

DIAGNÓSTICO DE PATOLOGÍAS POR CONDENSACIÓN: IDENTIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE INFORME TÉCNICO

ANÁLISIS MEDIANTE REGISTRADOR
DE DATOS HIGROTÉRMICOS

FUNDACIÓN
musaat



DIAGNÓSTICO DE PATOLOGÍAS POR CONDENSACIÓN: IDENTIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DEL INFORME TÉCNICO



Análisis mediante
registrador de
datos higrotérmicos

José M. Grandío Rodríguez

1.^a edición: noviembre 2025.

© de textos y fotografías

El autor: José M. Grandío Rodríguez.

© de la edición, Fundación MUSAAT, todos los derechos reservados.

EDITA: Fundación MUSAAT, Calle del Jazmín, 66 - 28033 MADRID.

IMPRIME: Gráficas Hispania Valladolid, S.L. - Tfno.: 983 292 074.

DEPÓSITO LEGAL: M-23330-2025

ISBN: 978-84-09-77944-4

El presente documento ha sido promovido y editado por la Fundación MUSAAT.

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

PRÓLOGOS 5

D. Juan López-Asiain Martínez 5

D. Manuel Jesús Carretero Ayuso 7

INTRODUCCIÓN 9

PARTE I - ESTUDIO DE HUMEDADES EN CERRAMIENTOS

CAPÍTULO 1 CONCEPTOS BÁSICOS 13

1.1 Presión atmosférica 13

1.2 Ábaco psicrométrico 14

1.3 Presión de saturación 14

1.4 Presión de vapor 16

1.5 Humedad específica 16

1.6 Humedad relativa 18

1.7 Interpretación de resultados 19

1.8 Condiciones normativas de cálculo según el DA DB-HE/2. 20

1.8.1 Condiciones interiores de cálculo 20

1.8.2 Condiciones exteriores de cálculo. 21

1.9 Resistencia y transmitancia térmicas de un cerramiento. 23

1.9.1 Resistencia térmica de un material 23

1.9.2 Resistencias térmicas superficiales y de cámaras de aire. 24

1.9.3 Resistencia térmica de un cerramiento compuesto 26

CAPÍTULO 2 HUMEDADES MÁS FRECUENTES EN VIVIENDAS 29

2.1 Condensación superficial: (documento de apoyo al DB HE, DA DB-HE/2) 30

2.1.1 Cálculo analítico de condensaciones superficiales 31

2.1.2 Cálculo gráfico de la temperatura superficial interior mínima $\theta_{si,mín}$ [°C] 33

2.1.3 Medidas para disminuir el riesgo de condensación superficial. 34

2.1.4 Resumen sobre condensación superficial 38

2.1.5 Soluciones para evitar condensaciones superficiales 39

2.2 Condensación intersticial (documento de apoyo al DB HE, DA DB-HE/2) 39

2.2.1 Presión de saturación en las hojas del cerramiento 40

2.2.1.1 Cálculo de distribución de temperaturas en las distintas capas 40

2.2.1.2 Cálculo de la presión de saturación en las distintas capas 40

2.2.2 Presión de vapor en las hojas del cerramiento. 40

2.2.2.1 Resistencia a la difusión del vapor de agua 40

2.2.2.2 Cálculo de distribución de presiones de vapor en las distintas capas 43

2.2.3 Representación de los cálculos efectuados en un único gráfico	43
2.2.4 Consideraciones sobre el tipo y la colocación del aislante.	44
2.2.5 Posibles soluciones a la producción de condensación intersticial	45

CAPÍTULO 3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS GRÁFICOS 51

PARTE II - ESTUDIO HIGROTÉRMICO DE LA VIVIENDA. CASOS REALES

CAPÍTULO 4 INFORME TÉCNICO. TERMOHIGRÓMETRO 59

4.1 Condiciones de utilización de la vivienda	59
4.2 Abrir la pantalla de cálculo del estudio termohigrométrico	60
4.3 Preparación de resultados de la medición.	62
4.4 Resultado de la introducción de las mediciones	63
4.4.1 Apartado 1. Intervalo de medición, situación de la vivienda y registrador de datos. .	63
4.4.2 Apartado 2. Gráficas generadas	64
4.4.3 Apartado 3. Horas de enmohecimiento	66
4.5 Datos generales	68
4.5.1 Redacción del informe	68
4.5.2 Límites de resistencia térmica y humedad relativa interior	69
4.6 Humedad relativa superficial interior.	70
4.7 Resistencia térmica del cerramiento	70
4.8 Humedad relativa interior media de medición	70

CAPÍTULO 5 EJEMPLOS CON RESULTADO DE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA DEFICIENTE 71

CAPÍTULO 6 EJEMPLOS CON RESULTADO: USO INADECUADO DE LA VIVIENDA 81

CAPÍTULO 7 RECOMENDACIONES A LOS USUARIOS. 93

PARTE III - FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN EXCEL

CAPÍTULO 8 CONFIGURACIÓN DE EXCEL PARA UNA CORRECTA UTILIZACIÓN Y VISUALIZACIÓN 99

CAPÍTULO 9 EXPLICACIÓN DE LA INTERFAZ Y FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN. . . . 101

ANEXO 115

BIBLIOGRAFÍA 117

EL AUTOR 119

Explicar el funcionamiento del ábaco psicrométrico en una clase con alumnos no es sencillo, lo sé por experiencia, pero explicarlo en un documento técnico escrito es más difícil aún; sin embargo, el autor lo ha conseguido brillantemente. Explica de manera clara pero técnicamente intachable cómo se producen las condensaciones tanto superficiales como intersticiales dentro de una vivienda y su relación con las condiciones ambientales y cerramientos de esta. Además, simplifica el trabajo de los técnicos a la hora de analizar este tipo de humedades y prevenirlas, con una herramienta de cálculo que él mismo ha desarrollado y que facilita la generación de gráficas y la obtención de valores límite para la aparición de estas temidas patologías.

Tengo la suerte de conocer a José Manuel desde hace ya unos años, y además de valorar su trato siempre afable y cordial, he de reconocer que he aprendido bastante de él sobre herramientas de certificación energética, análisis y cálculo de ventilación en viviendas o análisis económico de ayudas para la mejora energética en edificios, entre otros. De nuevo he vuelto a aprender sobre estas dañinas patologías. Incorporo sin lugar a duda esta obra entre mis libros de referencia para el ejercicio de mi actividad profesional y docente, y recomiendo encarecidamente su lectura a los profesionales de la Edificación.

No puedo terminar sin poner en valor la dedicación de José Manuel por ayudar a los técnicos a prestar el mejor servicio profesional posible y por ende mejorar las condiciones de los edificios y de las personas que los habitan, consiguiendo entornos más eficientes, más confortables y saludables. Por todo ello... ¡gracias y enhorabuena!

D. Juan López-Asiain Martínez

Profesor de la Escuela Técnica Superior de
Edificación de Madrid
Universidad Politécnica de Madrid
Gabinete Técnico del Consejo General de la
Arquitectura Técnica de España

En diciembre de 2019, la Fundación Musaat publicó el macroestudio titulado “Análisis Estadístico Nacional sobre Patologías en la Edificación (III)”, que probablemente es el mayor estudio realizado en España sobre este aspecto, y uno de los más grandes de Europa. En este trabajo, del que soy coautor, se caracterizaron 34.873 casos de patologías distribuidos por 11 capítulos de obra y tipificados en 41 tipos distintos de patologías. La patología más reiterada fue la denominada ‘humedades y filtraciones’ con 9.805 procesos patológicos, ocupando el 5º lugar las ‘humedades por condensación’ con 1.615 procesos patológicos. Todas las humedades en su conjunto (incluyendo las de capilaridad y otras más) alcanzaron la cifra de 14.440 casos (el 41,41% global). Se trata, por tanto, de situaciones muy problemáticas y que están llevando a muchos técnicos a los juzgados.

La publicación que tiene en sus manos versa específicamente sobre el mundo de las patologías de condensación, la cual –probablemente– está cada vez más presente en las edificaciones y que muchas veces no se sabe evaluar bien, porque requiere un conocimiento profundo de diversos conceptos que hay que saber utilizar e interrelacionar (transmitancia térmica, curva de saturación, presión de vapor, temperatura de rocío, valores de ventilación y calefacción, etc.).

El aumento de situaciones en donde las condensaciones cobran más presencia tiene, a juicio de este técnico, cierta confluencia de factores que las facilitan; por ejemplo: la existencia de puentes térmicos y/o zonas frías (especialmente cuando mejor aislado esté el edificio en general y se den condiciones de humedad interior elevada o de choque térmico); la mejora de las carpinterías ha aumentado la estanqueidad y ha llegado a eliminar la renovación no consciente del aire de las estancias cuando no se incluyen aireadores tampoco; muchos usuarios han perdido la costumbre ancestral de ventilar los dormitorios todos los días; incremento de la concentración de tareas productoras de mucho vapor de agua en el interior (duchas continuas, planchados...).

Uno de los principales valores de esta publicación es su capacidad para equilibrar la teoría con la aplicación práctica. Aquí, el lector no solo encontrará explicaciones detalladas sobre los fundamentos higrotérmicos, sino también herramientas de cálculo, metodologías analíticas y criterios normativos que le permitirán afrontar situaciones reales con solvencia. Además, se subraya la importancia de aspectos como la correcta utilización de los materiales o el uso adecuado de la calefacción y la ventilación, entre otros. Sin duda, esta combinación de elementos refleja el compromiso del autor con una praxis bien fundamentada y contextualizada.

A diferencia de otros textos que abordan la humedad de manera meramente descriptiva o normativa, esta publicación ofrece una perspectiva combinando fundamentos higrotérmicos, criterios constructivos, herramientas de cálculo y ejemplos concretos. Su estructura didáctica permite al lector entender los fenómenos de condensación, tanto superficial como intersticial, desde sus bases físicas hasta su manifestación en casos específicos; todo con una claridad que facilita el aprendizaje y la aplicación profesional. Este libro no es solo un manual técnico, se convierte en una guía operativa para el diagnóstico y la prevención de las patologías por condensación, ofreciendo un valioso instrumento de complemento para la comprensión de toda la fenomenología y para el ejercicio liberal de la profesión en la elaboración de informes y dictámenes técnicos detallados.

D. Manuel Jesús Carretero Ayuso

Doctor Ingeniero de Edificación
Profesor de la Universidad de Extremadura

Las condensaciones en los cerramientos de viviendas se deben a dos factores principales: *soluciones constructivas deficientes* o *uso inadecuado de los espacios habitables*. En algunos casos, ambas causas pueden coincidir.

Este manual técnico establece un protocolo para analizar y diagnosticar humedades por condensación en cerramientos. Proporciona un procedimiento riguroso que puede aplicarse tanto en el ámbito judicial como en la elaboración de dictámenes técnicos, con el objetivo de identificar las causas de la condensación. La metodología se estructura en dos fases principales:

- *Mediciones in situ* de temperatura y humedad relativa en la vivienda afectada durante un período representativo, con una periodicidad adecuada.
- *Recopilación de datos constructivos* del cerramiento y cálculo de sus propiedades higrotérmicas correspondientes.

Los datos obtenidos se ingresan en una aplicación desarrollada en Microsoft Excel, la cual automatiza los cálculos y facilita al técnico la elaboración de un informe detallado y concluyente sobre las causas de las condensaciones. En este caso, se analizarán dos tipos de condensaciones:

- *Condensación superficial*: Se analiza mediante el *factor de temperatura f_{Rsi}* , comparando la temperatura superficial interior con la mínima necesaria para evitar condensación.
- *Condensación intersticial*: Se evalúa comparando la *presión de vapor* y la *presión de saturación* a través de las capas del cerramiento.

En esta publicación se presentan casos reales con diagnóstico técnico basado en mediciones, composición de cerramientos y cálculos de R_T (resistencia térmica del cerramiento); θ_{si} (temperatura superficial interior del cerramiento) y φ_{si} (humedad relativa superficial interior del cerramiento), evaluando así el riesgo de condensación y, por último, finalizar con la determinación de la causa de esta.

La aplicación Excel, que basa su cálculo en el catálogo de materiales del CTE, permite, además del diagnóstico de condensaciones, llevar a cabo las siguientes funciones:

- Comparar la transmitancia térmica calculada con la mínima exigida por el CTE DB HE1 para el tipo de cerramiento y la zona climática de cálculo.
- Calcular la transmitancia térmica de carpintería exterior, tanto sencilla como doble, con acristalamiento sencillo o doble y con emisividad normal o mejorada.
- Cálculos en el Ábaco Psicrométrico sobre ventilación y calefacción de las estancias, así como resistencia térmica del cerramiento, entre otros.
- Informes sobre edificios anteriores al CTE amparados en la normativa de la *Norma Básica de la Edificación NBE-CT/79*.

El contenido de esta publicación se estructura en tres apartados:

PORTE I ESTUDIO DE HUMEDADES EN LOS CERRAMIENTOS: Se presentan los *conceptos básicos sobre condensación superficial e intersticial, expuestos de manera didáctica para facilitar la comprensión de los principios higrotérmicos. El objetivo es que el lector adquiera una base conceptual sólida, sin necesidad de memorizar fórmulas ni realizar cálculos manuales, ya que estos se ejecutan automáticamente mediante la aplicación Excel.* La importancia radica en la comprensión conceptual de las variables asociadas a la condensación, permitiendo al técnico interpretar adecuadamente los resultados. A través de los datos introducidos, la herramienta calcula la resistencia térmica (R_T), la transmitancia térmica (U) de los cerramientos, así como la temperatura superficial interior (θ_{si}) y la mínima admisible ($\theta_{si,min}$) para evitar la formación de moho superficial (asegurando que la humedad relativa superficial interior $\phi_{si} < 80\%$).

PORTE II ESTUDIO HIGROTÉRMICO DE LA VIVIENDA. CASOS REALES: Por un lado, en esta sección se aborda el registro de la temperatura y la humedad relativa de los recintos en estudio, realizando cada 20 minutos durante un periodo de 7 a 14 días. Posteriormente, se evalúa si el uso de estos espacios es adecuado. Por otro lado, se presentan casos reales en los cuales, por medio de la aplicación Excel, se lleva a cabo todo el proceso para la determinación del origen de las condensaciones.

Con estos datos la aplicación desarrollada en Microsoft Excel permite generar gráficos de la temperatura interior, humedad relativa interior y realizar el cálculo de la humedad relativa superficial interior, facilitando la comparación con el umbral crítico del 80% para identificar posibles riesgos de condensación.

PORTE III FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN EXCEL: En este apartado se detalla el uso de la aplicación Excel de apoyo. Esta herramienta ha sido desarrollada específicamente para profesionales del ámbito técnico. Su enfoque es riguroso y profundo, permitiendo un análisis detallado basado en criterios normativos y parámetros higrotérmicos precisos. Integra cálculos conforme al CTE, representa gráficamente los resultados y facilita la elaboración de informes técnicos fundamentados, lo que lo convierte en una herramienta idónea para *peritajes, dictámenes y diagnósticos con validez profesional*, siendo una solución avanzada diseñada para quienes requieren *fiabilidad, exactitud y soporte normativo en el análisis de humedades por condensación*.

El autor

PARTE I

ESTUDIO DE HUMEDADES EN CERRAMIENTOS

Tal como se expone en la introducción, los cálculos descritos en esta primera sección de la publicación tienen un propósito didáctico: facilitar al lector la comprensión o la consolidación de conocimientos previamente adquiridos de los principios higrotérmicos fundamentales necesarios para interpretar adecuadamente los resultados. No se requiere la memorización de fórmulas ni la realización de cálculos manuales, ya que estos son ejecutados automáticamente, mediante la aplicación de cálculo de Excel proporcionada como apoyo. Se destaca, por tanto, la relevancia de la comprensión conceptual sobre el simple manejo operativo.

CAPÍTULO 1 CONCEPTOS BÁSICOS

1.1 PRESIÓN ATMOSFÉRICA

La atmósfera ejerce una presión constante sobre todos los objetos que se encuentran en la superficie del planeta debido al peso de la columna de aire que se extiende desde el suelo hasta la parte superior de la atmósfera. Esta presión se distribuye de manera uniforme, aunque varía en función de la altitud, ya sea a nivel del mar o en zonas montañosas.

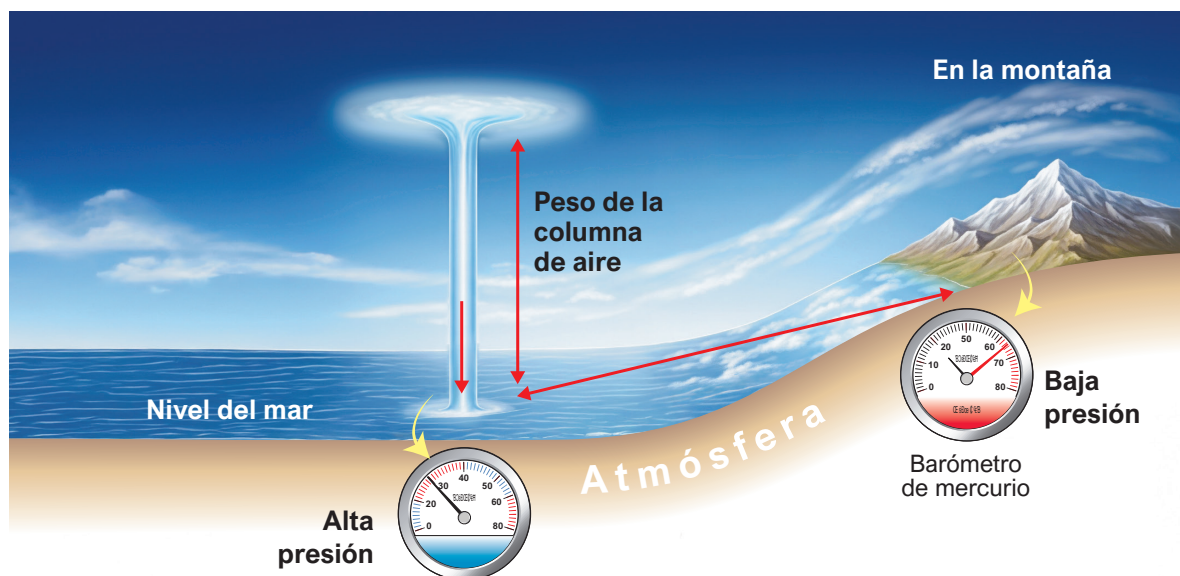


Imagen 1. Presión atmosférica.

COMPONENTES PRINCIPALES DE LA ATMÓSFERA

- **Aire seco:** Compuesto principalmente por nitrógeno y oxígeno, con pequeñas cantidades de otros gases. La presión ejercida por este componente se conoce como *presión parcial del aire seco*.
- **Vapor de agua:** Corresponde al agua en estado gaseoso presente en la atmósfera. La presión asociada a este componente se denomina *presión parcial del vapor de agua*.

En el aire húmedo, la presión atmosférica total corresponde a la suma de la presión parcial del aire seco y la presión parcial del vapor de agua, según la Ley de Dalton:

$$\text{Presión atmosférica} = \text{Presión aire seco} + \text{Presión vapor de agua}.$$

IMPORTANCIA DEL CONTROL HIGROTÉRMICO

La temperatura del aire y su contenido de vapor de agua son variables fundamentales para analizar los procesos de condensación en las envolventes de los edificios.

La presión de vapor de saturación, que depende de la temperatura, determina el límite máximo de vapor de agua que puede contener el aire antes de producirse la condensación. Cuando se alcanza este umbral para una temperatura dada, se establece un equilibrio entre el agua líquida y el vapor de agua. Asimismo, la humedad del aire define la presión parcial ejercida por el vapor de agua presente en el ambiente, representando así una variable clave en el estudio del aire húmedo. Comprender estas relaciones es esencial para el análisis y el diagnóstico de problemas de humedad en las viviendas, ya que permite prever y entender cuándo pueden producirse fenómenos de condensación.

Para comprender adecuadamente estas variables (temperatura, humedad relativa, presión de vapor, punto de rocío), es fundamental contar con herramientas como el ábaco psicrométrico.

1.2 ÁBACO PSICROMÉTRICO

El Ábaco Psicrométrico es un diagrama gráfico que establece, entre otras, las relaciones entre la *Temperatura* θ [°C], la *Presión de vapor* P_v [Pa] y la *Humedad específica* ω [g/Kg], según la imagen siguiente:

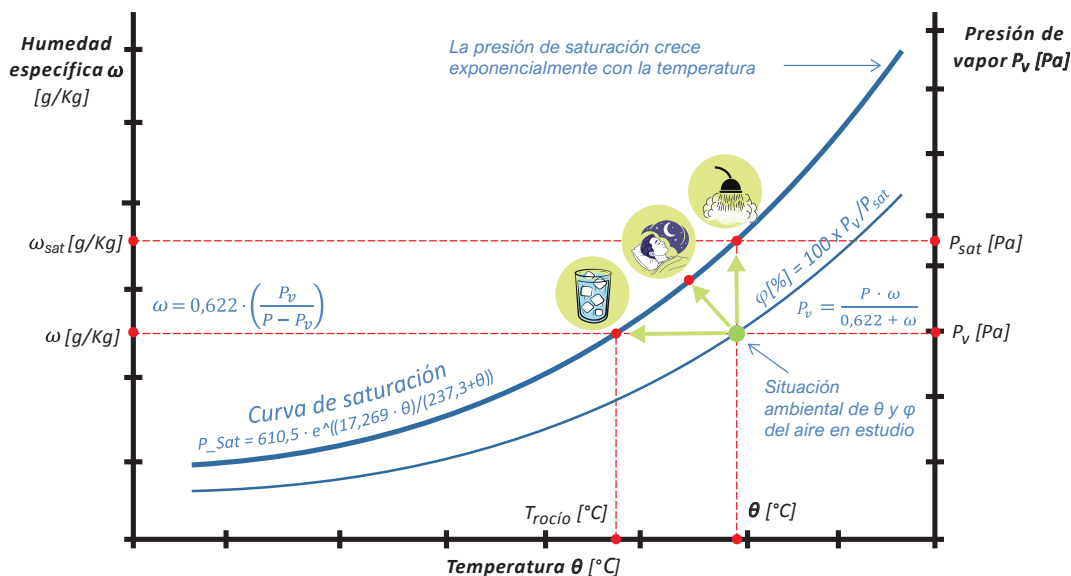


Imagen 2. Esquema Ábaco Psicrométrico.

En él se muestran la curva de saturación y las curvas de presiones parciales de vapor, a partir de las cuales se pueden obtener todos los valores necesarios para calcular las condiciones del aire en una situación ambiental específica:

- Temperatura θ [°C]
- Presión de saturación P_{sat} [Pa]
- Humedad de saturación ω_{sat} [g/Kg] (g de vapor de agua por Kg de aire seco)
- Presión de vapor P_v [Pa]
- Humedad específica ω [g/Kg]
- Temperatura de rocío $T_{Rocío}$ [°C]
- Humedad relativa ϕ [%]

Estos conceptos y la relación entre ellos se explican detalladamente a continuación. Su entendimiento facilitará la comprensión de los cálculos de condensaciones superficiales e intersticiales.

Todos los cálculos relacionados con el Ábaco Psicrométrico son realizados mediante la aplicación Excel diseñada para apoyar este trabajo. La metodología utilizada permite que, al ingresar una o dos variables específicas, la aplicación calcule automáticamente las demás variables que determinan las condiciones ambientales del aire en estudio.

1.3 PRESIÓN DE SATURACIÓN [Pa]

La **presión de saturación** es la **presión máxima de vapor de agua** que puede existir en el aire a una determinada **temperatura**, antes de que el vapor comience a **condensarse** en forma líquida. Su relación con la temperatura se representa en el **ábaco psicrométrico** como una **curva exponencial** que se eleva a medida que sube la temperatura¹.

¹ Las moléculas de agua se mueven más rápido y pueden permanecer en estado gaseoso más fácilmente. Este concepto es **clave para entender fenómenos como la condensación**, o el cálculo del **punto de rocío** en edificación.

Sus ecuaciones de cálculo son las siguientes:

ECUACIÓN PSICROMÉTRICA	Para $\theta \geq 0$ $P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}}$
CÁLCULO DE LA ECUACIÓN INVERSA	$\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta} = \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)$ $17,269 \cdot \theta = (237,3 + \theta) \cdot \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right) = 237,3 \cdot \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right) + \theta \cdot \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)$ $17,269 \cdot \theta - \theta \cdot \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right) = 237,3 \cdot \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)$ $\theta \cdot \left(17,269 - \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right) \right) = 237,3 \cdot \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)$
ECUACIÓN PSICROMÉTRICA INVERSA	$\theta = \frac{237,3 \cdot \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)}{17,269 - \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)}$

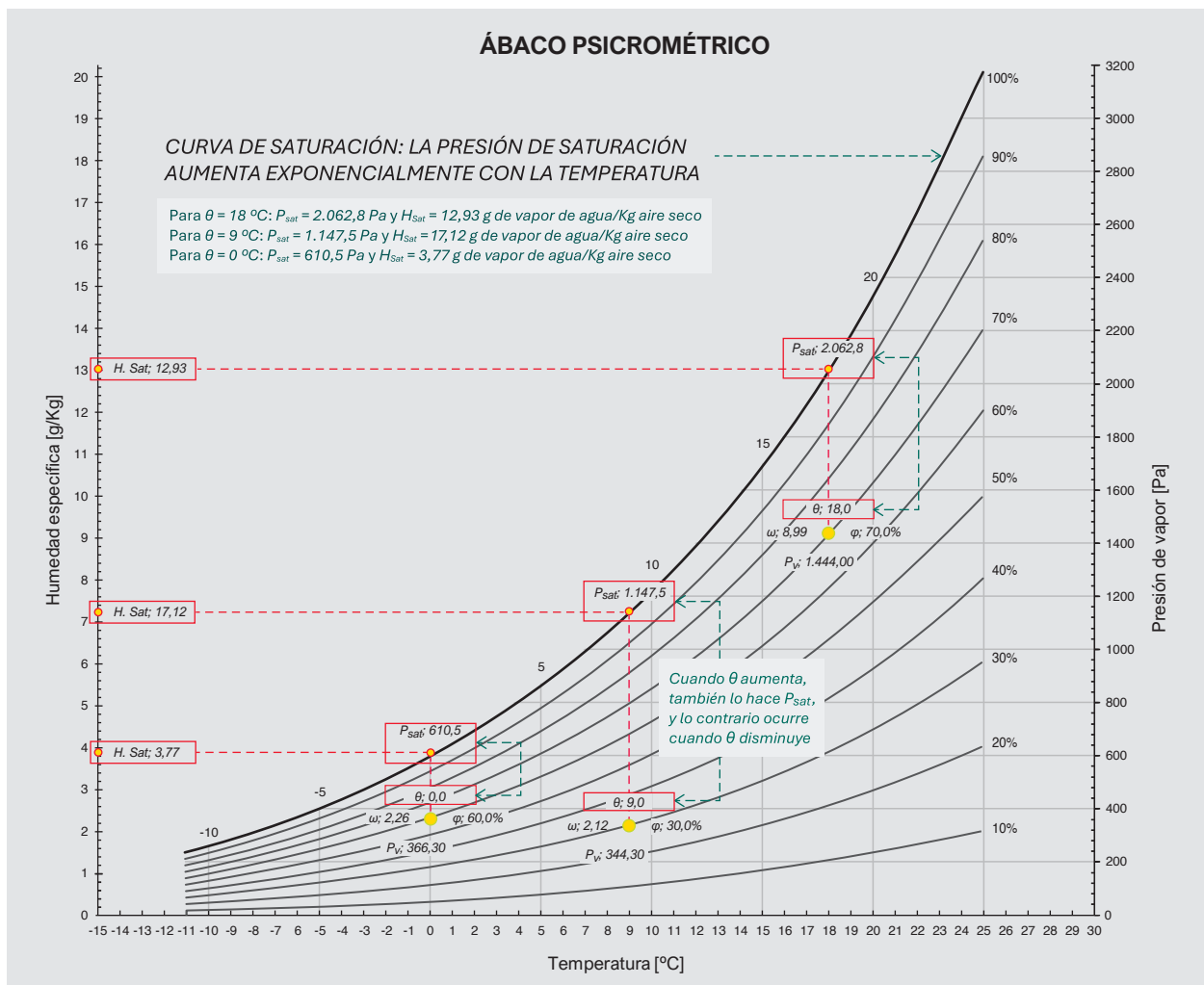


Imagen 3. Presión de saturación.

1.4 PRESIÓN DE VAPOR [Pa]

La **presión de vapor** (P_v) es la que ejerce el vapor de agua de un aire seco con un contenido inferior al de saturación (en la imagen $P_v = 1.444,00$ Pa).

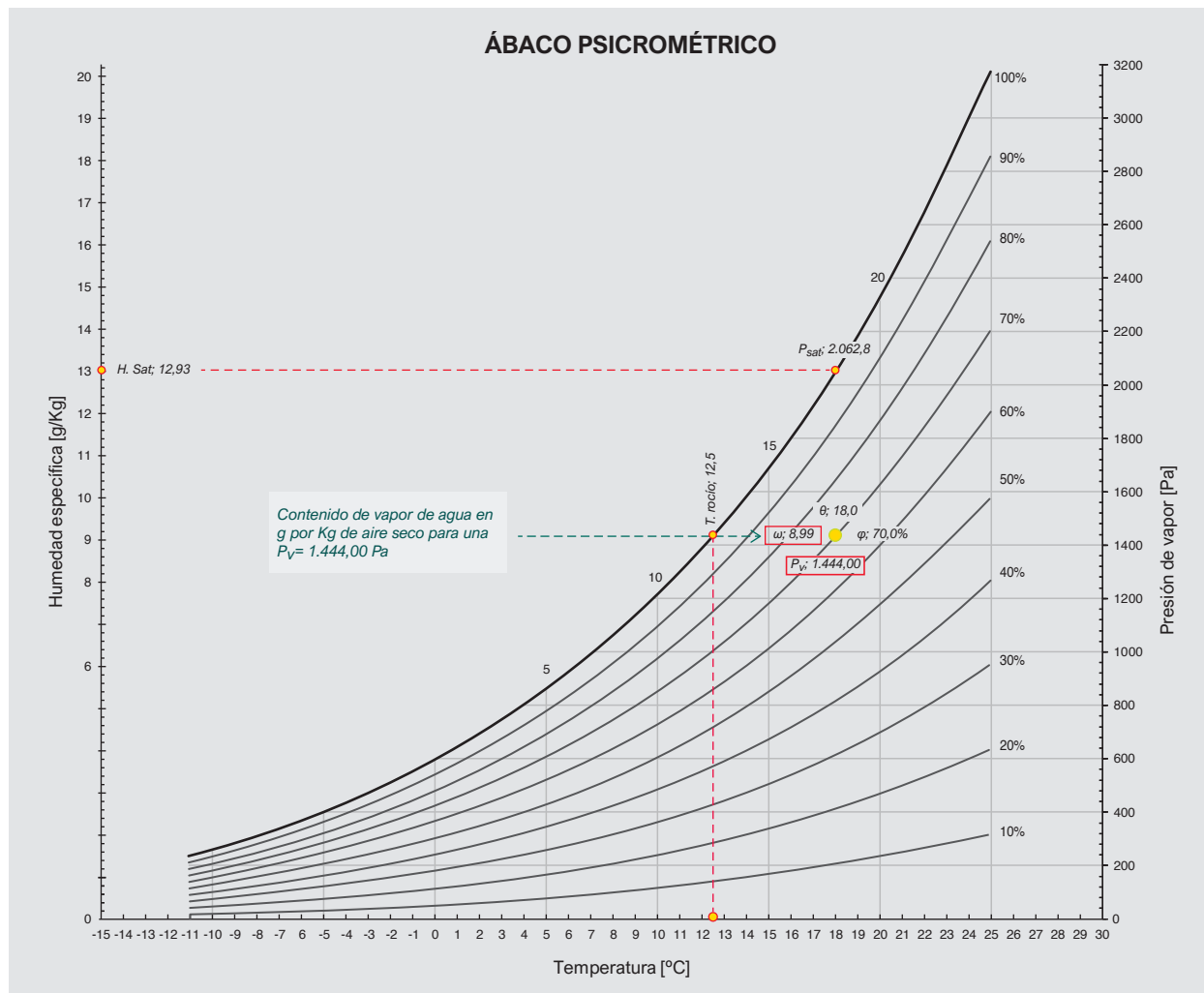


Imagen 4. Presión de vapor y Humedad específica.

1.5 HUMEDAD ESPECÍFICA ω [g/Kg]

La **humedad específica** se refiere a la cantidad de vapor de agua en el aire seco medida en gramos por kilogramo, es decir, el **contenido de vapor de agua** en gramos por kilogramo de aire seco a una **determinada presión de vapor**. Su valor depende directamente de la presión de vapor:

$$w = 0,622 \cdot \left(\frac{P_v}{P - P_v} \right); \quad \left(\text{Su inversa: } P_v = \frac{P \cdot \omega}{0,622 + \omega} \right)$$

Donde:

- ω es la humedad específica [g/Kg] a una presión de vapor P_v [Pa]
- P es la presión atmosférica (1.013,25 [hPa] o 101.325 [Pa] a nivel del mar)

Este parámetro afecta directamente al ambiente de la vivienda, aumentando la **presión de vapor** cuando su valor es alto, lo que incrementa la posibilidad de **condensación superficial**.

PRESIÓN DE VAPOR [Pa] / PRESIÓN DE SATURACIÓN [Pa] / TEMPERATURA DE ROCÍO [°C]

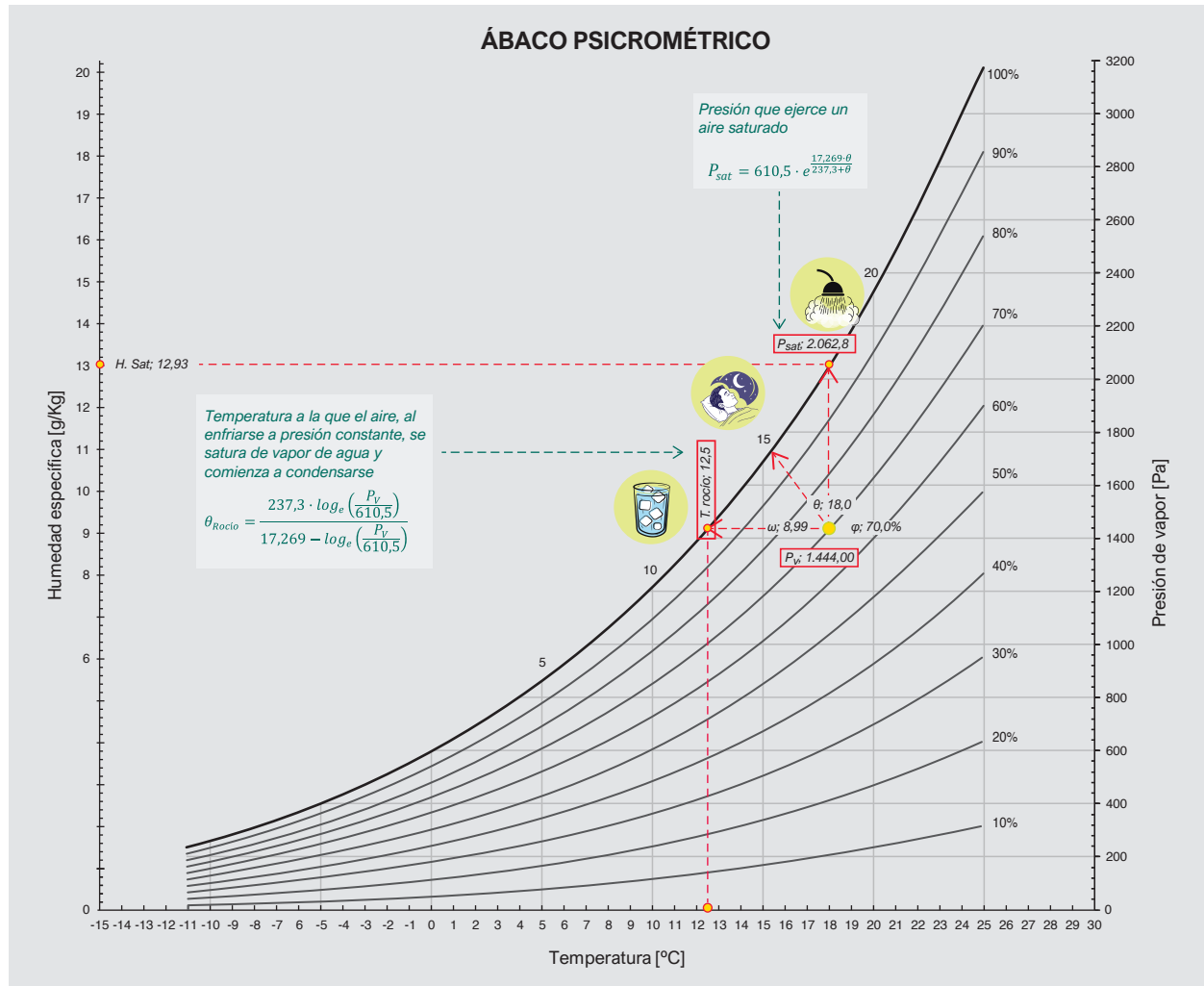


Imagen 5. Relación Presión de vapor - Presión de saturación - Temperatura de rocío.

Este aire con $P_v = 1.444,0 \text{ Pa}$ puede **alcanzar la presión de saturación** de tres maneras:

- **AUMENTANDO LA CANTIDAD DE VAPOR DE AGUA SIN MODIFICAR LA TEMPERATURA:** En la imagen se alcanza $P_{sat} = 2.062,8 \text{ Pa}$ a una temperatura de $\theta = 18^\circ \text{C}$, igual a la que tiene inicialmente. Esto ocurre en un cuarto de baño durante una ducha: **se aporta vapor de agua, alcanzándose la saturación sin que varíe la temperatura.**
- **LA TEMPERATURA BAJA SIN AÑADIR VAPOR DE AGUA:** Se alcanza una **temperatura de rocío de $12,5^\circ \text{C}$** con una $P_v = 1.444,0 \text{ Pa}$. Esto pasa al colocar un vaso de agua con hielo en un ambiente húmedo: **el aire húmedo en contacto con el vaso se enfría y puede condensarse parte de su vapor de agua sobre la superficie del vaso.**
- **COMBINACIÓN DE LOS DOS FACTORES ANTERIORES:** Esto ocurre, por ejemplo, a la hora de dormir: **se apaga la calefacción y baja la temperatura** y, al mismo tiempo, **por la respiración emitimos vapor de agua** durante varias horas seguidas, pudiendo alcanzarse la **presión de saturación.**

1.6 HUMEDAD RELATIVA [%]

Es el **porcentaje de humedad** que tiene un aire respecto a ese mismo aire saturado **a la misma temperatura**.
Es, por tanto, $\varphi = 100 \times P_v / P_{sat}$.

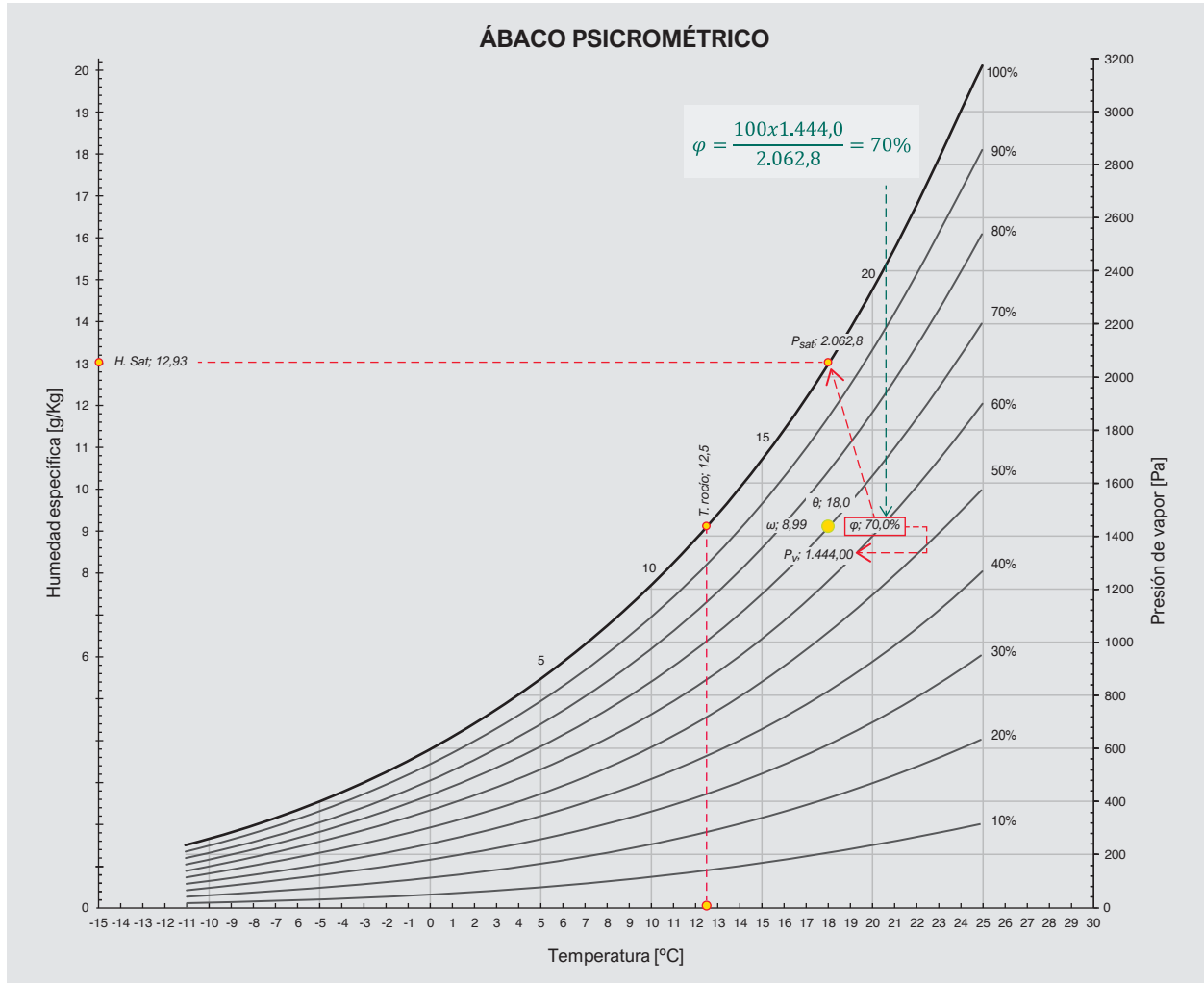


Imagen 6. Humedad relativa.

EJEMPLO²: CÁLCULOS PARA $\theta = 18$ °C y $\varphi = 70\%$ (imagen 6):

Presión de saturación: La correspondiente a un aire saturado.

- Cálculo: $P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot 18}{237,3 + 18}} = 2.062,8 \text{ Pa}$

Presión de vapor: La correspondiente a un aire no saturado ($\varphi \times P_{sat}$).

- Cálculo: $P_v = 0,7 \times 2.062,8 = 1.444 \text{ Pa}$

Temperatura de rocío: En ella, la P_v , permaneciendo constante, alcanza la P_{sat} .

- Cálculo: $\theta_{Rocío} = \frac{237,3 \cdot \log_e\left(\frac{1444}{610,5}\right)}{17,269 - \log_e\left(\frac{1444}{610,5}\right)} = 12,5 \text{ °C}$

Humedad específica: El vapor de agua que contiene un aire seco en g/Kg.

- Cálculo: $w = 0,622 \cdot \left(\frac{1.444}{101,325 - 1.444}\right) = 0,00899 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} = 8,99 \text{ g/Kg}$

² Se indican los cálculos, pero no es necesario memorizarlos ni utilizarlos.

1.7 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

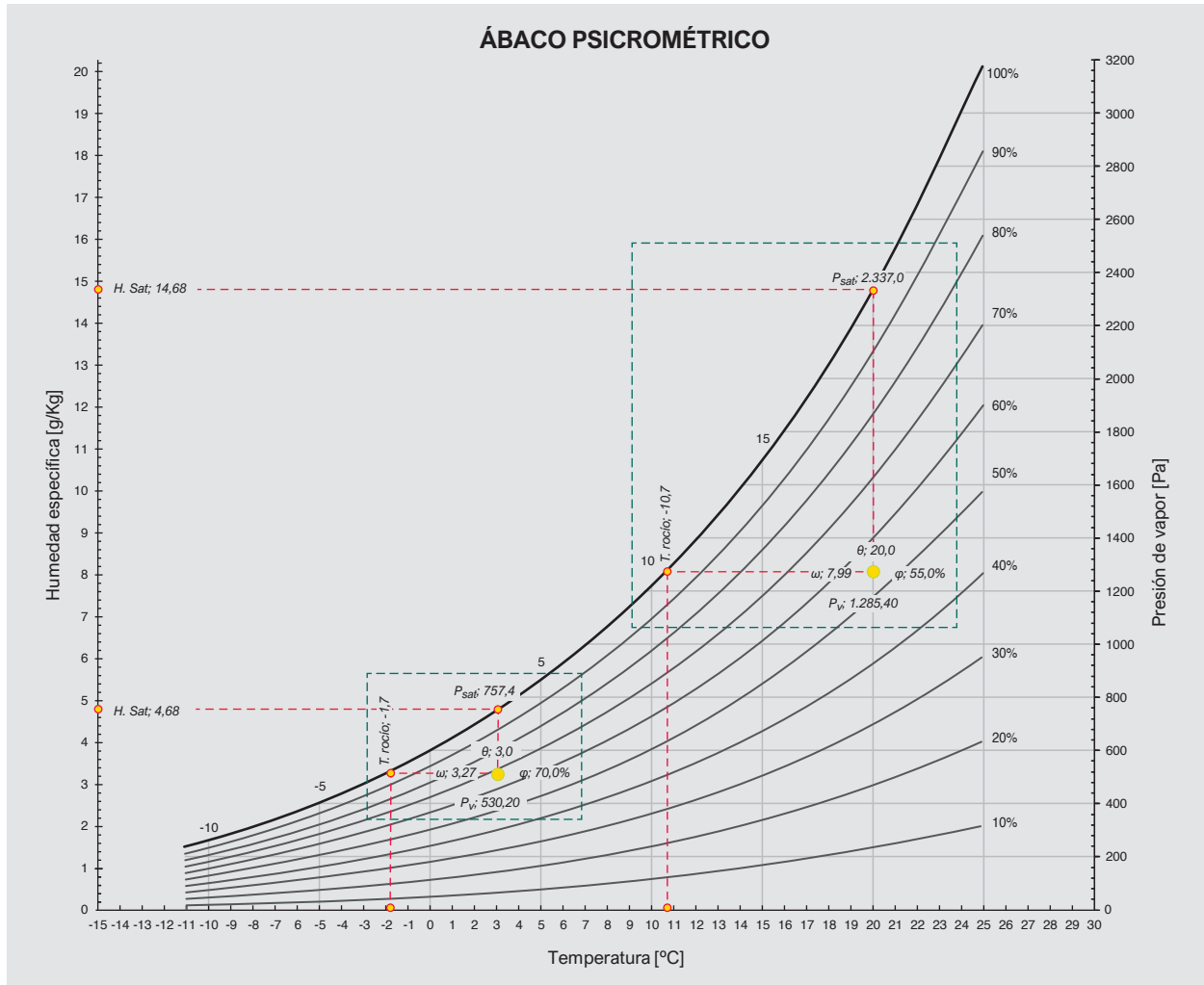


Imagen 7. Interpretación de resultados.

