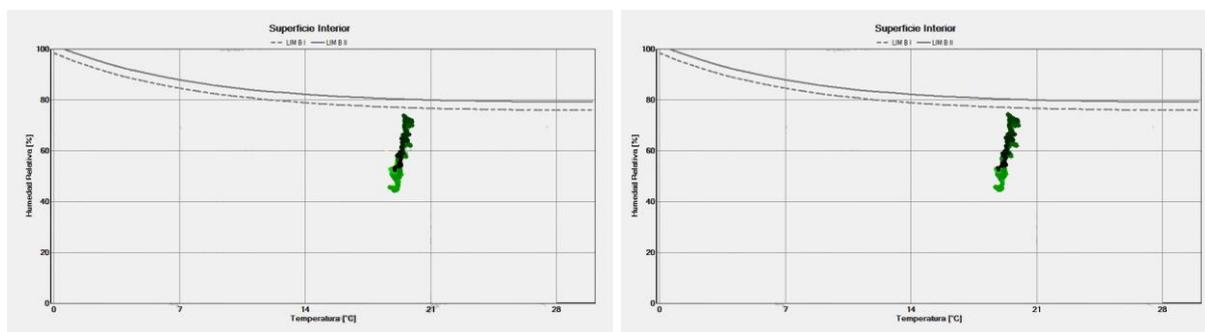


Figura 12: Riesgo de formación de moho en la fachada norte rehabilitada con solución SATE (izq.) y con solución de fachada ventilada (der.)

5. CONCLUSIONES

El presente trabajo revela la severidad de las condiciones desfavorables que pueden ocurrir en una vivienda real, construida en periodos anteriores a la creación de normativas energéticas, condicionando el consumo energético y las condiciones de salubridad de sus ocupantes.

En cuanto a los valores medidos, se aprecian notables reducciones de temperatura superficial en el encuentro de forjado y fachada así como en el pilar de esquina monitorizados, lo que denota que existe un efecto de puente térmico debido a la ausencia de aislamiento en los cerramientos de edificio. Esto tiene una influencia importante a efectos de consumo energético y confort térmico en las viviendas. Esta situación es especialmente relevante cuando como es el caso, afecta a la salubridad del ambiente interior por la aparición y desarrollo de microorganismos y mohos. Durante la monitorización se ha comprobado se han dado las condiciones necesarias para la generación de condensaciones superficiales. El efecto anteriormente citado se ve agravado por una orientación desfavorable, concentrándose la mayor parte de las patologías en la orientación norte.

Existen condensaciones superficiales a pesar de que los ocupantes mantienen sus viviendas climatizadas.

Se observa que las viviendas se encuentran calefactadas de manera diaria y que se ventila aunque con poca frecuencia. Los niveles de humedad son elevados para las 3 viviendas, destacando la vivienda 1°G que tiene picos máximos por encima de 70% aunque en el lado contrario, es la vivienda que más tiempo tiene activa la calefacción y más alta la temperatura de consigna (T^a aire interior ≈ 25 °C).

También se aprecia que existen diferencias de temperatura importantes entre la temperatura de aire de las estancias que se han monitorizado (T^a de consigna del termostato) y las temperaturas superficiales tanto de pared como de suelo. Este gradiente de temperatura tiene repercusiones económicas en cuanto a consumo de energía necesario para calefactar la vivienda además de salud, provocando sensación de disconfort a los inquilinos.

La rehabilitación triplica la resistencia térmica inicial de la solución, anulando la presencia de los puentes térmicos y minimizando el riesgo de formación de hongos, al tiempo que reduce los niveles de climatización exigidos a los ocupantes.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] Eustat. Instituto Vasco de Estadística. Censo de Edificios y Locales. Año 2011.

[2] DIRECTIVE 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast).

[3] W. Wagner y A. Pruß: "The IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use ", *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, Junio 2002, Volumen 31, Tema 2, pág. 387535.

[4] Gutschker O. (2004) LORD – Modelling and identification software for thermal systems, user manual. Germany: BTU Cottbus.

7. ANEXO – REPORTAJE FOTOGRAFICO

VIVIENDA 1ºG



Figura 7.1: Aspecto de la habitación de la vivienda 1ºG (izquierda), medidor de flujo de calor (centro-izquierda), adquisidor de datos con sondas de temperatura en pared y suelo (centro-derecha) y termohigrómetro (derecha)

VIVIENDA 3ºG



Figura 7.2: Aspecto del salón de la vivienda 3ºG (izquierda y centro) y Termohigrómetro (derecha)

VIVIENDA 4ºH



Figura 7.3.: Aspecto de la habitación de la vivienda 4ºH (izquierda), termohigrómetro (centro) y adquisidor de datos (derecha)