CONDICIONES A 3 °C Y 70% DE HUMEDAD RELATIVA:

θ [°C]	P_s [Pa]	P_v [Pa]	ϕ [%]	ω [g/Kg]
3	757,4	530,2	$100 \times 530,2/757,4 = 70\%$	3,27

CONDICIONES A 20 °C Y 55% DE HUMEDAD RELATIVA:

θ [°C]	P_s [Pa]	P_v [Pa]	ϕ [%]	ω [g/Kg]
20	2.337,0	1.285,4	$100 \times 1.285,4/2.337,0 = 55\%$	7,99

La temperatura influye al condicionar la **presión de saturación**:

- La humedad relativa a **3 °C (70%)** es mayor que la humedad relativa a **20 °C (55%)**.
- La humedad específica a **3 °C (3,27 g/Kg)** es menor que la humedad específica a **20 °C (7,99 g/Kg)**.

Por consiguiente, una mayor **cantidad de humedad relativa** no significa una **mayor cantidad de humedad real**.

1.8 CONDICIONES NORMATIVAS DE CÁLCULO SEGÚN EL DA DB-HE/2

1.8.1 CONDICIONES INTERIORES DE CÁLCULO

De acuerdo con el *Documento de apoyo al DB HE DA DB-HE/2*, se considerarán las condiciones típicas de ocupación y uso de los espacios, con el fin de garantizar el confort y la seguridad higrotérmica en el interior de los edificios, estableciendo una *temperatura interior de cálculo de 20 °C*. Por otro lado, el valor de la humedad relativa se determina en función de las actividades que se desarrollen en el espacio que se va a estudiar, de la siguiente manera:

- Clase de higrometría **5** (lavanderías, restaurantes, piscinas cubiertas, etc.): **70%**
- Clase de higrometría **4** (viviendas con alta ocupación, pabellones deportivos, cocinas, etc.): **62%**
- Clase de higrometría **3 o inferior** (viviendas con baja ocupación): **55%**

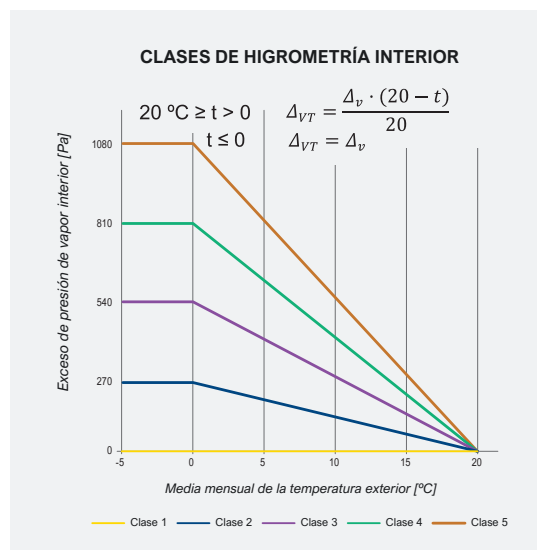


Imagen 8. Clase de higrometría.

DIFERENCIA ENTRE VIVIENDAS CON BAJA OCUPACIÓN Y ALTA OCUPACIÓN

La producción diaria de humedad por persona en kg de vapor de agua³ es la siguiente, sin incluir actividades como cocinar, lavar ropa, etc.

ACTIVIDAD	Kg/Día
Higiene personal	0,35
Actividad diurna	0,21
Sueño	0,31
Total Kg/día	0,87

Como ejemplo, analizamos una vivienda con una **temperatura** de 20 °C, una **superficie útil** de 90 m² y una **altura media** de 2,70 m. El **volumen** resultante es de 243,00 m³. El aire seco tiene una **densidad** aproximada⁴ de 1,20 kg/m³, lo que se traduce en una **masa** de aire seco de 243,00 x 1,20 = 291,6 Kg.

La **producción de humedad por persona** es de 0,87 Kg/día, equivalente a 870 g/día. Cada individuo contribuye con una **humedad específica** de: $\omega = 870/291,6 = 2,98$ g/Kg.

Por ejemplo, teniendo solamente en cuenta la **producción de vapor de los ocupantes**:

Vivienda con **3 ocupantes** (Baja ocupación)

$$\omega = 2,98 \times 3 \approx 8,94 \text{ g/Kg}$$

La presión de vapor es de 1.425,60 Pa y la humedad relativa es $\phi = 61\%$.

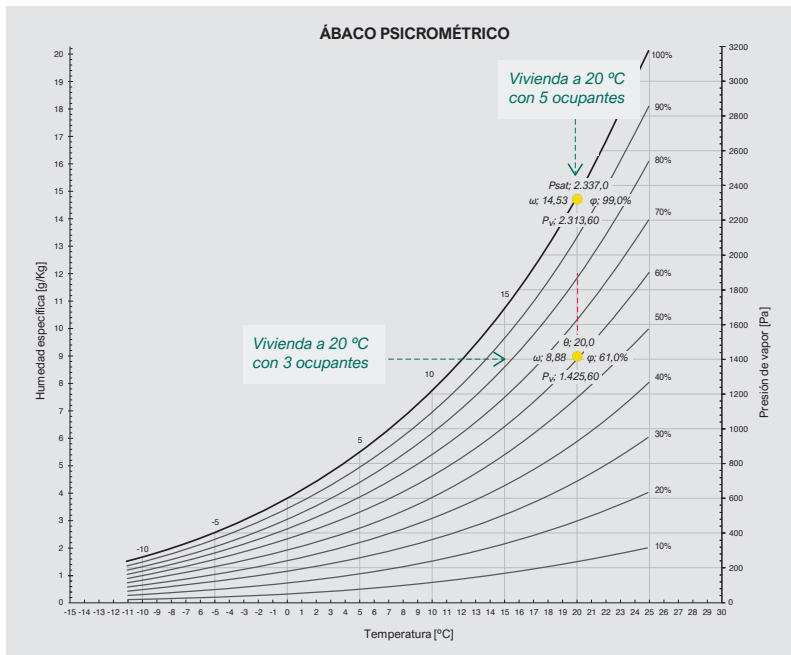
Vivienda con **5 ocupantes** (Alta ocupación)

$$\omega = 2,98 \times 5 \approx 14,9 \text{ g/Kg}$$

La presión de vapor es de 2.313,60 Pa y la humedad relativa es $\phi = 99\%$.

³ Fuente NBE-CT/79.

⁴ A 20 °C, la densidad del aire seco es $\rho \approx 1,20$ Kg/m³, y la presión de saturación 2.337,0 Pa.



En resumen, para una vivienda con las mismas condiciones de volumen (superficie útil y altura media) y temperatura, resulta más sencillo mantener bajos niveles de humedad cuando la ocupación es menor. En este caso concreto, para obtener **una misma humedad relativa en las dos viviendas**, tendríamos que eliminar $14,9 - 8,94 = 5,96$ g de vapor de agua/Kg de aire seco más en la vivienda con 5 ocupantes que en la vivienda con 3 ocupantes.

Imagen 9.

Viviendas con alta y baja ocupación.

1.8.2 CONDICIONES EXTERIORES DE CÁLCULO

Como condiciones exteriores se usan los valores de la temperatura y la humedad relativa según la ubicación de la vivienda a analizar. Estos datos se obtienen de la tabla **C.1 de datos climáticos mensuales** del *Documento de apoyo al DB HE*, DA DB-HE/2 para las capitales de provincia:

Apéndice C Datos climáticos

Tabla C.1 Datos climáticos mensuales de capitales de provincia, T en °C y HR en %

Localidad		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Albacete	T _{med}	5,0	6,3	8,5	10,9	15,3	20,0	24,0	23,7	20,0	14,1	8,5	5,3
	HR _{med}	78	70	62	60	54	50	44	50	58	70	77	79
Alicante	T _{med}	11,6	12,4	13,8	15,7	18,6	22,2	25,0	25,5	23,2	19,1	15,0	12,1
	HR _{med}	67	65	63	65	65	65	64	68	69	70	69	68
Almería	T _{med}	12,4	13,0	14,4	16,1	18,7	22,3	25,5	26,0	24,1	20,1	16,2	13,3
	HR _{med}	70	68	66	65	67	65	64	66	66	69	70	69
Ávila	T _{med}	3,1	4,0	5,6	7,6	11,5	16,0	19,9	19,4	16,5	11,2	6,0	3,4
	HR _{med}	75	70	62	61	55	50	39	40	50	65	73	77
Badajoz	T _{med}	8,7	10,1	12,0	14,2	17,9	22,3	25,3	25,0	22,6	17,4	12,1	9,0
	HR _{med}	80	76	69	66	60	55	50	50	57	68	77	82
Barcelona	T _{med}	8,8	9,5	11,1	12,8	16,0	19,7	22,9	23,0	21,0	17,1	12,5	9,6
	HR _{med}	73	70	70	70	72	70	69	72	74	74	74	71
Bilbao	T _{med}	8,9	9,6	10,4	11,8	14,6	17,4	19,7	19,8	18,8	16,0	11,8	9,5
	HR _{med}	73	70	70	72	71	72	73	75	74	74	74	74
Burgos	T _{med}	2,6	3,9	5,7	7,6	11,2	15,0	18,4	18,3	15,8	11,1	5,8	3,2
	HR _{med}	86	80	73	72	69	67	61	62	67	76	83	86
Cáceres	T _{med}	7,8	9,3	11,7	13,0	16,6	22,3	26,1	25,4	23,6	17,4	12,0	8,8
	HR _{med}	78	73	63	60	55	44	37	39	49	65	76	80
Cádiz	T _{med}	12,8	13,5	14,7	16,2	18,7	21,5	24,0	24,5	23,5	20,1	16,1	13,3
	HR _{med}	77	75	70	71	71	70	69	69	70	73	76	77
Castellón	T _{med}	10,1	11,1	12,7	14,2	17,2	21,3	24,1	24,5	22,3	18,3	13,5	11,2
	HR _{med}	68	66	64	66	67	66	66	69	71	71	73	69
Ceuta	T _{med}	11,5	11,6	12,6	13,9	16,3	18,8	21,7	22,2	20,2	17,7	14,1	12,1
	HR _{med}	87	87	88	87	87	87	87	87	89	89	88	88

Tabla 1. Datos climáticos DA DB-HE/2.

En el resto de las localidades de la provincia se aplicará el cálculo definido en el *Documento de apoyo al DB HE, DA DB-HE/2*, de la siguiente manera:

Si la altitud de la localidad es **mayor que la de la capital**, la **temperatura exterior de la localidad** será la de la **capital, minorada en 1 °C** por cada **100 m** de diferencia de altura entre ambas localidades. Si por el contrario, la altitud de la localidad es **menor o igual que la de la capital**, la **temperatura será la de la capital**.

La **humedad relativa exterior de la localidad** ϕ_e se calcula como la relación entre la presión de vapor (P_v) exterior de la capital⁵ y la presión de saturación (P_{sat}) exterior de la localidad⁶.

ZONAS CLIMÁTICAS

El CTE define 12 zonas climáticas para la Península y Baleares mediante una letra que va desde la *A* hasta la *E* y para Canarias la letra α , la cual representa la **severidad climática de invierno** y un número del 1 al 4, que indican la **severidad climática de verano**. En la tabla siguiente, figuran las **zonas climáticas** de las capitales de provincia y de cualquier localidad de su ámbito, en función de su altitud sobre el nivel del mar en metros (a.s.n.m.)

Anejo B Zonas climáticas

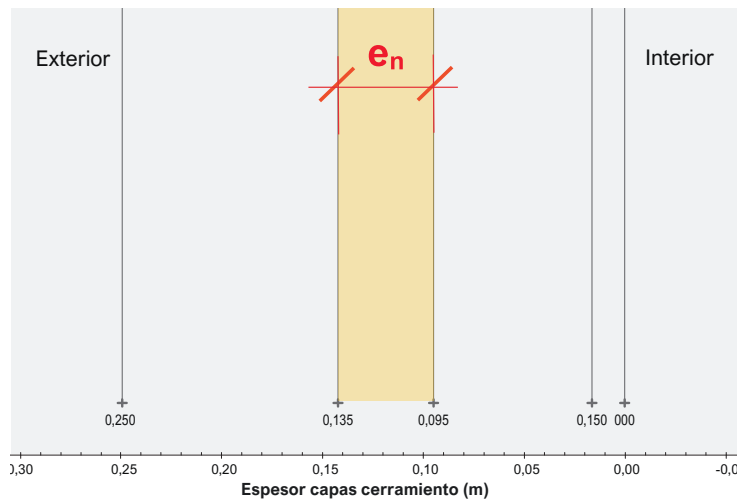
- 1 La tabla a-Anejo B permite obtener la *zona climática* (Z.C.) de un emplazamiento en función de su provincia y su altitud respecto al nivel del mar (h):

Provincia	Altitud sobre el nivel del mar (h)																											
	≤ 50 m	51 - 100 m	101 - 150 m	151 - 200 m	201 - 250 m	251 - 300 m	301 - 350 m	351 - 400 m	401 - 450 m	451 - 500 m	501 - 550 m	551 - 600 m	601 - 650 m	651 - 700 m	701 - 750 m	751 - 800 m	801 - 850 m	851 - 900 m	901 - 950 m	951 - 1000 m	1001 - 1050 m	1051 - 1100 m	1101 - 1250 m	1251 - 300 m	≥ 300 m			
Albacete	C3								D3								E1											
Alicante/Alacant	B4				C3								D3															
Almería	A4		B4		B3		C3						D3															
Araba/Álava	D1								E1																			
Asturias	C1	D1							E1																			
Ávila	D2								D1				E1															
Badajoz	C4								C3		D3																	
Balears, Illes	B3				C3																							
Barcelona	C2				D2				D1				E1															
Bizkaia	C1				D1																							
Burgos	D1								E1																			
Cáceres	C4				D3								E1															
Cádiz	A3		B3		C3				C2				D2															
Cantabria	C1	D1							E1																			
Castellón/Castelló	B3		C3						D3		D2								E1									
Ceuta	B3												D3															
Ciudad Real	C4								C3		D3																	
Córdoba	B4		C4						D3																			
Coruña, A	C1				D1										D2								E1					
Cuenca	D3								D2								E1											
Gipuzkoa	D1				E1																							
Girona	C2		D2						E1																			
Granada	A4	B4				C4				C3				D3				E1										
Guadalajara	D3												D2		E1													
Huelva	A4	B4		B3			C3				D3																	
Huesca	C3				D3		D2				E1																	
Jaén	B4						C4		D3								E1											
León	E1												E1															
Lleida	C3		D3						E1																			
Lugo	D1								E1																			
Madrid	C3				D3								D2		E1													
Málaga	A3		B3		C3						D3				D3													
Melilla	A3												D3															
Murcia	B3		C3						D3																			
Navarra	C2	D2			D1				E1																			
Ourense	C3		C2		D1				D2						E1													
Palencia	D1								E1																			
Palmas, Las	α3				A2								B2				C2											
Pontevedra	C1				D1										D1													
Rioja, La	C2				D2				E1																			
Salamanca	D2								E1																			
Santa Cruz de Tenerife	α3				A2				B2				C2															
Segovia	D2								E1																			
Sevilla	B4				C4										D1										E1			
Soria	D2								D1		E1																	
Tarragona	B3		C3						D3				D3															
Teruel	C3								C2		D2								E1									
Toledo	C4								D3																			
Valencia/València	B3	C3						D2								E1												
Valladolid	D2								E1								E1											
Zamora	D2								E1								E1											
Zaragoza	C3				D3				E1																			

1.9 RESISTENCIA Y TRANSMITANCIA TÉRMICAS DE UN CERRAMIENTO

1.9.1 RESISTENCIA TÉRMICA DE UN MATERIAL

La **resistencia térmica de un material** es una medida de su capacidad para **oponerse al flujo de calor**, y se determina como el cociente entre su **espesor** [m] y su **coeficiente de conductividad térmica** λ [w/mK], siendo esta última una propiedad inherente al material:



$$R_n = \frac{e_n}{\lambda_n}$$

Siendo:

R_n = **resistencia térmica** del material [m² K/w]

e_n = **espesor** del material [m].

λ_n = **coeficiente de conductividad térmica** del material [w/m K]

Imagen 10. Esquema de resistencia térmica de un material.

λ es una **característica del material**. Cuanto **menor** sea su **valor**, **mayor es su eficacia** como aislante ($\lambda \leq 0,06$ w/m K y $R_T > 0,25$ m² K/w para ser considerado **aislante térmico**, según HS1 Protección frente a las humedades).

Ejemplos de *coeficientes de conductividad térmica* de diversos materiales:

Material	λ [w/m K]
MW Lana mineral	0,030 – 0,050
EPS Poliestireno expandido	0,029 – 0,046
XPS Poliestireno extruido	0,034 – 0,038
PUR Poliuretano	0,025 – 0,040
Enfoscado con mortero de cemento	1,000
½ P ladrillo perforado 40< G< 50	0,639
Hormigón armado 2300< d< 2500	2,300

Tabla 3. Coeficientes de conductividad térmica de algunos materiales.

1.9.2 RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES Y DE CÁMARAS DE AIRE

Además de la resistencia térmica de las hojas, determinada por su espesor y su coeficiente λ , se deben considerar las siguientes resistencias térmicas adicionales:

- a) **Resistencias superficiales interior (R_{si}) y exterior (R_{se}):** El aire no transmite el calor de forma perfecta, siempre hay una **capa límite de aire** pegada a las superficies que **reduce la transferencia de calor**, y **las resistencias superficiales representan ese fenómeno**. Sus valores, de acuerdo con la Tabla 1 del DA DB-HE / 1, *Cálculo de parámetros característicos de la envolvente* son los siguientes:

Tabla 1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior [$m^2 \cdot K / W$]

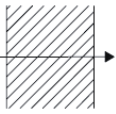
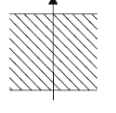
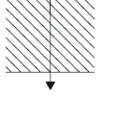
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (suelo)		0,04	0,17

Tabla 4. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos exteriores.

Las **resistencias superficiales interiores (R_{si})** dependen de la dirección y el sentido del flujo de calor, siendo mayores cuanto más difícil es la pérdida de calor a través del cerramiento por su posición. Se supone que el aire en contacto con el interior del cerramiento está en calma.

Las **resistencias superficiales exteriores (R_{se})**, excepto en algunos casos específicos que se tratarán más adelante⁷, se reducen a un valor uniforme de 0,04 $m^2 K/w$ debido al contacto de la superficie exterior del cerramiento con el aire en movimiento, independientemente de la posición del cerramiento.

- b) **Resistencia térmica de cámaras de aire:** Podemos encontrar tres tipos de cámaras de aire, que tienen los siguientes valores de resistencia térmica en función de su grado de ventilación:

- Las cámaras de aire **estancas o drenadas** (para cámaras verticales $S_{aberturas} \leq 500 \text{ mm}^2/\text{m}$ de longitud) tienen su propia resistencia térmica de acuerdo con la Tabla 2 del Documento de apoyo DA DB-HE/1, en función de su espesor. Los valores para espesores intermedios se calculan por interpolación lineal.
- Las cámaras de aire **ligeramente ventiladas** (para cámaras verticales $500 \text{ mm}^2 < S_{aberturas} \leq 1500 \text{ mm}^2$ por m de longitud) tienen una resistencia térmica con valores equivalentes a la mitad de los indicados para las cámaras estancas o drenadas, también interpolables para valores de espesores intermedios.

e (cm)	R_T ($m^2 K/w$)	
	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Tabla 5. Resistencia térmica de cámaras estancas o drenadas.

e (cm)	R_T ($m^2 K/w$)	
	Ligeramente ventilada	
	horizontal	vertical
1	0,075	0,075
2	0,080	0,085
5	0,080	0,090

Tabla 6. Resistencia térmica de cámaras ligeramente ventiladas.

⁷ Fachadas muy ventiladas, particiones interiores y medianeras, donde $R_{se} = R_{si}$.

- En el caso de **cámaras de aire muy ventiladas** (para cámaras verticales, $S_{aberturas} > 1500 \text{ mm}^2$ por m de longitud), es decir, el aire circula libremente evitando que se acumule calor o frío, esta cámara no contribuirá a la resistencia térmica del cerramiento, por lo que este dato se desprecia, al igual que los valores de las capas que se encuentran entre la cámara de aire y el exterior, y en su lugar se incluye una R_{se} correspondiente al aire en calma; este valor se iguala a la R_{si} del mismo cerramiento.

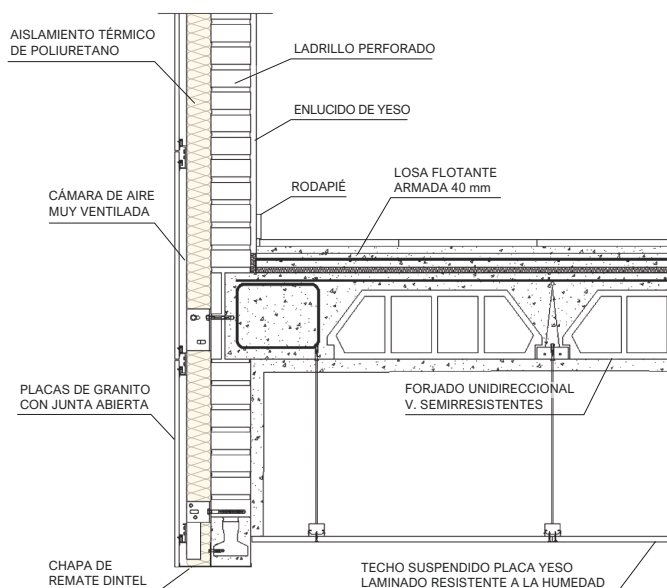


Imagen 11. Sección constructiva de una fachada ventilada.

Para una mejor comprensión de este último caso de **cámaras de aire muy ventiladas**, analizaremos un ejemplo de una fachada ventilada.

Se trata de un cerramiento exterior de fachada que en su parte opaca tiene la siguiente composición (de interior a exterior):

- Enlucido de yeso
- ½ Pie de ladrillo perforado
- Poliuretano proyectado
- Cámara de aire muy ventilada
- Placas de granito con junta abierta

En la imagen 11, podemos ver una sección constructiva del cerramiento.

Se realiza el cálculo de la resistencia térmica del cerramiento:

Situación de las hojas del cerramiento ordenadas del interior al exterior	e [m]	λ [w/mK]	μ	R_n [m ² K/w]
Aire interior	-	-	-	0,130
Superficie interior del cerramiento	-	-	-	0,050
Enlucido de yeso aislante 600<d<900	0,015	0,300	6,0E+00	0,210
½ Pie LP 60<G<80 mm	0,115	0,548	1,0E+01	2,188
PUR proyect. CO2 celda cerr. 0,032	0,070	0,032	1,0E+02	0,000
Cámara de aire muy ventilada	0,020	-	0,0E+00	0,000
Granito	0,015	2,800	1,0E+04	0,000
Superficie exterior del cerramiento/Aire exterior	-	-	-	0,130
R_T [m ² K/w]				2,708

Imagen 12. Cálculo de la resistencia térmica de la parte opaca del cerramiento.

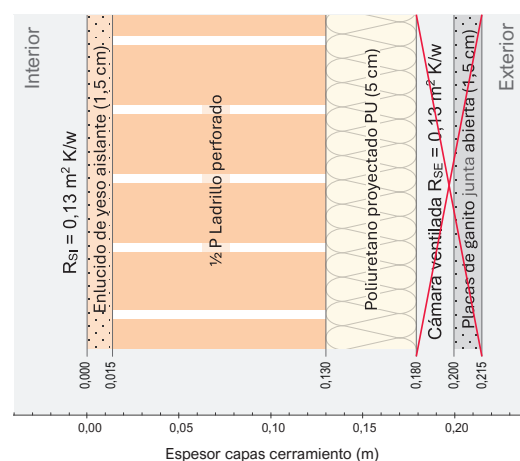


Imagen 13. Esquema del cálculo de la resistencia térmica de cerramiento con cámara de aire muy ventilada.

Como se observa en la imagen 12, tanto la cámara de aire muy ventilada como el aplacado de granito tienen una resistencia térmica igual a $0,00 \text{ m}^2 \text{ K/w}$. Además, la resistencia superficial exterior es igual a la interior, ambas con un valor de $0,130 \text{ m}^2 \text{ K/w}$. Como resultado, ni la cámara de aire ni el aplacado de granito influyen en la resistencia térmica del cerramiento, sin embargo; su resistencia térmica se incrementa en $0,09 \text{ m}^2 \text{ K/w}$ ($0,013 - 0,040 \text{ m}^2 \text{ K/w}$) al igualar las resistencias térmicas exterior e interior (ver Tabla 4 de Resistencias térmicas superficiales).

1.9.3 RESISTENCIA TÉRMICA DE UN CERRAMIENTO COMPUESTO

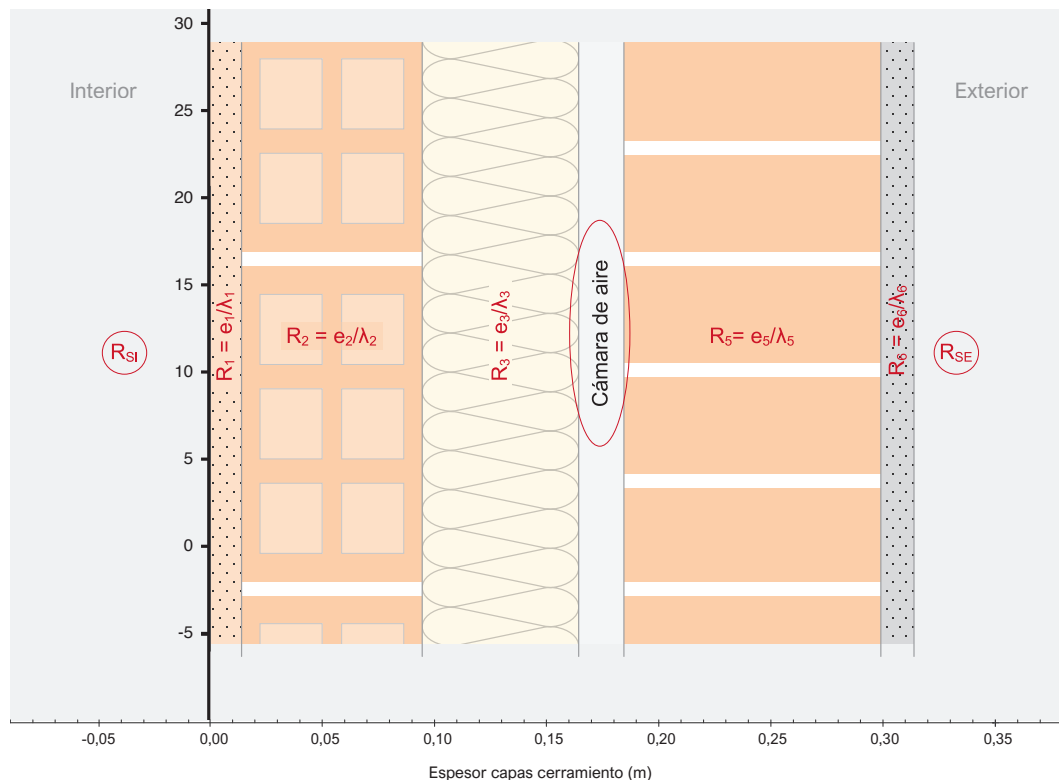


Imagen 14. Resistencia térmica de un cerramiento.

La **resistencia térmica de un cerramiento** formado por capas es la siguiente:

$$R_T = R_{si} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{\text{cámara de aire}} + R_{se}$$

La **transmitancia térmica** de un cerramiento es la **cantidad de calor que pasa a través de un m² de elemento constructivo por grado de diferencia de temperatura** entre ambos lados. Su valor es la **inversa de la resistencia térmica**:

$$U_T = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{\text{cámara de aire}} + R_{se}}$$

Donde:

R_T = **resistencia térmica** del cerramiento (m² K/w)

U_T = **transmitancia térmica** del cerramiento (w/m² K)

R_{si} y **R_{se}** = **resistencias térmicas superficiales interior y exterior** del cerramiento (m² K/w)

R_{cámara de aire} = **resistencia térmica de la cámara de aire** (m² K/w)

Σe/λ_i = suma de las **resistencias térmicas** de las capas que componen el cerramiento (m²K/w)

COMENTARIOS: Cuanto mayor es el valor de la **resistencia térmica** de un cerramiento, **menos pérdidas** se producen por transmisión de calor a través de él y cuanto mayor es el valor de la **transmitancia térmica** de un cerramiento, **más pérdidas** se producen por transmisión de calor a través de él.

LIMITACIÓN DEL VALOR DE TRANSMITANCIA TÉRMICA

La transmitancia térmica viene limitada por la tabla 3.1.1.a del **DB HE1** para cada elemento de la envolvente (*MUROS, SUELOS, CUBIERTAS PARTICIONES INTERIORES Y HUECOS*) en función de la **zona climática de invierno**.

Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de *transmitancia térmica*, U_{lim} [W/m^2K]

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s , U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_C)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%				5,7		

Tabla 7. Valores límite de U [$W/m^2 K$].

CAPÍTULO 2 HUMEDADES MÁS FRECUENTES EN VIVIENDAS

Las humedades en las viviendas se dan por la presencia excesiva de agua en forma líquida o de vapor, en los paramentos o en el ambiente interior, lo que genera deterioro físico de la edificación, problemas de confort, etc.

Los tipos de humedades que con mayor frecuencia se producen en viviendas son: condensación, capilaridad y filtración. Las cuales se presentan en los paramentos de la siguiente manera:

- *Condensación* (imagen 15): colonias de hongos parduzcos en los puntos más fríos de los cerramientos.
- *Capilaridad* (imagen 16): la mancha de humedad es uniforme, mostrando el ascenso del agua desde la base hasta una altura constante. Este fenómeno es más común en plantas bajas.
- *Filtración* (imagen 17): la mancha se extiende desde el punto de origen de la filtración hacia sus bordes.



Imagen 15. **Condensación.**



Imagen 16. **Capilaridad.**



Imagen 17. **Filtración.**

En esta publicación se estudiarán las condensaciones superficiales e intersticiales, que pueden causar dichas humedades.

RANGO ACONSEJABLE DE HUMEDADES RELATIVAS

Desde este punto de vista, la humedad relativa es una condición importante en la sensación térmica, ya que afecta la capacidad del cuerpo para regular su temperatura a través de la sudoración. Por tanto, desde una perspectiva de confort, se considera que las condiciones térmicas son adecuadas cuando la humedad relativa se sitúa entre el 30% y 70%, para que el usuario se encuentre en una zona de bienestar térmico.

Para estar en una zona óptima, se establecen los límites del 40% al 60%, los cuales están fundamentados en criterios sanitarios, como la irritación de las mucosas, la sequedad de la piel, el crecimiento de microorganismos y otros problemas relacionados con la humedad, tales como los hongos.

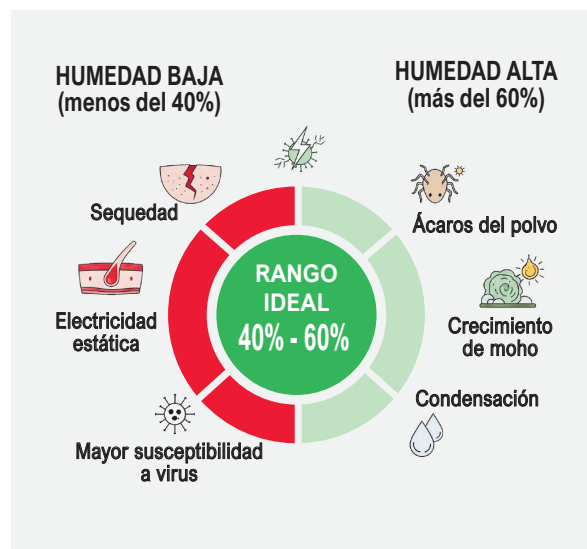


Imagen 18. **Rango de humedades aconsejables.**

2.1 CONDENSACIÓN SUPERFICIAL: (Documento de apoyo al DB HE, DA DB-HE/2)

La **condensación superficial** es un fenómeno físico que ocurre cuando el **vapor de agua presente en el aire** entra en contacto con una **superficie fría** cuya temperatura está por debajo de la **temperatura de rocío** del aire circundante. Al enfriarse, el vapor se transforma en **agua líquida**, depositándose sobre la superficie.

En esta publicación se diferenciará el origen de las condensaciones superficiales en base a dos factores principales:

Inadecuado uso de la calefacción y la ventilación de las viviendas: Es la más común y se produce cuando hay un exceso de vapor de agua en el aire interior, a menudo debido a actividades diarias como cocinar, ducharse, secar la ropa o respirar. Si la ventilación es insuficiente, el vapor de agua se acumula y se condensa en las superficies frías.

Solución constructiva incorrecta en cerramientos exteriores o puentes térmicos: Se da cuando el aislamiento de un cerramiento exterior es deficiente, permitiendo que la temperatura de la superficie interior baje significativamente, especialmente en climas fríos. Esto crea un “puente térmico” o “punto frío” donde el vapor de agua del ambiente interior puede condensarse fácilmente.

Las condensaciones superficiales, son generalmente más perceptibles en superficies no absorbentes, como ventanas, azulejos, espejos o tuberías frías, pero, además, pueden aparecer de manera menos evidente en paredes, techos o suelos si dichas superficies alcanzan una temperatura suficientemente baja.

CONSECUENCIAS DE LAS CONDENSACIONES SUPERFICIALES

Más allá de la mera molestia estética, las condensaciones superficiales persistentes pueden acarrear problemas significativos:

- **Deterioro de materiales:** El agua constante puede dañar pinturas, yeso, madera y otros materiales de construcción, provocando desconchados, manchas y pudrición.
- **Aparición de moho y hongos:** El moho y los hongos proliferan en ambientes húmedos y cálidos. No solo son antiestéticos, sino que también pueden liberar esporas que causan problemas respiratorios, alergias y otras afecciones.
- **Malos olores:** La presencia de moho y humedad puede generar un olor a “humedad” o “a cerrado” en el ambiente.
- **Reducción de la calidad del aire interior:** El moho y los ácaros, favorecidos por la humedad, pueden afectar la calidad del aire y agravar problemas de salud en personas sensibles.
- **Desvalorización del inmueble:** Consecuencia seria que puede afectar tanto al valor de mercado como a la habitabilidad del inmueble. En una tasación oficial, la presencia de humedad puede reflejarse como un **defecto constructivo o patología activa**, reduciendo el valor de tasación.

FORMACIÓN DE MOHO SUPERFICIAL

Uno de los principales síntomas de la condensación superficial es la formación de moho superficial (imagen 19), que se caracteriza por la aparición de colonias de hongos de color pardo, ubicadas en los puntos más fríos de los cerramientos. Las esporas presentes en el aire, cuando encuentran un ambiente propicio, con una humedad relativa **igual o superior al 80%**, forman colonias de hongos que se extienden por toda la superficie del cerramiento con esas características. Además de aparecer en los puntos más fríos del cerramiento, suelen persistir en los **lugares de difícil ventilación**, como esquinas, rincones, lugares cubiertos por cortinas o muebles, etc.

Para que se presenten problemas de humedad en el paramento interior de un cerramiento, no es imprescindible que ocurra condensación directa (100% de humedad relativa). Es suficiente con que se alcance una humedad relativa del 80%.



Imagen 19. Ejemplos de formación de moho superficial. (Fotografías cortesía de Carlos Mato y Manuel Rañó).

2.1.1 CÁLCULO ANALÍTICO DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES

En el **enmohecimiento superficial** ($\varphi_{si} \geq 80\%$) influyen los siguientes factores (imagen 20):

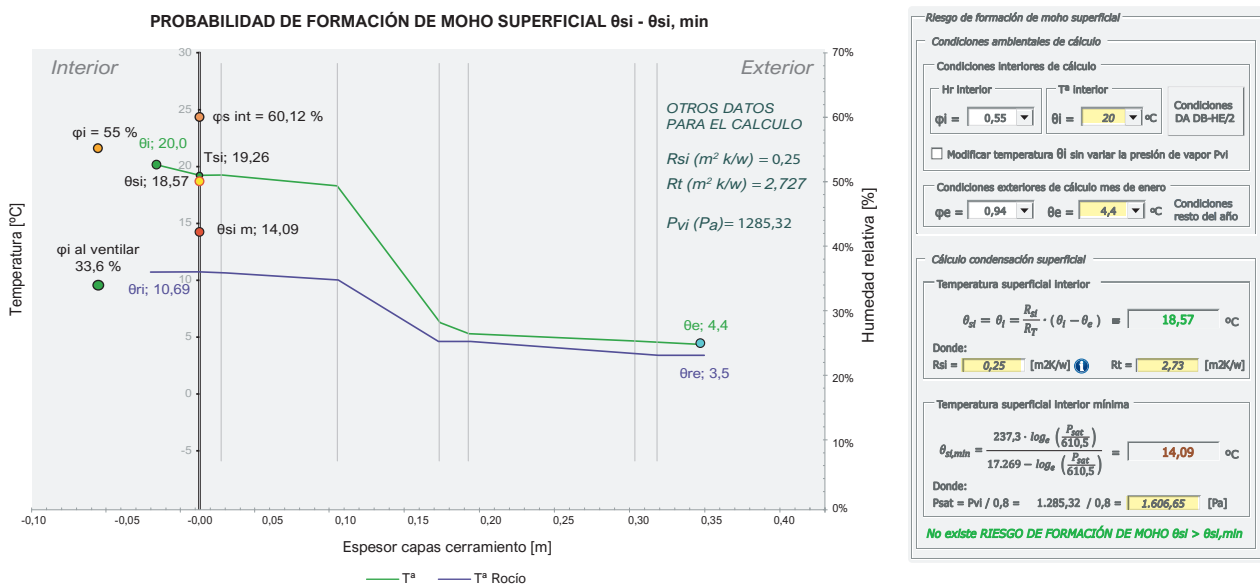


Imagen 20. Condiciones para formación de moho superficial (en amarillo datos)

- **TEMPERATURA INTERIOR θ_i [°C]:** En invierno, esta temperatura depende del uso de la calefacción: será más alta si se usa y más baja si no se usa.
- **TEMPERATURA EXTERIOR θ_e [°C]:** Este es un fenómeno atmosférico en el que no es posible influir. Viene determinado en el CTE por la zona climática de la localidad.
- **LA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR θ_{si} [°C]:** Su valor es inferior al de la temperatura interior θ_i debido a la disminución que produce la resistencia superficial interior R_{si} . Se puede calcular mediante la siguiente relación de proporcionalidad:

$$\frac{\theta_i - \theta_e}{R_T} = \frac{\theta_i - \theta_{si}}{R_{si}} \longrightarrow \theta_{si} = \theta_i - \frac{R_{si}}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

En esta ecuación hay un componente, la **temperatura interior θ_i** , que está determinado por el uso proporcionado por los **habitantes de las viviendas**, y otro, la **resistencia térmica del cerramiento R_T** , que se relaciona con la **construcción del cerramiento o puente térmico**.

- **TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMA $\theta_{si,mín}$ [°C]:** Corresponde a la temperatura en la que se alcanza una humedad relativa superficial del 80%. Está relacionada con la **presión de vapor interior**, la cual depende directamente de la **humedad relativa interior ϕ_i** , que está determinada por el **uso específico de la vivienda**.

COMPROBACIÓN DE LA LIMITACIÓN DE CONDENSACIONES SUPERFICIALES

La comprobación de la limitación de condensaciones superficiales se basa en la comparación entre:

- **Factor de temperatura de la superficie interior:** $fR_{si} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$
- **Factor de temperatura de la superficie interior mínimo:** $fR_{si,mín} = (\theta_{si,mín} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$

Para **evitar el riesgo de formación de moho** en la superficie interior del cerramiento se debe cumplir la siguiente condición:

$$fR_{si} > fR_{si, mín}, \text{ o lo que es lo mismo: } \theta_{si} > \theta_{si, mín}$$

CÁLCULO CON LA APLICACIÓN EXCEL

Este cálculo es realizado por la aplicación Excel usando los datos que tiene almacenados o calculados previamente, necesarios para realizar los siguientes cálculos. No obstante, también es posible realizar el cálculo gráfico, como se verá más adelante.

TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR

Tal como se ha expuesto previamente, la fórmula para el cálculo de la temperatura superficial interior es la siguiente:

$$\theta_{si} = \theta_i - \frac{R_{si}}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Para su determinación, se utilizan los valores de la resistencia superficial interior⁸ (R_{si}) y la resistencia térmica del cerramiento (R_T), obtenida a partir de la composición del propio cerramiento. Asimismo, se consideran la temperatura de cálculo interior (θ_i) y la temperatura de cálculo exterior (θ_e), determinada por la zona climática correspondiente. Todos estos parámetros se pueden ver en la imagen 20.

8 UNE EN ISO 13788:2001.- La temperatura superficial interior (θ_{si}) depende, entre otros factores, de la resistencia térmica superficial interior R_{si} . Este parámetro tiene un valor de 0,13 m²K/W para flujo horizontal, 0,10 m²K/W para flujo vertical ascendente y 0,17 m²K/W para flujo vertical descendente, valores empleados en el cálculo de temperaturas y condensaciones intersticiales. Para el análisis de enmohecimiento superficial, se utiliza un valor de 0,25 m²K/W en todos los tipos de cerramientos, con el propósito de cubrir situaciones como zonas con ventilación insuficiente, incluyendo rincones y esquinas, proporcionando así un margen de seguridad frente a condiciones adversas. En la normativa española, esto se indica en el apartado 4.1.2 Cálculo del factor de temperatura de la superficie interior de un cerramiento del Documento de Apoyo al DB HE1, DA – DB HE/2 sobre condensaciones: $fR_{si} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$; sustituyendo θ_{si} por su valor y haciendo $1/R_T = U$

$$fR_{si} = (\theta_i - \frac{0,25}{R_T} (\theta_i - \theta_e) - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e) = 1 - 0,25U$$

TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMA

La ecuación de cálculo de la temperatura superficial interior mínima es:

$$\theta_{si,mín} = \frac{237,3 \cdot \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)}{17.269 - \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)}$$

Para este cálculo, se requiere el valor de P_{sat} , determinado a partir de la presión de vapor interior (P_{vi}), que se obtiene, para una determinada temperatura interior, mediante la humedad relativa interior. P_{sat} se calcula como $P_{sat} = P_{vi} / 0,8^9$. El valor de P_{vi} se muestra en la imagen 20. Todos estos cálculos se reflejan en el formulario de manejo de este apartado (imagen 20 derecha).

Por último, la aplicación indica si existe riesgo de formación de moho ($\theta_{si} < \theta_{si, mín}$) o no existe ese riesgo ($\theta_{si} > \theta_{si, mín}$).

2.1.2 CÁLCULO GRÁFICO DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL INTERIOR MÍNIMA $\theta_{si,mín}$ [°C]

Como se comentó antes, el cálculo gráfico se puede realizar con ayuda del Ábaco psicrométrico siguiendo los siguientes pasos para, por ejemplo, una clase de higrometría 3 (55%) y $\theta_i = 20$ °C.

1. Se traza una vertical por la abscisa **20 °C (temperatura interior)**.
2. Donde corta a la curva $\phi_i = 55\%$ se traza una línea horizontal (**P. vapor interior**) hasta la curva de 80% de humedad relativa.
3. En el corte de esta horizontal con la curva del 80% de Hr se traza una vertical cuya intersección con el eje de temperaturas nos da la **temperatura superficial interior mínima**, en este caso **14,09 °C**.

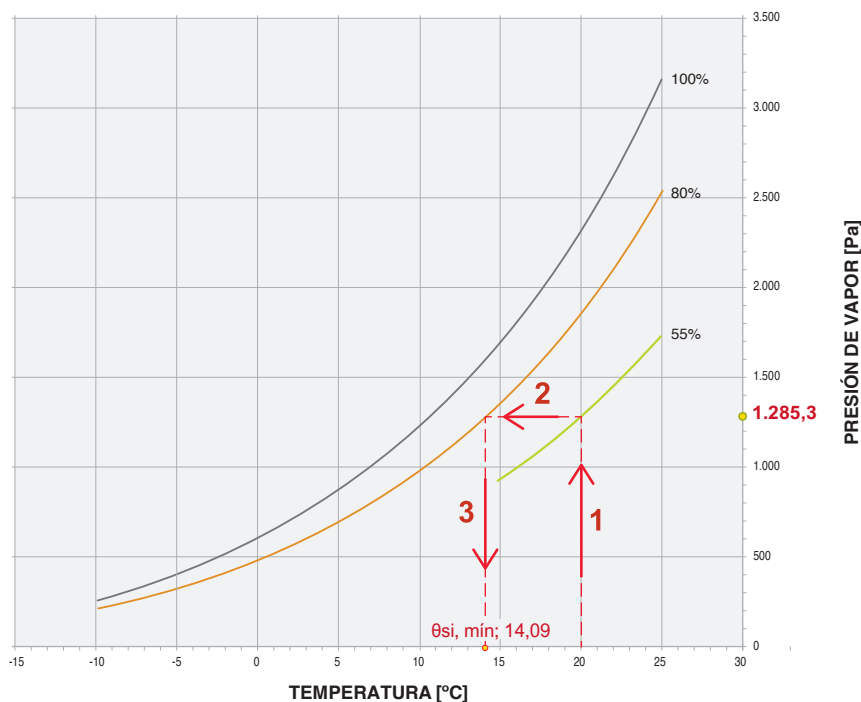


Imagen 21. Cálculo gráfico de la temperatura superficial interior mínima.

9 La P_{vi} se divide por 0,8 para calcular un valor de la temperatura superficial interior que limite la humedad relativa superficial interior al 80%.

A medida que aumenta la humedad relativa en el interior, se incrementa la probabilidad de formación de moho superficial. En el cálculo gráfico para la **misma temperatura interior** y **diferentes niveles de humedad relativa**, se puede observar lo siguiente:

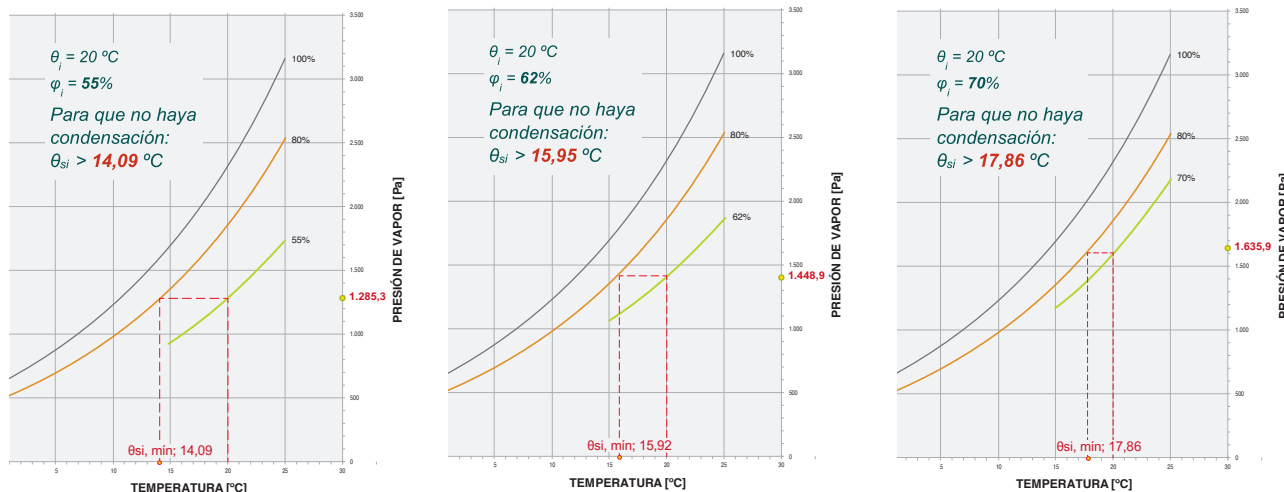


Imagen 22. Comparación entre situaciones con las mismas condiciones, pero con distinta humedad relativa.

A mayor humedad relativa interior (ϕ_i), mayor es la temperatura superficial mínima ($\theta_{si, \min}$), lo que **dificulta** cumplir $\theta_{si} > \theta_{si, \min}$ para prevenir la formación de moho superficial.

2.1.3 MEDIDAS PARA DISMINUIR EL RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL

Para evitar la condensación, es esencial **disminuir la humedad relativa interior** mediante dos métodos complementarios: **ventilación adecuada** y **calefacción eficiente** de los espacios habitables (se han de utilizar ambos métodos diariamente en invierno).

a) Ventilación: Las condiciones interiores de la vivienda antes de ventilar son las siguientes:

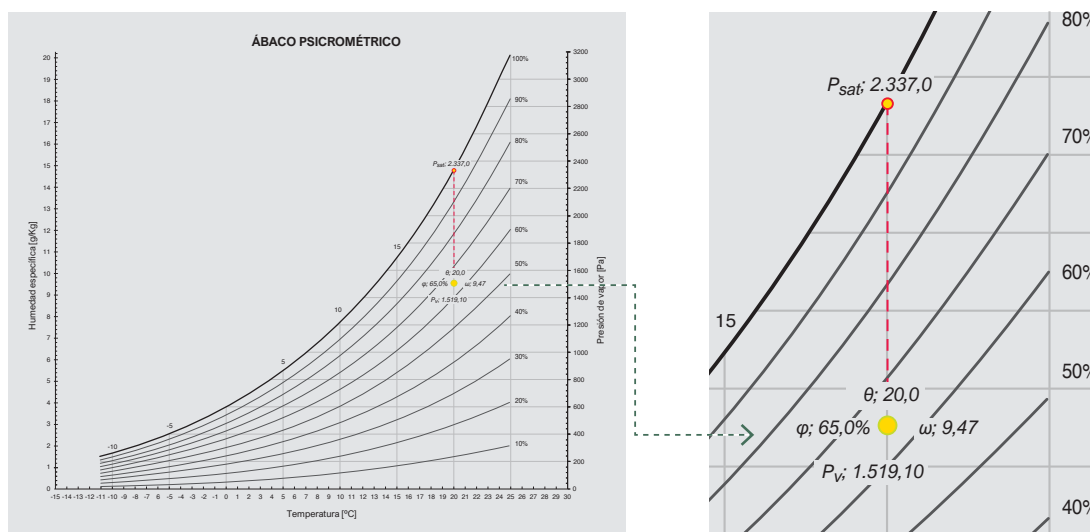


Imagen 23. Condiciones interiores de la vivienda antes de ventilar.

θ [°C]	P_s [Pa]	P_v [Pa]	ϕ [%]	ω [g/Kg]
20	2.337,0	1.519,1	$100 \times 1.519,1/2.337,0 = 65\%$	9,47

Las condiciones exteriores a la vivienda son las siguientes:

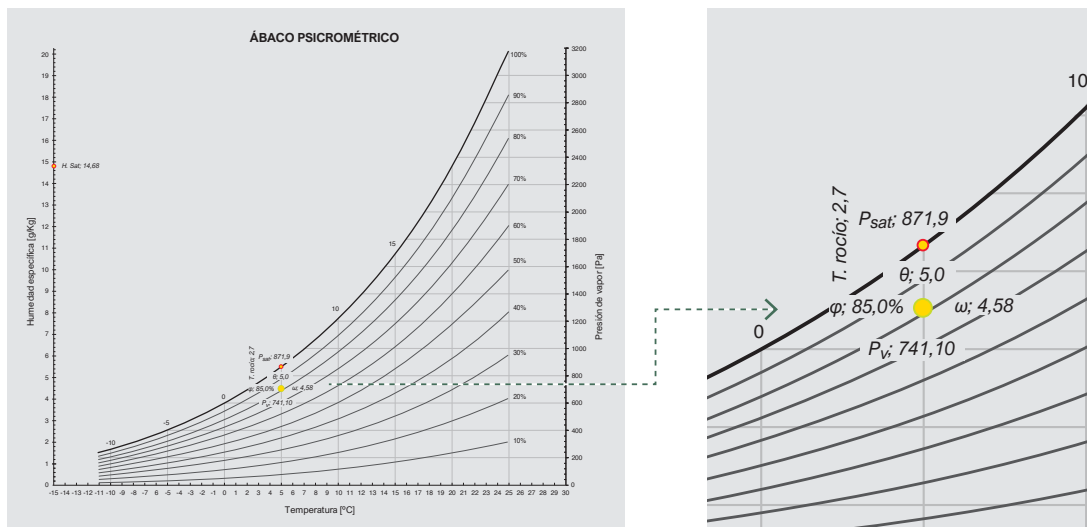


Imagen 24. Condiciones exteriores de la vivienda.

θ [°C]	P_s [Pa]	P_v [Pa]	ϕ [%]	ω [g/Kg]
5	871,9	741,1	$100 \times 741,1/871,1 = 85\%$	4,58

A pesar de que la humedad relativa en el exterior (85%) es superior a la de la casa (65%), la humedad específica en la vivienda (9,47 g/Kg) es mayor que en el exterior (4,58 g/Kg).

Se pretende mejorar la calidad del aire en el hogar, que cuenta con una humedad específica de **9,47 g/Kg** y una humedad relativa del **65%**, introduciendo aire del exterior con 4,58 g/Kg de humedad específica y calentándolo a 20 °C.

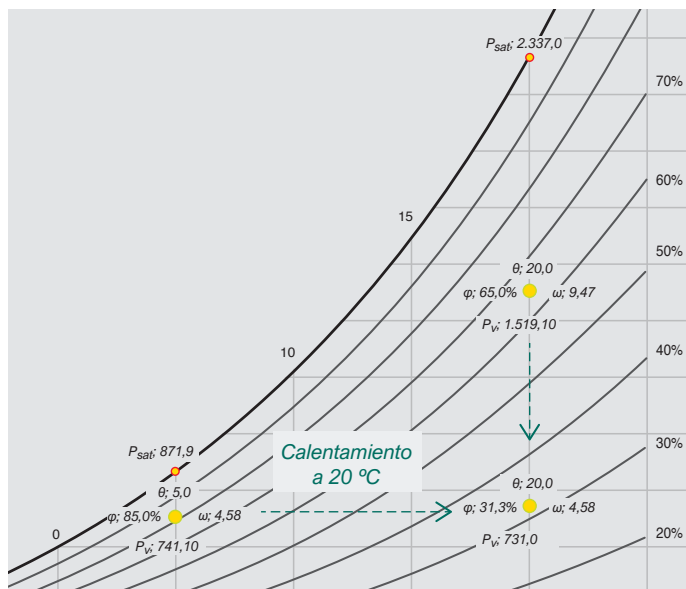


Imagen 25. Condiciones de la vivienda después de ventilar y calentar.

θ [°C]	P_s [Pa]	P_v [Pa]	ϕ [%]	ω [g/Kg]
20	2.337,0	731,0	$100 \times 731,0/2.337,0 = 31,3\%$	4,58

Con la ventilación se reduce la **presión de vapor** de **1.519,1 Pa** a **731,0 Pa**, permaneciendo invariable la **presión de saturación** en **2.337,0 Pa**, por lo que **se disminuye la humedad relativa** de la vivienda del **65%** al **31,3%**.

IMPORTANTE: El aire exterior se debe calentar mediante *Ventilación Mecánica Controlada (VMC)*, o un sistema similar (ver imágenes 106-110). Este proceso extraerá el máximo calor posible del aire interior usando un **recuperador de calor** y transfiriéndolo al aire exterior introducido.

b) Calefacción: A continuación, vamos a ver la situación de un aire con la misma humedad específica $w = 6,96 \text{ g/Kg}$ y, por tanto, la misma presión de vapor, pero con dos temperaturas diferentes:

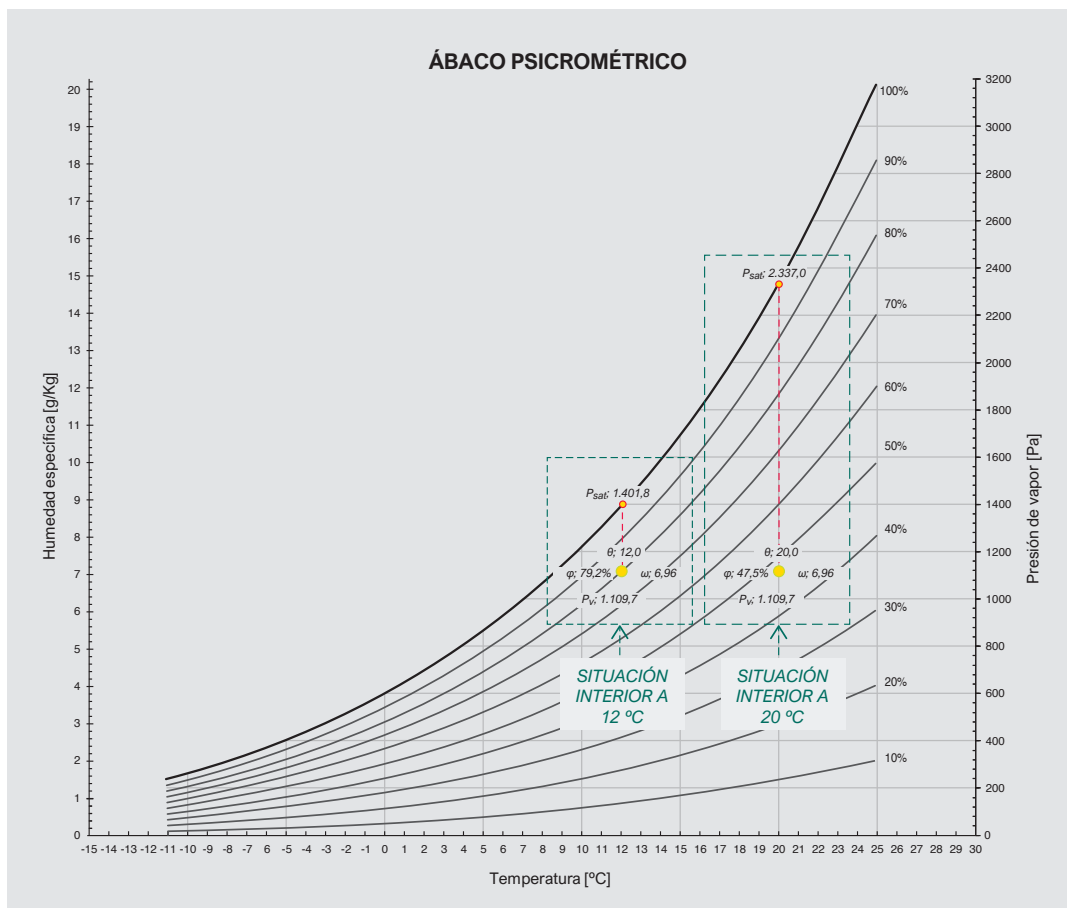


Imagen 26. Situación antes y después de calentar un aire con el mismo contenido de vapor de agua.

RESULTADO DESPUÉS DE CALENTAR SIN MODIFICAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD

Para una humedad específica $\omega = 6,96 \text{ g/Kg}$, al aumentar la temperatura de 12 °C a 20 °C , la **presión de vapor** se mantiene constante en **1.109,7 Pa**, mientras que la **presión de saturación** aumenta de **1.401,8 Pa** a **2.337,0 Pa**, lo que provoca una **disminución de la humedad relativa**, que pasa de **79,2%** a **47,5%**.

SITUACIÓN DE LA VIVIENDA A 12 °C

$\theta \text{ [°C]}$	$P_s \text{ [Pa]}$	$P_v \text{ [Pa]}$	$\phi \text{ [%]}$	$\omega \text{ [g/Kg]}$
12	1.401,8	1.109,7	$100 \times 1.109,7 / 1.401,8 = 79,2\%$	6,96

SITUACIÓN DE LA VIVIENDA A 20 °C

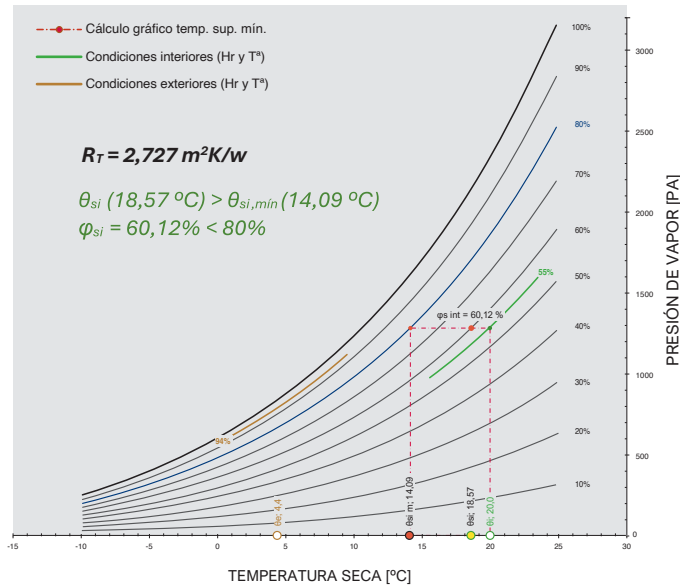
$\theta \text{ [°C]}$	$P_s \text{ [Pa]}$	$P_v \text{ [Pa]}$	$\phi \text{ [%]}$	$\omega \text{ [g/Kg]}$
20	2.337,0	1.109,7	$100 \times 1.109,7 / 2.337,0 = 47,5\%$	6,96

CONCLUSIÓN

Según los resultados obtenidos previamente, se puede concluir que, para mantener un entorno saludable en el hogar, con un **nivel adecuado de humedad relativa**, es esencial **calentar los espacios** de manera adecuada y **ventilar los ambientes** de forma regular.

- c) **Incremento de la resistencia térmica del cerramiento:** Es posible evitar o, al menos, reducir el riesgo de condensación superficial al incrementar la **resistencia térmica (R_T) de los cerramientos**.

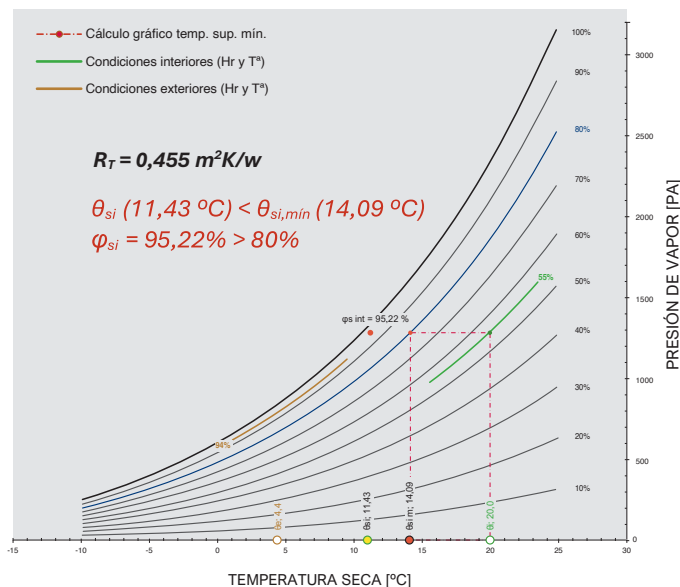
Con la misma **temperatura interior** ($\theta_i = 20\text{ °C}$), la misma **temperatura exterior** ($\theta_e = 4,4\text{ °C}$) y la misma **humedad relativa interior** ($\phi_i = 55\%$), se obtiene una temperatura superficial interior mínima de $\theta_{si, \text{mín}} = 14,09\text{ °C}$.



Si tenemos una resistencia térmica del cerramiento de **2,727 m² K/w** (ver nota al pie 8 de la página 32):

$$\theta_{si} = 20 - \frac{0,25}{2,727} \cdot (20 - 4,4)$$

Esto da un valor de $\theta_{si} = 18,57\text{ °C} > 14,09\text{ °C}$ y **no existe riesgo de condensación superficial**.



Mientras que, para una resistencia térmica de **0,455 m² K/w** en un puente térmico:

$$\theta_{si} = 20 - \frac{0,25}{0,455} \cdot (20 - 4,4)$$

Esto da un valor de $\theta_{si} = 11,43\text{ °C} < 14,09\text{ °C}$, indicando la **posibilidad de condensación superficial**.

Imagen 27. **Influencia de la resistencia térmica del cerramiento en la aparición de condensación superficial.**

En consecuencia, incrementar la resistencia térmica del cerramiento **disminuye** de manera significativa el **riesgo de condensación superficial** sobre el mismo, al minimizar las pérdidas de calor.

2.1.4 RESUMEN SOBRE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL

Para prevenir la aparición de condensación superficial, es necesario que se cumpla la siguiente condición:

$$\theta_{si} > \theta_{si, \text{mín}}$$

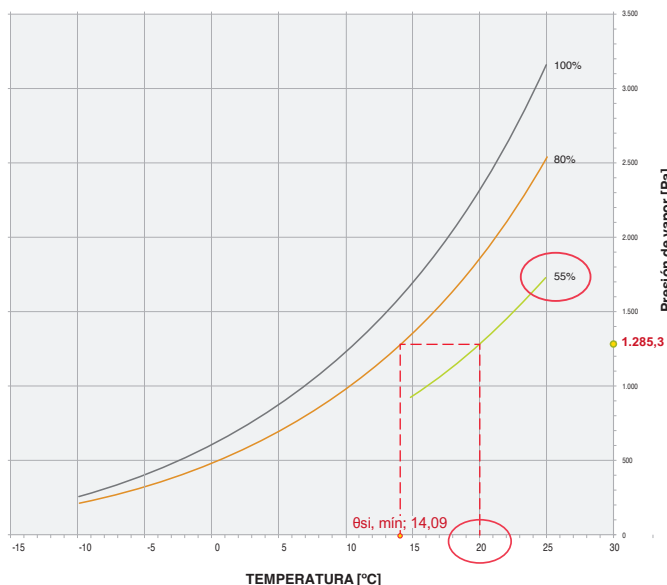


Imagen 28. Cálculo $\theta_{si, \text{mín}}$

$\theta_{si, \text{mín}}$ (en la imagen 28, 14,09 °C), depende de:

- La temperatura interior θ_i (en la imagen 20 °C)
- La humedad relativa interior ϕ_i (en la imagen 55%)

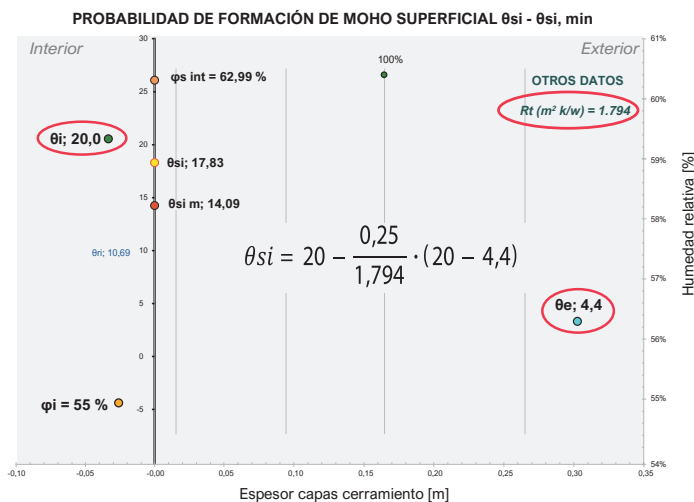


Imagen 29. Cálculo θ_{si}

θ_{si} (en la imagen 29, 17,83 °C), depende de:

- La temperatura interior θ_i (en la imagen 20 °C)
- La temperatura exterior θ_e (en la imagen 4,4 °C)
- La resistencia térmica del cerramiento R_T (en la imagen 1.794 m^2K/w)

En resumen, para minimizar el riesgo de aparición de condensaciones superficiales, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Se ha de mantener la humedad relativa interior (ϕ_i) lo más baja posible mediante una adecuada **ventilación y calefacción**.
- Se ha de asegurar que la temperatura interior (θ_i) sea lo más alta posible, favoreciendo el **uso eficiente de los sistemas de calefacción**.
- Es muy importante que la resistencia térmica (R_T) del cerramiento sea alta mediante una adecuada **composición del cerramiento con un aislamiento térmico eficiente**.

2.1.5 SOLUCIONES PARA EVITAR CONDENSACIONES SUPERFICIALES

A continuación, se presenta una lista de opciones para disminuir o prevenir el riesgo de aparición de moho en la superficie de los cerramientos:

- **Mejorar la ventilación:**
 - **Ventilación natural:** Abrir ventanas y puertas regularmente, especialmente después de cocinar o ducharse, permite que el aire húmedo salga y entre aire más seco.
 - **Ventilación mecánica:** Instalar extractores en baños y cocinas, o sistemas de ventilación mecánica controlada (VMC), puede ser muy efectivo para eliminar el exceso de humedad.
- **Reducir la producción de vapor de agua:**
 - Cubrir las ollas al cocinar.
 - Usar extractores de cocina.
 - Secar la ropa al aire libre si es posible, o usar una secadora con extracción al exterior.
 - Ducharse con la puerta del baño cerrada y abrir la ventana o usar el extractor después.
- **Mejorar el aislamiento térmico:**
 - **Aislamiento de paredes y techos:** Un buen aislamiento mantiene las superficies interiores más cálidas, elevándolas por encima del punto de rocío y evitando la condensación.
 - **Ventanas eficientes:** Reemplazar ventanas antiguas por ventanas de doble o triple acristalamiento con rotura de puente térmico reduce significativamente la pérdida de calor y las superficies frías.

2.2 CONDENSACIÓN INTERSTICIAL (Documento de apoyo al DB HE, DA DB-HE/2)

La **condensación intersticial** ocurre **dentro de los cerramientos** (muros, techos, etc.) cuando el vapor de agua que atraviesa sus capas se encuentra con una zona cuya temperatura es suficientemente baja como para que la **presión parcial del vapor supere la presión de saturación** y, entonces, **el vapor se condensa en forma de agua líquida dentro del cerramiento**. Su explicación gráfica es la de la siguiente imagen:

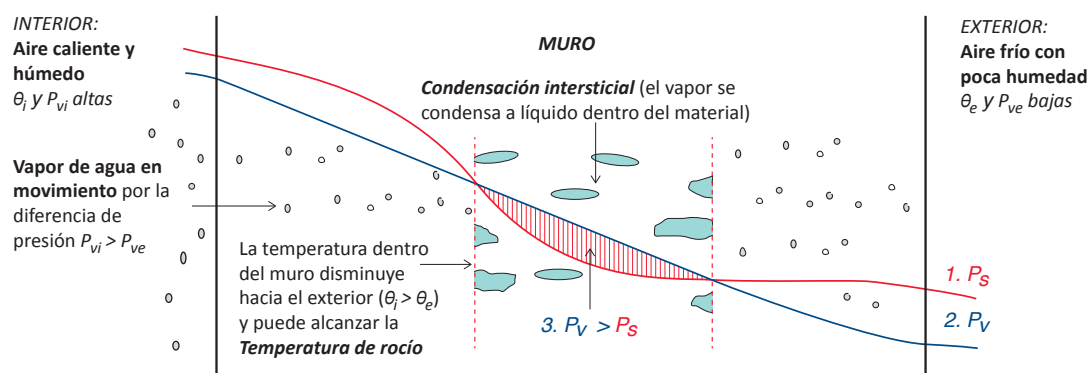


Imagen 30. Explicación gráfica de la formación de condensación intersticial dentro de un cerramiento.

Para comprobar el riesgo de aparición de condensación intersticial, tendremos que efectuar los siguientes cálculos:

1. Determinación de la **presión de saturación** (P_s) en las capas del cerramiento.
2. Determinación de la **presión de vapor** (P_v) en esos mismos puntos del cerramiento.
3. Comparación entre ambos cálculos para identificar si en algún punto **la presión de vapor alcanza o supera la presión de saturación**, lo que indicaría la presencia de condensación.

2.2.1 PRESIÓN DE SATURACIÓN EN LAS HOJAS DEL CERRAMIENTO

2.2.1.1 CÁLCULO DE DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN LAS DISTINTAS CAPAS (de interior a exterior)

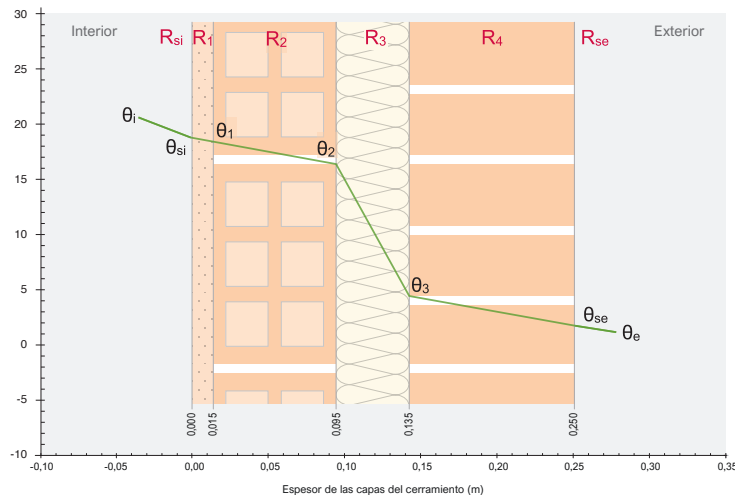


Imagen 31. Representación gráfica de la caída de temperaturas en el cerramiento.

Calculamos la resistencia térmica R_n de cada hoja, siendo la **resistencia térmica total** del cerramiento:

$$R_T = \sum R_n + R_{si} + R_{se}$$

Se puede establecer la siguiente **relación de proporcionalidad**, ya que se conocen θ_i y θ_e :

$$\frac{\theta_i - \theta_e}{R_T} = \frac{\theta_{n-1} - \theta_n}{R_n}$$

Despejando θ_n , podemos **conocer la temperatura en cada hoja**:

$$\theta_n = \theta_{n-1} - (R_n/R_T) \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

2.2.1.2 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE SATURACIÓN EN LAS DISTINTAS CAPAS

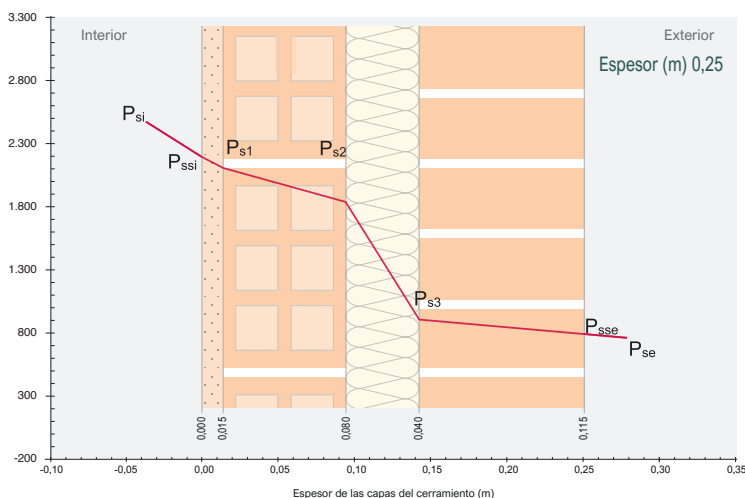


Imagen 32. Representación gráfica de la caída de presiones de saturación en el cerramiento.

Conocida la temperatura θ_n en cada hoja, **se aplican las ecuaciones psicrométricas** a cada temperatura:

$$P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}}$$

Y se obtiene la **presión de saturación** en las distintas capas del cerramiento.

2.2.2 PRESIÓN DE VAPOR EN LAS HOJAS DEL CERRAMIENTO

2.2.2.1 RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN DEL VAPOR DE AGUA

DIFUSIVIDAD O PERMEABILIDAD AL VAPOR DE AGUA

La Permeabilidad o Difusividad al vapor de agua δ_{vn} es la facilidad que presentan los materiales al paso del vapor de agua y depende de cada tipo de material. Algunas unidades de la **difusividad o permeabilidad al vapor de agua** δ_{vn} del material son:

- $(g \cdot m / MN \cdot s)$
- $(mg \cdot m / m^2 \cdot h \cdot Pa)$
- $(g \cdot cm / m^2 \cdot mmHg \cdot día)$

Son unidades complejas de memorizar y fáciles de confundir. Además, el hecho de contar con un valor en estas unidades no permite por sí solo diferenciar si el material posee una alta o baja permeabilidad al vapor de agua.

RESISTIVIDAD AL VAPOR DE AGUA

La resistividad al vapor de agua r_{vn} es la **inversa** de la permeabilidad al vapor de agua δ_{vn} y representa la dificultad que presentan los materiales al paso del vapor de agua.

$$r_{vn} = \frac{1}{\delta_{vn}}$$

RESISTENCIA AL VAPOR DE AGUA

La resistencia al vapor de agua es la **oposición al paso del vapor de agua** de un material de **espesor** determinado.

$$R_{vn} = \frac{e_n}{\delta_{vn}} = e_n \cdot r_{vn}$$

Donde:

R_{vn} = **resistencia al vapor de agua** de la capa "n" ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{mg}$)

e_n = **espesor** del material de la hoja "n" (m)

r_{vn} = la **resistividad al vapor de agua** ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{mg} \cdot \text{m}$)

RESISTIVIDAD AL VAPOR DE AGUA DEL AIRE EN REPOSO

El aire en reposo también presenta una resistencia a la difusión del vapor correspondiente a una difusividad al vapor $\delta_{va} = 0,655 \text{ mg} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$, (resistividad $r_{va} = 1 / \delta_{va} = 1,527 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa} / \text{mg} \cdot \text{m}$)

FACTOR DE RESISTENCIA AL VAPOR

Si referenciamos la difusividad o la resistividad al vapor de todos los materiales a la del aire obtenemos el siguiente coeficiente:

$$\mu = \frac{\delta_{va}}{\delta_{vm}} = \frac{r_{vm}}{r_{va}}$$

Se trata de un **valor adimensional** que refleja la relación entre la resistividad a la difusión del vapor del material y la del aire en reposo, indicando cuánto mayor es la capacidad del material para resistir el paso del vapor en comparación con el aire estático.

Ejemplos de *Factor de resistencia al vapor* de diversos materiales :

Material	μ
MW Lana mineral (aire en reposo)	1
EPS Poliestireno expandido	20
XPS Poliestireno extruido	100
Fábrica de ladrillo	10
Enfoscado con mortero de cemento	10
Enlucido de yeso	6
Lámina de PE gapada (barrera de vapor)	53×10^3

Tabla 8. **Factor de Resistencia a la difusión del vapor de diversos materiales.**

ESPESOR DE AIRE EQUIVALENTE FRENTE A LA DIFUSIÓN DEL VAPOR DE AGUA

Como se vio anteriormente:

$$R_{vn} = \frac{e_n}{\delta_{vn}} = e_n \times r_{vn}$$

Buscamos ahora una resistencia al vapor Sd_n igual, pero de aire en reposo con una resistividad a la difusión del vapor r_{va} :

$$r_{vn} \times e_n = r_{va} \times Sd_n$$

Despejando Sd_n :

$$Sd_n = e_n \times \frac{r_{vn}}{r_{va}} = e_n \times \mu_n$$

Donde:

Sd_n = **espesor de aire equivalente** frente a la difusión del vapor de agua de la hoja "n" [m]

e_n = **espesor** del material de la hoja "n" [m]

μ_n = **factor de resistencia a la difusión del vapor de agua** de la hoja "n"

Sd_n es el **espesor de aire en reposo** en **metros**, que iguala la resistencia al vapor (R_{vn}) de un material con su espesor y resistividad al vapor (r_{vn}).

La siguiente imagen muestra que **4 cm** de *Poliestireno Expandido* (EPS) son equivalentes a **80 cm** de aire en reposo en cuanto a resistencia a la difusión del vapor se refiere.



Imagen 33. Resistencia a la difusión de vapor en espesor de aire equivalente.

Ejemplos de espesor de aire equivalente a la resistencia a la difusión del vapor:

Material	e [m]	μ	Sd [m]
MW Lana mineral (aire en reposo)	0,040	1	0,04
EPS Poliestireno expandido	0,040	20	0,80
XPS Poliestireno extruido	0,040	100	4,00
Fábrica de ladrillo	0,080	10	0,80
Enfoscado con mortero de cemento	0,015	10	0,15
Enlucido de yeso	0,015	6	0,09
Lámina de PE gapada (barrera de vapor)	0,00015	53×10^{-3}	8,00

Tabla 9. Espesor de aire equivalente de diversos materiales con un determinado espesor.

2.2.2.2 CÁLCULO DE DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES DE VAPOR EN LAS DISTINTAS CAPAS (de interior a exterior)

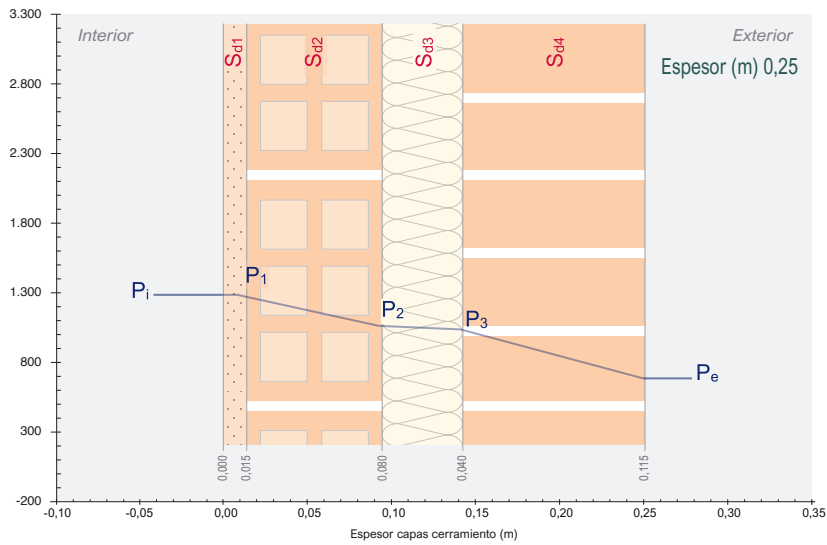


Imagen 34. Representación gráfica de la caída de presiones de vapor en el cerramiento.

Calculamos la resistencia a la difusión del vapor Sd_n de cada hoja, siendo la resistencia a la difusión del vapor total del cerramiento:

$$Sd = Sd_1 + Sd_2 + Sd_3 + Sd_4$$

Se puede establecer la siguiente relación de proporcionalidad, ya que se conocen P_i y P_e :

$$\frac{P_i - P_e}{Sd} = \frac{P_{n-1} - P_n}{Sd_n}$$

Despejando P_n , podemos conocer la presión de vapor en cada hoja:

$$P_n = P_{n-1} - (Sd_n/Sd) \cdot (P_i - P_e)$$

2.2.3 REPRESENTACIÓN DE LOS CÁLCULOS EFECTUADOS EN UN ÚNICO GRÁFICO

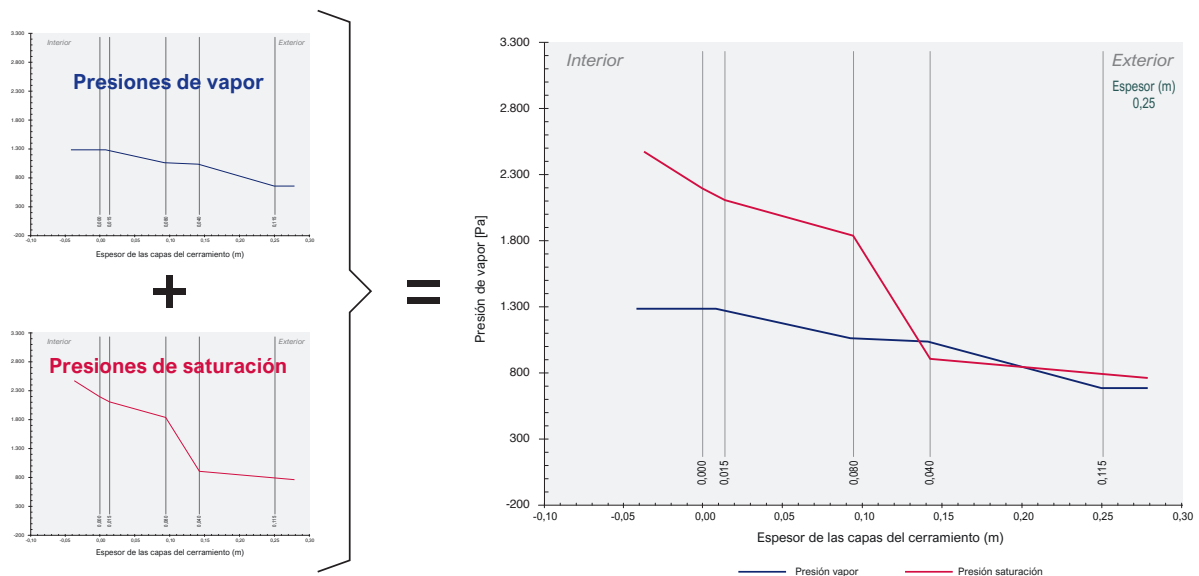


Imagen 35. Representación presión de vapor - presión de saturación en un solo gráfico.

Si las gráficas **se cruzan** (imagen 36), la **presión de vapor iguala o supera** en algún punto del cerramiento la **presión de saturación** y, por tanto, existe riesgo de condensación intersticial. En cambio, si las gráficas **no se cruzan** (imagen 37), la **presión de vapor va siempre por debajo de la presión de saturación** y no hay riesgo de condensación intersticial.

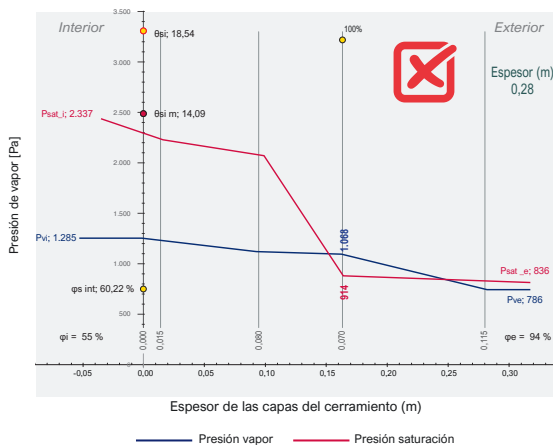


Imagen 36. **Cruce de gráficas: riesgo de condensación intersticial.**

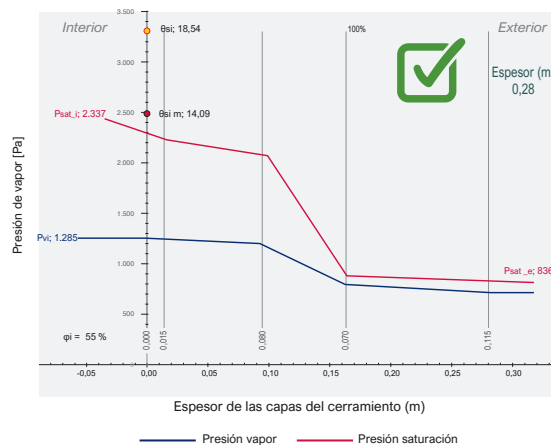


Imagen 37. **Sin cruce de gráficas: no hay riesgo de condensación intersticial.**

2.2.4 CONSIDERACIONES SOBRE EL TIPO Y LA COLOCACIÓN DEL AISLANTE

CAÍDA DE PRESIONES EN EL AISLANTE TÉRMICO

La caída de **presiones de vapor** depende de la **resistencia a la difusión del vapor** de la hoja. En los aislantes, esta resistencia es generalmente baja, excepto en el caso del vidrio celular, que se utiliza poco en edificación:

- Muy baja en lanas minerales ($\mu=1$)
- Muy baja en poliuretanos (μ entre 1 y 10)
- Baja en poliestirenos expandidos ($\mu=20$)
- Alta en poliestirenos extruidos ($\mu=100$)
- Muy alta en vidrios celulares ($\mu=1.000.000$)

Esto hace que, **en el aislante**, la **presión de vapor baje poco o muy poco** (línea gruesa azul en imagen 38).

Sin embargo, la caída de **presiones de saturación** depende de la **temperatura de la hoja** (ecuaciones psicrométricas) la cual es muy alta en la cara caliente del aislante y muy baja en su cara fría. Esto hace que, **en el aislante**, la **presión de saturación baje mucho** (línea gruesa roja en imagen 38).

Como resultado de todo esto, el **aislante** se convierte en el **punto más crítico** del cerramiento en relación con la formación de **condensaciones intersticiales**.

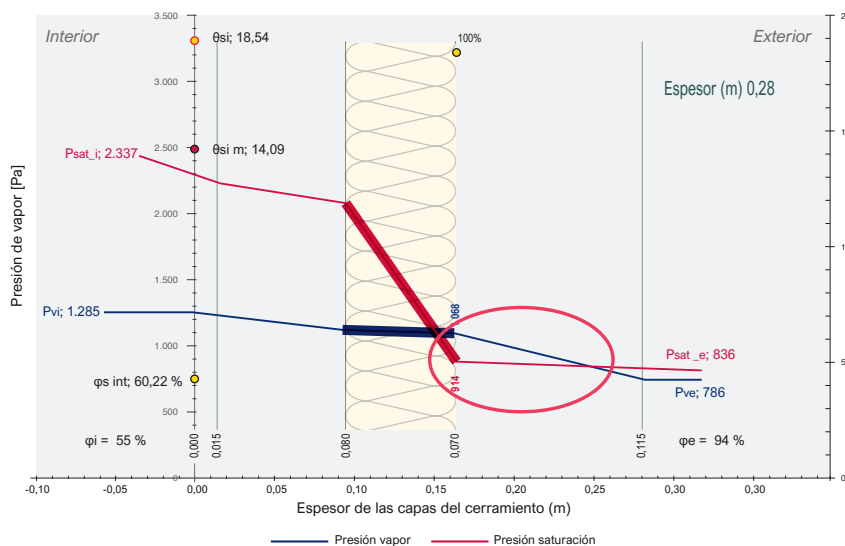


Imagen 38. **$P_v - P_{sat}$ en el aislante térmico.**

2.2.5 POSIBLES SOLUCIONES A LA PRODUCCIÓN DE CONDENSACIÓN INTERSTICIAL

Una posible solución es que el **aislante** cuente con una **alta resistencia al vapor de agua**, lo que facilita una reducción significativa y gradual de la **presión de vapor** al pasar a través de él; asegurando que en todo momento se mantenga por debajo de la **presión de saturación**.

4 cm. de **XPS poliestireno extruido** ($\mu = 100$). Esto implica una **alta resistencia a la difusión del vapor** del propio aislante, que corrige el problema de una forma gradual.

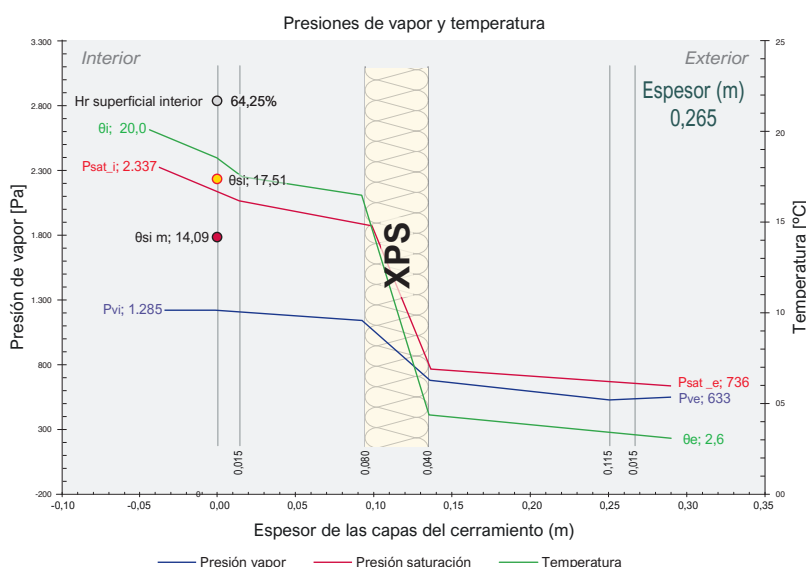


Imagen 39. Solución con un XPS, $\mu = 100$.

Otra alternativa es colocar una **barrera de vapor** en el **lado caliente del aislamiento**; lo que genera un descenso abrupto de la **presión de vapor** en su superficie, suficientemente significativo como para mantenerse siempre por debajo de la **presión de saturación**.

4 cm. de **EPS poliestireno expandido** ($\mu = 20$), con **barrera de vapor** colocada en la cara caliente del aislante: se produce una bajada de la presión de vapor en la superficie de la propia barrera que permite a la curva de **presiones de vapor** ir siempre por debajo de la curva de **presión de vapor saturado**.

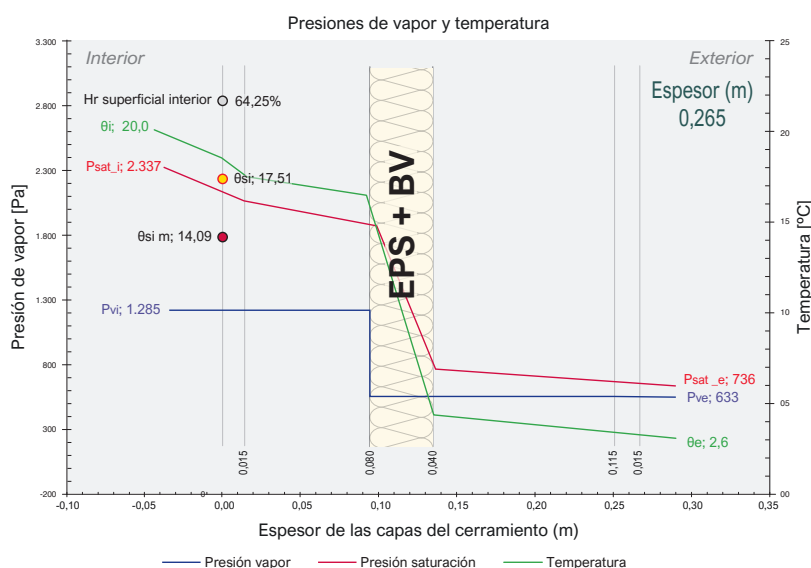


Imagen 40. Solución con barrera de vapor.

INFLUENCIA DE LA POSICIÓN DEL AISLANTE

Por otro lado, una forma alternativa de prevenir las condensaciones intersticiales consiste en **colocar el aislante lo más próximo posible al exterior**:

Los valores de la curva de presiones de vapor son más elevados en las áreas más próximas al interior, dado que han atravesado menos capas, lo que significa que la **resistencia al vapor superada** es menor.

Si el material aislante se instala en el área donde la **presión de vapor es más alta**, la rápida disminución de la **presión de saturación** que este genera provoca condensación intersticial.

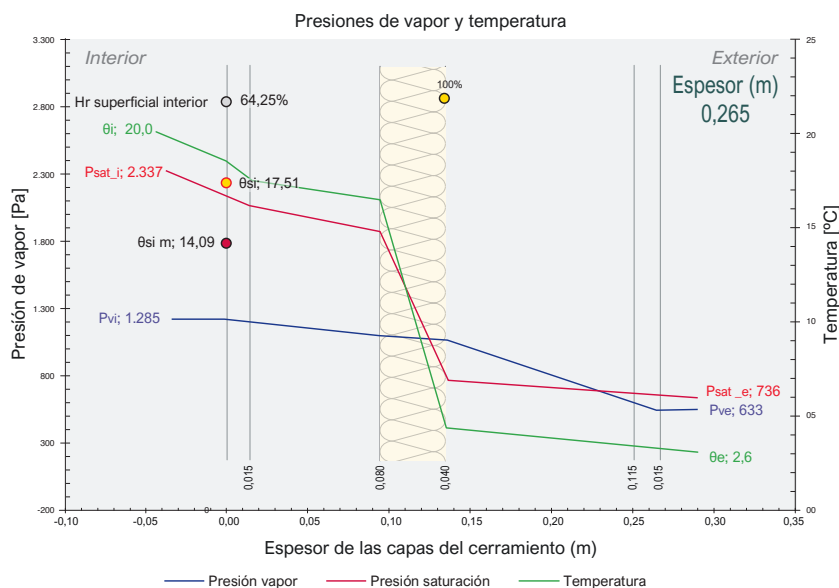


Imagen 41. Aislamiento térmico cerca del interior.

Al situar el aislante en la **parte más fría** del cerramiento, se retiene una mayor cantidad de calor, lo que contribuye a mantener una presión de saturación más elevada en esa área. En contraste, la caída abrupta de la presión de saturación ocurre en la región donde la presión de vapor es más baja.

En una *fachada SATE* o *ventilada*, no se producen condensaciones intersticiales.

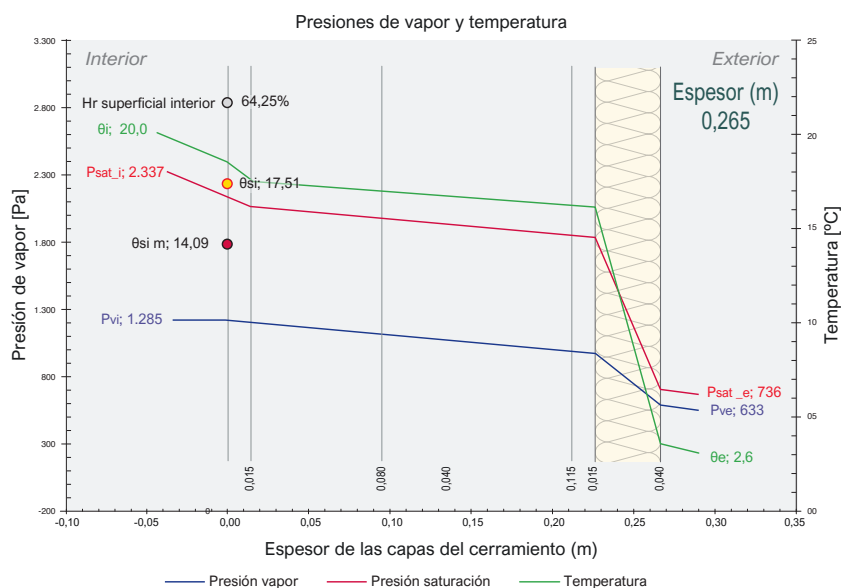
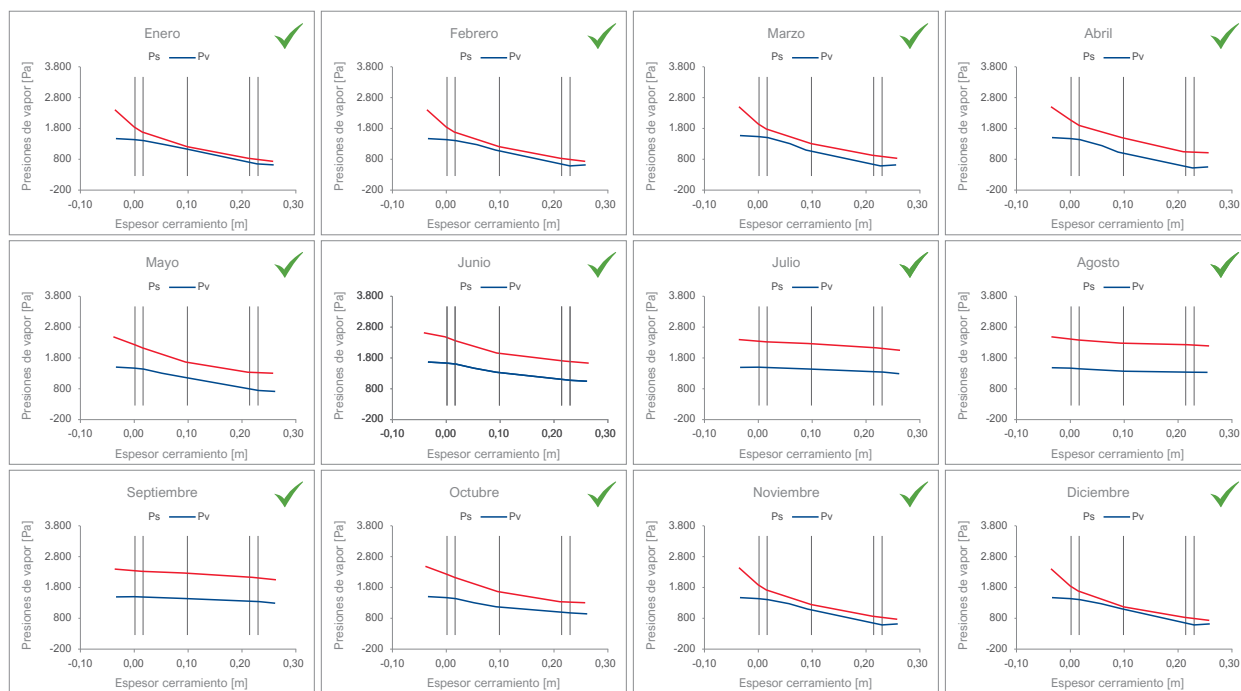
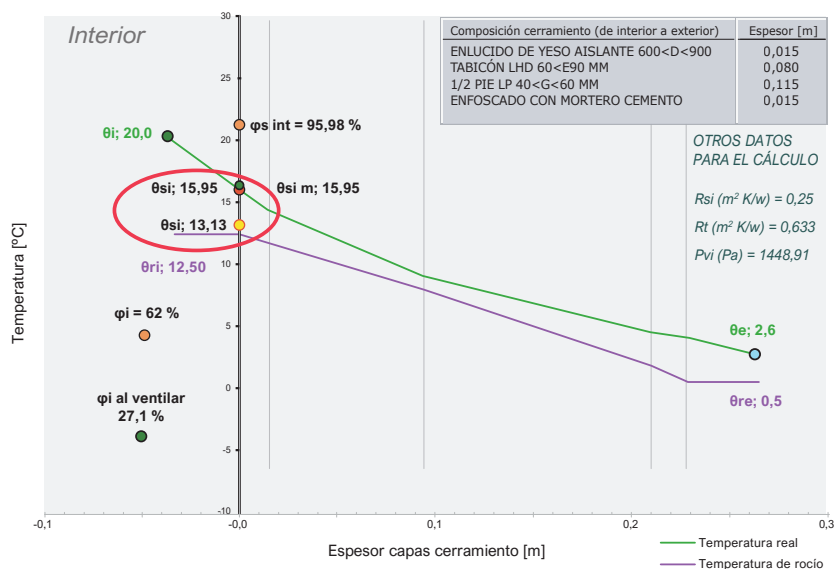


Imagen 42. Aislamiento térmico en el exterior.

Los materiales aislantes (como lana mineral, MW; EPS; XPS; PUR; etc.) tienen una *baja conductividad térmica* cuando están secos, gracias al aire inmóvil contenido en su estructura. Sin embargo, cuando absorben agua: el *agua sustituye al aire*, aumentando la conductividad térmica; el *aislamiento pierde eficacia*, ya que el agua transmite el calor mucho mejor que el aire; se puede favorecer la aparición de *mocho*, *degradación del material* y *condensaciones internas*. Si **se deja de tener en cuenta el aislante en el cálculo**, **no hay condensación intersticial** en ningún mes, pero **aparece un riesgo muy elevado de condensación superficial**, como se puede observar en la imagen 45, donde el cálculo indica que la θ_{si} (13,13 °C) es inferior a la $\theta_{si, \min}$ (15,95 °C).

PROBABILIDAD DE FORMACIÓN DE MOHO SUPERFICIAL $\theta_{si} - \theta_{si, \min}$



Capital: Burgos; Localidad: Burgos, Altitud: 861 m.s.n.m. (Zona Climática E1)

Exterior: $T [^{\circ}C]$: 2,6; 3,9; 5,7; 7,6; 11,2; 15; 18,4; 18,3; 15,5; 11,1; 5,8; 3,2
 $HR [\%]$: 86; 80; 73; 72; 69; 67; 61; 62; 67; 76; 83; 86

Interior: $T [^{\circ}C]$: 20; $HR [\%]$: 62

, 04 julio 2025
 El arquitecto técnico

Imagen 45. Cálculo sin tener en cuenta el aislante térmico.

Una solución a este problema en edificios existentes consiste en un **revestimiento SATE** (Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior), es una solución constructiva que consiste en aplicar un **aislamiento térmico** en la cara exterior de los cerramientos opacos de un edificio, recubriéndolo después con un revestimiento protector y decorativo. Este sistema resuelve el problema de **condensación superficial** y, además, resuelve el problema de los **puentes térmicos**.

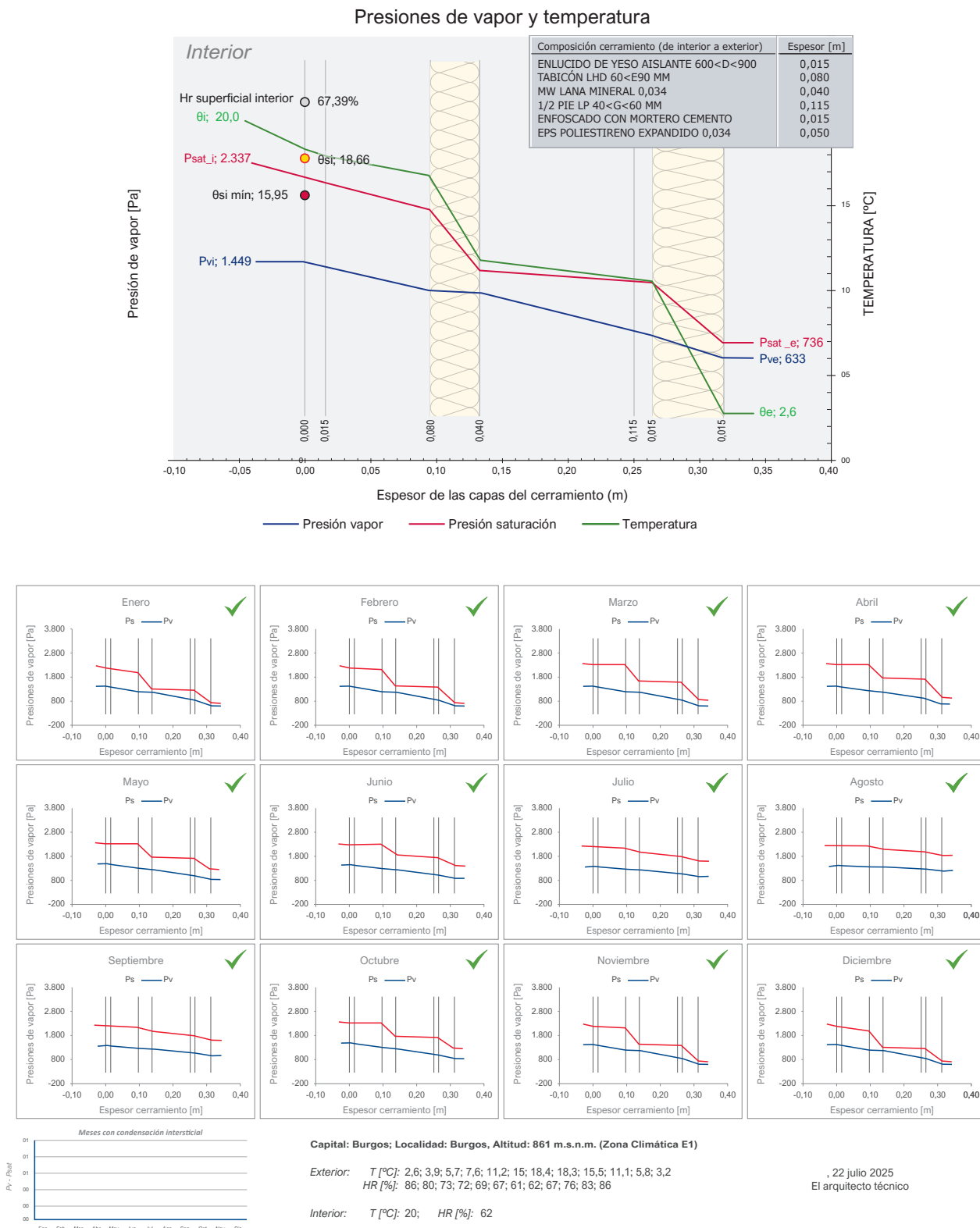


Imagen 46. Solución con un Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE).

Ventajas principales del SATE:

- Mejora del aislamiento térmico continuo, sin puentes térmicos.
- Reduce el consumo energético en calefacción y refrigeración.
- Evita condensaciones intersticiales en muchos casos.
- Se produce una revalorización del inmueble.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DETALLADA

La siguiente imagen muestra una representación detallada del riesgo de condensación, tanto superficial como intersticial:

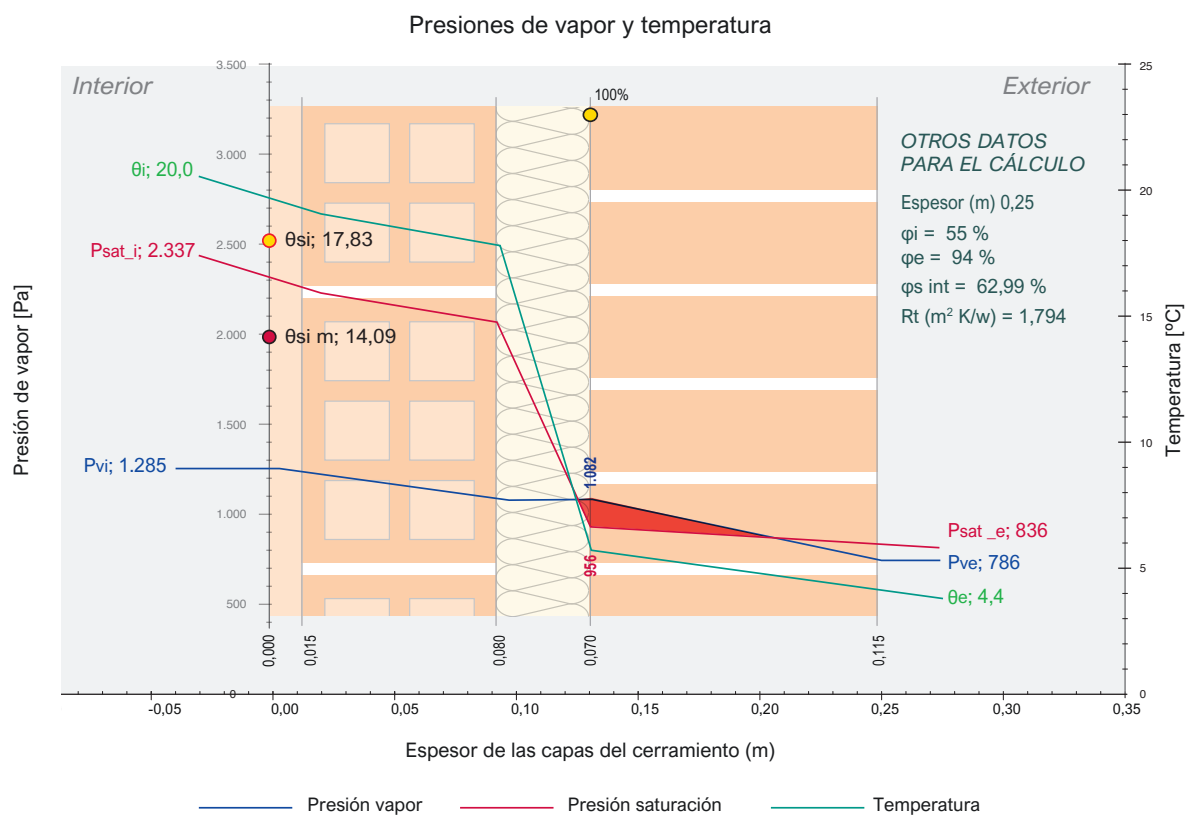


Imagen 47. Representación detallada del riesgo de condensación superficial e intersticial.

En esta gráfica se representan:

- Las curvas de **presiones de vapor** (P_v y P_{sat}), con sus valores interior y exterior y los valores donde P_v supera a P_{sat} . En ellas se indica si existe riesgo de **condensaciones intersticiales** cuando se cruzan dichas gráficas.
- La curva de la **temperatura** en un eje secundario de 'Temperatura [°C]', que, junto a las temperaturas superficial interior (θ_{si}) y superficial interior mínima ($\theta_{si, mín}$), indican la probabilidad de **formación de moho superficial** si $\theta_{si} \leq \theta_{si, mín}$, lo cual implica una $\phi_{sup, int} > 80\%$.
- También se reflejan las humedades relativas interior y exterior (ϕ_i y ϕ_e).

CAPÍTULO 3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS GRÁFICOS

La aplicación Excel permite obtener informes con cuatro tipos de gráficos diferentes:

3.1 TEMPERATURA – TEMPERATURA DE ROCÍO

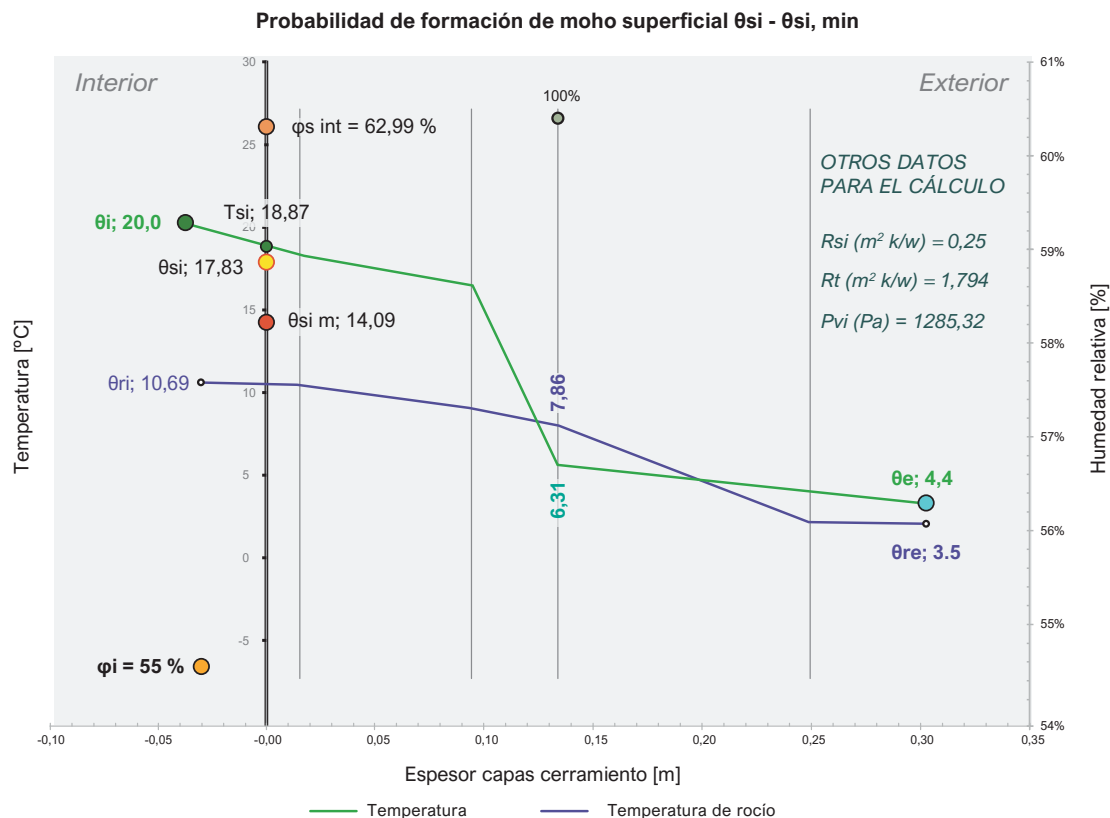


Imagen 48. Gráficas Temperaturas - Cerramiento.

Esta gráfica es particularmente útil para verificar las **condensaciones superficiales**, ya que proporciona valores de **temperatura interior** θ_i , **temperatura exterior** θ_e y **temperatura superficial interior** θ_{si} , junto con el valor de la **resistencia térmica** R_T del cerramiento. Además, detalla la **humedad relativa interior**, la cual influye significativamente en la $\theta_{si, \min}$ a través de su propio eje de humedad relativa, siendo todos estos factores determinantes en el análisis de este proceso.

3.2 PRESIÓN DE VAPOR - TEMPERATURA

En él se representan:

- Las curvas de **presiones de vapor** P_v y P_{sat} [Pa], con los valores **interior**, **exterior** y aquellos en los que $P_v \geq P_{sat}$. En ellas se indica si existe riesgo de **condensación intersticial** (existe si las dos curvas se cruzan).
- La curva de la **temperatura** en un eje secundario de 'Temperatura [°C]' que, junto a las temperaturas superficial interior θ_{si} y superficial interior mínima $\theta_{si, \min}$, indican la probabilidad de **formación de moho superficial** si $\theta_{si} \leq \theta_{si, \min}$, lo cual implica una $\phi_{sup. \text{ int}} \geq 80\%$.

Presiones de vapor y temperatura

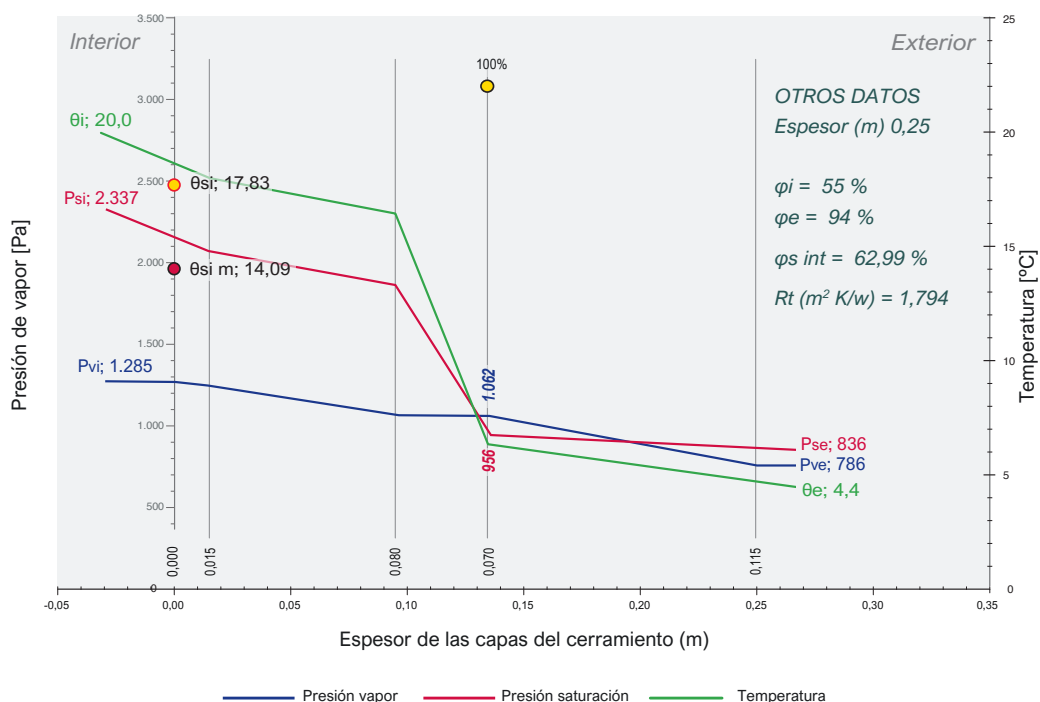


Imagen 49. Gráficas Presiones de vapor y Temperatura - Cerramiento.

3.3 PRESIÓN DE VAPOR – PRESIÓN DE SATURACIÓN FRENTE A LA RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN DE VAPOR (se define en el Documento de apoyo al DB HE1 DA DB-HE/2).

Presión de vapor - Resistencia difusión vapor

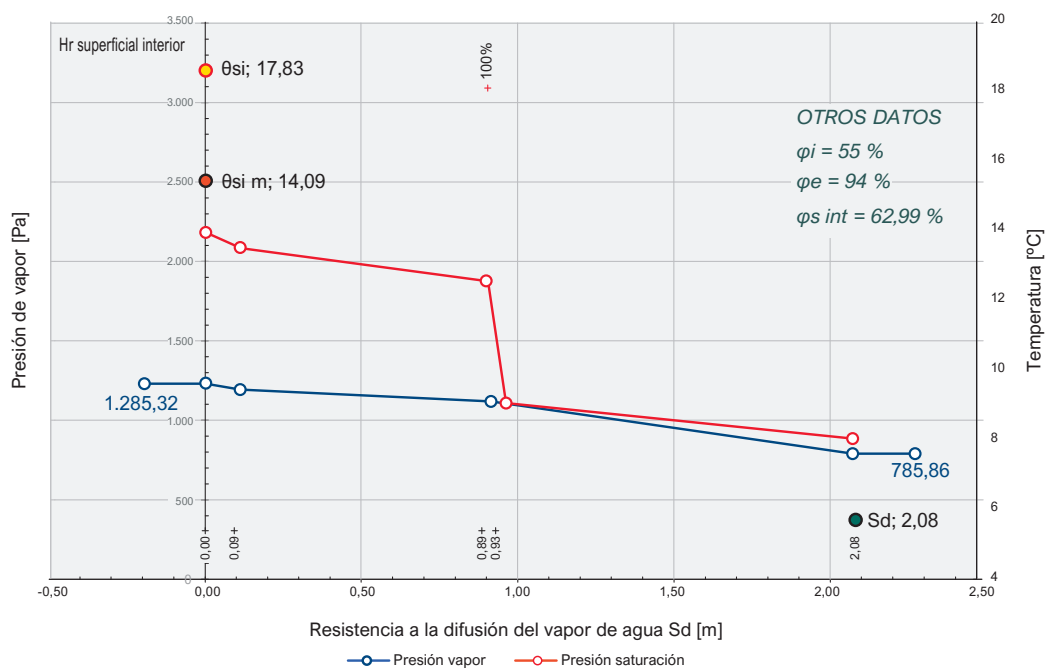


Imagen 50. Gráficas Presiones de vapor - Resistencia a la difusión del vapor.

3.4 PRESIÓN DE VAPOR – TEMPERATURA EN EL ÁBACO PSICROMÉTRICO

(el menos utilizado, pero tiene ventajas en algunos casos).

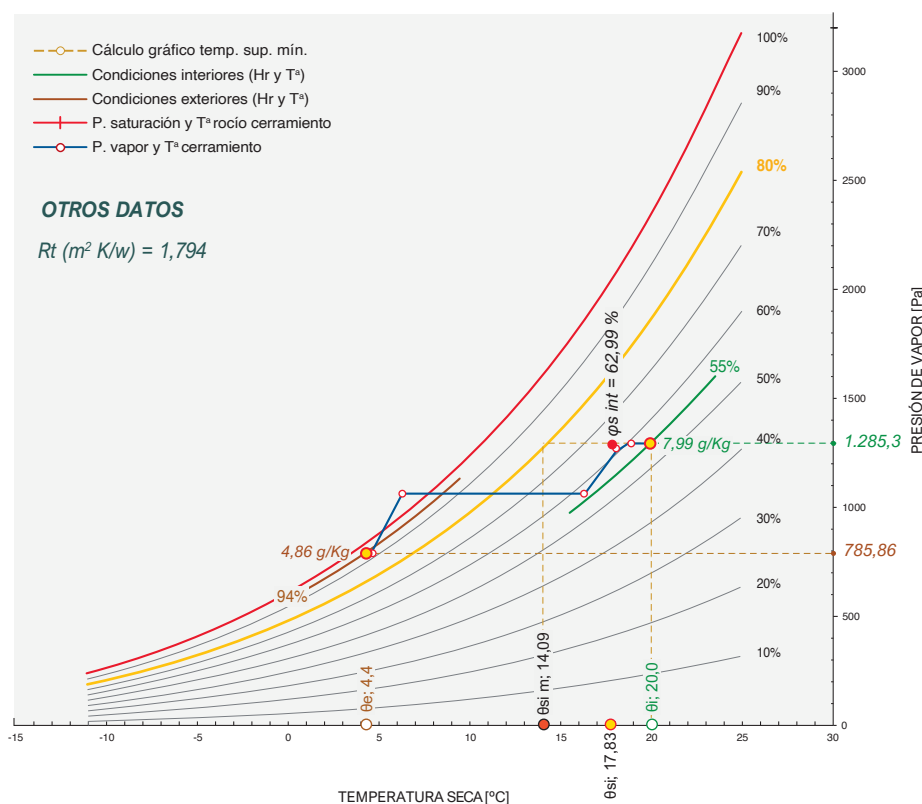


Imagen 51. Gráficas Presiones de vapor - Resistencia a la difusión del vapor.

Todos ellos presentan los **mismos resultados**:

PARA CONDENSACIÓN SUPERFICIAL

- Temperatura superficial interior θ_{si} [°C] (en las imágenes anteriores $\theta_{si} = 17,83$ °C)
- Temperatura superficial interior mínima $\theta_{si, \text{mín}}$ [°C] (en las imágenes anteriores $\theta_{si, \text{mín}} = 14,09$ °C)
- Humedad relativa superficial interior ϕ_{si} [%] (en las imágenes anteriores $\phi_{si} = 62,99\%$)

PARA CONDENSACIÓN INTERSTICIAL

- Se produce cuando se cruzan las gráficas de presión de saturación y de vapor en los gráficos de presiones de vapor (imágenes 49, 50 y 51) y, también, cuando se cruzan las gráficas de temperatura y temperatura de rocío en el gráfico de temperaturas (imagen 48). En los casos anteriores, la presión de vapor supera a la de saturación en una capa, por lo que existe riesgo de condensación intersticial.

Para Presiones de vapor – Temperatura y para Ábaco Psicrométrico tenemos los 3 casos que se citan a continuación:

CASO 1

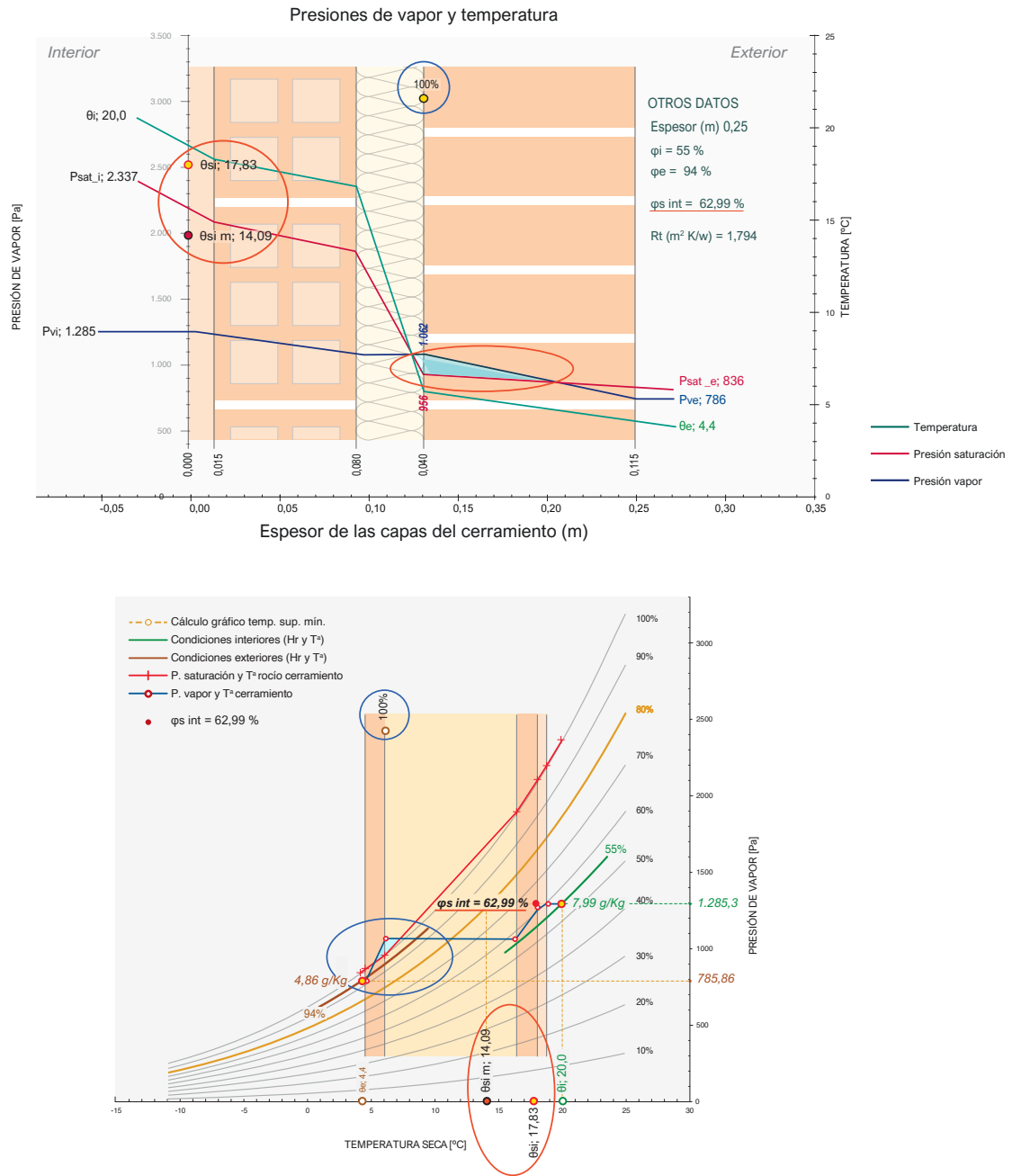


Imagen 52. Caso 1: Condensación intersticial.

A efectos de formación de **moho superficial**:

- La **temperatura superficial interior** (17,83 °C) es superior a la **temperatura superficial mínima** (14,09 °C).
- La **humedad relativa en la superficie del cerramiento**, 62,99%, es inferior al 80%.
- No hay riesgo de formación de moho superficial.**

A efectos de **Condensación intersticial**:

- La **presión de vapor** es superior a la **presión de saturación** en la capa 3 (aislante térmico).
- La **humedad relativa** en la capa 3 alcanza el 100%.
- Se produce riesgo de condensación intersticial.**

CASO 2

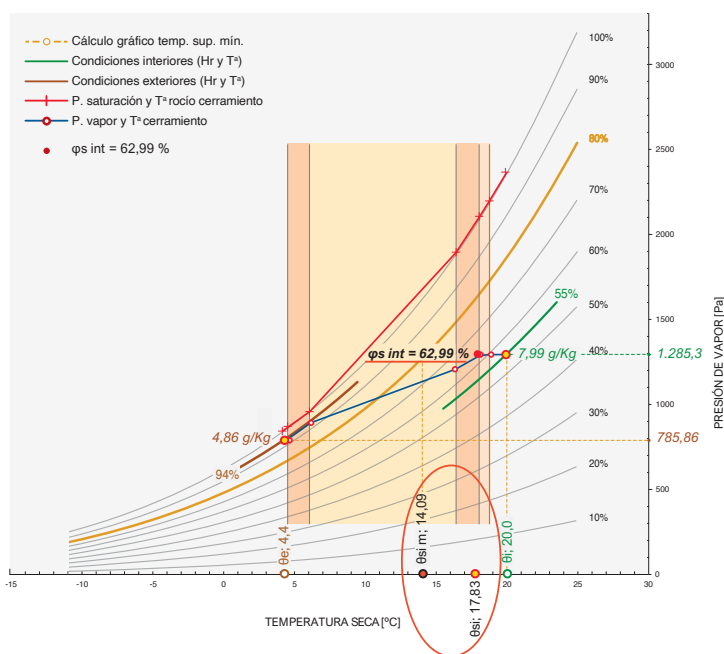
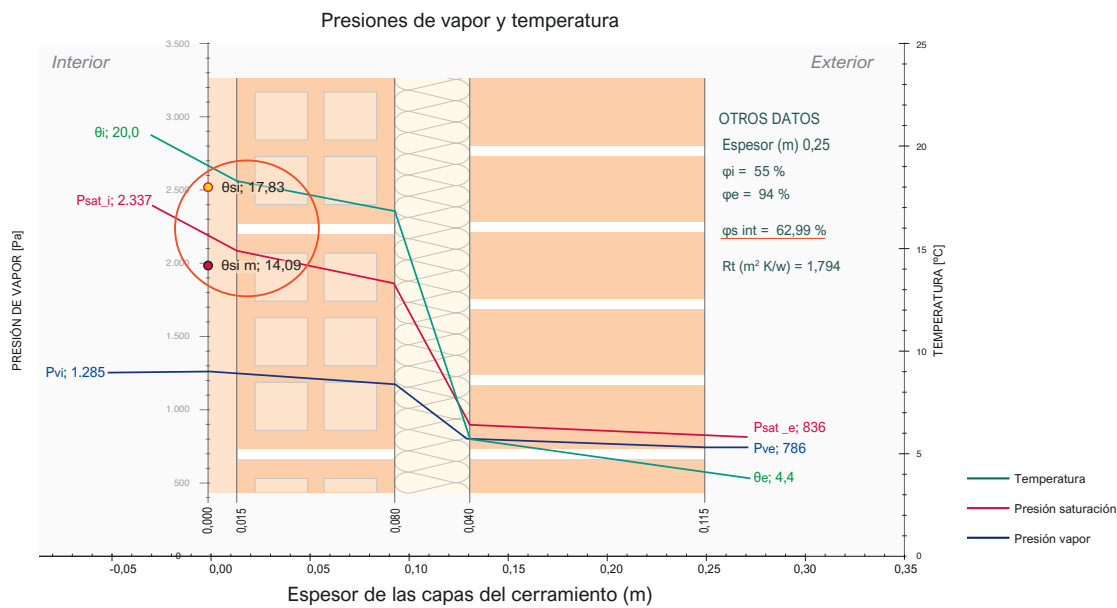


Imagen 53. **Caso 2: Sin condensación.**

A efectos de formación de **moho superficial**:

- La **temperatura superficial interior** (17,83 °C) es superior a la **temperatura superficial mínima** (14,09 °C).
- La **humedad relativa en la superficie del cerramiento**, 62,99%, es inferior al 80%.
- **No hay riesgo de formación de moho superficial.**

A efectos de **Condensación intersticial**:

- La **presión de saturación** va por encima de la **presión de vapor** en todas las capas del cerramiento
- **No se produce riesgo de condensación intersticial.**

CASO 3

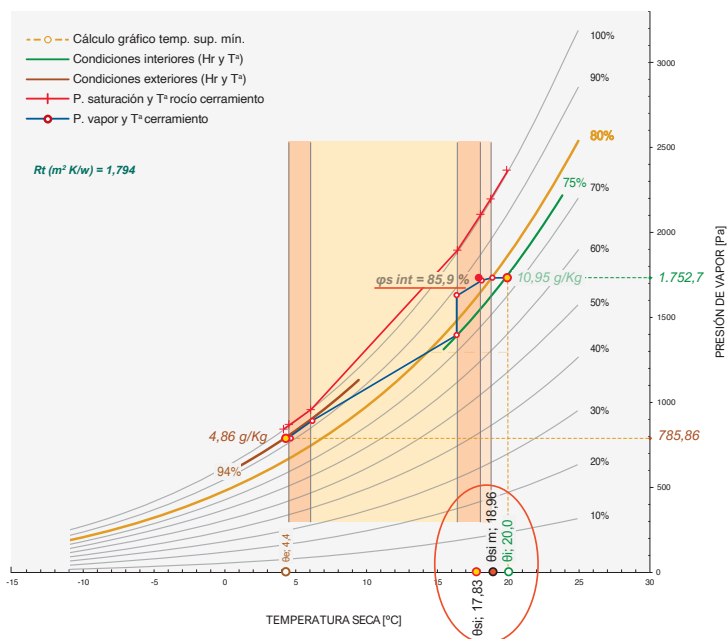
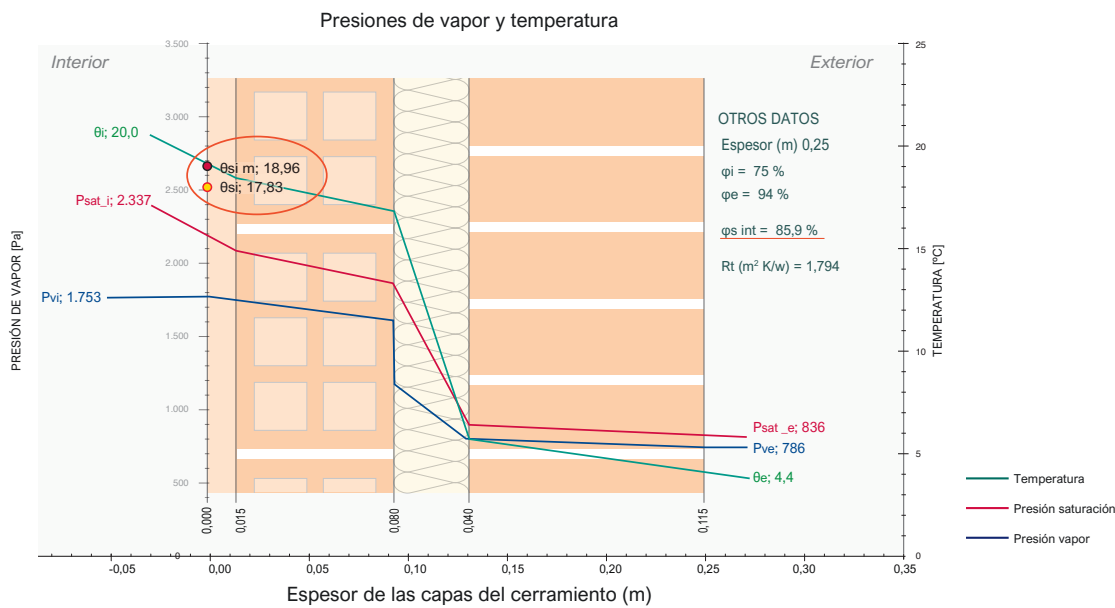


Imagen 54. Caso 3: Riesgo de formación de moho superficial.

A efectos de formación de **moho superficial**:

- La **temperatura superficial interior** (17,83 °C) es inferior a la **temperatura superficial mínima** (18,96 °C).
- La **humedad relativa en la superficie del cerramiento**, 85,9%, es superior al 80%.
- Existe riesgo de formación de moho superficial.**

A efectos de **Condensación intersticial**:

- La **presión de vapor va por debajo de la presión de saturación en todas las capas del cerramiento.**
- No se produce riesgo de condensación intersticial.**

PARTE II

ESTUDIO HIGROTÉRMICO DE LA VIVIENDA. CASOS REALES

Para el estudio higrotérmico de la vivienda se requiere el registro de la temperatura y la humedad durante varios días. Una vez trasladados estos registros a la herramienta de apoyo en Excel, esta evalúa si el uso de la vivienda es adecuado y genera gráficos de:

- La temperatura interior en comparación con los límites normativos
- Humedad relativa en comparación con los límites normativos

Al introducir los datos del cerramiento, la aplicación genera una tercera gráfica de la humedad relativa en la superficie interior del cerramiento (ϕ_{si}) y establece una comparación entre esta y el umbral del 80% en el que se produce enmohecimiento.

En este apartado, además, se exponen casos reales de aparición de condensaciones en cerramientos y se explica el proceso completo a seguir por el redactor del informe que tenga que acometer este estudio para la elaboración del informe técnico.

CAPÍTULO 4 INFORME TÉCNICO. TERMOHIGRÓMETRO

Como se ha mencionado antes, el origen de las condensaciones superficiales puede deberse a dos factores: por un lado, a una solución constructiva incorrecta en cerramientos exteriores o puentes térmicos y, por otro lado, a un inadecuado uso de la calefacción y la ventilación de las viviendas. Cuando se solicita el análisis de una vivienda, se puede obtener información útil al comparar el estado de esta con las viviendas restantes en la misma columna de la vivienda afectada, sobre la cual se solicita un informe pericial, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si todas o la mayoría de las viviendas presentan los mismos síntomas: *posible causa: solución constructiva incorrecta.*
- Si ninguna de las demás viviendas presenta síntomas de condensación: *posible causa: deficiente utilización de la vivienda.*

4.1 CONDICIONES DE UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA

Para comprobar las condiciones de utilización de la vivienda es necesario realizar una medición durante un período de entre 7 y 14 días de la humedad relativa y temperatura interiores, con una periodicidad de, preferiblemente, 20¹⁰ minutos.

Para ello, se puede utilizar un termohigrómetro similar al de la imagen, por un precio razonable, que hace ese tipo de mediciones. En este medidor se pueden programar los parámetros de medición y volcar los resultados obtenidos al ordenador. Estos dispositivos se conectan a un puerto USB del ordenador, y esto permite dos cosas: programarlos y descargar mediciones.



Imagen 55. Registrador de datos higrotérmicos.

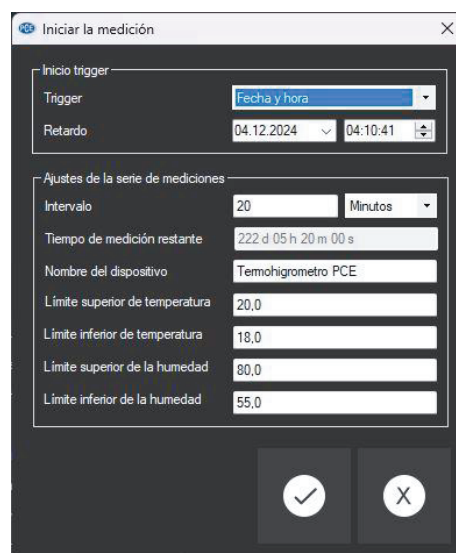


Imagen 56. Programación del registrador de datos higrotérmicos.

En la programación se elige cuando ha de empezar a realizar mediciones y el intervalo entre mediciones.

No abordaremos los detalles específicos de la programación en este caso particular, ya que cada medidor posee su propio sistema. No obstante, todos los medidores comparten dos aspectos fundamentales: **inicio e intervalo de medición**. Es esencial obtener los resultados en archivos .csv o en formato .txt y convertirlos a formato Excel.

¹⁰ 20 minutos es el intervalo de medición para el que está programada la aplicación Excel

4.2 ABRIR PANTALLA DE CÁLCULO DEL ESTUDIO TERMOHIGROMÉTRICO

Estudio higrotérmico

Al pulsar esta pestaña en el formulario de la pantalla principal, la aplicación abre la pantalla siguiente:

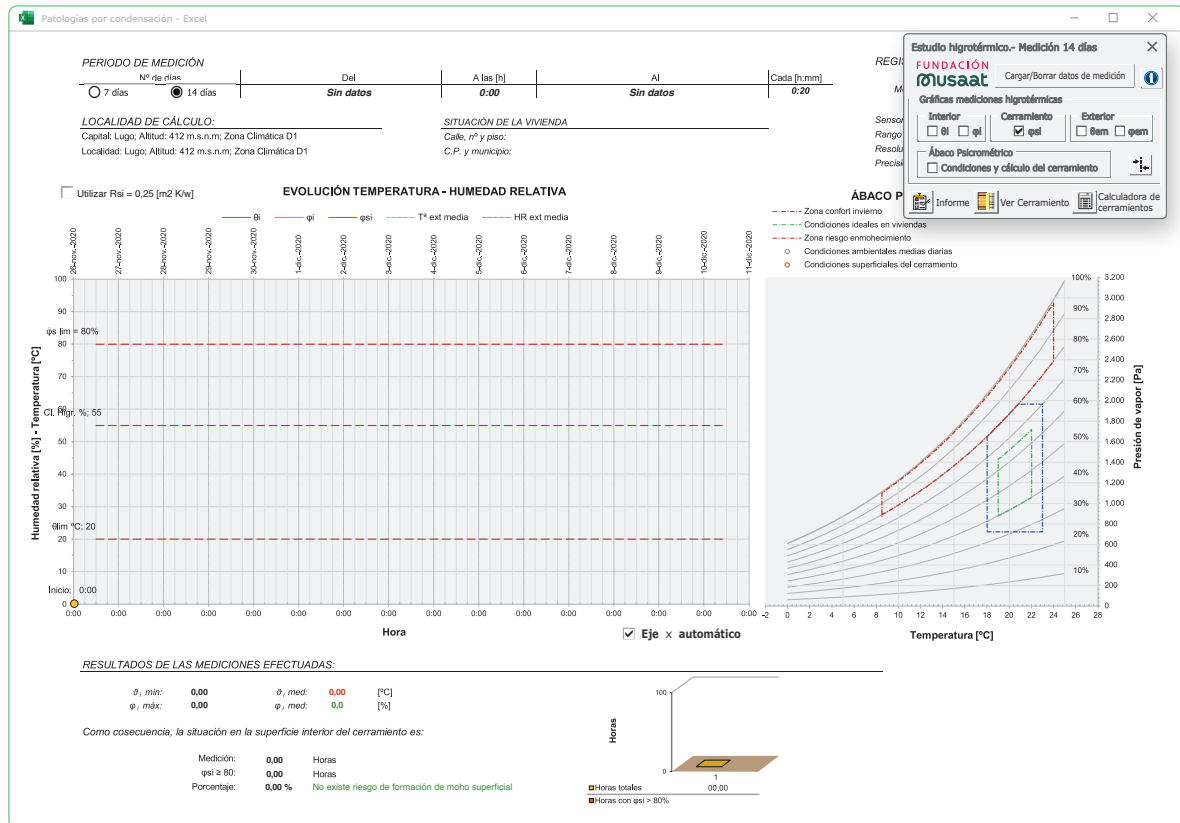


Imagen 57. Parte 1 de la pantalla del estudio higrotérmico.

En el formulario de manejo de esta sección, se encuentran las siguientes secciones:

Cargar/Borrar datos de medición

Mediciones de T^a y HR, donde se introducen los **resultados obtenidos en las mediciones** con el registrador de datos, así como la **fecha** y la **hora de comienzo de la medición**.



Límites: Fija los límites de las gráficas de temperaturas y humedades relativas que simplifican la interpretación de los resultados.

Límites a gráficos

MODIFICAR LÍMITES A LAS GRÁFICAS DE PERÍODO COMPLETO

Temperatura interior 20 °C Humedad relativa máxima 80 %
Temperatura exterior 0 °C Clase de higrometría 3: 55%
Límites por defecto Tª exterior zona climática

Imagen 58. Límites gráficos de referencia.



Informe: Se utiliza para elaborar o modificar el informe generado por la aplicación o para crear un informe manual. Permite añadir comentarios.



Volver a calculadora de cerramientos.

También tiene las siguientes casillas de activado/desactivado de las gráficas:

- θ_i , activa/desactiva la gráfica de temperatura interior.
- ϕ_i , activa/desactiva la gráfica de la humedad relativa interior.
- ϕ_{si} , activa/desactiva la gráfica de la humedad relativa superficial interior.
- θ_{em} y ϕ_{em} , activa/desactiva las temperaturas y humedades relativas exteriores medias si también se realizaron sus mediciones.
- *Ábaco psicrométrico*, permite ver el cálculo del cerramiento con sus condiciones.

Imagen 59. Activación/desactivación de gráficas.

Los valores medidos de θ_i y ϕ_i por el registrador de datos se introducen en la aplicación, reflejándose en unas gráficas que ayudan a interpretar los resultados.

Esta pantalla tiene una segunda parte como la siguiente:

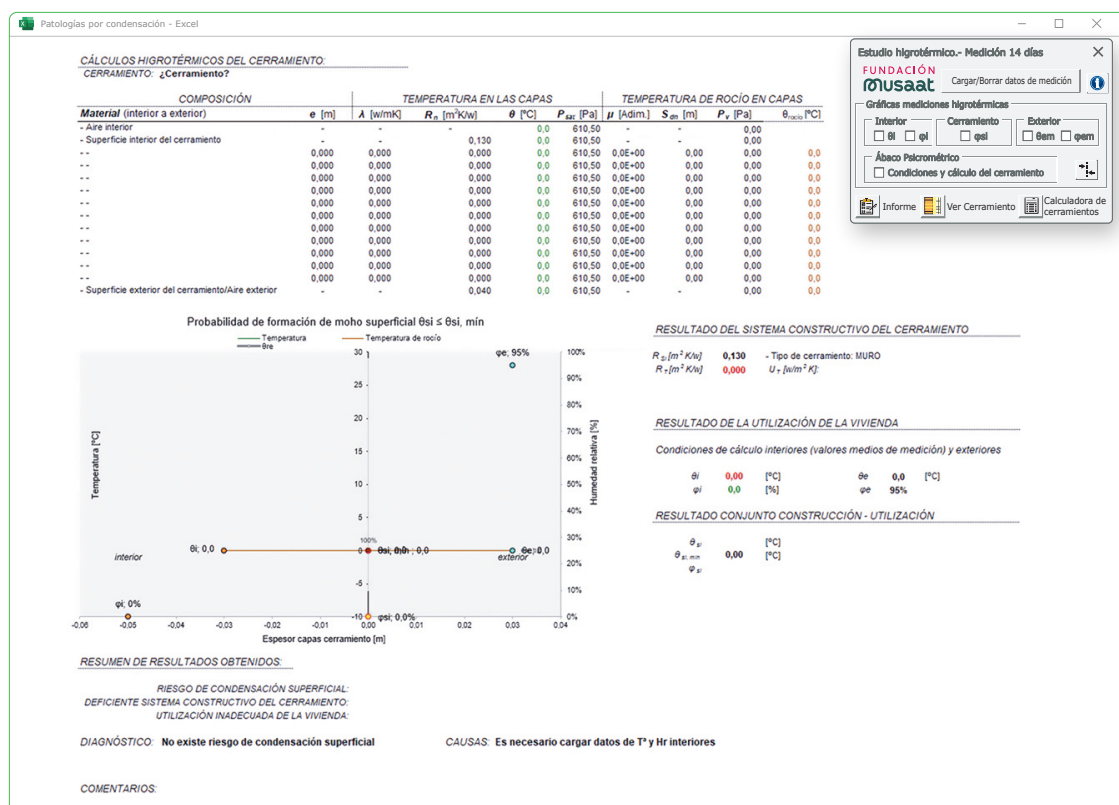


Imagen 60. Parte 2 de la pantalla del estudio higrotérmico.

En este apartado se realizan los **cálculos del cerramiento** bajo **condiciones interiores medias de temperatura (θ_i) y humedad relativa (ϕ_i)**, determinadas a partir de los datos obtenidos en las mediciones efectuadas¹¹.

¹¹ El Documento de apoyo al DB HE, DA DB-HE/2 Condensaciones, se hace el siguiente comentario:

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.

En esta sección de la aplicación se miden la humedad relativa y la temperatura durante un período representativo, con una periodicidad adecuada, y se calculan los valores medios de ambas, proporcionando una representación precisa de las condiciones en la vivienda utilizadas para el cálculo.

4.3 PREPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA MEDICIÓN

PASO 1: Si el programa del termohigrómetro permite exportar a .csv o .xls o .xlsx ya tendríamos el archivo listo para trabajar, si no, exportar a .txt y abrir con Excel:

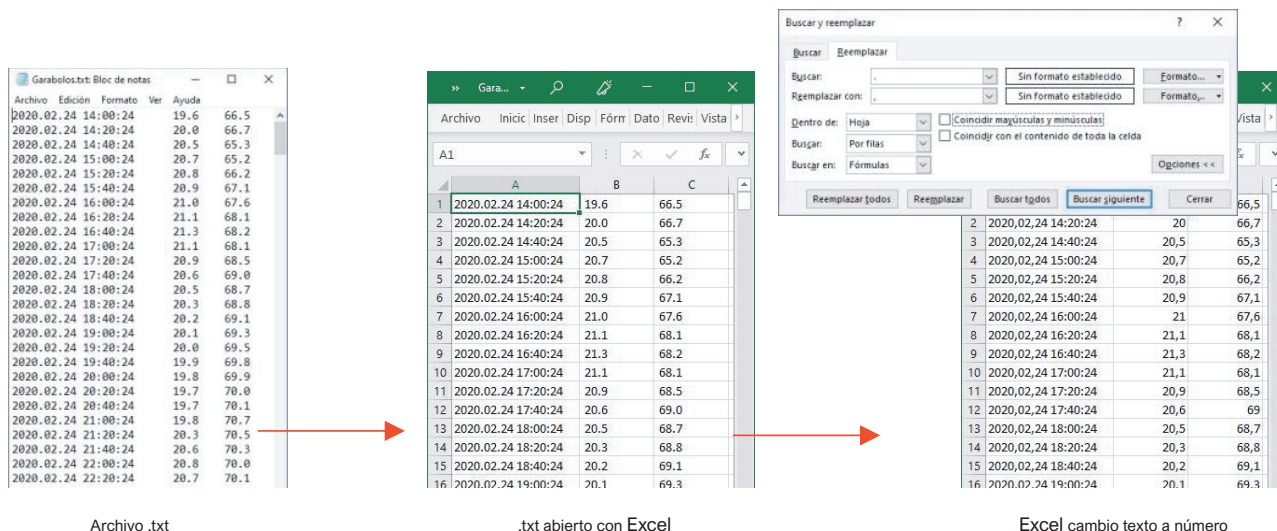
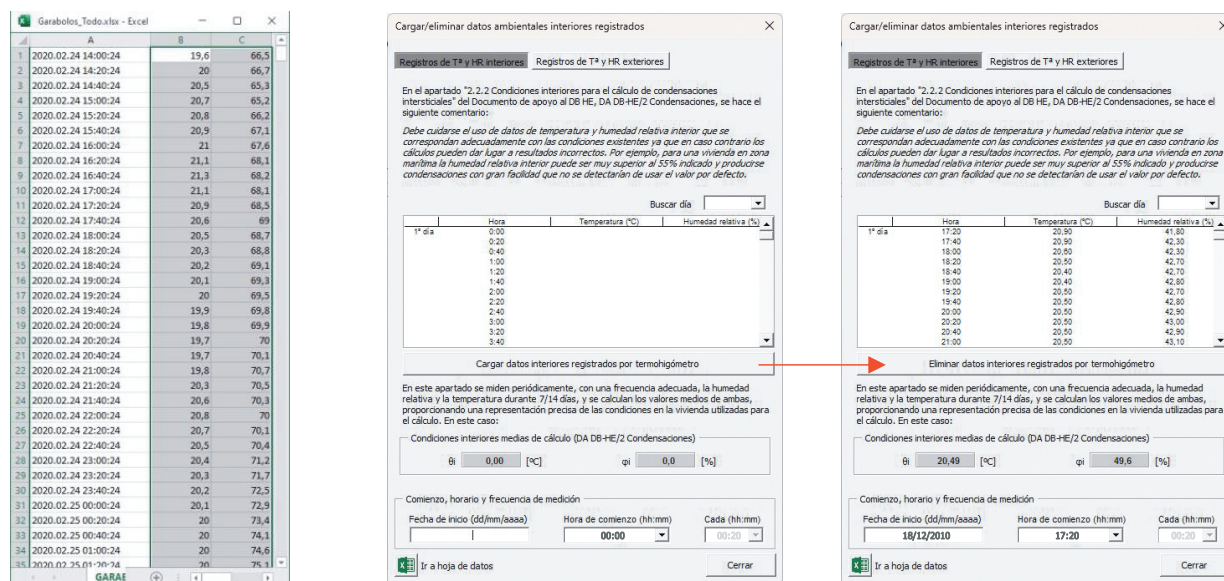


Imagen 61. Conversión de archivo de texto .txt a archivo Excel.xlsx.

Cargar/Borrar datos de medición

PASO 2: Al presionar el botón 'Mediciones T^a y HR' en la aplicación, se abrirá el formulario que muestra los datos contenidos en la misma. Se deberán copiar las columnas correspondientes a T^a y HR del archivo Excel de medición (y también las correspondientes a las condiciones exteriores si se realizó una medición exterior simultánea) y pegar esos datos en la hoja Excel de la aplicación de cálculo utilizando el botón 'Cargar datos interiores registrados por el termohigrómetro' del formulario correspondiente:



Copiar columnas de temperatura y humedad relativa en Excel de medición.

Formulario vacío que sirve para la introducción de datos registrados.

Formulario en el que se han introducido datos registrados. En su parte inferior se introducen el día y la hora de comienzo de medición.

Imagen 62. Introducción de los datos de medición a la aplicación Excel de apoyo.

4.4 RESULTADO DE LA INTRODUCCIÓN DE LAS MEDICIONES

En la imagen siguiente se puede ver el aspecto general de la primera parte del informe, una vez introducidos los datos de medición de temperaturas y humedades relativas.

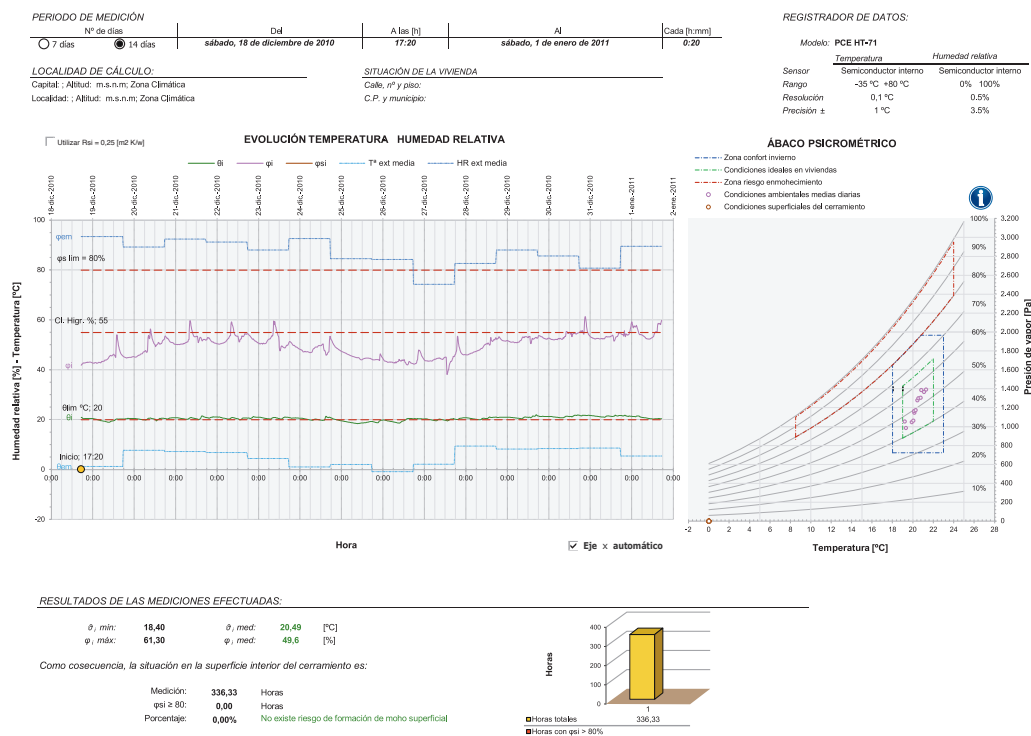


Imagen 63. Primera parte del informe de condensaciones con datos de medición.

Esta primera parte consta de tres apartados que se describen a continuación:

4.4.1 APARTADO 1: Intervalo de medición, situación de la vivienda y registrador de datos:

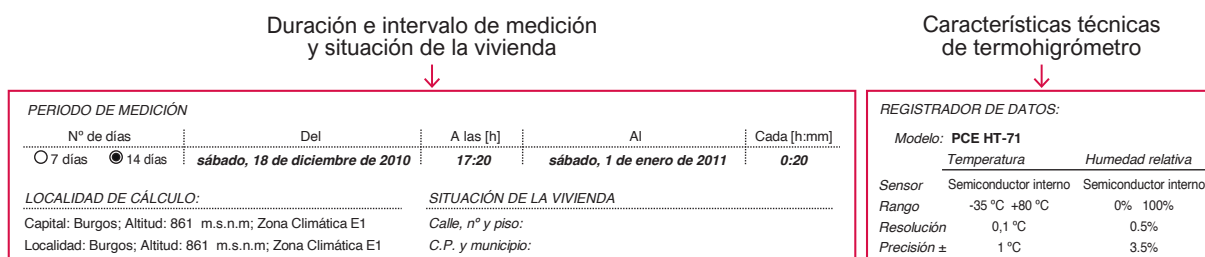


Imagen 64. Datos iniciales.

En la parte superior de este informe aparecen unas tablas con los siguientes datos:

- Período de medición: Número de días, día y hora de comienzo y frecuencia.
- Localidad de cálculo, según CTE (Ver Tabla 2 de esta publicación).
- Situación geográfica de la vivienda.
- Características del registrador de datos.

4.4.2 APARTADO 2: Gráficas generadas:

La aplicación genera las siguientes gráficas:

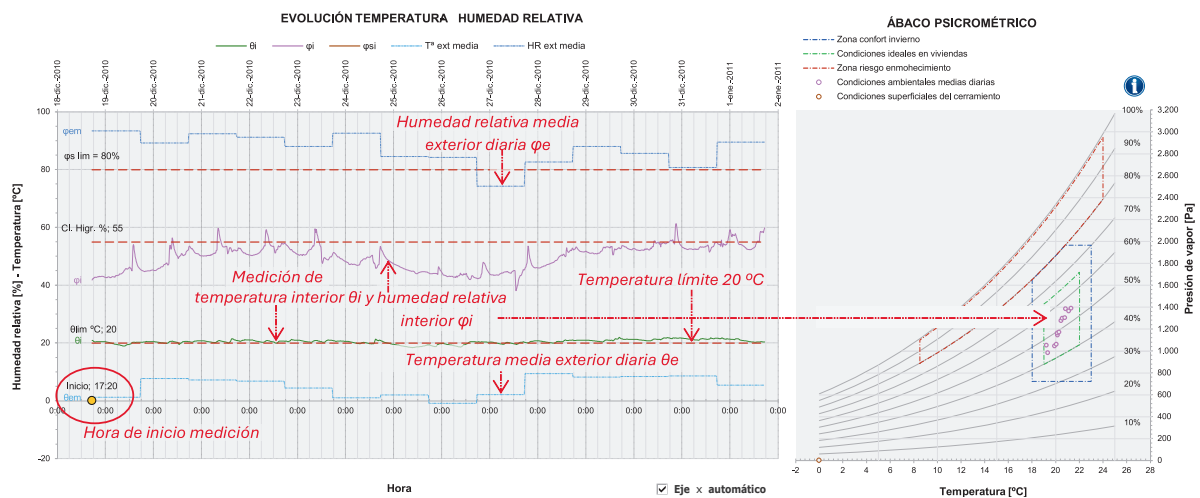


Imagen 65. Gráficas generadas.

Las curvas de 'Temperatura' (imagen 65, de color verde) y de 'Humedad relativa' (imagen 65, de color magenta) corresponden a las **mediciones realizadas por el registrador de datos**. Para ellas se puede configurar una recta límite, que en la imagen son las rectas correspondientes a la 'Clase de higrometría 3 (55%)' para ϕ_i y a la temperatura interior θ_i que en este caso está configurada para 20 °C. Si se hace una medición simultánea de las **condiciones exteriores** de temperatura y humedad relativa, también se representan sus valores medios diarios (imagen 65, colores azul claro).

CÁLCULO DEL CERRAMIENTO: En el apartado 'Cálculo del cerramiento' se realiza este cálculo (este proceso se explica en el ANEXO de este documento).

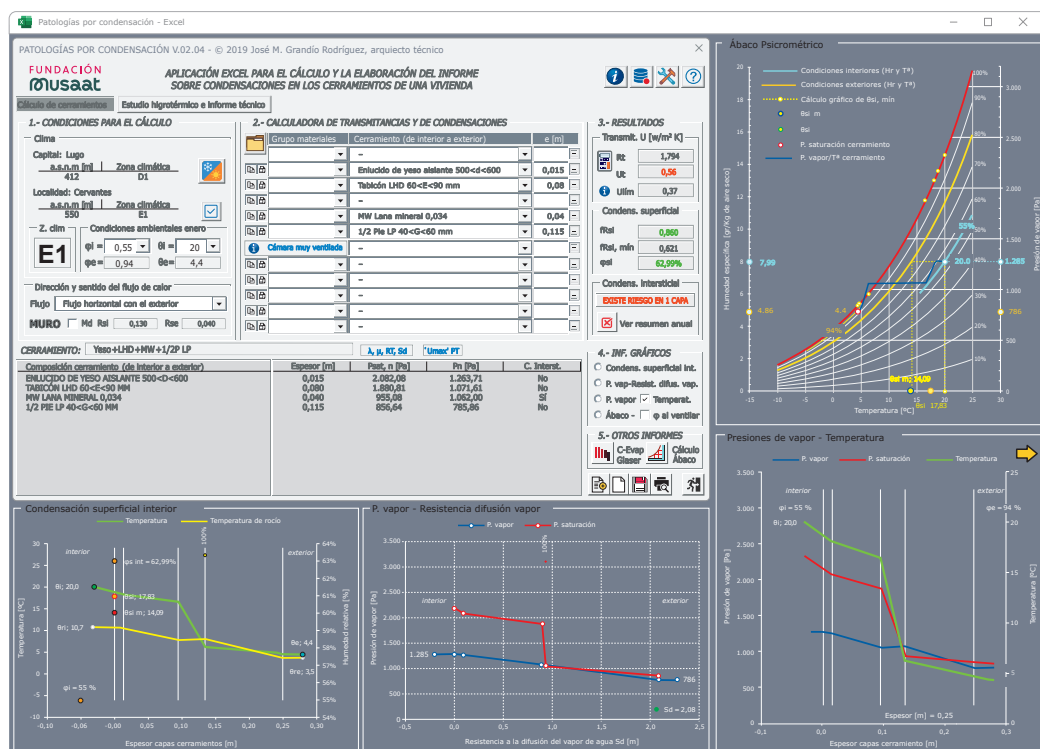


Imagen 66. Cálculo del cerramiento afectado por condensación.

Una vez realizado el cálculo del cerramiento (imagen 66) la aplicación dibuja la gráfica de la 'Humedad relativa superficial interior' ϕ_{si} (imagen 67, curva marrón), que la calcula la aplicación con los datos térmicos del cerramiento: 'Tipo de cerramiento' (muro, cubierta o suelo) y 'Resistencia térmica del cerramiento' [m² K/w]. Esta humedad relativa superficial interior tiene que ser < 80%, por eso tiene la recta ' $\phi_{lim} = 80\%$ ', también configurable.

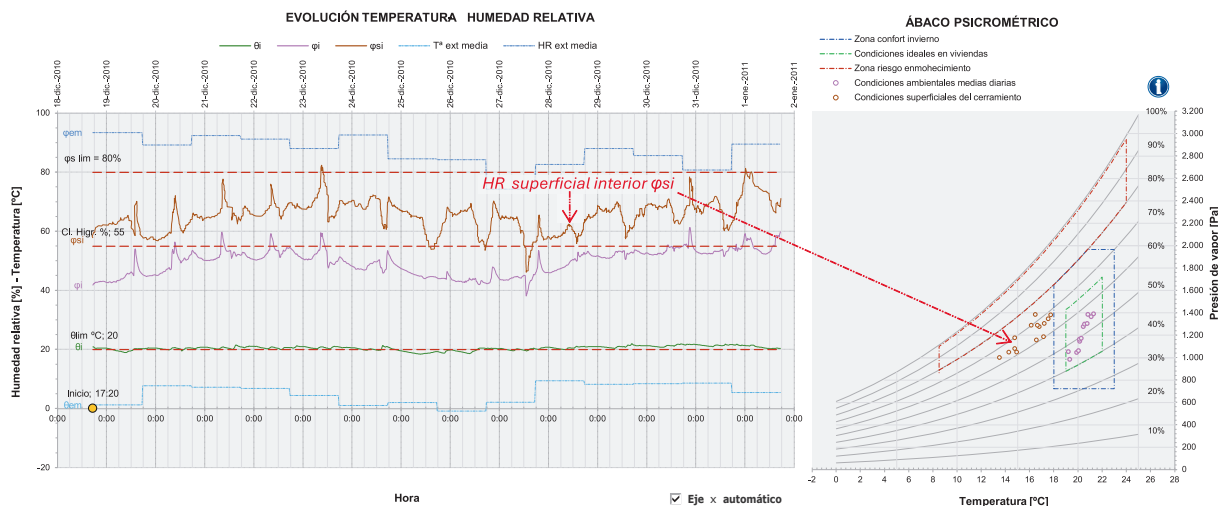


Imagen 67. Gráfica calculada de humedad relativa superficial interior ϕ_{si}

En el Ábaco Psicrométrico también se reflejan los datos medios diarios de temperatura y humedad relativa medidos (puntos magenta) y, además, los datos medios de humedad relativa superficial (puntos marrones). Si están dentro de los límites de confort, la medición puede ser favorable, pero si están fuera, la medición será más desfavorable cuanto más alejados estén de ella.

En el Ábaco, también es posible observar la evolución del cerramiento con las **condiciones interiores medias de medición** seleccionando la casilla 'Condiciones y cálculo del cerramiento' en el formulario de la imagen 59. Como **condiciones exteriores**, se pueden utilizar las correspondientes a la Zona Climática de la localidad o, si se han tomado mediciones de temperatura y humedad relativa exteriores, sus medias.

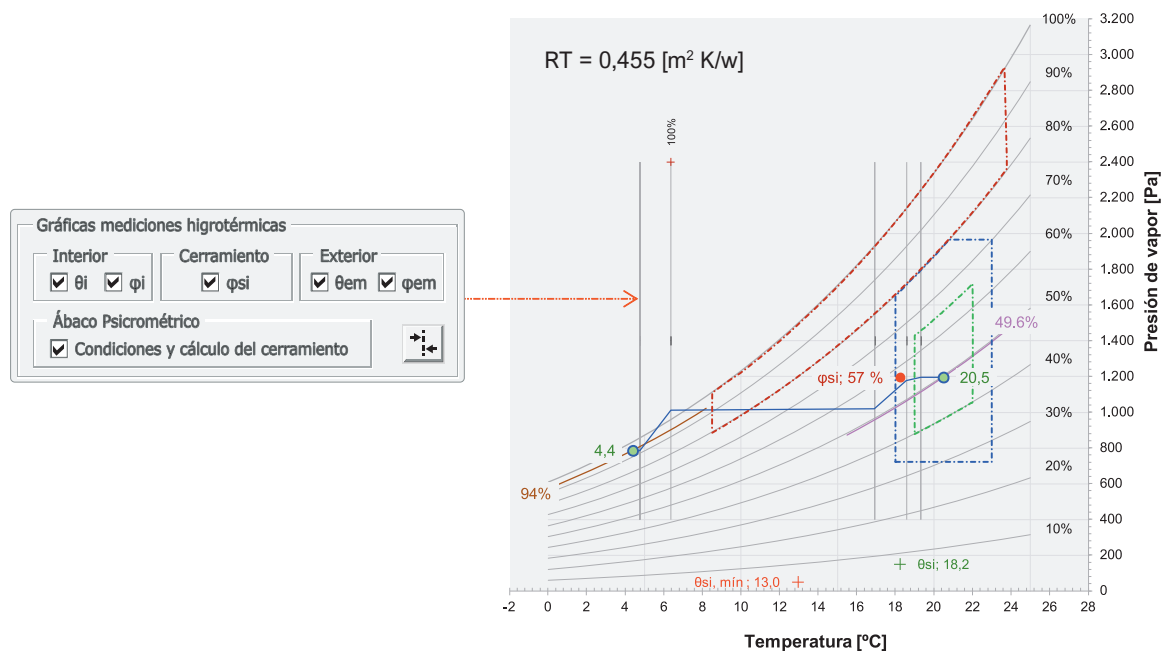


Imagen 68. Resultados del cerramiento en el Ábaco Psicrométrico.

4.4.3 APARTADO 3: Horas de enmohecimiento:

Por último, en un gráfico de barras se calculan las horas totales de medición (en la imagen 69: 336,33 H) y el número de horas en el que se sobrepasa el 80% de humedad relativa (en la imagen 69: 0 H), lo que equivale, en este caso, al 0,00% del periodo analizado con condiciones de humedad relativa iguales superiores al 80%.

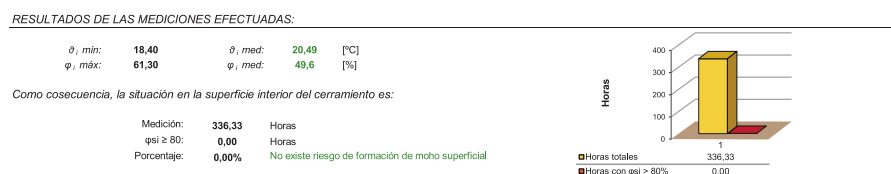


Imagen 69. **Mediciones medias y n° de horas con $\phi_{si} \geq 80\%$.**

Si se modifica el límite del 80%, por ejemplo, al 75%, en el gráfico de barras se calculan las horas totales de medición (en la imagen 70: 336,33 H) y el número de horas en el que se sobrepasa el 75% de humedad relativa (en la imagen 70: 14 H), lo que equivale, en este caso, al 4,16% del periodo analizado con condiciones de humedad relativa iguales superiores al 75%.

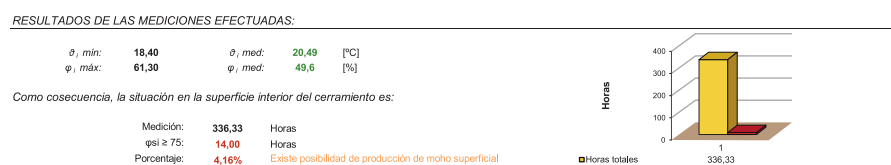


Imagen 70. **Mediciones medias y n° de horas con $\phi_{si} \geq 75\%$.**

En la segunda parte del informe se refleja lo siguiente:

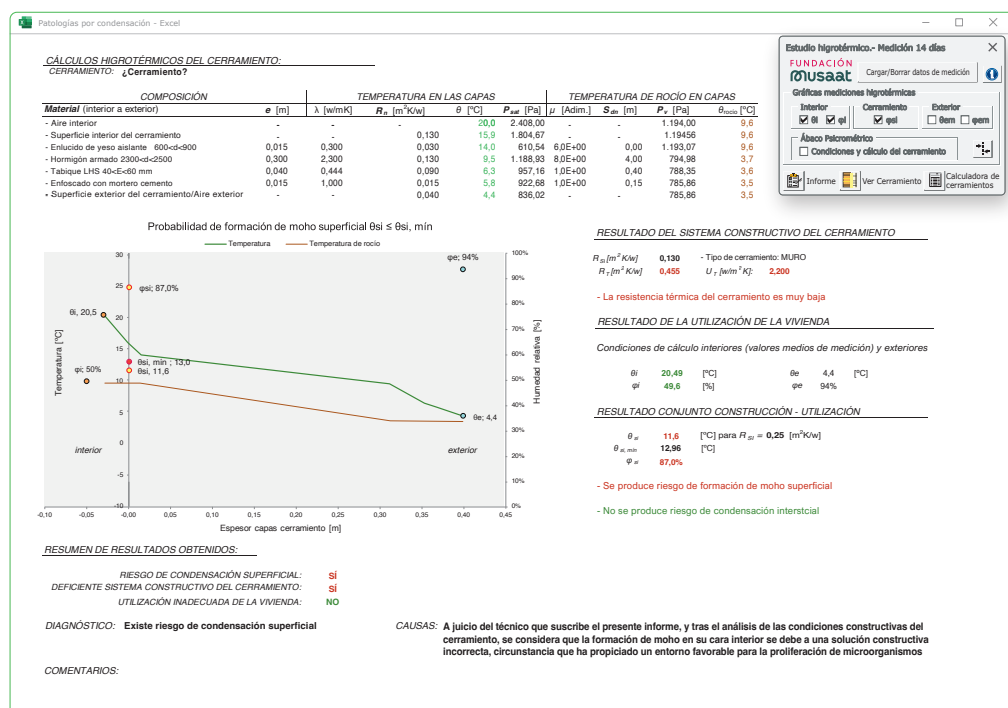


Imagen 71. Resultados del cálculo del cerramiento con los resultados medios de θ_i y ϕ_i .

1. Cálculo del cerramiento y condiciones del análisis: Se detalla la **composición del cerramiento y su cálculo**, no bajo las condiciones interiores normativas establecidas en el DA DB HE/2, sino **utilizando las condiciones interiores medias obtenidas mediante las mediciones del termohigrómetro**. Las condiciones exteriores se definen según la zona climática correspondiente a la localidad o, si se dispone de mediciones exteriores obtenidas simultáneamente, a partir de los valores medios registrados. El resultado se representa visualmente mediante un gráfico de predicción formación de moho superficial.
2. Generación automática del informe: En caso de que este no se ajuste al criterio técnico del usuario —por considerarse excesivamente generalista—, puede ser eliminado y sustituido por un **informe redactado manualmente** en el apartado comentarios, en el cual el usuario puede **incluir observaciones o aclaraciones** adicionales al informe generado, o bien **elaborar un informe técnico completamente personalizado**, reemplazando por completo el contenido propuesto por la aplicación. Además, como se comentó anteriormente, se analizan dos orígenes de condensaciones: el deficiente sistema constructivo y el mal uso de la vivienda; en este último caso, el informe incluirá una página con recomendaciones para el usuario enfocadas a prevenir dichas condensaciones, las cuales se detallan en el capítulo 7.



Informe

Elaboración del informe: Se presiona el botón del formulario en esta sección. Aparecerá otro formulario desde el cual se puede elaborar e imprimir el informe.

REDACCIÓN DEL INFORME SOBRE CONDENSACIONES

DATOS GENERALES

Situación de la vivienda

Calle, nº, piso y letra

C.P. y Municipio

Registador de datos

MODELO: PCE HT-71

	Temperatura	Humedad relativa
Sensor	Semiconductor interno	Semiconductor interno
Rango	-35 °C +80 °C	0% 100%
Resolución	0,1 °C	0,5%
Precisión	± 1 °C	± 3,5%

Zona climática de cálculo

Capital: Lugo; Altitud: 412 m.s.n.m; Zona Climática D1

Localidad: Cervantes; Altitud: 550 m.s.n.m; Zona Climática E1

Período de medición

Nº de días	Del	A las (h)	Al	Cada (h:mm)
14	Jueves, 26 de noviembre de 2020	11:55	Jueves, 10 de diciembre de 2020	0:20

REDACCIÓN DEL INFORME

Límites a la RT y a la HRV Justificación límites Límites por defecto

Excel genera un informe basado en la composición del cerramiento con condensación superficial y las mediciones de temperatura y humedad relativa dentro de la vivienda. Aunque el informe suele ser correcto, es aconsejable revisar y ajustar los límites en la pestaña "Límites a la RT y a la HRV" para asegurar mayor precisión.

FUNDAMENTOS DEL CÁLCULO

ELABORACIÓN DEL INFORME

COMPOSICIÓN DEL CERRAMIENTO Y CONDICIONES AMBIENTALES DE CÁLCULO

RESISTENCIA TÉRMICA DEL CERRAMIENTO

Yaso+LHD+mv+1/2P LP

RT cerramiento [m² K/w] = 1,794

Material	Espesor (m)	λ (W/m K)	R _{int} (m ² K / W)
ENLUCIDO DE YESO AISLANTE 500<D<500	0,015	0,180	0,083
TARICÓN LHD 60<E<90 MM	0,090	0,432	0,185
MM LANA MINERAL 0,034	0,040	0,034	1,176
1/2 PIE LP 40<G<60 MM	0,115	0,639	0,180

R_{ai} [m² K/w] = 0,130 R_{se} [m² K/w] = 0,040

CONDICIONES EXTERIORES DE CÁLCULO

Las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa deberán cumplir con las especificaciones de la zona climática asignada. En ausencia de dicha especificación, estos parámetros se establecerán manualmente, pudiendo utilizarse, si están disponibles, las medidas exteriores registradas.

Tª y HR EXTERIORES HE1

Se 4/4 [°C] qe 99% [%]

Tª y HR EXTERIORES MEDIAS DE MEDICIÓN

Se 0,00 [°C] qe 0,00 [%]

☐ Cálculo con valores de medición

DIAGNÓSTICO

Condensación superficial

-Se produce riesgo de formación de moho superficial

Condensación intersticial

-C. intersticial en 1 capa: posible empeoramiento del riesgo de condensación superficial

☒ Ver cálculo del cerramiento o ver mediciones efectuadas en el Ábaco Psicrométrico

REGISTRADOR DE DATOS:

Modelo: PCE HT-71

	Temperatura	Humedad relativa
Sensor	Semiconductor interno	Semiconductor interno
Rango	-35 °C +80 °C	0% 100%
Resolución	0,1 °C	0,5%
Precisión	± 1 °C	± 3,5%

ÁBACO PSICROMÉTRICO

RT = 1,794 [m² K/w]

La composición del cerramiento y las mediciones de temperatura y humedad relativa interiores producen los siguientes resultados:

θ_l med: 19,34 [°C]

q_l med: 76,3 [%]

RESULTADO CONJUNTO

La composición del cerramiento y las mediciones de temperatura y humedad relativa interiores producen los siguientes resultados:

θ_l med: 17,3 [°C]

θ_l min: 18,59 [°C]

q_l med: 87,0% [%]

El Ábaco Psicrométrico muestra la relación entre la temperatura y la presión de vapor, con líneas de humedad relativa constante (q_{si}) y líneas de temperatura constante (θ_{si}). Se indican los valores de θ_{si} = 19,3 °C y q_{si} = 88 %.

Medición: 336,33 Horas

q_{si} ≥ 80: 274,67 Horas

Porcentaje: 81,67% Existe alto riesgo de producción de moho superficial

Horas totales: 336,33

Horas con q_{si} > 80%: 274,67

Imagen 72. Formulario de gestión del informe.

Cuando se abre el formulario de realización del informe, el Ábaco Psicrométrico cambia al cálculo del cerramiento con todos los factores que intervienen en la aclaración de causas:

- Humedad relativa ϕ_{si} [%] en la superficie del cerramiento (Diagnóstico).
- Resistencia térmica del cerramiento [m² K/w] (Solución constructiva).
- Humedad relativa interior media de medición ϕ_i [%] (Utilización de la vivienda).

Este formulario consta de las siguientes secciones:

4.5 DATOS GENERALES. Incluye:

- Situación de la vivienda.
- Zona climática de cálculo.
- Características técnicas del registrador de datos.
- Período de medición: Inicio y periodicidad.

DATOS GENERALES

Situación de la vivienda

Calle, nº, piso y letra

C.P. y Municipio

Zona climática de cálculo

Capital: Lugo; Altitud: 412 m.s.n.m; Zona Climática D1

Localidad: Cervantes; Altitud: 550 m.s.n.m; Zona Climática E1

Período de medición

Nº de días: 14

Del: jueves, 26 de noviembre de 2020

A las [h]: 11:55

Al: jueves, 10 de diciembre de 2020

Cada [h:mm]: 0:20

Registrador de datos

MODELO: PCE HT-71

	Temperatura	Humedad relativa
Sensor	Semiconductor interno	Semiconductor interno
Rango	-35 °C +80 °C	0% 100%
Resolución	0,1 °C	0,5%
Precisión±	1 °C	3,5%

Imagen 73. Sección 'DATOS GENERALES' del informe final.

4.5.1 REDACCIÓN DEL INFORME

REDACCIÓN DEL INFORME | Límites a la RT y a la HRI | Justificación límites | Límites por defecto

Aquí existen dos apartados:

FUNDAMENTOS DEL CÁLCULO | ELABORACIÓN DEL INFORME

FUNDAMENTOS DEL CÁLCULO: En este apartado se encuentra:

- La composición del cerramiento con el cálculo de la **resistencia térmica** del mismo.
- Los **valores medios de temperatura** θ_i y de **humedad relativa** ϕ_i medidos con el registrador de datos.
- El **resultado conjunto** de los valores anteriores con el cálculo de la **humedad relativa en la superficie del cerramiento** ϕ_{si} .
- Los **valores de temperatura** θ_e y de **humedad relativa** ϕ_e exteriores, correspondientes a la Zona Climática de la localidad o, si se hicieron también las mediciones de temperatura y humedad relativa exteriores, podrían ponerse sus valores.
- Con estos datos se emite un **diagnóstico**.

FUNDAMENTOS DEL CÁLCULO

COMPOSICIÓN DEL CERRAMIENTO Y CONDICIONES AMBIENTALES DE CÁLCULO

RESISTENCIA TÉRMICA DEL CERRAMIENTO

Yeso+LHD+mw+1/2P LP

RT cerramiento [m2 K/w] = 1,794

Material	Esesor (m)	λ (W / m K)	Rth (m²K / W)
ENLUCIDO DE YESO AISLANTE 500<D<600	0,015	0,180	0,083
TABICÓN LHD 60<E<90 MM	0,080	0,432	0,185
MW LANA MINERAL 0,034	0,040	0,034	1,176
1/2 PIE LP 40<G<60 MM	0,115	0,639	0,180

Rsi [m2 K/w] = 0,130 Rse [m2 K/w] = 0,040

MEDICIÓN Tº Y HR INTERIORES

θ_i med: 19,34 [°C]

ϕ_i med: 76,3 [%]

RESULTADO CONJUNTO

La composición del cerramiento y las mediciones de temperatura y humedad relativa interiores producen los siguientes resultados:

θ_{si} 17,3 [°C]

θ_{si} mín 18,59 [°C]

ϕ_{si} 87,0% [%]

CONDICIONES EXTERIORES DE CÁLCULO

Las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa deberán cumplir con las especificaciones de la zona climática asignada. En ausencia de dicha especificación, estos parámetros se establecerán manualmente, pudiendo utilizarse, si están disponibles, las medias exteriores registradas.

Tº Y HR EXTERIORES HE1

θ_e 4,4 [°C] ϕ_e 94% [%]

Tº Y HR EXTERIORES MEDIAS DE MEDICIÓN

θ_e 0,00 [°C] ϕ_e 0,00 [%]

☐ Cálculo con valores de medición

DIAGNÓSTICO

Condensación superficial

-Se produce riesgo de formación de moho superficial

Condensación intersticial

-C. Intersticial en 1 capa: posible empeoramiento del riesgo de condensación superficial

Imagen 74. Apartado 'FUNDAMENTOS DEL CÁLCULO' del informe final.

ELABORACIÓN DEL INFORME. Donde se indica:

- Si existe o no **riesgo de condensación superficial**.
- En caso de que exista, cual es la causa.
- Por último, se genera un informe que se puede utilizar como **definitivo**, se le pueden **añadir comentarios** o se puede **desactivar y emitir un informe manual** con los criterios del técnico redactor.

FUNDAMENTOS DEL CÁLCULO **ELABORACIÓN DEL INFORME**

INFORME

Resultados generados por Excel

Condensación superficial

EXISTE RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL: **SÍ**

☒ RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL: $\phi_{si} = 87\% \geq 79\%$, valor máximo de HR superficial interior

Causas de la formación de moho superficial en la superficie del cerramiento

DEFICIENTE SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO: **NO** ⓘ

☐ CONSTRUCCIÓN DEL CERRAMIENTO: $RT[m2K/w] = 1,794 > 0,748 [m2 K/W]$, valor mínimo del RT del cerramiento

DEFICIENTE UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA: **SÍ** ⓘ

☒ UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA: $\phi_i = 76,3\% < 69\%$, valor máximo de humedad relativa interior

INFORME GENERADO POR EXCEL:

A juicio del técnico que suscribe el presente informe, la presencia de moho en la cara interior del cerramiento no responde a una solución constructiva incorrecta, sino a un uso inadecuado de la vivienda, lo cual ha generado condiciones de humedad persistente y favorecido el crecimiento de moho.

☒ Utilizar el informe generado por la aplicación o emitir un informe distinto

COMENTARIOS:

Borrar Comentario/Informe

Para redactar un informe personalizado hay que desactivar la casilla 'Utilizar el informe generado por la aplicación o emitir un informe distinto' y se puede redactar el informe deseado en 'COMENTARIOS'.

Imagen 75. Apartado 'ELABORACIÓN DEL INFORME' del informe final.

4.5.2 LÍMITES DE RESISTENCIA TÉRMICA Y HUMEDAD RELATIVA INTERIOR

REDACCIÓN DEL INFORME **Límites a la RT y a la HRI** Justificación límites Límites por defecto **. CRITERIOS:**

En este apartado se definen los **límites de la resistencia térmica del cerramiento y la humedad relativa interior**, que determinarán si la causa de las condensaciones se debe a un cerramiento deficiente o a una utilización inapropiada de la vivienda.

REDACCIÓN DEL INFORME **Límites a la RT y a la HRI** Justificación límites Límites por defecto

Límites de Resistencia térmica y Humedad relativa interior

HUMEDAD RELATIVA SUPERFICIAL INTERIOR DEL CERRAMIENTO

Límite de cálculo HE1

$\phi_{si} \text{ límite} = 80\%$

Valor límite real (Valor de referencia)

Valor a modificar %

Límite por defecto

RESISTENCIA TÉRMICA DEL CERRAMIENTO

Condiciones ambientales del cerramiento HE1

Con las condiciones ambientales de temperaturas interior y exterior y H_r interior siguientes

θ_i °C	θ_e °C	ϕ_i %
20	4,4	55%

para una $\phi_{si} = 75\%$

La Resistencia térmica mínima/Transmitancia térmica máxima del cerramiento no pueden superar los límites siguientes:

$RT_{\min}$	$UT_{\max}$
0,79	1,26

Resultados

Límite de cálculo

$RT \geq 0,79$ m2K/w

$UT \leq 1,26$ w/m2K

Coef. seg.: %

Valor límite real

$RT \geq 0,87$ m2K/w

$UT \leq 1,15$ w/m2K

Límite por defecto

Valor actual

HR superficial interior

$\phi_{si} = 87,0\%$

Humedad relativa superficial interior $\leq$ valor de referencia, ajustable según criterio técnico

RT Cerramiento [m2K/w]

$RT = 1,794$

Resistencia térmica del cerramiento para alcanzar una H_r superficial $\leq$ valor de referencia, como indica el DA DB-HE/2, o según el valor que determine el técnico.

HUMEDAD RELATIVA INTERIOR MEDIA DE MEDICIÓN

Humedad relativa interior

Límite de cálculo

para una $\phi_{si} = 75\%$

$\phi_i \leq \phi_{si} \leq \phi_{sat}$

$\phi_i \leq 65,0\%$

Valor límite real

Valor de cálculo aquí

$\phi_i \leq 65$ %

Valor de R_t si es muy baja

Si $R_t \leq 0,87$ m2K/w

$R_t = 2,7$ m2K/w

Límite por defecto

HR Interior [%]

$\phi_{i \text{ med}} = 76,3$

Humedad relativa interior que produce una humedad superficial $\leq$ valor de referencia en el cerramiento, como indica el DA DB-HE/2, o según el valor que determine el técnico.

En azul, límites que se van a tener en cuenta a la hora de emitir el informe

Todos los límites por defecto

OBSERVACIONES:- A menor valor del límite de ϕ_{si} , más alto es el valor del límite de RT y más bajo es el valor del límite de ϕ_i . Cuanto mayor es la resistencia térmica del cerramiento, más alto es el valor del límite de ϕ_i . Esto es válido también cuando el valor de la RT del cerramiento es muy baja y se pone su valor por defecto.

Cerrar

Imagen 76. Límites: resistencia térmica y la humedad relativa interior.

4.6 HUMEDAD RELATIVA SUPERFICIAL INTERIOR φ_{si} (VALOR DE REFERENCIA)

El documento DA DB-HE/2 establece la humedad relativa superficial interior **máxima en 80%**. Es necesario evaluar si valores entre 76% y 79% son aceptables. Para mayor seguridad, **podría ser prudente fijar este valor máximo en el 75%**. Este valor afecta tanto a la **resistencia térmica mínima** como a la **humedad relativa interior máxima**¹².

4.7 RESISTENCIA TÉRMICA DEL CERRAMIENTO R_T

CÁLCULO	Se calcula la resistencia térmica de un cerramiento para que este tenga una H_r superficial del 80% que indica el <i>documento de apoyo al DB HE, DA DB-HE/2</i> , o el valor que se estime oportuno como valor de referencia.
CONDICIONES	Condiciones ambientales interiores de cálculo, según DA DB-HE/2: $\theta_i = 20\text{ °C}$ y $\varphi_i = 55\%$.
MODIFICACIÓN	Para hacer más exigente el valor de R_T , se puede aumentar con un porcentaje de seguridad adecuado o reducir el límite del 80% de la humedad relativa superficial del cerramiento.

4.8 HUMEDAD RELATIVA INTERIOR MEDIA DE MEDICIÓN φ_i

CÁLCULO	Se calcula la humedad relativa interior φ_i a la que se produce una humedad relativa en la superficie del cerramiento $\varphi_{si} = 80\%$ que indica el <i>documento de apoyo al DB HE, DA DB-HE/2</i> , o el valor que se estime oportuno como valor de referencia.
CONDICIONES	La temperatura interior de cálculo es la del DA DB-HE/2: $\theta_i = 20\text{ °C}$.
OTROS	Si la resistencia térmica del cerramiento es muy baja, se supone una resistencia térmica por defecto del valor mínimo exigido por HE1 para la Zona Climática de la vivienda (Ver tabla 7 de este documento), para no penalizar la medición de humedad relativa interior media (valor modificable).
MODIFICACIÓN	Para hacer más exigente el valor de φ_i , se pueden considerar tres opciones: modificar a la baja el valor límite de cálculo, ajustar la Resistencia térmica R_T cuando la del cerramiento es inferior a la mínima, y/o reducir el límite del 80% de la humedad relativa superficial del cerramiento.

¹² A menor valor del límite de φ_{si} , más alto es el valor del límite de R_T y más bajo es el valor del límite de φ_i .

CAPÍTULO 5 EJEMPLOS CON RESULTADO DE SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA DEFICIENTE

CASO 1: PUENTE TÉRMICO SIN AISLAMIENTO

Se trata de un pilar en esquina como el reflejado en la imagen 77 y el croquis siguiente, en el que aparecen humedades de condensación:



Imagen 77. Pilar en esquina sin aislamiento.

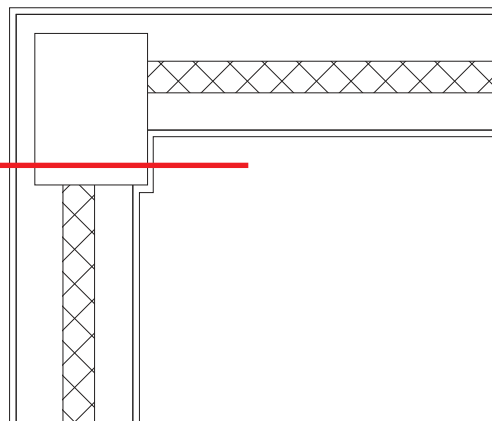


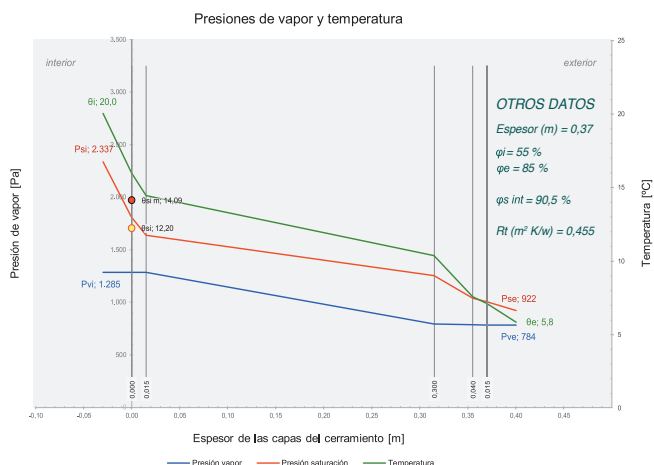
Imagen 78. Croquis PT pilar.

Se realiza el cálculo de la **resistencia térmica** del puente térmico existente, compuesto por (de interior a exterior):

- Enlucido de yeso **0,015 m**
- Pilar de hormigón **0,30 m**
- Tabique de LHS **0,04 m**
- Enfoscado exterior **0,015 m**

Lo que arroja los siguientes resultados:

- **$R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \text{ K/w}$** (Cerramiento vertical)
- **$U = 2,20 \text{ w/m}^2 \text{ K}$**
- **$R_T = 0,455 \text{ m}^2 \text{ K/w}$** (Valor muy bajo)
- **$fR_{si} < fR_{si, \text{mín}}$** (Riesgo de formación de moho)
- Sin riesgo de **condensación intersticial**



3.- RESULTADOS

Transmit. U [$\text{w/m}^2 \text{ K}$]

R_t 0,455

U_t 2,20

U_{lím} 0,41

Condens. superficial

fR_{si} 0,450

$fR_{si, \text{mín}}$ 0,584

ϕ_{si} 90,50%

Condens. intersticial

NO EXISTE RIESGO

☒ Ver resumen anual

Imagen 79. Cálculo higrotérmico y resultados del puente térmico.

Se llevó a cabo una medición con termohigrómetro durante 14 días, con registros cada 20 minutos. Los resultados de dicha medición fueron satisfactorios: $\theta_{i,med} = 19,96\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\phi_{i,med} = 62,4\%$ (imagen 80).

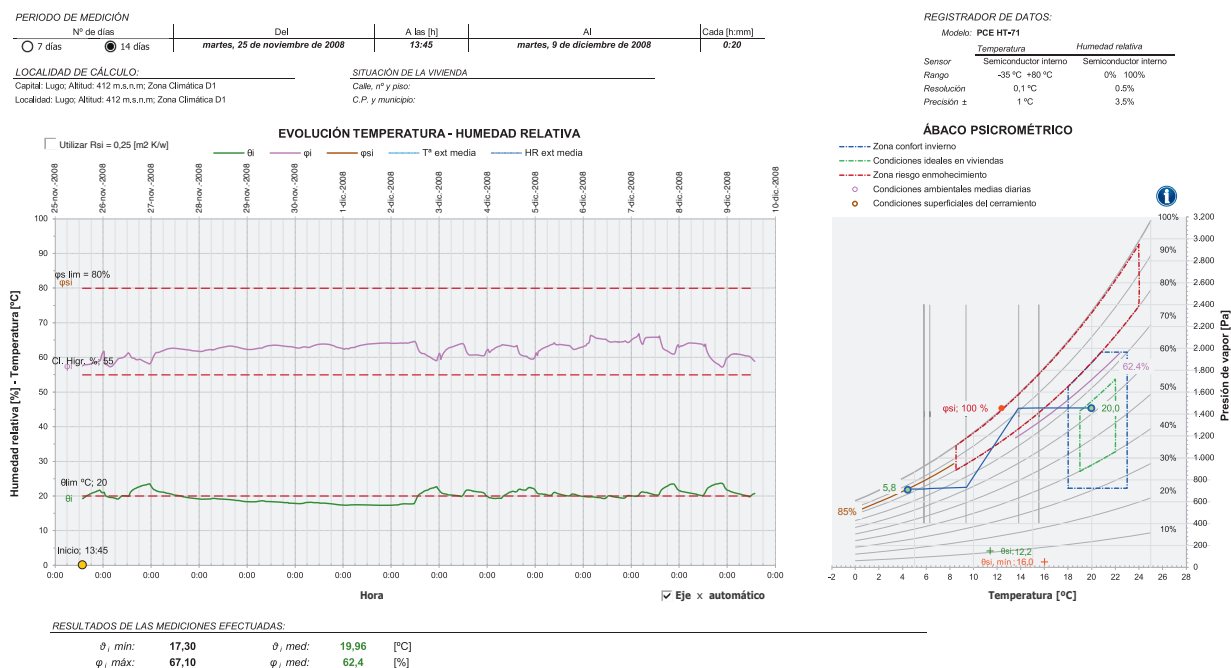


Imagen 80. Gráficas de los resultados de medición.

Aplicados los resultados del cálculo del cerramiento a la medición higrométrica ($R_{si} = 0,13^{13}\text{ m}^2\text{K/w}$ y $R_T = 0,455\text{ m}^2\text{K/w}$) sucede lo siguiente con la humedad relativa superficial interior:

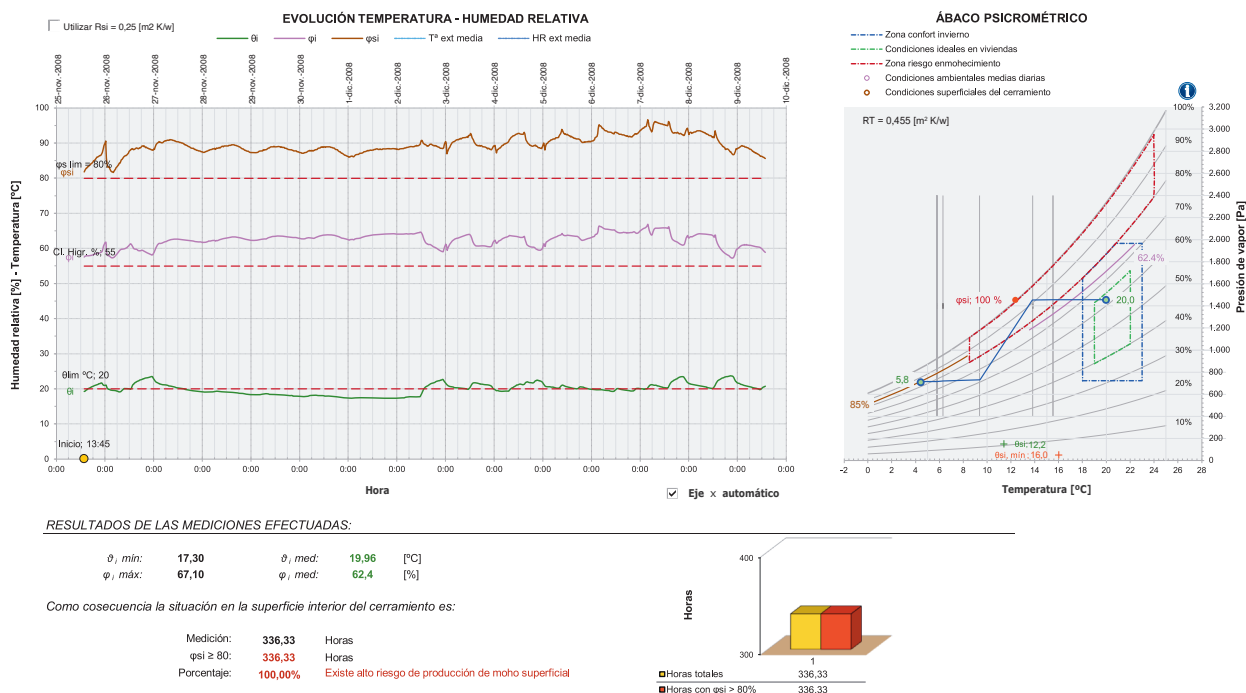


Imagen 81. Cálculo de la humedad relativa superficial interior (gráfica marrón).

13 Aquí se usa por defecto la resistencia térmica superficial interior de un muro exterior (0,13 m²K/w). Si se prefiere, puede utilizarse el valor recomendado por la UNE EN ISO 13788:2001 para condensaciones superficiales (0,25 m² K/w), pero éste debe emplearse solo en zonas concretas con poca ventilación, no en todo el cerramiento.

Estos resultados permiten calcular la humedad relativa en la superficie interior del cerramiento ϕ_{si} (gráfica marrón) y determinar el tiempo durante el cual este valor supera el límite del 80%, lo que posibilita evaluar la probabilidad de formación de moho en la superficie del cerramiento:

- Horas de medición: **336,33**
- Horas $\phi_{si} > 80\%$: **336,33**
- Porcentaje de tiempo con $\phi_{si} > 80\%$: **100,00%**

En este caso, tanto la gráfica marrón, que representa la humedad relativa superficial interior, como los puntos marrones en el Ábaco Psicrométrico, exceden significativamente el límite del 80%, por lo que la posibilidad de condensación superficial es muy alta.

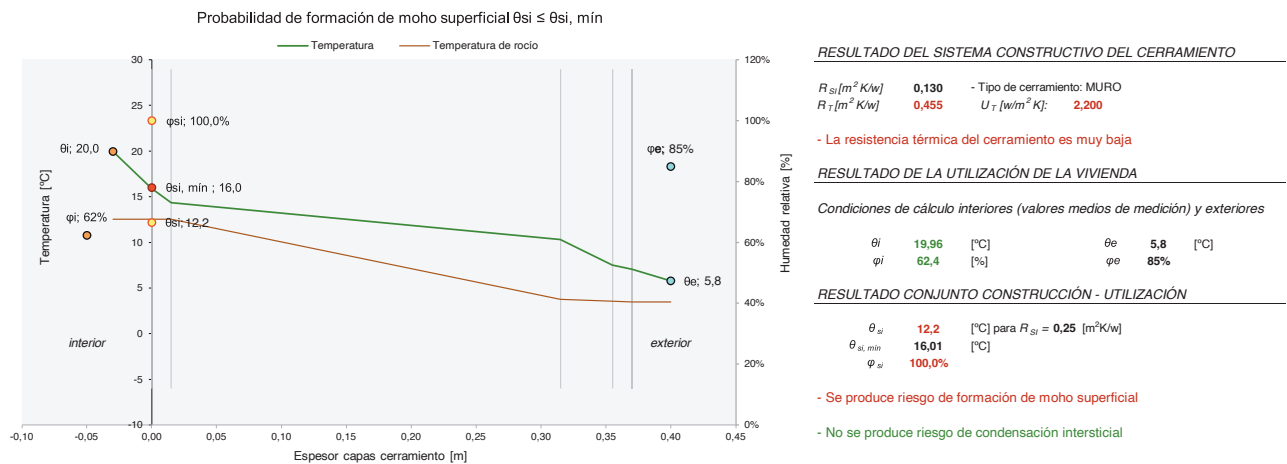
Cálculo del cerramiento e informe

Se realizan los cálculos higrotérmicos del puente térmico y, aunque la vivienda se usa adecuadamente, **el deficiente aislamiento térmico del pilar provoca moho superficial**, por lo que se considera que **la causa de esta producción de moho debe a una solución constructiva incorrecta**.

CÁLCULOS HIGROTÉRMICOS DEL CERRAMIENTO:

CERRAMIENTO: PT Pilar

COMPOSICIÓN	TEMPERATURA EN LAS CAPAS					TEMPERATURA DE ROCÍO EN CAPAS				
Material (interior a exterior)	e [m]	λ [w/mK]	R_n [m²K/w]	θ [°C]	P_{sat} [Pa]	μ [Adim.]	S_{dn} [m]	P_v [Pa]	θ_{rocio} [°C]	
- Aire interior	-	-	-	20,0	2.331,74	-	-	1.455,00	12,6	
- Superficie interior del cerramiento	-	-	0,130	15,9	1.807,68	-	-	1.455,00	12,6	
- Enlucido de yeso aislante 600<d<900	0,015	0,300	0,050	14,4	1.635,50	6,0E+00	0,09	1.452,55	12,5	
- Hormigón armado 2300<d<2500	0,300	2,300	0,130	10,3	1.253,35	8,0E+01	24,00	798,49	3,7	
- Tabique LHS 40<E<60 mm	0,040	0,444	0,090	7,5	1.037,10	1,0E+01	0,40	787,59	3,6	
- Enfoscado con mortero cemento	0,015	1,000	0,015	7,0	1.004,45	1,0E+01	0,15	783,50	3,5	
- Superficie exterior del cerramiento/Aire exterior	-	-	0,040	5,8	921,77	-	-	783,50	3,5	



RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS:

RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL: **SÍ**
 DEFICIENTE SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO: **SÍ**
 UTILIZACIÓN INADECUADA DE LA VIVIENDA: **NO**

DIAGNÓSTICO: Existe riesgo de condensación superficial

CAUSAS: A juicio del técnico que suscribe el presente informe, y tras el análisis de las condiciones constructivas del cerramiento, se considera que la formación de moho en su cara interior se debe a una solución constructiva incorrecta, circunstancia que ha propiciado un entorno favorable para la proliferación de microorganismos

COMENTARIOS:

Imagen 82. Informe generado por defecto por la aplicación.

Informe personalizado

La aplicación genera por defecto el informe anterior, pero se puede optar por **hacer uno diferente** personalizado según la preferencia del técnico redactor. Para ello, en la pestaña 'ELABORACIÓN DEL INFORME' (imagen 76) del formulario 'Informe' (imagen 72), se actúa como se indica a continuación.

Si, a la hora de redactar el informe, se mantiene activada la casilla 'Utilizar el informe generado por la aplicación o emitir un informe distinto' de la imagen 83, el informe que se crea es el que genera la aplicación por defecto.

INFORME

Resultados generados por Excel

Condensación superficial

EXISTE RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL: **SÍ**

☒ RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL: $\psi_i = 95 [\%] \geq 75 [\%]$, valor máximo de HR superficial interior

Causas de la formación de moho superficial en la superficie del cerramiento

DEFICIENTE SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO: **SÍ**

☒ CONSTRUCCIÓN DEL CERRAMIENTO: $RT [m^2K/w] = 0,455 < 0,792 [m^2K/w]$, valor mínimo de RT del cerramiento

DEFICIENTE UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA: **NO**

☐ UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA: $\phi_i = 56,6\% < 69 [\%]$, valor máximo de humedad relativa interior

INFORME GENERADO POR EXCEL:

A juicio del técnico que suscribe el presente informe, y tras el análisis de las condiciones constructivas del cerramiento, se considera que la formación de moho en su cara interior se debe a una solución constructiva incorrecta, circunstancia que ha propiciado un entorno favorable para la proliferación de microorganismos

☒ Utilizar el Informe generado por la aplicación o emitir un informe distinto

COMENTARIOS:

Borrar Comentario/Informe

Imagen 83. Informe por defecto generado por la aplicación.

Si se desactiva la casilla (imagen 84), el título del cuadro de texto cambia de 'COMENTARIOS' a 'EN BASE A LOS RESULTADOS ANTERIORES SE EMITE EL SIGUIENTE INFORME' y en el cuadro de texto se puede escribir el informe que desee el técnico redactor, como se aprecia en la imagen 84.

INFORME

Resultados generados por Excel

Condensación superficial

EXISTE RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL: **SÍ**

☒ RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL: $\psi_i = 95 [\%] \geq 75 [\%]$, valor máximo de HR superficial interior

Causas de la formación de moho superficial en la superficie del cerramiento

DEFICIENTE SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO: **SÍ**

☒ CONSTRUCCIÓN DEL CERRAMIENTO: $RT [m^2 K/w] = 0,455 < 0,792 [m^2 K/w]$, valor mínimo de RT del cerramiento

DEFICIENTE UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA: **NO**

☐ UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA: $\phi_i = 56,6\% < 69 [\%]$, valor máximo de humedad relativa interior

INFORME GENERADO POR EXCEL:

☐ Utilizar el Informe generado por la aplicación o emitir un informe distinto

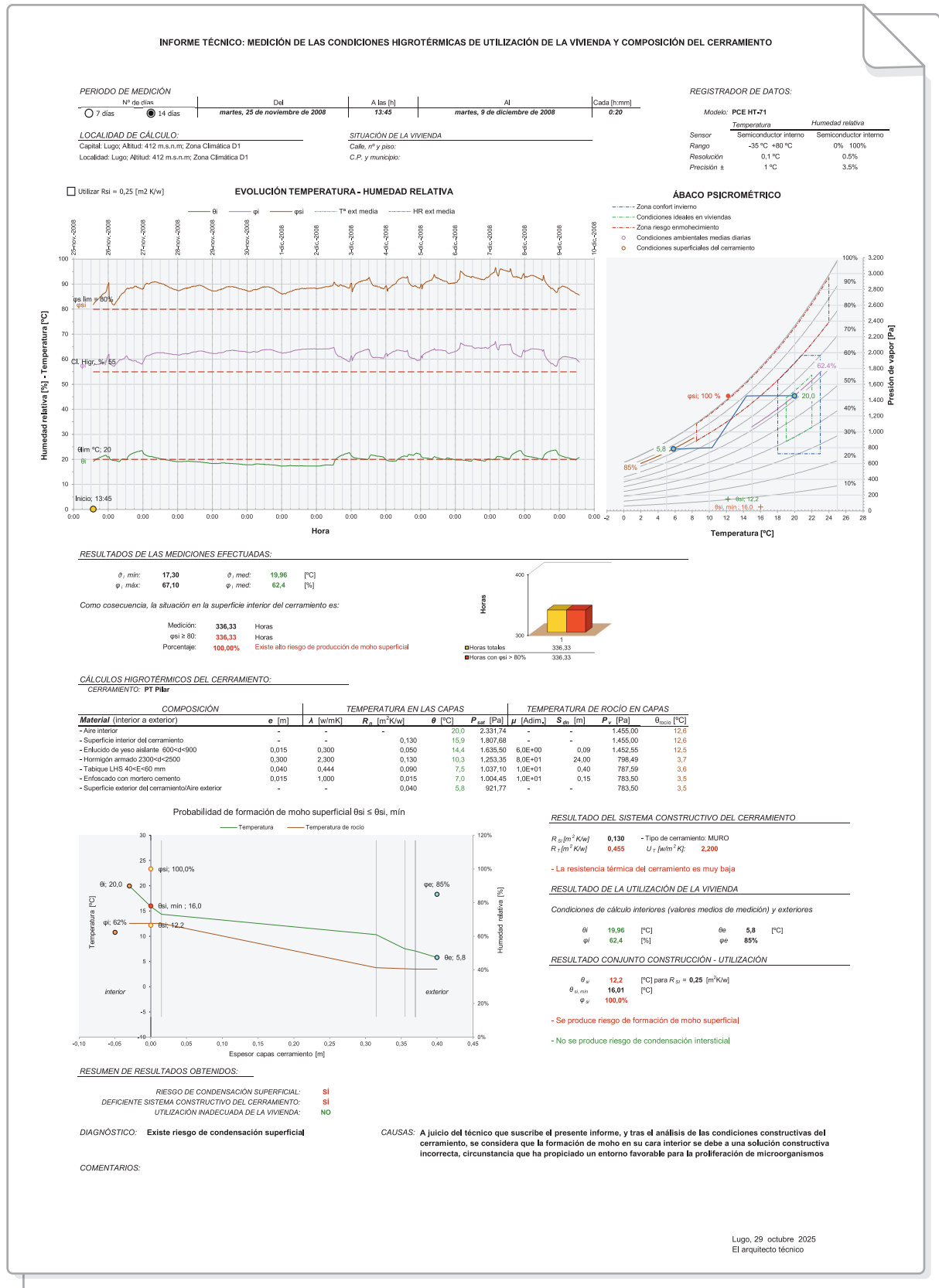
EN BASE A LOS RESULTADOS ANTERIORES SE EMITE EL SIGUIENTE INFORME

Borrar Comentario/Informe

En la solución constructiva de este cerramiento se produce un puente térmico que genera una pérdida muy importante de temperatura en el paramento interior del mismo, lo cual da lugar a la formación de moho superficial debido a que se supera el 80% de humedad relativa en su superficie.

Imagen 84. Informe generado por el técnico redactor del informe después de desactivar la casilla 'Utilizar el informe generado por la aplicación'.

Informe completo: El informe que genera la aplicación Excel es el siguiente:



Los cálculos del cerramiento en este apartado se realizan considerando las condiciones ambientales interiores que corresponden a las mediciones de temperatura y humedad relativa medias, y las exteriores correspondientes a la zona climática.

CASO 2: HUMEDADES EN MEDIANERA

Se trata de una medianera que no tiene edificio adyacente, por lo que según el CTE hay que tratarla como un muro exterior.

A nivel del último piso, en la cara norte, tiene unos **tubos de ventilación de la cámara de aire de gran sección**. No hacen codo hacia abajo como las pipetas tradicionales: son rectos.

En la medianera se presentan humedades de condensación en el dormitorio ubicado junto a dicha pared. Cabe señalar que **las condensaciones afectan al cerramiento convencional y al pilar en igual o mayor medida**.

Por la **caja de electricidad empotrada en la medianera entra gran cantidad de aire**.

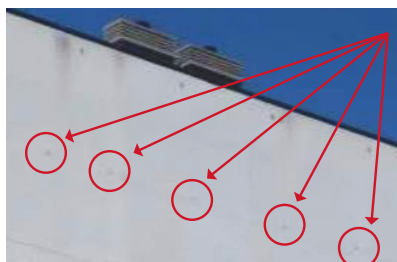


Imagen 85. **Humedades en medianera: Exposición del caso.**

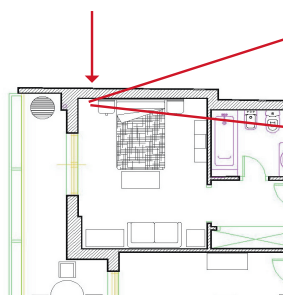


Imagen 86. **Humedades en medianera: Deficiencia.**

Medición

Se efectúa una medición de la temperatura – humedad relativa durante 7 días.

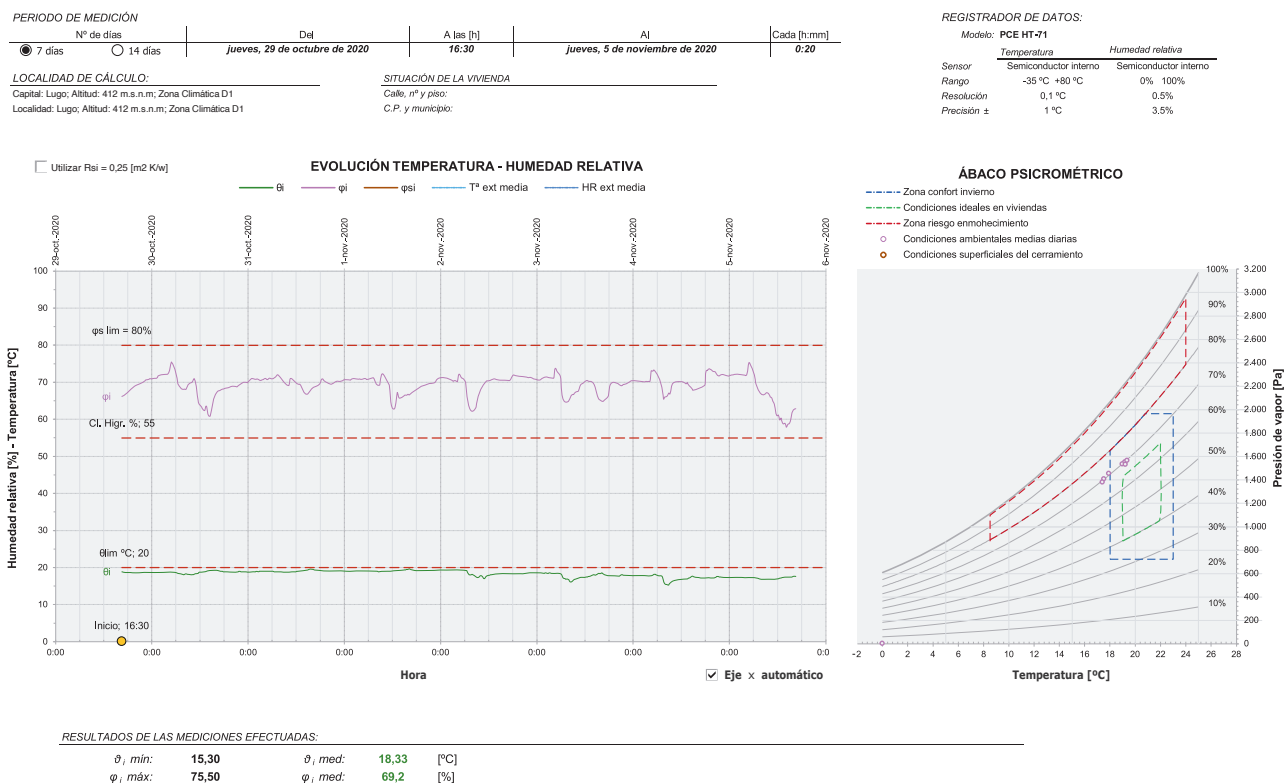


Imagen 87. **Resultados medición 7 días.**

Esta medición arroja unos **resultados de uso muy aceptables**: $\theta_{i, med} = 18,33\text{ °C}$ y $\phi_{i, med} = 69,2\%$. La **mayoría** de las mediciones efectuadas están **dentro del polígono de confort térmico** del Ábaco Psicrométrico, **salvo las medias de los tres últimos días** por su baja temperatura, en torno a los **15,5 °C**.

CATA: Se realiza una cata en la zona de la medianera afectada por las humedades de condensación y se comprueba la siguiente composición de la misma de exterior a interior:

- Monocapa exterior
- ½ pie Ladrillo hueco triple
- 2 cm de Poliuretano proyectado
- 2 cm cámara de aire (muy ventilada, $S_{aberturas} > 1.500\text{ mm}^2$ por m de longitud)
- 8 cm de Tabicón de LHD
- 1,5 cm de Enlucido de yeso

Se observan varios tubos de drenaje grandes en la parte inferior de cada paño. Tienen un diámetro mayor de lo habitual y no tienen un remate en codo para protegerlos del viento.

Introduciendo los datos del cerramiento, la aplicación calcula la gráfica de *humedad relativa superficial interior* ϕ_{si} (curva marrón), la cual sobrepasa ampliamente el valor límite del 80%.

De hecho, de las 168,33 horas de medición, en 166,00 horas se sobrepasa este valor límite, un 98,61% del tiempo de medición.

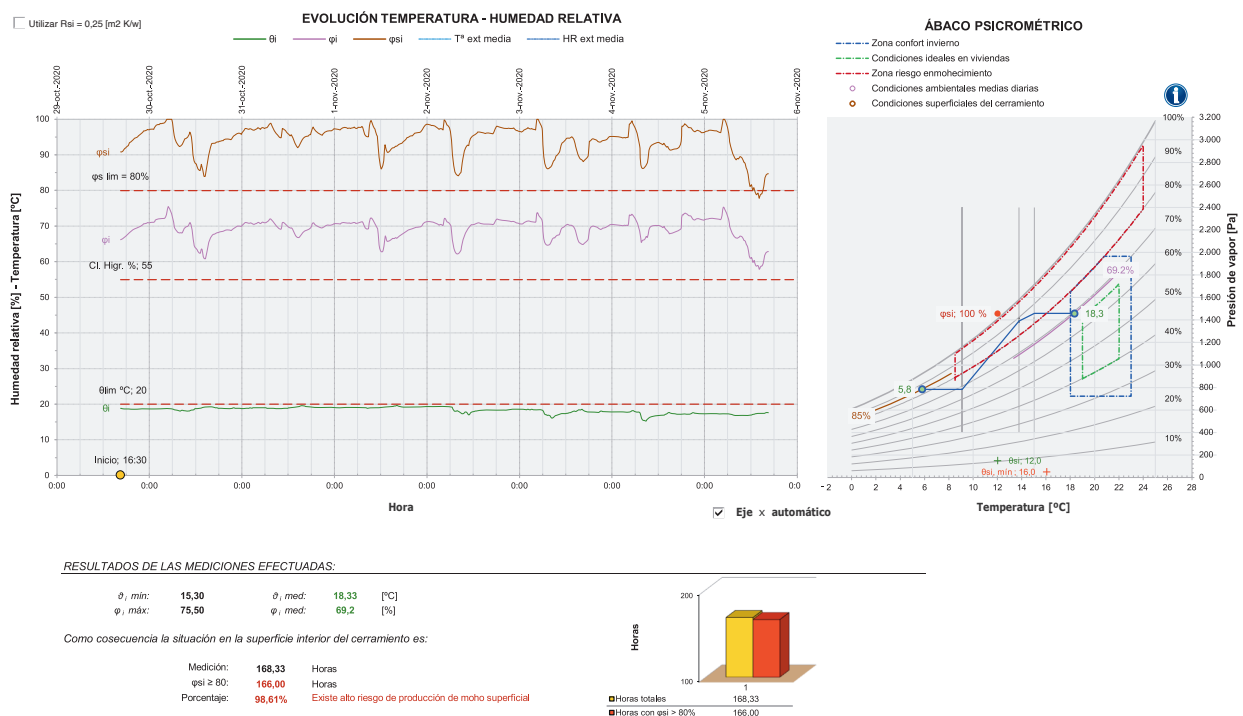


Imagen 88. Cálculo de la gráfica de humedad relativa superficial interior.

Cálculo del cerramiento e informe

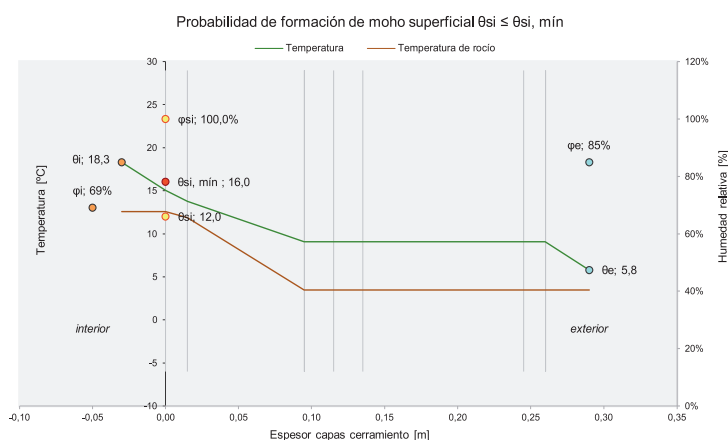
La propia aplicación hace el cálculo del cerramiento con los valores medios de θ_i (18,3 °C) y ϕ_i (69,2%) obtenidos en la medición, y teniendo en cuenta lo que se indica en el *Documento de apoyo al DB HE DA DB-HE/2*:

Para cámaras de aire muy ventiladas, la resistencia térmica total del cerramiento se obtiene **despreciando la resistencia térmica de la cámara de aire y las de las demás capas entre la cámara de aire y el ambiente exterior**, e incluyendo una **resistencia superficial exterior correspondiente al aire en calma**, igual a la resistencia superficial interior del mismo elemento.

Como se puede observar, al realizar el cálculo siguiendo las instrucciones del DA DB-HE/2, ninguna capa externa a la cámara de aire ventilada, incluida esta, presenta resistencia térmica. Esto es especialmente notable en una capa fundamental, la del **aislante térmico**. Lo que sí se considera es una **resistencia térmica exterior = 0,130 m²K/w**, igual a la interior.

CÁLCULOS HIGROTÉRMICOS DEL CERRAMIENTO:
CERRAMIENTO: Medianera mal ejecutada

COMPOSICIÓN			TEMPERATURA EN LAS CAPAS				TEMPERATURA DE ROCÍO EN CAPAS			
Material (interior a exterior)	e [m]	λ [w/mK]	R _n [m ² K/w]	θ [°C]	P _{ext} [Pa]	μ [Adim.]	S _{di} [m]	P _v [Pa]	θ _{rocío} [°C]	
- Aire interior	-	-	-	18,3	2.106,40	-	-	1.457,63	12,6	
- Superficie interior del cerramiento	-	-	0,130	15,0	1.708,96	-	-	1.457,63	12,6	
- Enlucido de yeso aislante 600<d<900	0,015	0,300	0,050	13,8	1.574,60	6,0E+00	0,09	1.389,46	11,9	
- Tabicón LHD 60<E<90 mm	0,080	0,432	0,185	9,1	1.154,56	1,0E+01	0,80	783,50	3,5	
- Cámara de aire muy ventilada	0,020	-	0,000	9,1	1.154,56	0,0E+00	0,00	783,50	3,5	
- PUR proyect. CO2 celda cerr. 0,032	0,020	0,032	0,000	9,1	1.154,56	1,0E+02	0,00	783,50	3,5	
- Tabicón LHT 100<E<110 mm	0,110	0,427	0,000	9,1	1.154,56	1,0E+01	0,00	783,50	3,5	
- Enfoscado con mortero cemento	0,015	1,000	0,000	9,1	1.154,56	1,0E+01	0,00	783,50	3,5	
- Superficie exterior del cerramiento/Aire exterior	-	-	0,130	5,8	921,77	-	-	783,50	3,5	



RESULTADO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO

R_{si} [m²K/w] 0,130 - Tipo de cerramiento: MURO
R_t [m²K/w] 0,495 U_t [w/m²K]: 2,020

- La resistencia térmica del cerramiento es muy baja

RESULTADO DE LA UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA

Condiciones de cálculo interiores (valores medios de medición) y exteriores

θi 18,33 [°C] θe 5,8 [°C]
φi 69,2 [%] φe 85%

RESULTADO CONJUNTO CONSTRUCCIÓN - UTILIZACIÓN

θsi 12,0 [°C] para R_{si} = 0,25 [m²K/w]
θsi, min 16,04 [°C]
φsi 100,0%

- Se produce riesgo de formación de moho superficial

- No se produce riesgo de condensación intersticial

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS:

RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL: SI
DEFICIENTE SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO: SI
UTILIZACIÓN INADECUADA DE LA VIVIENDA: NO

DIAGNÓSTICO: Existe riesgo de condensación superficial

CAUSAS: A juicio del técnico que suscribe el presente informe, y tras el análisis de las condiciones constructivas del cerramiento, se considera que la formación de moho en su cara interior se debe a una solución constructiva incorrecta, circunstancia que ha propiciado un entorno favorable para la proliferación de microorganismos

COMENTARIOS:

Imagen 89. Cálculo del cerramiento con cámara muy ventilada.

Esto significa, como se muestra en la imagen 89, que la temperatura superficial interior θ_{si} , **12,0 °C**, es inferior a la temperatura superficial interior mínima $\theta_{si, \min}$, **16,0 °C**, y la humedad relativa en la superficie interior del cerramiento ϕ_{si} es del **100,0%**, por lo que existe un **gran riesgo de enmohecimiento superficial**.

Cerramiento efectivo

De acuerdo con la imagen 90, aun realizando el cálculo con condiciones interiores normativas ($\theta_i = 20$ °C y $\phi_i = 55\%$), el cerramiento efectivo comprende únicamente el tabicón de ladrillo HD y el enlucido de yeso, ya que las capas eliminadas (identificadas por un aspa roja) carecen de resistencia térmica. Si bien las resistencias térmicas superficiales exterior e interior se mantienen iguales, esta configuración anula la efectividad del poliuretano proyectado, considerado el principal material para aportar resistencia térmica al cerramiento. De hecho, $\theta_{si} = 12,83$ °C, siendo la $\theta_{si, \min} = 14,09$ °C, por lo que $\phi_{si} = 86,83\%$, superior al 80% máximo permitido.

Esto permite concluir que la causa del enmohecimiento se deba a una **solución constructiva incorrecta**.

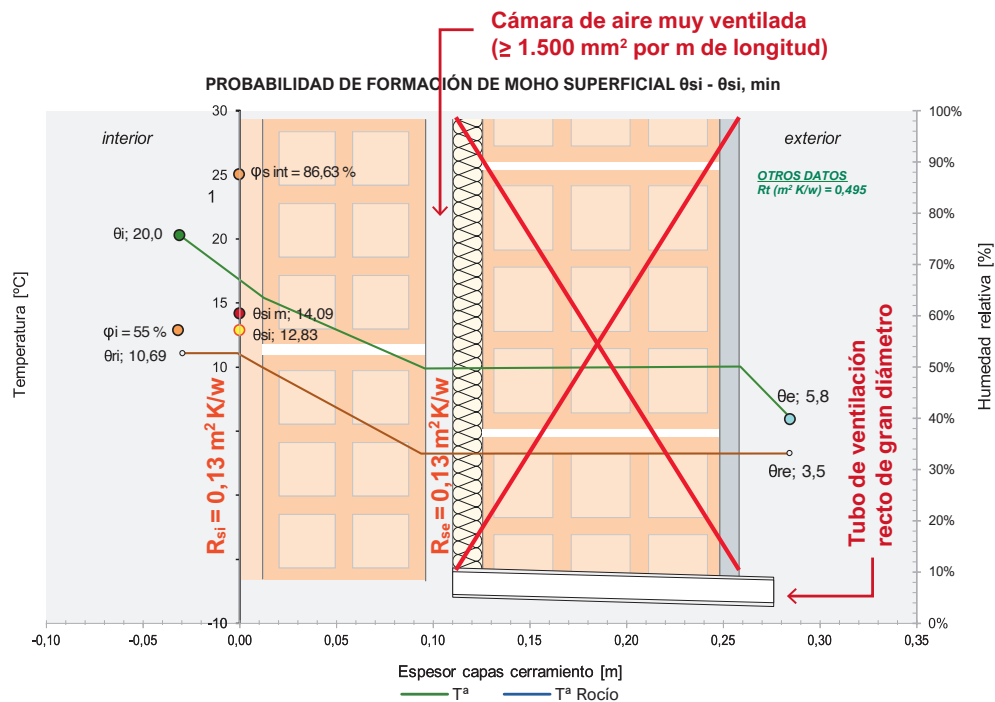


Imagen 90. Cerramiento efectivo a efectos de aislamiento térmico.

Solución del sistema constructivo correcto

Se debería haber propuesto colocar el **poliuretano proyectado** antes de la cámara ventilada como parte del cerramiento. La temperatura interior θ_{si} sería **16,03 °C**, superior a la mínima $\theta_{si, \min}$, que es **14,09 °C**. La humedad relativa superficial interior ϕ_{si} sería del **67,09%**, lo que indica **que no habría riesgo de enmohecimiento superficial**.

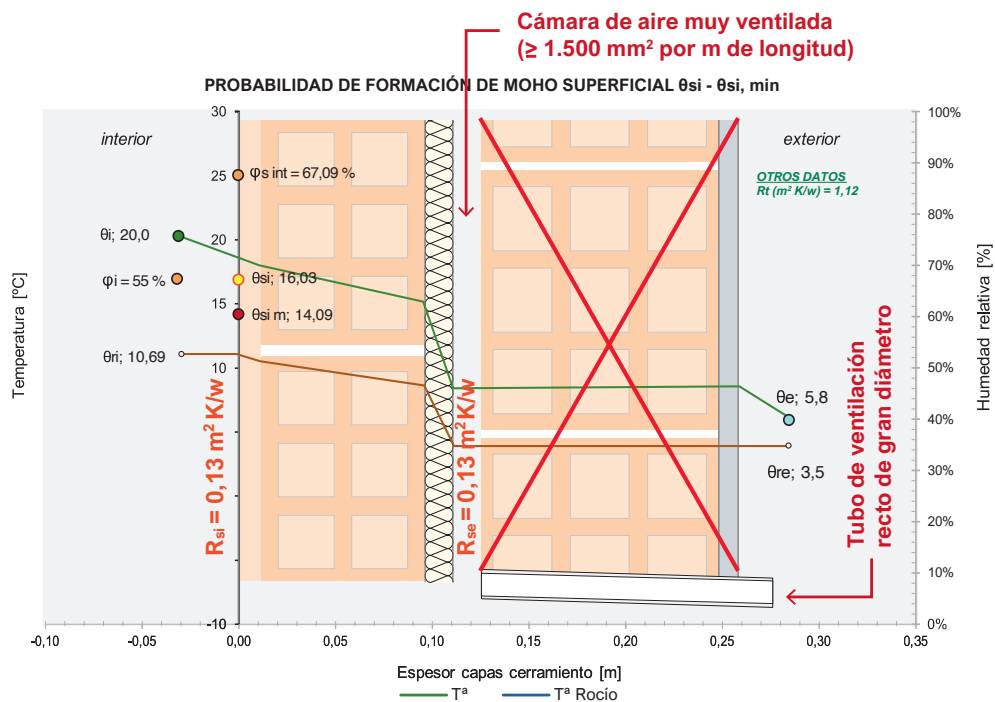
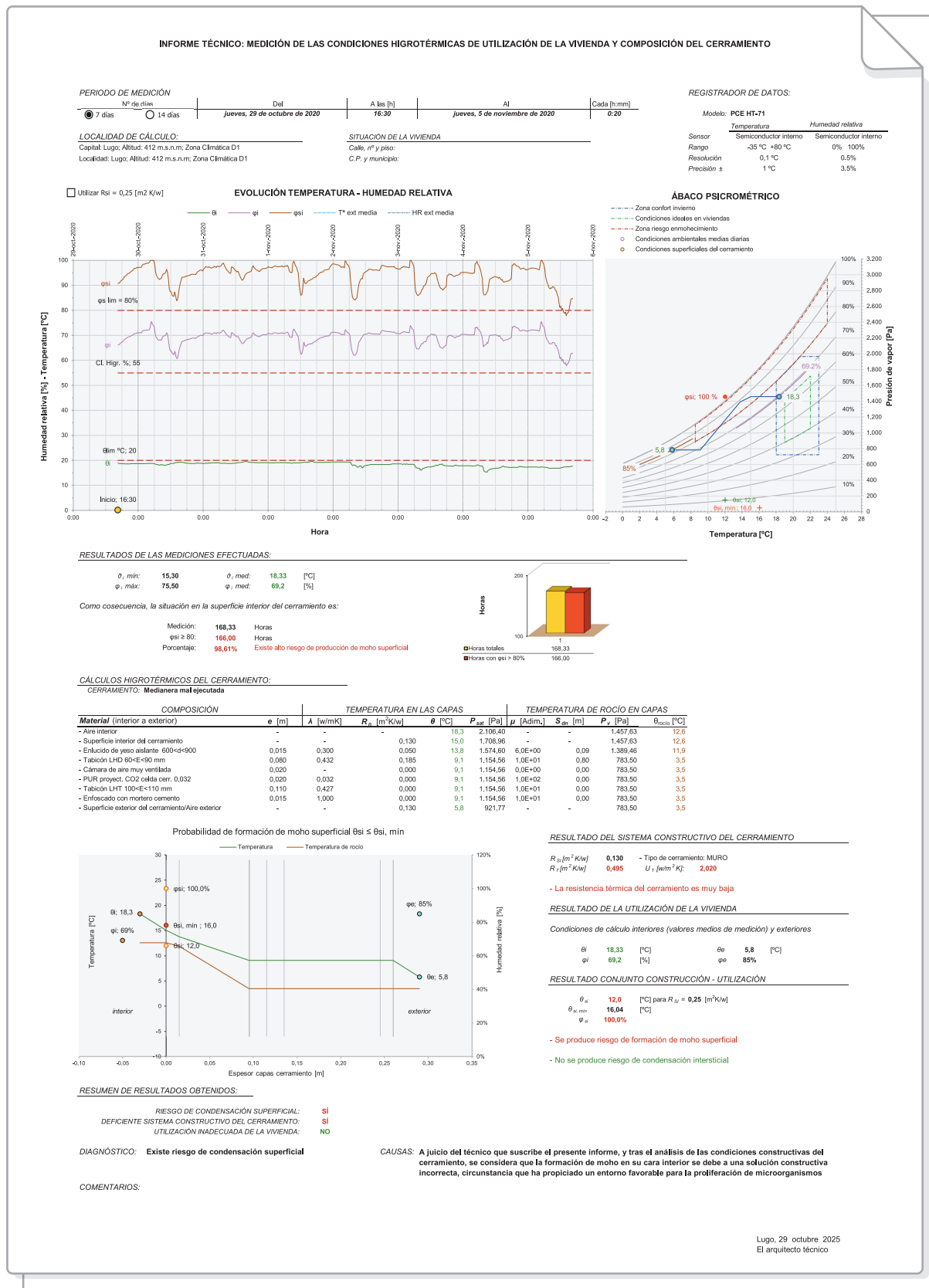


Imagen 91. Solución constructiva correcta.

Informe completo: El informe que genera la aplicación Excel es el siguiente:



Los cálculos del cerramiento en este apartado se realizan considerando las condiciones ambientales interiores que corresponden a las mediciones de temperatura y humedad relativa medias, y las exteriores correspondientes a la zona climática.

CAPÍTULO 6 EJEMPLOS CON RESULTADO: USO INADECUADO DE LA VIVIENDA

CASO 1: EDIFICIO DE VIVIENDAS

A continuación, se presenta el caso de un edificio de 172 viviendas, ubicado en zona climática D1, en el que la inquilina de una vivienda alega que esta presenta moho, humedades y deterioro en paredes, adjunta fotografías en las que se pueden apreciar los siguientes daños:



Imagen 92. Fotografías del estado de la vivienda.

- En las uniones entre muros, así como en los encuentros de muros con techos, rincones y esquinas, se observa una muy alta presencia de moho.
- Las cortinas (estores hechos de hilos de poliéster, PVC o fibra de vidrio, entrelazados para formar un tejido microperforado) también muestran signos de moho, lo cual es significativo dado que estos materiales no suelen evidenciar tal problema.
- Los marcos de los huecos exteriores y sus acristalamientos presentan condensación, es decir, tienen un nivel de humedad relativa = 100%.

Debido a esta situación, se pone el caso en manos de un técnico que determine el origen de estos daños, el cual, después de una visita donde observa que existe una producción significativa de vapor de agua, procede a realizar un informe pericial que respalde su diagnóstico (humedades de condensación debidas al uso incorrecto de la vivienda), para lo cual usará la aplicación Excel. A continuación, se detallan los pasos a seguir para la elaboración del informe utilizando la herramienta Excel.

Se procede a **una medición termohigrométrica** con un registrador de temperatura y humedad relativa. Se utiliza un registrador de datos como el de la imagen, con las **características técnicas** siguientes:



TEMPERATURA

• Sensor:	Semiconductor interno
• Rango:	-35 °C a +80 °C
• Resolución:	0,1 °C
• Precisión:	± 1 °C

H. RELATIVA

• Sensor:	Semiconductor interno
• Rango:	0% a 100%
• Resolución:	0,5%
• Precisión:	± 3,5% (entre 20% y 80%) ± 5% (entre 0% y 100%)

Autorización¹⁴

La persona cuya vivienda será monitorizada debe firmar una autorización similar a la de la imagen 93 (también se adjunta a la publicación para su descarga y utilización). Este documento es una **autorización del usuario de la vivienda** para realizar la medición, indicando **qué se hará, cuándo** y especificando sus **compromisos** sobre la manipulación y custodia del aparato, así como los resultados obtenidos.

FUNDACIÓN
musaat

AUTORIZACIÓN DE REGISTRO DE DATOS HIGROTÉRMICOS

Con objeto de hacer un seguimiento sistemático de las condiciones ambientales en las que se encuentran determinadas estancias donde se producen patologías aparentemente relacionadas con humedades, y con la finalidad de emitir un diagnóstico preciso de las causas de estas patologías, D/Dña _____, propietario/a de la vivienda situada en _____, autoriza al redactor del informe de condensación a la colocación provisional en las dependencias afectadas de dicha vivienda, durante un periodo de _____ días, del siguiente equipo:

Registrador de datos higrotérmicos

Características técnicas:

- CUOTA DE MEDICIÓN: 20 minutos
- TEMPERATURA
 - Sensor: _____
 - Rango: _____
 - Resolución: _____
 - Precisión: _____
- HUMEDAD RELATIVA
 - Sensor: _____
 - Rango: _____
 - Resolución: _____
 - Precisión: _____

Periodo de medición:

Del _____, a las _____ horas, al _____, a las _____ horas.

COMPROMISOS:

1. Los moradores de la vivienda **se comprometen a custodiar y proteger** el equipo instalado, **evitando su manipulación** e informando al redactor del informe de cualquier anomalía que se produzca durante el periodo de medición. Cualquier manipulación del equipo que se detecte al descargar los datos **invalidará los resultados**, quedando el redactor del informe **eximido de practicar cualquier otra prueba**.
2. Los **resultados de las mediciones serán aceptados por todas las partes**, es decir, tanto por los afectados, como por el redactor del informe, teniendo siempre en cuenta las imprecisiones que se mencionan en el cuadro de características técnicas que figura en este documento.
3. Los **cálculos realizados por el redactor del informe** con las mediciones obtenidas por el equipo durante el periodo de medición **podrán ser rebatidos por el propietario de la vivienda**, encargando a un técnico o gabinete técnico independiente un **informe pericial contradictorio**. Para ello, el propietario podrá solicitar por escrito al redactor del informe una copia del archivo generado por el registrador de datos con las mediciones realizadas.

En _____, a _____

El técnico redactor del informe

El/La propietario/a de la vivienda

Imagen 93. **Modelo de autorización a la medición de datos termohigrométricos.**

Medición

La medición se realiza durante **14 días** con intervalos de **20 minutos**. Luego, los datos se vuelcan en el ordenador y se introducen en la aplicación *Excel*.

La medición de la **humedad relativa** muestra una **media muy alta** del **80,1%**. Esto se refleja en la gráfica de humedad relativa (color magenta) y en el Ábaco Psicrométrico, donde casi todos los **valores medios diarios** (puntos magentas) caen **dentro de la zona de riesgo de enmohecimiento**. En cambio, la **temperatura media** (gráfica verde) tiene unos buenos valores diarios, cercanos a los **20 °C (19,88 °C de media)**.

¹⁴ El modelo de autorización se adjunta en el ANEXO de esta publicación.

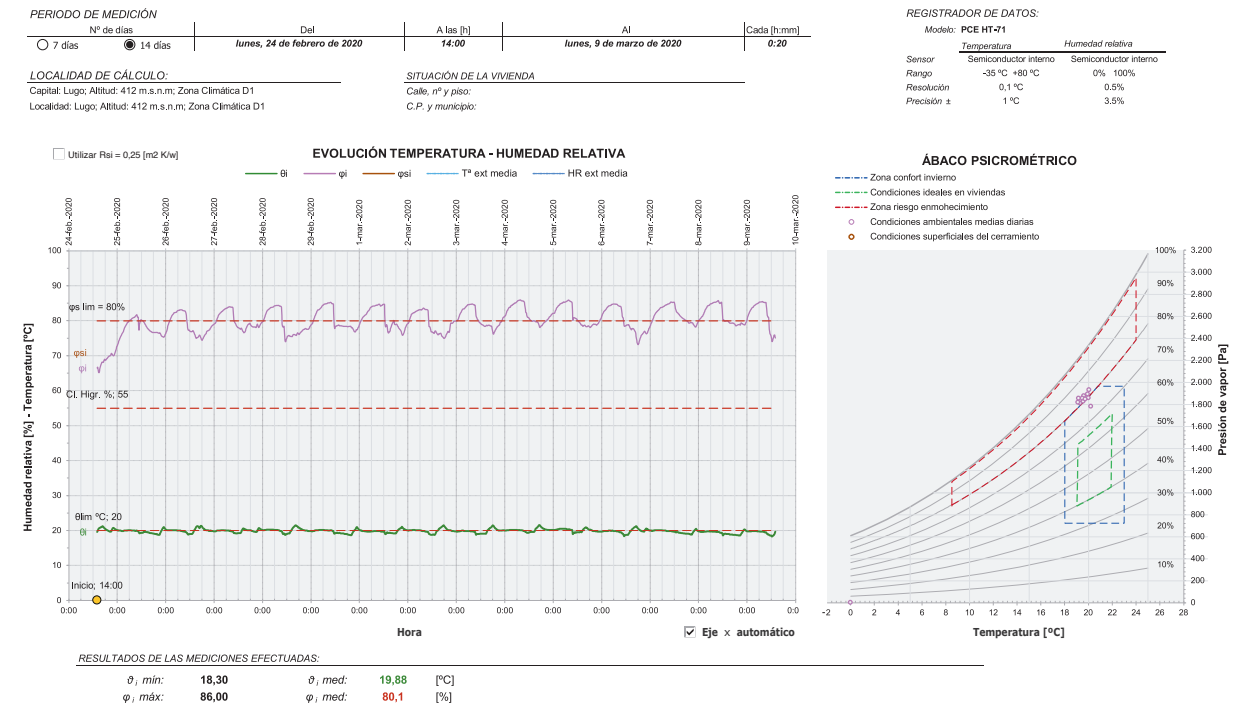


Imagen 94. Mediciones de temperatura y humedad relativa.

Si tenemos en cuenta la **resistencia térmica del cerramiento**, estas son las condiciones reales a nivel de su superficie (gráfica marrón):

- Nº Horas de medición: **336,33**.
- Nº Horas $\phi_{si} \geq 80\%$: **320,00**.
- Porcentaje de horas con $\phi_{si} \geq 80\%$: **95,14%**.

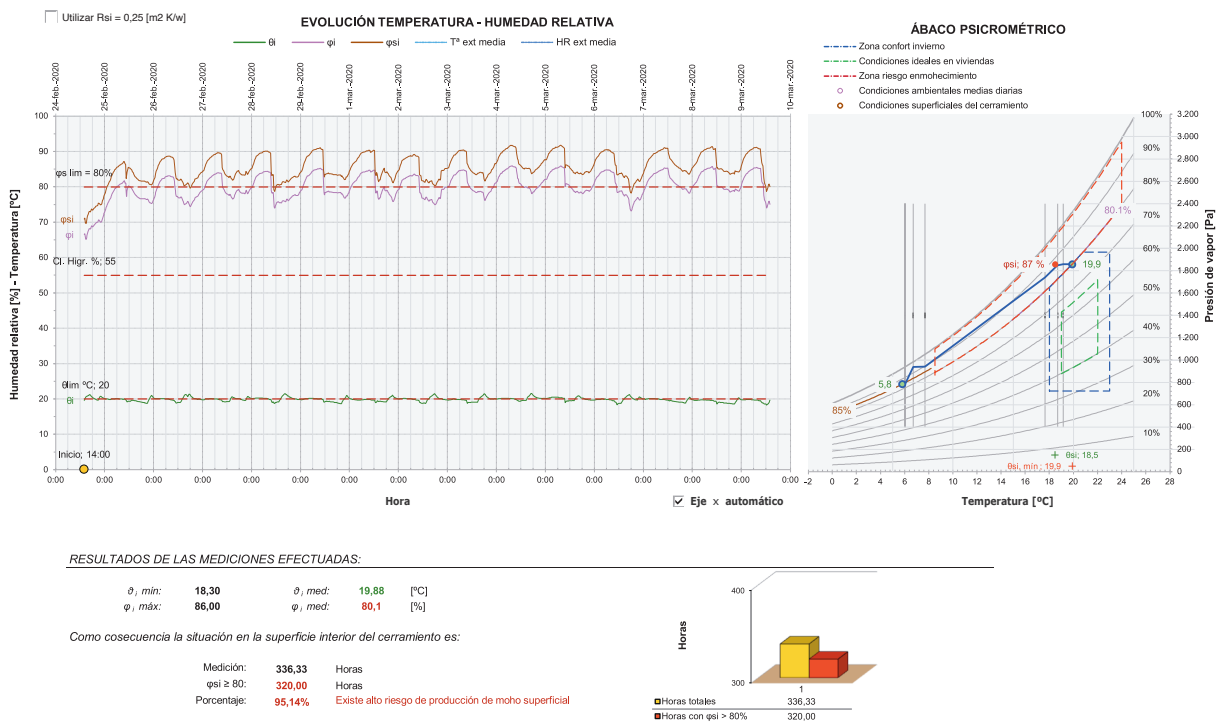


Imagen 95. Cálculo de la humedad relativa superficial interior.

El cálculo del cerramiento de la vivienda en condiciones interiores del DA DB HE/2 (20 °C y 55% Hr) confirma que **no hay riesgo** de moho superficial: $\theta_{si} = 18,58$ °C es mayor que $\theta_{si,min} = 14,09$ °C. La **humedad relativa en la superficie interior** del cerramiento ϕ_{si} es del **60,09%**, inferior al límite del **80%**.

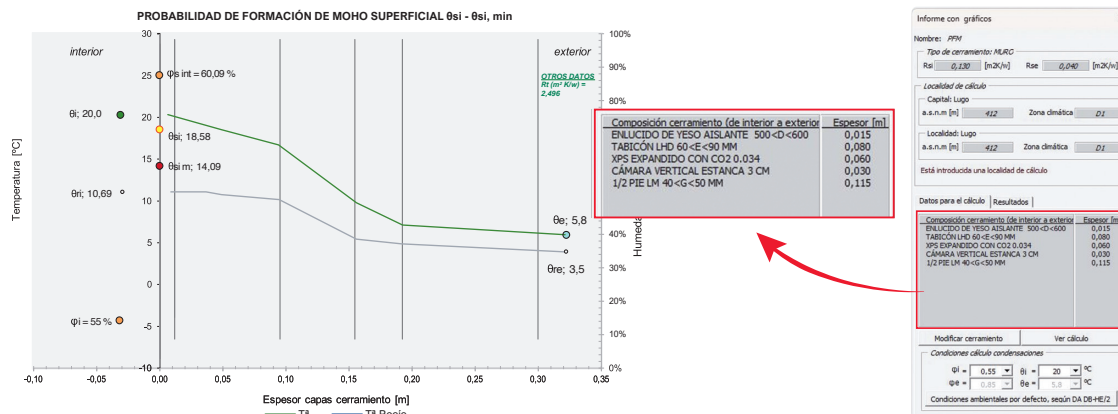


Imagen 96. Cálculo en condiciones DA DB HE/2.

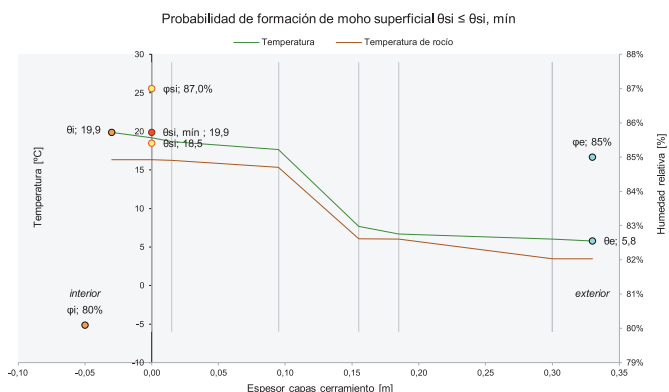
Cálculo del cerramiento e informe

Sin embargo, para una humedad relativa interior media del **80,1%**, el informe de la aplicación indica riesgo de condensación superficial, ya que la θ_{si} (18,5 °C) es menor que la $\theta_{si,min}$ (19,9 °C) y la humedad relativa superficial interior, $\phi_{si} = 87\%$, mayor del 80%.

CÁLCULOS HIGROTÉRMICOS DEL CERRAMIENTO:

CERRAMIENTO: PFM

COMPOSICIÓN		TEMPERATURA EN LAS CAPAS					TEMPERATURA DE ROCÍO EN CAPAS			
Material (interior a exterior)	e [m]	λ [w/mK]	R_{si} [m²K/w]	θ [°C]	$P_{s,i}$ [Pa]	μ [Adim.]	S_{di} [m]	$P_{s,e}$ [Pa]	θ_{roci} [°C]	
- Aire interior	-	-	-	19,9	2,319,77	-	-	1,858,14	16,3	
- Superficie interior del cerramiento	-	-	0,130	19,1	2,216,44	-	-	1,858,14	16,3	
- Enlucido de yeso aislante 500<d<600	0,015	0,180	0,083	18,7	2,152,59	6,0E+00	0,09	1,846,13	16,2	
- Tabicón LHD 60<E<90 mm	0,080	0,432	0,185	17,6	2,016,04	1,0E+01	0,80	1,739,33	15,3	
- XPS Expandido con CO2 0.034	0,060	0,034	1,765	7,7	1,048,96	1,0E+02	6,00	938,35	6,1	
- Cámara vertical estanca 3 cm	0,030	-	0,173	6,7	981,07	-	0,01	937,02	6,0	
- 1/2 Pie LM 40<G<50 mm	0,115	0,958	0,120	6,0	936,29	1,0E+01	1,15	783,50	3,5	
- Superficie exterior del cerramiento/Aire exterior	-	-	0,040	5,8	921,77	-	-	783,50	3,5	



RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS:

RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL: **SÍ**
DEFICIENTE SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO: **NO**
UTILIZACIÓN INADECUADA DE LA VIVIENDA: **SÍ**

DIAGNÓSTICO: Existe riesgo de condensación superficial

CAUSAS: A juicio del técnico que suscribe el presente informe, la presencia de moho en la cara interior del cerramiento no responde a una solución constructiva incorrecta, sino a un uso inadecuado de la vivienda, lo cual ha generado condiciones de humedad persistente y favorecido el crecimiento de moho.

RESULTADO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO

R_{si} [m²K/w] **0,130** - Tipo de cerramiento: MURO
 R_T [m²K/w] **2,496** U_T [w/m²K]: **0,400**
- La resistencia térmica del cerramiento es aceptable

RESULTADO DE LA UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA

Condiciones de cálculo interiores (valores medios de medición) y exteriores

θ_i **19,88** [°C] θ_e **5,8** [°C]
 ϕ_i **80,1** [%] ϕ_e **85%**

RESULTADO CONJUNTO CONSTRUCCIÓN - UTILIZACIÓN

θ_{si} **18,5** [°C] para $R_{si} = 0,25$ [m²K/w]
 $\theta_{si,min}$ **19,90** [°C]
 ϕ_{si} **87,0%**

- Se produce riesgo de formación de moho superficial
- No se produce riesgo de condensación intersticial

Imagen 97. Cálculo en condiciones de temperatura y humedad relativa medias de medición.

Considerando que la R_T del cerramiento, 2,496 m² K/w, es muy buena, se puede concluir que las causas del enmohecimiento superficial de deben a una **inadecuada utilización de la vivienda en cuanto a calefacción y ventilación se refiere**.

INFORME TÉCNICO: MEDICIÓN DE LAS CONDICIONES HIGROTÉRMICAS DE UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA Y COMPOSICIÓN DEL CERRAMIENTO

PERIODO DE MEDICIÓN

Nº de días	Del	A las [h]	Al	Cada [h:mm]
7 días	lunes, 24 de febrero de 2020	14:00	lunes, 9 de marzo de 2020	0:20

LOCALIDAD DE CÁLCULO:

Capital: Lago; Altitud: 412 m.s.n.m.; Zona Climática D1
Localidad: Lago; Altitud: 412 m.s.n.m.; Zona Climática D1

SITUACIÓN DE LA VIVIENDA

Calle, nº y piso:
C.P. y municipio:

REGISTRADOR DE DATOS:

Modelo:	PCE HT-71	Humedad relativa
Sensor	Temperatura	Semiconductores
	-35 °C +80 °C	0% 100%
Rango	0,1 °C	0,5%
Resolución	1 °C	3,5%
Precisión ±		

☐ Utilizar $R_{si} = 0,25 \text{ [m}^2 \text{ K/w]}$

EVOLUCIÓN TEMPERATURA - HUMEDAD RELATIVA

ABACO PSICROMÉTRICO

RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EFECTUADAS:

θ_i min:	18,30	θ_i med:	19,88	[°C]
ϕ_i máx:	86,00	ϕ_i med:	80,1	[%]

Como consecuencia, la situación en la superficie interior del cerramiento es:

Medición:	336,33	Horas
$\phi_{si} \geq 80$:	320,00	Horas
Porcentaje:	95,14%	Existe alto riesgo de producción de moho superficial

CÁLCULOS HIGROTÉRMICOS DEL CERRAMIENTO:

CERRAMIENTO: PFM

COMPOSICIÓN	TEMPERATURA EN LAS CAPAS	TEMPERATURA DE ROCIÓN EN CAPAS							
Material (interior a exterior)	e [m]	λ [w/mK]	R_{si} [m²K/w]	θ [°C]	P_{sat} [Pa]	μ [Adim.]	S_{di} [m]	P_v [Pa]	θ_{roci} [°C]
- Aire interior	-	-	-	19,9	2.318,77	-	-	1.858,14	16,3
- Superficie interior del cerramiento	-	-	0,130	19,1	2.216,44	-	-	1.858,14	16,3
- Enfucado de yeso aislante 500<d<600	0,015	0,180	0,083	16,2	2.152,59	6,0E+00	0,09	1.846,13	16,2
- Tabición LHD 60<E<90 mm	0,080	0,432	0,185	17,8	2.016,04	1,0E+01	0,80	1.739,33	15,3
- XPS Expandido con CO2 0,034	0,060	0,034	1,765	7,7	1.048,98	1,0E+02	6,00	936,35	6,1
- Cámara vertical estancia 3 cm	0,030	-	0,173	6,7	981,07	-	0,01	937,02	6,0
- 1/2 Pie LM 40<G<50 mm	0,115	0,958	0,120	6,0	936,29	1,0E+01	1,15	783,50	3,5
- Superficie exterior del cerramiento/Aire exterior	-	-	0,040	5,8	921,77	-	-	783,50	3,5

Probabilidad de formación de moho superficial $\phi_{si} \leq \theta_{si}$ min

RESULTADO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO

R_{si} [m²K/w]	0,130	- Tipo de cerramiento: MURO
R_{te} [m²K/w]	2,496	U_t [w/m²K]: 0,400

- La resistencia térmica del cerramiento es aceptable

RESULTADO DE LA UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA

Condiciones de cálculo interiores (valores medios de medición) y exteriores

θ_i	19,88	[°C]	θ_e	5,8	[°C]
ϕ_i	80,1	[%]	ϕ_e	85%	

RESULTADO CONJUNTO CONSTRUCCIÓN - UTILIZACIÓN

θ_{si}	18,5	[°C] para $R_{si} = 0,25 \text{ [m}^2 \text{ K/w]}$
$\theta_{si, min}$	19,00	[°C]
ϕ_{si}	87,0%	

- Se produce riesgo de formación de moho superficial

- No se produce riesgo de condensación intersticial

85

CASO 2: EDIFICIO DE VIVIENDAS

Datos del edificio

Mismo edificio de 172 viviendas en zona climática D1. En este caso, se dan condiciones interiores similares al ejemplo anterior. A continuación, se analiza su cálculo mediante la herramienta Excel.

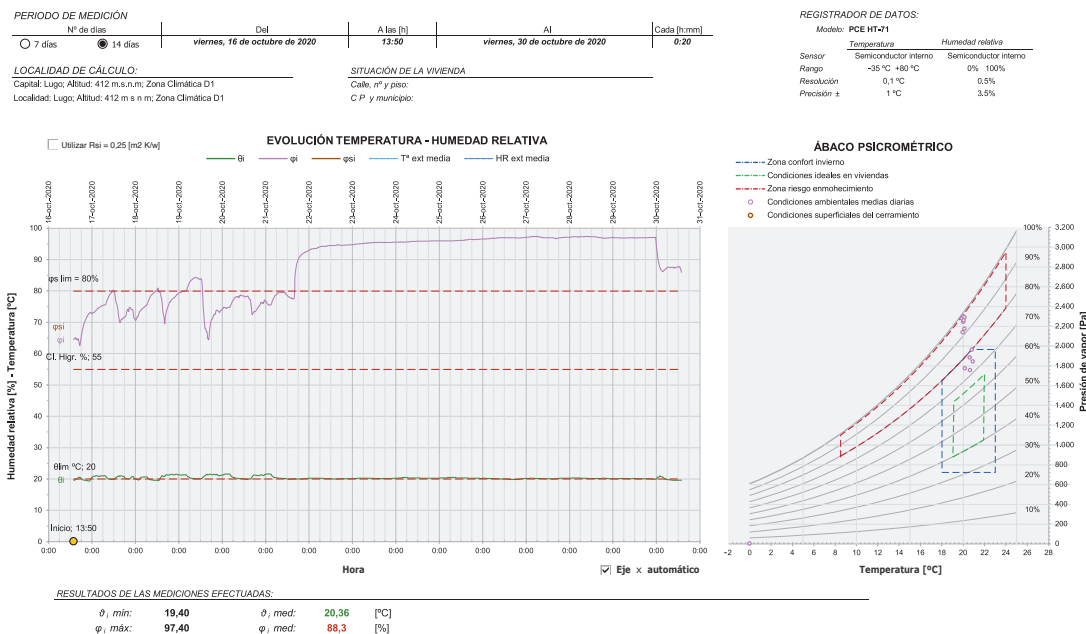


Imagen 98. Gráficas resultado de las mediciones efectuadas.

Medición

El gráfico de humedad relativa (imagen 98) indica que, hasta el quinto día, los residentes realizaron ventilación, logrando mantener la Hr alrededor del 80%. Posteriormente, al cesar la ventilación, la Hr se elevó a valores cercanos al 100%. Las mediciones registraron una humedad relativa media del 88,3% y una temperatura promedio de 20,36 °C.

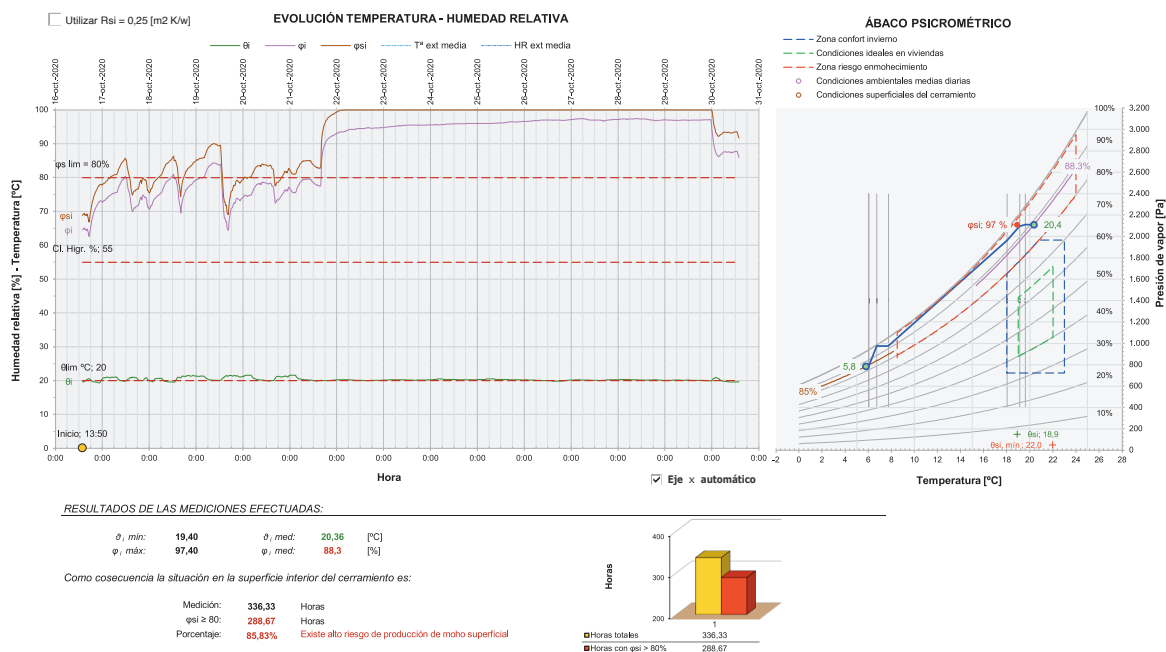


Imagen 99. Gráfica del cálculo de la humedad relativa superficial interior.

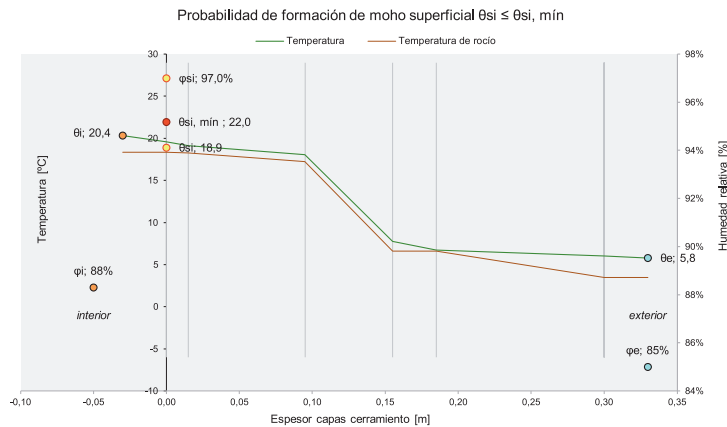
Considerando la **resistencia térmica del cerramiento** de $2,496 \text{ m}^2\text{K/W}$ (idéntica al caso anterior), la imagen 99 presenta las condiciones reales de la superficie del cerramiento respecto a la humedad relativa superficial interior (curva marrón). Según se aprecia en la gráfica, a partir del quinto día de medición la **humedad relativa en la superficie interior del cerramiento** (indicada por la gráfica y los puntos marrones en el ábaco) alcanza el **100%**.

Cálculo del cerramiento e informe

El cálculo en condiciones $DA DB HE/2$ ($\theta_i = 20^\circ\text{C}$ y $\phi_i = 55\%$) es el mismo que en el caso anterior, ya que se trata del mismo cerramiento, pero con una **humedad relativa media** del **88%** ocurre lo siguiente:

CÁLCULOS HIGROTÉRMICOS DEL CERRAMIENTO:
CERRAMIENTO: PFM

COMPOSICIÓN		TEMPERATURA EN LAS CAPAS					TEMPERATURA DE ROCÍO EN CAPAS				
Material (interior a exterior)	e [m]	λ [W/mK]	R_s [m ² K/W]	θ [°C]	P_{sat} [Pa]	μ [Adim.]	S_{dn} [m]	P_v [Pa]	θ_{roci} [°C]		
- Aire interior	-	-	-	20,4	2,388,90	-	-	2,109,40	18,4		
- Superficie interior del cerramiento	-	-	0,130	19,6	2,279,37	-	-	2,109,40	18,4		
- Enlucido de yeso aislante 500<d<600	0,015	0,180	0,083	19,1	2,211,76	6,0E+00	0,09	2,094,58	18,2		
- Tabicón LHD 60<E<90 mm	0,080	0,432	0,185	18,0	2,067,34	1,0E+01	0,80	1,962,81	17,2		
- XPS Expandido con CO2 0,034	0,060	0,034	1,765	7,7	1,053,51	1,0E+02	6,00	974,56	6,6		
- Cámara vertical estanca 3 cm	0,030	-	0,173	6,7	983,13	-	0,01	972,91	6,6		
- 1/2 Pie LM 40<G<50 mm	0,115	0,958	0,120	6,0	936,78	1,0E+01	1,15	783,50	3,5		
- Superficie exterior del cerramiento/Aire exterior	-	-	0,040	5,8	921,77	-	-	783,50	3,5		



RESULTADO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO

R_{si} [m²K/W] **0,130** - Tipo de cerramiento: MURO
 R_t [m²K/W] **2,496** U_t [W/m²K]: **0,400**

- La resistencia térmica del cerramiento es aceptable

RESULTADO DE LA UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA

Condiciones de cálculo interiores (valores medios de medición) y exteriores

θ_i **20,36** [°C] θ_e **5,8** [°C]
 ϕ_i **88,3** [%] ϕ_e **85%**

RESULTADO CONJUNTO CONSTRUCCIÓN - UTILIZACIÓN

θ_{si} **18,9** [°C] para $R_{si} = 0,25$ [m²K/W]
 $\theta_{si, \min}$ **21,96** [°C]
 ϕ_{si} **97,0%**

- Se produce riesgo de formación de moho superficial

- No se produce riesgo de condensación intersticial

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS:

RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL: **SI**
DEFICIENTE SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO: **NO**
UTILIZACIÓN INADECUADA DE LA VIVIENDA: **SI**

DIAGNÓSTICO: Existe riesgo de condensación superficial

CAUSAS: A juicio del técnico que suscribe el presente informe, la presencia de moho en la cara interior del cerramiento no responde a una solución constructiva incorrecta, sino a un uso inadecuado de la vivienda, lo cual ha generado condiciones de humedad persistente y favorecido el crecimiento de moho.

COMENTARIOS:

Imagen 100. Informe resultante.

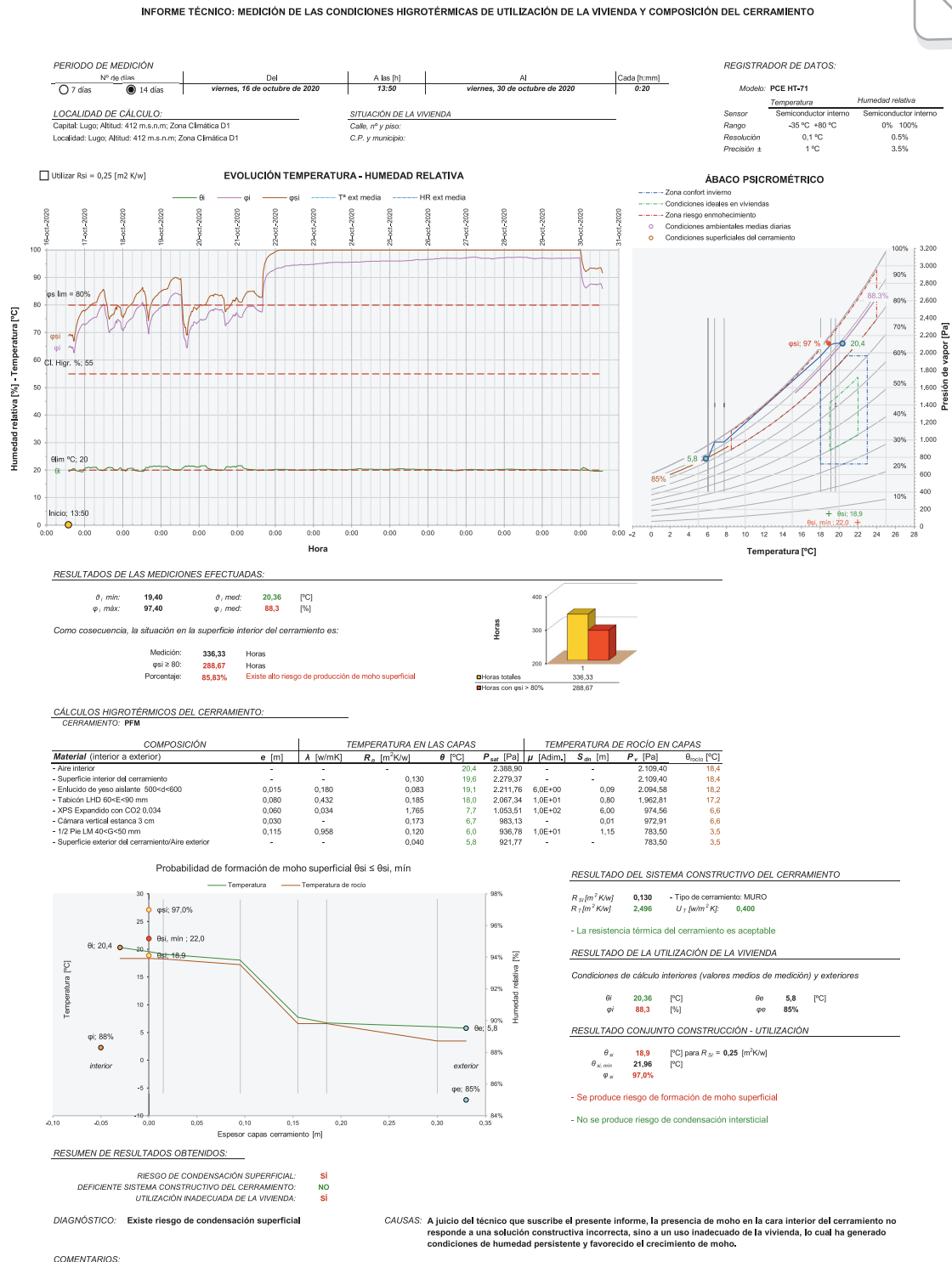
Obtenemos lo siguiente:

- $\theta_{si, \min} = 22,0^\circ\text{C}$
- $\theta_{si} = 18,9^\circ\text{C}$
- H_r superficial = **97,0%**

Estos resultados nos indican que **existe un alto riesgo de formación de moho**.

En este caso, como en el anterior, se puede concluir que la aparición de moho superficial en el cerramiento se debe a un **uso inadecuado de la vivienda**.

Informe completo: El informe que genera la aplicación Excel es el siguiente:



Lugo, 29 octubre 2025
El arquitecto técnico

Los cálculos del cerramiento en este apartado se realizan considerando las condiciones ambientales interiores que corresponden a las mediciones de temperatura y humedad relativa medias, y las exteriores correspondientes a la zona climática.

CASO 3: VIVIENDA UNIFAMILIAR ADOSADA EN ZONA CLIMÁTICA D1

Se trata de una vivienda unifamiliar adosada de planta baja, con 113,47 m² de superficie útil, cuenta con tres dormitorios y una ocupación de 5 personas (alta ocupación). Muestra signos muy evidentes de condensación superficial en los cerramientos exteriores del salón –agravado al unir salón, comedor y cocina en una misma estancia – y en dos dormitorios.

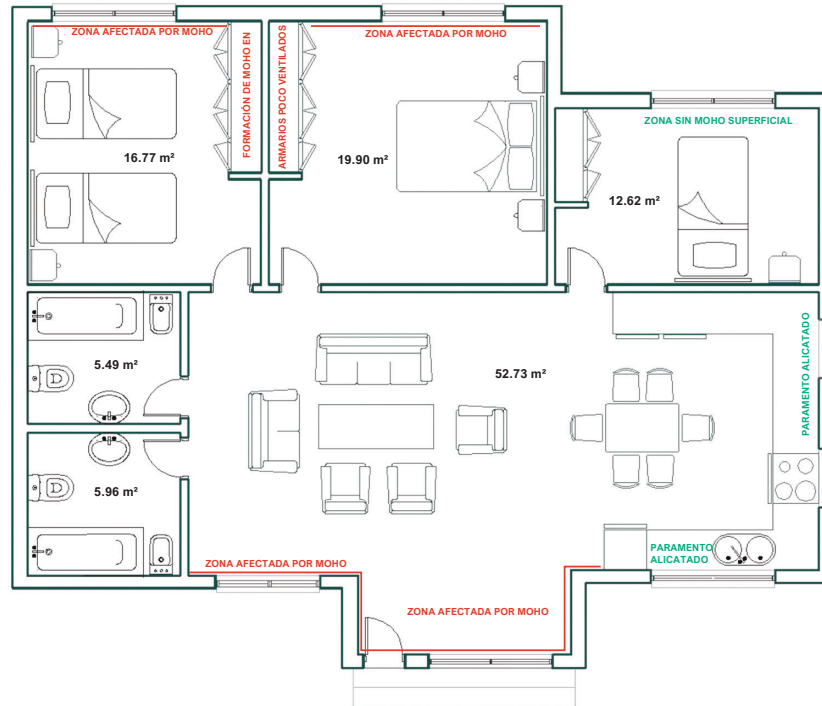


Imagen 101. Distribución de la vivienda en planta.

Se procede a una medición de datos higrotérmicos. En esta medición aparecen picos bajos de humedad relativa que corresponden a la ventilación (con temperaturas más bajas) y picos altos de humedad relativa desde las 12:00 horas, coincidiendo con el uso de calefacción, hasta las 10:00 horas, cuando se vuelve a ventilar, tal y como se muestra en la imagen 102.

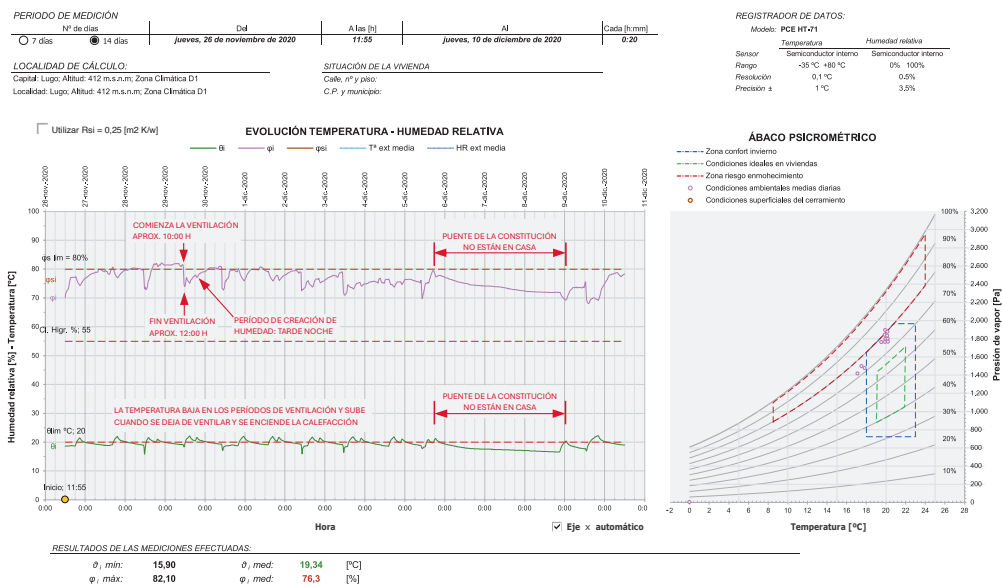


Imagen 102. Datos de medición de temperatura y humedad relativa.

Se observa también una ausencia de la vivienda desde el domingo 6 de diciembre de 2020 hasta el miércoles 9 de diciembre de 2020 (puente de la Constitución). Durante esa ausencia **se apaga la calefacción y descien- de la temperatura**, pero, al no estar habitada la vivienda, no hay producción de vapor y, por tanto, también **desciende la humedad relativa en la misma proporción**.

La medición de la humedad relativa arroja unos resultados muy altos, con una **humedad relativa media del 76,3%**, sin embargo, la temperatura tiene unos buenos valores, cercanos a los 20 °C (**19,34 °C** de media).

El cerramiento exterior de la vivienda tiene la siguiente composición y se realiza el cálculo de condensaciones sobre la composición del cerramiento existente en condiciones del **DA DB HE/2** ($\theta_i = 20^\circ\text{C}$ y $\phi_i = 55\%$) (imagen 103):

Cerram.: **Unifamiliar**

Material (De interior a exterior)	Espesor [m]	λ [w/mK]	μ (Adimen.)	R_T [m²K/w]	S_d [m]	P_{sat} [Pa]	P_v [Pa]
Aire interior	-	-	-	-	-	2.336,95	1.285,32
SUPERFICIE INTERIOR DEL CERRAMIENTO	-	-	-	0,130	-	2.188,56	1.285,32
ENLUCIDO DE YESO AISLANTE 500<D<600	0,015	0,180	6	0,083	0,090	2.098,20	1.270,22
TABICÓN LHD 60<E<90 MM	0,080	0,432	10	0,185	0,800	1.908,44	1.135,95
EPS POLIESTIRENO EXPANDIDO 0.034	0,040	0,034	20	1,176	0,800	1.016,62	1.001,68
1/2 PIE LM 40<G<50 MM	0,115	0,958	10	0,120	1,150	950,70	808,67
ENFOSCADO CON MORTERO CEMENTO	0,015	1,0000	10	0,015	0,150	942,73	783,50
Superf. exterior/Aire exterior	-	-	-	0,040	0,325	921,77	783,50
	0,265			1,749	2,990		

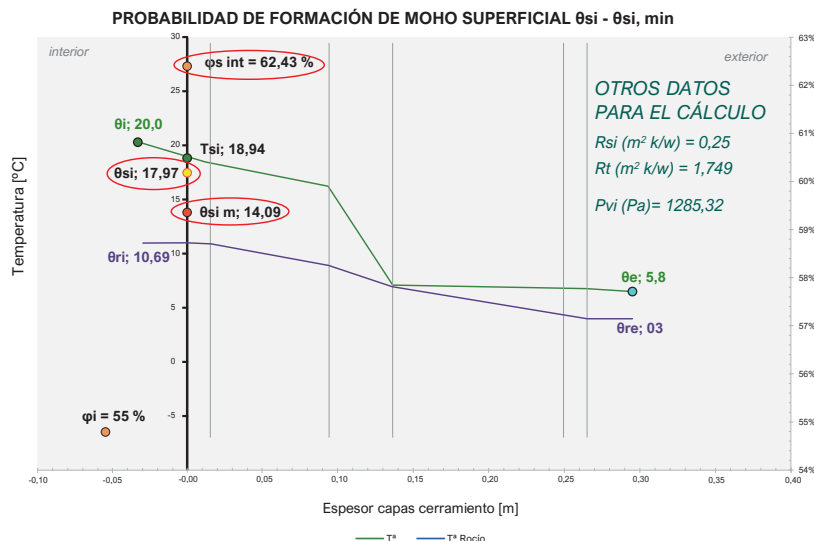


Imagen 103. Composición y cálculo del cerramiento en condiciones DA DB HE/2.

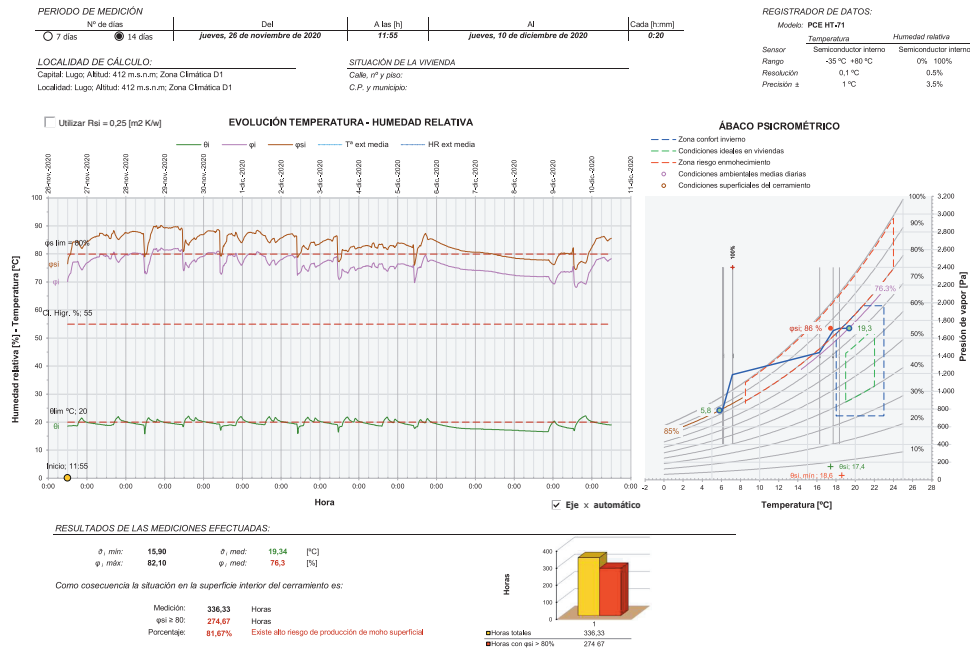
En esas condiciones, este cerramiento, **no presenta riesgo de formación de moho superficial**. Tampoco tiene riesgo de condensación intersticial y la **resistencia térmica** es de **1,749 m² K/w**.

Si tenemos en cuenta la **resistencia térmica** del cerramiento, vemos que estas son las condiciones a nivel de su superficie (gráfica marrón de imagen 104).

Con los siguientes resultados:

- N° Horas de medición: **336,33**
- N° Horas $\theta_{si} \geq 80\%$: **274,67 (81,67% del total de horas)**

Estos valores, unidos a que en esas condiciones, $\phi_i = 76,3\%$ (imagen 104), se produce también **condensación intersticial importante en el aislante térmico**, hacen suponer que el **riesgo de formación de moho** superficial sea muy grande.

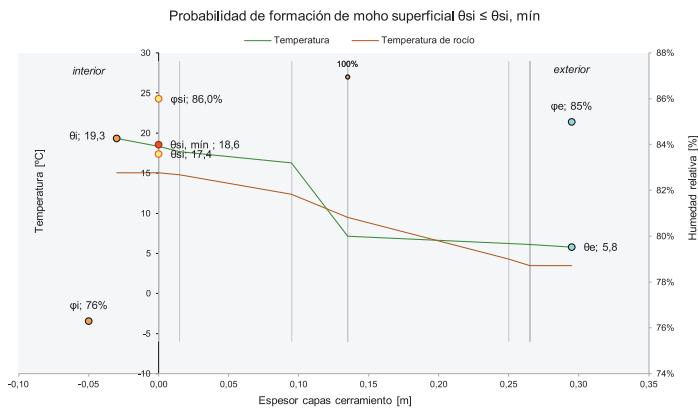


Cálculo del cerramiento e informe

Una vez introducidos los datos del cerramiento y aplicadas las condiciones interiores medias de θ_i y de ϕ_i de medición, se obtiene el siguiente resultado:

CÁLCULOS HIGROTÉRMICOS DEL CERRAMIENTO:

COMPOSICIÓN		TEMPERATURA EN LAS CAPAS					TEMPERATURA DE ROCÍO EN CAPAS				
Material (interior a exterior)	e [m]	λ [w/mK]	R _{si} [m²K/w]	θ [°C]	P _{tot} [Pa]	μ [Adim.]	S _{de} [m]	P _v [Pa]	θ _{rocío} [°C]		
- Aire interior	-	-	-	19,3	2,243,73	-	-	1,711,96	15,1		
- Superficie interior del cerramiento	-	-	-	18,3	2,106,99	-	-	1,711,96	15,1		
- Entucido de yeso aislante 500<d<600	0,015	0,180	0,083	17,7	2,023,55	6,0E+00	0,09	1,684,01	14,8		
- Tabicón LHD 60<E<90 mm	0,080	0,432	0,185	16,3	1,847,91	1,0E+01	0,80	1,435,60	12,4		
- EPS Poliestireno expandido 0,034	0,040	0,034	1,176	7,2	1,012,06	2,0E+01	0,80	1,187,18	9,5		
- 1/2 Pie LM 40<G<50 mm	0,115	0,958	0,120	6,2	949,35	1,0E+01	1,15	830,08	4,3		
- Enfoscado con mortero cemento	0,015	1,000	0,015	6,1	941,75	1,0E+01	0,15	783,50	3,5		
- Superficie exterior del cerramiento/Aire exterior	-	-	-	5,8	921,77	-	-	783,50	3,5		



RESULTADO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO

R_{si} [m²K/w] 0,130 - Tipo de cerramiento: MURO
R_T [m²K/w] 1,749 U_T [w/m²K]: 0,570

- La resistencia térmica del cerramiento es aceptable

RESULTADO DE LA UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA

Condiciones de cálculo interiores (valores medios de medición) y exteriores

θ_i 19,34 [°C] θ_e 5,8 [°C]
φ_i 76,3 [%] φ_e 85%

RESULTADO CONJUNTO CONSTRUCCIÓN - UTILIZACIÓN

θ_{si} 17,4 [°C] para R_{si} = 0,25 [m²K/w]
θ_{si, min} 18,59 [°C]
φ_{si} 86,0%

- Se produce riesgo de formación de moho superficial

- C. intersticial en 1 capa: posible empeoramiento del riesgo de condensación superficial

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS:

RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL: SI
DEFICIENTE SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO: NO
UTILIZACIÓN INADECUADA DE LA VIVIENDA: SI

DIAGNÓSTICO: Existe riesgo de condensación superficial

CAUSAS: A juicio del técnico que suscribe el presente informe, la presencia de moho en la cara interior del cerramiento no responde a una solución constructiva incorrecta, sino a un uso inadecuado de la vivienda, lo cual ha generado condiciones de humedad persistente y favorecido el crecimiento de moho.

COMENTARIOS:

Imagen 105. Informe resultante.

Los resultados ($\phi_{si} = 86\%$ y $R_T = 1,749 \text{ m}^2 \text{ K/w}$) indican que las condensaciones superficiales se deben principalmente a un **uso inadecuado de la vivienda**, en particular por calefacción deficiente y ventilación insuficiente.

Informe completo: El informe que genera la aplicación Excel es el siguiente:

INFORME TÉCNICO: MEDICIÓN DE LAS CONDICIONES HIGROTÉRMICAS DE UTILIZACIÓN DE LA VIVIENDA Y COMPOSICIÓN DEL CERRAMIENTO

PERIODO DE MEDICIÓN

Nº de días	Del	A las (h)	Al	Cada (h:mm)
7 días	Jueves, 26 de noviembre de 2020	11:55	Jueves, 10 de diciembre de 2020	6:20

LOCALIDAD DE CÁLCULO:

Capital: Lugo; Altitud: 412 m.s.n.m.; Zona Climática D1
Localidad: Lugo; Altitud: 412 m.s.n.m.; Zona Climática D1

SITUACIÓN DE LA VIVIENDA

Calle, nº y piso:
C.P. y municipio:

REGISTRADOR DE DATOS:

Modelo:	Temperatura	Humedad relativa
Sensor	Semiconductores interno	Semiconductores interno
Rango	-35 °C +80 °C	0% 100%
Resolución	0,1 °C	0,5%
Precisión ±	1 °C	3,5%

☐ Utilizar Rsi = 0,25 [m² K/w]

EVOLUCIÓN TEMPERATURA - HUMEDAD RELATIVA

ABACO PSICROMÉTRICO

RESULTADOS DE LAS MEDICIONES EFECTUADAS:

θ_i min: 15,90 θ_i med: 19,34 [°C]
 ϕ_i max: 82,10 ϕ_i med: 76,3 [%]

Como consecuencia, la situación en la superficie interior del cerramiento es:

Medición: 336,33 Horas
 $\phi_i \geq 80$: 274,67 Horas
Porcentaje: 81,67% Existe alto riesgo de producción de moho superficial

CÁLCULOS HIGROTÉRMICOS DEL CERRAMIENTO:

CERRAMIENTO: Unifamiliar

COMPOSICIÓN	TEMPERATURA EN LAS CAPAS	TEMPERATURA DE ROCÍO EN CAPAS							
Material (interior a exterior)	θ [m]	λ [w/mK]	R_{si} [m²K/w]	θ [°C]	P_{sat} [Pa]	μ [Adim.]	S_{gi} [m]	P_v [Pa]	θ_{roci} [°C]
- Aire interior	-	-	-	19,3	2.243,73	-	-	1.711,96	15,1
- Superficie interior del cerramiento	-	-	0,130	18,3	2.108,99	-	-	1.711,96	15,1
- Enlucido de yeso aislante 500<d<600	0,015	0,180	0,083	17,7	2.023,55	6,0E+00	0,09	1.684,01	14,8
- Tabicación LHD 60<E<90 mm	0,080	0,432	0,185	16,3	1.847,91	1,0E+01	0,80	1.435,60	12,4
- EPS Poliestireno expandido 0,034	0,040	0,034	1,176	7,2	1.012,06	2,0E+01	0,80	1.187,18	9,5
- 12 Pte LHD 40<G<50 mm	0,115	0,958	0,120	6,2	949,35	1,0E+01	1,15	830,08	4,3
- Enfoscado con mortero cemento	0,015	1,000	0,015	6,1	941,75	1,0E+01	0,15	783,50	3,5
- Superficie exterior del cerramiento/Aire exterior	-	-	0,040	5,8	921,77	-	-	783,50	3,5

Probabilidad de formación de moho superficial $\phi_{si} \leq \phi_{si, min}$

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS:

RIESGO DE CONDENSACIÓN SUPERFICIAL: **SI**
DEFICIENTE SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL CERRAMIENTO: **NO**
UTILIZACIÓN INADECUADA DE LA VIVIENDA: **SI**

DIAGNÓSTICO: Existe riesgo de condensación superficial

CAUSAS: A juicio del técnico que suscribe el presente informe, la presencia de moho en la cara interior del cerramiento no responde a una solución constructiva incorrecta, sino a un uso inadecuado de la vivienda, lo cual ha generado condiciones de humedad persistente y favorecido el crecimiento de moho.

COMENTARIOS:

Lugo, 29 octubre 2025
El arquitecto técnico

CAPÍTULO 7 RECOMENDACIONES A LOS USUARIOS

Como se ha comentado anteriormente, una vez elaborado el informe de condensaciones, si las causas están relacionadas con el uso inadecuado de la vivienda, se genera anexo al informe una página adicional con recomendaciones a los usuarios. Entre las que se encuentran las siguientes:

- **Ventilación regular:** Asegurar una ventilación diaria de todas las estancias, especialmente en dormitorios, baños y cocinas. Se recomienda el uso de sistemas de *ventilación mecánica controlada (VMC)*.
- **Control de la humedad interior:** Evitar la acumulación de humedad generada por actividades cotidianas como cocinar, ducharse o secar ropa en el interior.
- **Temperatura constante:** Mantener una temperatura interior estable, entre 19 °C y 21 °C, especialmente en invierno. Las temperaturas bajas pueden favorecer la condensación sobre superficies frías.
- **Evitar obstrucciones del cerramiento en el interior:** No colocar muebles grandes o cortinas gruesas en contacto directo con los cerramientos exteriores, ya que pueden dificultar la ventilación de las superficies y favorecer la condensación.
- **Uso adecuado de calefacción:** Evitar sistemas de calefacción por combustión sin evacuación al exterior (como estufas de gas butano), ya que generan una gran cantidad de vapor de agua.

VENTILACIÓN MECÁNICA CONTROLADA (VMC)

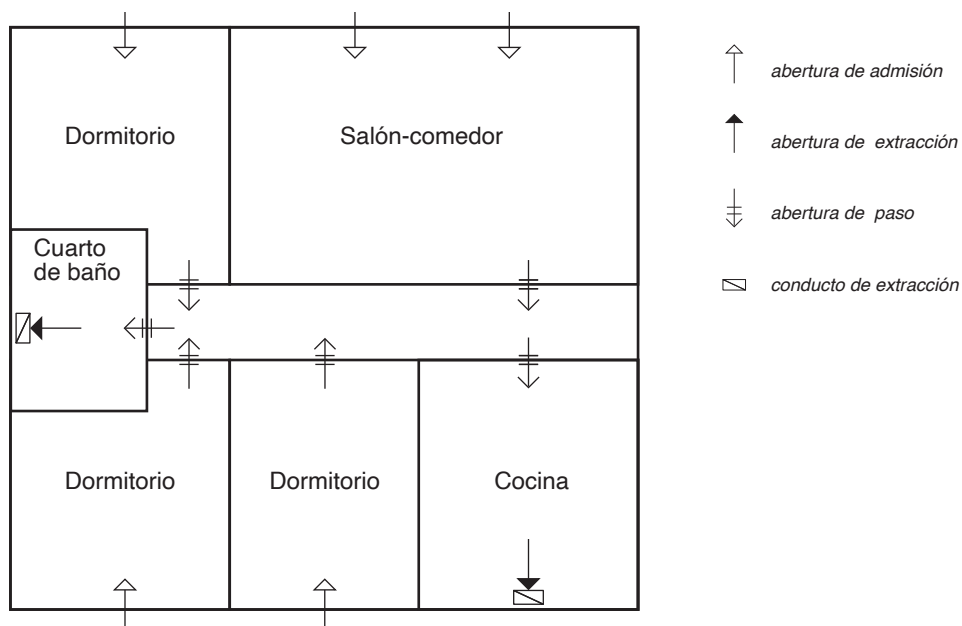


Imagen 106. Esquema de ventilación descrito en el DB HS3 Calidad del aire interior.

Se debe recomendar que la ventilación en las viviendas no se limite únicamente a la apertura de ventanas y a la creación de una ventilación cruzada para eliminar el exceso de humedad, ya que esto puede contravenir las medidas de eficiencia energética actuales. Por lo tanto, se sugiere utilizar el sistema de ventilación descrito en el DB HS3 Calidad del aire interior (imagen 106), que consiste en extraer el aire viciado de las zonas húmedas e introducir aire limpio en las zonas secas.

Este sistema se utiliza en los modos de Ventilación Mecánica Controlada Centralizada, que se explican a continuación.

VMC CENTRALIZADA DE FLUJO SIMPLE

Es un sistema que permite ventilar de forma continua los espacios interiores, extrayendo el aire viciado y permitiendo la entrada de aire nuevo desde el exterior, **sin recuperación de calor**. Este tipo de sistema es **sencillo y económico**, y se utiliza principalmente en viviendas y edificios con necesidades básicas de ventilación. El sistema se basa en un **ventilador extractor** que crea una **depresión controlada** dentro de la vivienda:

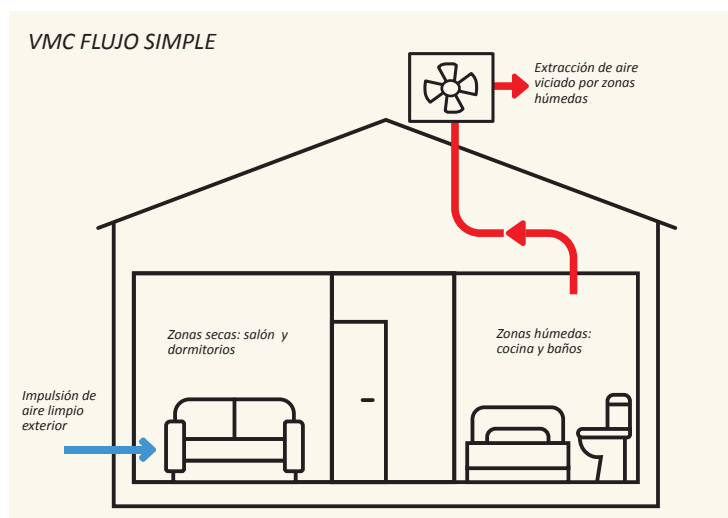


Imagen 107. VMC de flujo simple.

1. El **aire viciado** (cargado de humedad, CO₂ y contaminantes) se **extrae mecánicamente** desde las zonas húmedas (cocina, baños).
2. El **aire nuevo** entra **por entradas de aire autorregulables** colocadas en las zonas secas (salones, dormitorios), aprovechando la depresión generada.
3. El flujo de aire **se produce de forma natural entre zonas secas y húmedas**, bien a través de rejillas en las puertas de paso de la vivienda, bien a través de holguras de estas puertas con el suelo (*Aberturas de paso en el DB HS3*).

VMC CENTRALIZADA DE FLUJO DOBLE

La **VMC de doble flujo** (Ventilación Mecánica Controlada de doble flujo) es un sistema avanzado de ventilación que **extrae el aire viciado** del interior e **introduce aire limpio desde el exterior**, **recuperando el calor del aire extraído** gracias a un **intercambiador de calor**. Esto mejora la eficiencia energética y el confort térmico.

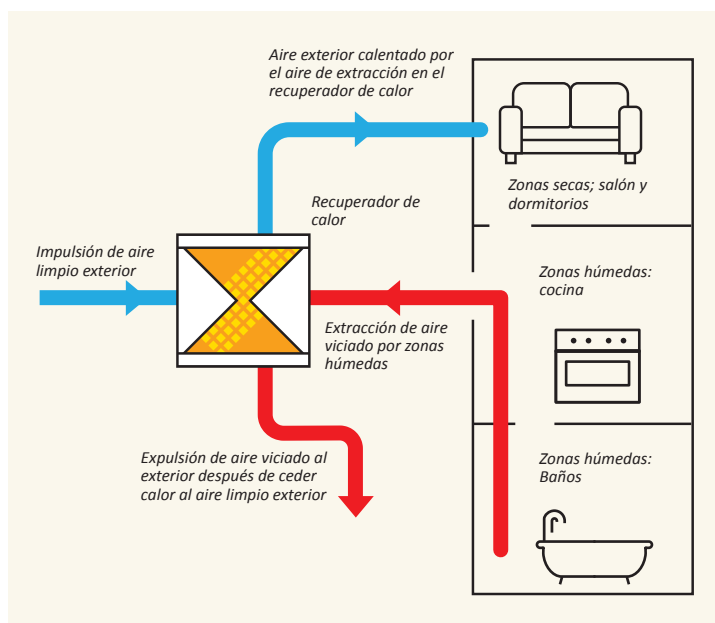


Imagen 108. VMC doble flujo con recuperador de calor.

FUNCIONAMIENTO VMC DOBLE FLUJO

1. Un ventilador **extrae el aire viciado** desde zonas húmedas (baños y cocina).
2. Simultáneamente, otro ventilador **impulsa aire fresco** desde el exterior hacia las estancias secas (dormitorios, salón).
3. El aire entrante y el saliente **pasan por un intercambiador de calor**, donde:
 - El aire interior cede su calor al aire entrante, **sin mezclarse**.
 - Se puede llegar a recuperar hasta un **90% del calor** del aire extraído.
4. En general, se incluyen **filtros** para purificar el aire de entrada.

RECUPERACIÓN DE CALOR DEL AIRE DE EXTRACCIÓN

Un **recuperador de calor** es un dispositivo que forma parte de los sistemas de **ventilación mecánica controlada (VMC)** de doble flujo y que permite **aprovechar la energía térmica del aire extraído de un edificio** para **calentar o enfriar el aire nuevo que entra del exterior**, sin que ambos flujos de aire se mezclen.

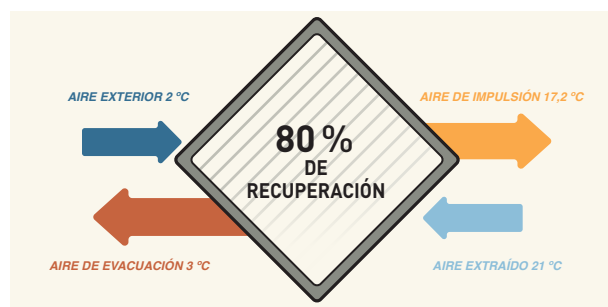


Imagen 109. Recuperador de calor.

$$\text{Eficiencia: } \eta = 100 \times \frac{T_{adm} - T_{ext}}{T_{ret} - T_{ext}} = 100 \times \frac{17,2 - 2}{21 - 2} \approx 80\%$$

El equipo transfiere calor del aire viciado (extraído del interior) al aire limpio (introducido desde el exterior), mediante un intercambiador, reduciendo así la demanda energética de calefacción o refrigeración del edificio. Esto lo realiza:

- **Sin mezcla de aires:** el intercambio térmico se realiza a través de superficies separadas.
- **Con una eficiencia típica:** entre el 70 % y el 95 % de recuperación del calor.

VMC DESCENTRALIZADA

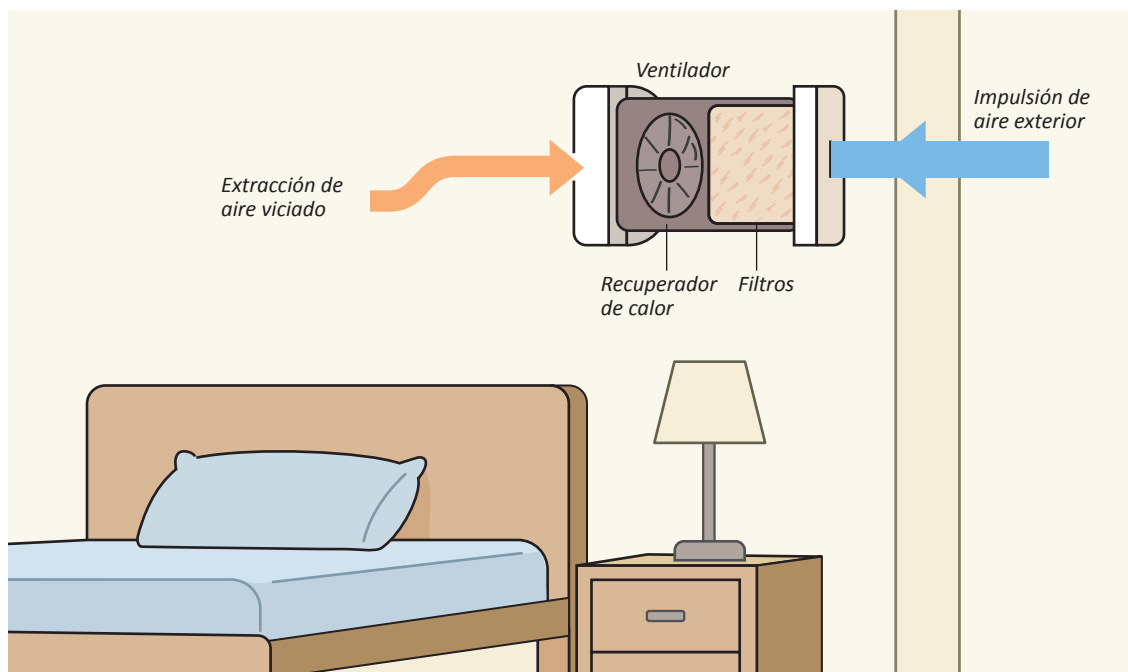


Imagen 110. VMC Descentralizada.

La **VMC descentralizada** (Ventilación Mecánica Controlada descentralizada) es un sistema de ventilación que permite renovar el aire interior de manera eficiente en espacios individuales **sin necesidad de una red de conductos** centralizada. Es una alternativa a los sistemas centralizados, ideal para **rehabilitación de viviendas** o espacios donde no es viable una instalación compleja.

FUNCIONAMIENTO

- Se instala **una unidad individual** (compacta) en cada estancia que lo requiere, como salas de estar o dormitorios.
- Estas unidades se colocan en la pared exterior y tienen **ventiladores integrados** que impulsan y extraen aire.
- Lo importante es que cuenten con **intercambiador de calor** para recuperar la energía del aire extraído y calentar o enfriar el aire entrante.

PARTE III

FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN EXCEL

Se presentan los componentes y el funcionamiento de la aplicación Excel de 'Patologías por Condensación', diseñada para apoyar en el cálculo y la elaboración de informes sobre condensaciones. Esta aplicación realiza cálculos tanto de condensación intersticial como superficial, y los coteja con las mediciones de temperatura y humedad relativa obtenidas en el estudio higrométrico, realizando posteriormente un informe explicativo de las causas.

El uso correcto de la herramienta Excel es fundamental para un diagnóstico fiable y preciso. El análisis depende de las **condiciones reales de uso**, lo que exige un compromiso del usuario en las mediciones. Además, la interpretación debe ser cuidadosa para no caer en juicios erróneos por condiciones anómalas o puntales.

<https://fundacionmusaat.musaat.es/publicaciones/patologias-por-condensaciones/>



Enlace para la descarga
de la aplicación Excel

La Fundación Musaat no se hace responsable de los resultados obtenidos mediante el uso de esta aplicación. Asimismo, no se responsabiliza de la veracidad o exactitud de los datos utilizados para el cálculo, ni de las inexactitudes en los resultados que pudieran derivarse por el empleo de información incorrecta.

CAPÍTULO 8

CONFIGURACIÓN DE EXCEL PARA UNA CORRECTA UTILIZACIÓN Y VISUALIZACIÓN

DESPROTECCIÓN DE MACROS

Para poder utilizar la aplicación es necesario desprotegerla contra macros. Para ello, se abre un archivo Excel en blanco (imagen 111) y se elige en su parte superior:

Archivo → Opciones

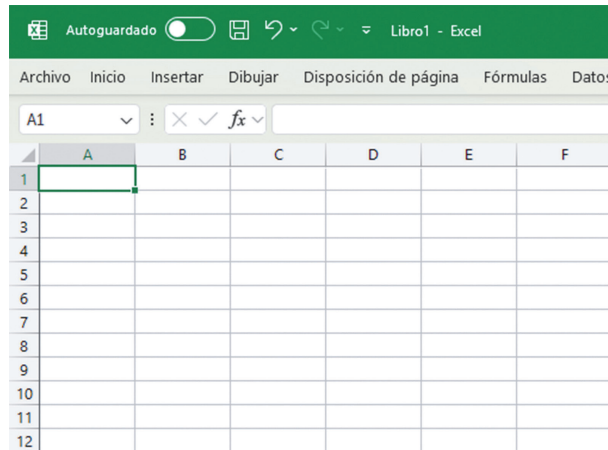


Imagen 111. Archivo Excel en blanco.

Aparece un formulario como el de la imagen 112, donde una de las opciones es 'Centro de confianza'. Activamos esta opción y se obtiene un formulario como el de la imagen 113.

En este formulario de la imagen 113 activamos el botón de opción 'Habilitar todas las macros de VBA'. A partir de ese momento, la aplicación Excel funcionará correctamente.

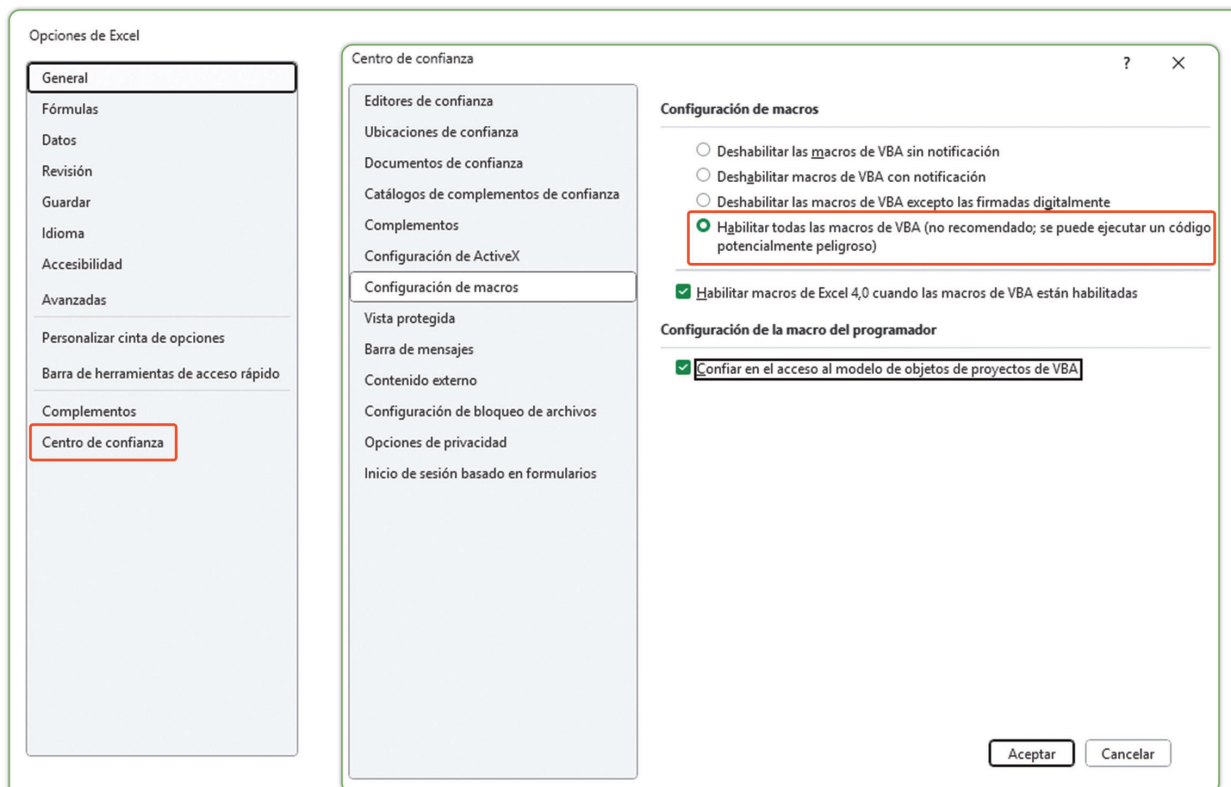


Imagen 112. Opciones.

Imagen 113. Centro de confianza. Configuración de macros.

RESOLUCIÓN DE PANTALLA

La resolución mínima de pantalla para poder visualizar correctamente esta aplicación es de 1280x960 píxeles en una escala del 100%, siendo más aconsejables los valores de la imagen 114, con los que fue creada la aplicación.



Imagen 114. Valores de escala y resolución recomendables.

CAPÍTULO 9 EXPLICACIÓN DE LA INTERFAZ Y FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN

En primer lugar, a la hora de comenzar a realizar los cálculos mediante la herramienta Excel, se encontrarán dos secciones principales: Cálculo de cerramiento y estudio higrotérmico, las cuales proporcionan los fundamentos para la elaboración del informe.

Cabe señalar que, a continuación, se explicarán únicamente las partes de la aplicación que están directamente relacionadas con el tema abordado en esta publicación, aunque la herramienta es capaz de realizar otros cálculos adicionales.

9.1 CÁLCULO DE CERRAMIENTO:

The screenshot shows the 'FUNDACIÓN MUSAAT' application interface. It is titled 'APLICACIÓN EXCEL PARA EL CÁLCULO Y LA ELABORACIÓN DEL INFORME SOBRE CONDENSACIONES EN LOS CERRAMIENTOS DE UNA VIVIENDA'. The interface is divided into several sections, each with a numbered callout:

- 1. CONDICIONES PARA EL CÁLCULO:** This section includes fields for 'Clima' (Capital, Localidad), 'Z. clim' (Zona climática), and 'Condiciones de cálculo' (q_{li}, q_{le}, θ_{li}, θ_{le}). It also has a section for 'Dirección y sentido del flujo de calor' (Flujo).
- 2. CALCULADORA DE TRANSMITANCIAS Y DE CONDENSACIONES:** This section contains a table for 'Grupo materiales' and 'Cerramiento (de interior a exterior)' with columns for material type, thickness, and thermal conductivity.
- 3. RESULTADOS:** This section displays the results of the calculations, including 'Transmit. U [w/m² K]', 'Rt', 'Ut', 'Ulim', 'Condens. superficial' (R_{sli}, R_{sli} mín, q_{sli}), and 'Condens. intersticial'.
- 4. INF. GRÁFICOS:** This section contains checkboxes for 'Condens. superficial Int.', 'P. vap-Resist. difus. vap.', 'P. vapor', 'Temperat.', and 'Ábaco'.
- 5. OTROS INFORMES:** This section contains checkboxes for 'C-Evap', 'Glasser', 'Cálculo', and 'Ábaco'.
- 6. BOTONES DE LOS DIFERENTES APARTADOS DE LA APLICACIÓN:** This section contains buttons for 'Borrar cerramiento', 'Borrar todo', 'Guardar como', 'Vista previa del informe detallado', and 'Salir de la aplicación'.

Imagen 115. Componentes del formulario en la parte principal 1.

La cual se compone de la siguiente manera:

- Condiciones para el cálculo:** Estas condiciones consisten en las 'Condiciones ambientales' y 'La dirección y sentido del flujo de calor'. Como consecuencia de los datos climáticos introducidos en este apartado aparece la localidad de cálculo con sus características y su 'Zona Climática'.
- Calculadora de transmitancias y de condensaciones:** En este apartado se introducen las capas del cerramiento ordenadas de interior a exterior, con sus respectivos espesores en metros.
- Datos ordenados del cerramiento compuesto:** Aparecen en este apartado los datos introducidos en el apartado anterior, ordenados, sin filas en blanco y con las presiones de vapor y saturación calculadas y la indicación de si se produce o no condensación intersticial en alguna de ellas.
- Resultados:** Aparecen aquí los resultados obtenidos referentes a Transmitancia térmica (U), Condensación superficial y Condensación intersticial. Lo resultados que no cumplen la normativa aparecen en rojo y los que sí cumplen, aparecen en verde.
- Informes gráficos:** Consiste en una relación de los informes que se pueden realizar en la aplicación con los distintos gráficos que contiene. Estos informes, además del gráfico correspondiente, contienen todos los datos necesarios para el cálculo, así como el cálculo en sí mismo.
- Otros informes:** Cálculos sobre el Ábaco Psicrométrico y Cálculo de condensación evaporación (método Glaser).
- Botones de los diferentes apartados de la aplicación:** Desde ellos se puede acceder a los apartados que indica su título: 'Cálculo de cerramientos' y 'Estudio higrotérmico' y, además, el botón 'Accesorios' permite actuar con otras herramientas de la aplicación.
- Botones de manejo de la aplicación:** Por orden, de izquierda a derecha: 'Borrar cerramiento', 'Borrar todo', 'Guardar como', 'Vista previa del informe detallado' y 'Salir de la aplicación.'

Una vez explicada la interfaz general, se procederá a describir el proceso que ha de llevarse a cabo para realizar el cálculo de forma más detallada y los datos necesarios que han de introducirse en cada campo:

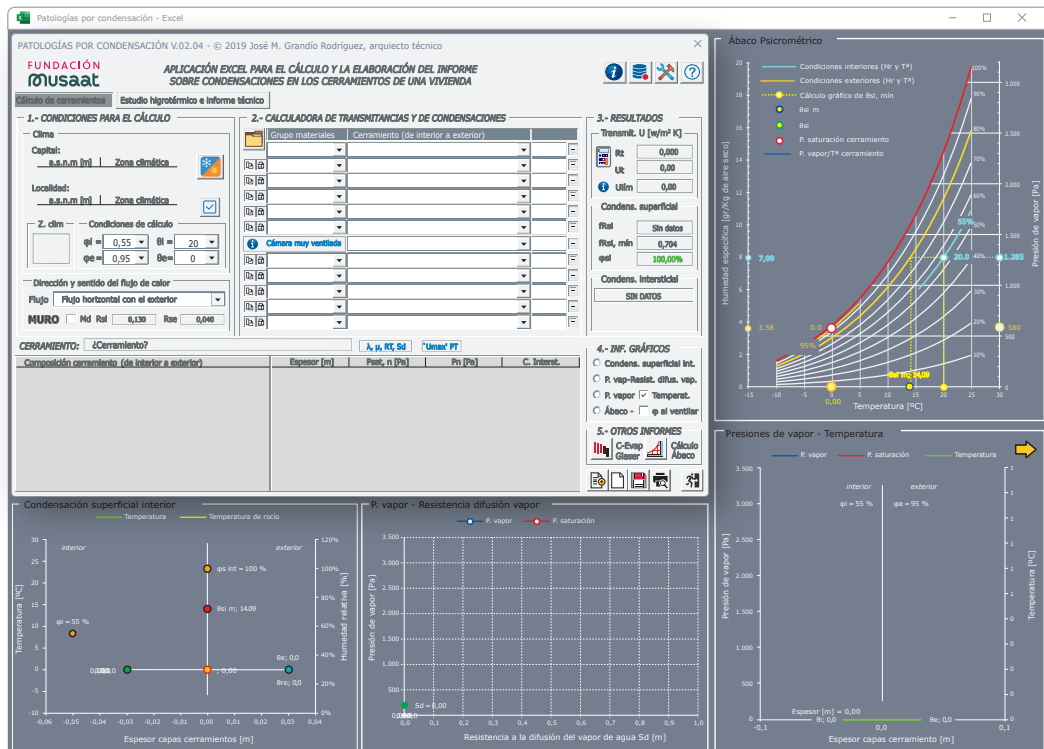


Imagen 116. Pantalla de inicio de la aplicación.

La imagen 116, corresponde a la pantalla inicial de la aplicación que consta de un formulario que es uno de los dos pilares de la aplicación en lo que a justificación de condensaciones se refiere. En él se introducen:

- Las **condiciones interiores y exteriores de temperatura y de humedad relativa de cálculo**.
- La **localidad de cálculo** según las zonas climáticas del CTE. Si se hace esto ya no se pueden elegir las condiciones exteriores de cálculo, ya que se trabaja con las de la zona climática.
- El **sentido y la dirección del flujo de calor** que define el valor de las **resistencias superficiales interiores**.
- La **composición de los cerramientos** por capas de interior a exterior.

Los resultados obtenidos y que se reflejan en el propio formulario son:

- La **transmitancia térmica del cerramiento** que se compara con la que exige HE1 para el tipo de cerramiento y la zona climática considerada.
- Los **valores de formación de moho superficial** f_{Rsi} y $f_{Rsi, \text{mín}}$, indicando su cumplimiento o no.
- La indicación de si **existe condensación intersticial** o no.

Este formulario está rodeado de informes gráficos que hacen relación a las **condensaciones superficiales e intersticiales** en sus diversas formas: **temperatura – temperatura de rocío**, **presiones de vapor a lo largo del cerramiento** y a lo largo de su **resistencia a la difusión del vapor** de agua o en el **Ábaco Psicrométrico**.

CONDICIONES PARA EL CÁLCULO

Antes de comenzar el cálculo hay que establecer las condiciones para realizarlo: **Zona climática** y sus **Condiciones ambientales**, además de la **Dirección y sentido del flujo de calor**.

ZONA CLIMÁTICA

Pinchando sobre el botón con la imagen de un copo de nieve y un sol aparece el formulario de la derecha, donde en este caso se introdujo como capital: Lugo, con a.s.n.m. 412 m y como localidad: Cervantes con una a.s.n.m. de 550 m, por lo que se pone automáticamente la altitud de Lugo (412 m) y se busca la zona climática de Cervantes (E1). Si se pincha aceptar, quedaría introducida la zona E1 para realizar los cálculos.

Si la localidad no es la capital y su altitud es superior a la de la capital, hay que poner su nombre en 'Localidad' y su altitud sobre el nivel del mar (a.s.n.m.) en 'Altitud s.n.m. (metros)' y habría que entrar en la tabla de zonas climáticas del CTE (pestaña 'Consulta de zonas climáticas') y cambiar la zona climática resultante en 'Modificar la Zona climática de la localidad'.

1.- CONDICIONES PARA EL CÁLCULO

Clima

Capital: Lugo
a.s.n.m. [m] 412 | Zona climática D1

Localidad: Cervantes
a.s.n.m. [m] 550 | Zona climática E1

Z. clim E1

Condiciones ambientales enero

$\phi_i = 0,55$ $\theta_i = 20$
 $\phi_e = 0,94$ $\theta_e = 4,4$

Dirección y sentido del flujo de calor

Flujo Flujo horizontal con el exterior

MURO ☐ Md Rsi 0,130 Rse 0,040

ZONA Y CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LA LOCALIDAD DE CÁLCULO

Localidad: Consulta de Zonas climáticas Altitud municipios de Galicia

Datos

Capital: Lugo
Localidad: Cervantes
Altitud localidad s.n.m. (metros) 550

Resultados

Zona climática de la capital D1
Altitud de la capital s/n el nivel del mar (metros) 412

Localidad

Zona climática de la localidad E1
Altitud de la localidad s/n el nivel del mar (metros) 550
Modificar la zona climática de la localidad E1

Condiciones climáticas exteriores mensuales

Mes	TA [°C]	HR [%]	Mes	TA [°C]	HR [%]
Enero	5,8	85,0	Enero	4,4	94,0
Febrero	6,5	83,0	Febrero	5,1	89,0
Marzo	7,8	77,0	Marzo	6,4	85,0
Abril	9,5	77,0	Abril	8,1	85,0
Mayo	11,7	76,0	Mayo	10,3	83,0
Junio	14,9	76,0	Junio	13,5	83,0
Julio	17,2	75,0	Julio	15,8	82,0
Agosto	17,5	75,0	Agosto	15,1	82,0
Septiembre	15,0	77,0	Septiembre	13,6	84,0
Octubre	12,5	82,0	Octubre	11,1	90,0
Noviembre	8,6	84,0	Noviembre	7,2	92,0
Diciembre	6,3	85,0	Diciembre	4,9	94,0

Condiciones interiores

TA [°C] 20,0 | HR [%] 55%

Botón: Aceptar

Mapa de Galicia con zonas climáticas coloreadas.

Imagen 117. Definición de la Zona Climática.

Condiciones ambientales enero

$\phi_i = 0,55$ $\theta_i = 20$
 $\phi_e = 0,94$ $\theta_e = 4,4$

Imagen 118. Condiciones de cálculo.

Al introducir la Zona Climática, en las condiciones ambientales ya no se pueden cambiar las condiciones exteriores porque que se ponen las de la localidad, que si son de una que esté a mayor altura que la capital, la aplicación calcula los valores resultantes.

FLUJO (Dirección y sentido del flujo de calor)

Para indicarle a la aplicación la **resistencia térmica superficial interior** que tiene que utilizar en los cálculos es necesario introducir la **dirección y el sentido del flujo de calor** en el desplegable 'Flujo'.

Dirección y sentido del flujo de calor

Flujo Flujo horizontal con el exterior

MURO ☐ Md Rsi 0,130 Rse 0,040

Dirección y sentido del flujo de calor

Flujo Flujo horizontal con el exterior

MURO INTRODUCIR TIPO Y SENTIDO DEL FLUJO

Flujo horizontal con el exterior
Flujo vert. ascend. con el exterior
Flujo vert. descend. con el exterior

Imagen 119. Dirección y sentido del flujo.

INTRODUCCIÓN DE DATOS DEL CERRAMIENTO

El cerramiento se introduce por **capas ordenadas del interior al exterior**.

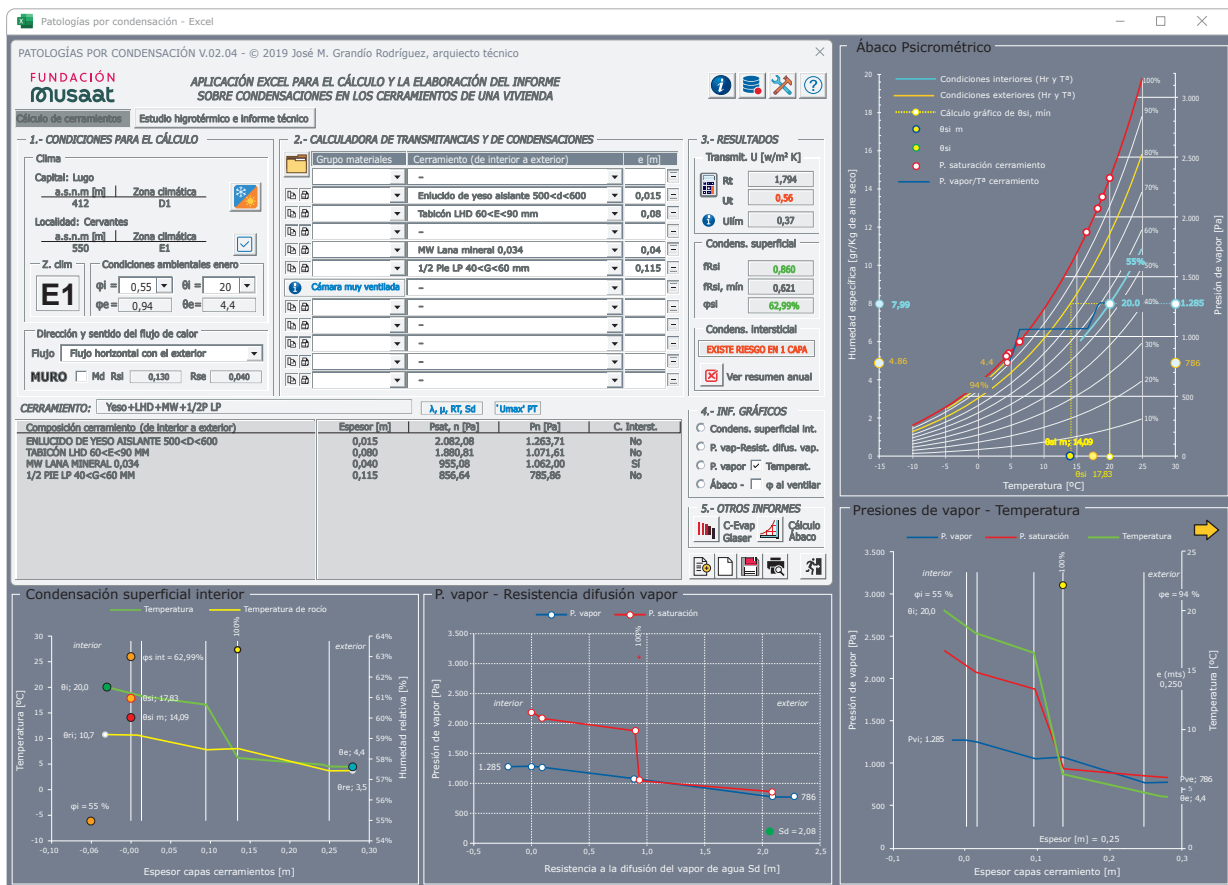


Imagen 120. Composición del cerramiento.

Para insertar una capa en una fila específica, primero se selecciona el 'Grupo materiales' correspondiente al material deseado. Posteriormente, se elige el material en 'Cerramiento (de interior a exterior)'. Tras esta selección, se muestra un cuadro de entrada para especificar el espesor [m] de la capa. Si se conoce del valor del espesor, o este resulta insignificante a efectos de resistencia térmica (*Barreras de vapor*), la aplicación asigna automáticamente un espesor predeterminado. En el primer caso, el sistema establece automáticamente el espesor junto con las resistencias térmica R_n y a la difusión del vapor S_{d_n} . En el segundo caso, se omite el espesor para efectos de resistencia térmica, pero se asigna su resistencia a la difusión de vapor, S_{d_n} .



Imagen 121. Proceso de introducción de capas del cerramiento de interior a exterior.

Durante la introducción de capas, es posible dejar algunos espacios intermedios vacíos, lo que permite, por ejemplo, incluir una barrera de vapor antes del aislamiento o aplicar acabados, como alicatados o pinturas al esmalte en el inicio del cerramiento (imagen 122). Al finalizar, en la parte inferior del formulario, se visualiza el cerramiento ordenado y sin huecos entre sus capas (imagen 123).

Grupo materiales	Cerramiento (de interior a exterior)	e [m]
	Enlucido de yeso aislante 500-cd<600	0,015
	Tablón LHD 60<E<90 mm	0,08
	MW Lana mineral 0,034	0,04
	1/2 Pie LP 40<G<60 mm	0,115
	Cámara muy ventilada	

Imagen 122. Cerramiento ordenado creado con huecos entre filas.

Composición cerramiento (de interior a exterior)	Espesor [m]	Psat, n [Pa]	Pn [Pa]	C. Interst.
ENLUCIDO DE YESO AISLANTE 500<D<600	0,015	2.082,08	1.263,71	No
TABLÓN LHD 60<E<90 MM	0,080	1.880,81	1.071,61	No
MW LANA MINERAL 0,034	0,040	955,08	1.062,00	Sí
1/2 PIE LP 40<G<60 MM	0,115	856,64	785,86	No

Imagen 123. Cerramiento ordenado creado sin huecos entre filas.

Se puede asignar cualquier material o cámara de aire a cualquier hoja, salvo en el caso de la 'Cámara de aire muy ventilada', la cual debe situarse exclusivamente en la capa designada para tal fin. Esto obedece a lo establecido en el Documento de Apoyo al DB HE DA DB-HE/1 Parámetros característicos de la demanda, según el cual la cámara de aire muy ventilada y el resto del cerramiento hacia el exterior carecen de resistencia térmica, aunque la resistencia térmica superficial exterior es equiparable a la interior. En dicha hoja también puede introducirse una cámara de aire estanca o drenada.

Una vez creado el cerramiento, aparecen sobre y alrededor del formulario los **resultados del cálculo** y los **gráficos de la aplicación**, respectivamente.

LIMPIAR CERRAMIENTO PARA CREAR OTRO

Este botón situado en la parte inferior derecha del formulario principal limpia el cerramiento dejándolo en blanco y restableciendo el flujo a 'Horizontal con el exterior'.

CARGAR/GUARDAR/MODIFICAR/ELIMINAR CERRAMIENTO

Al pinchar este botón, surge el formulario (imagen 124). Una vez compuesto el cerramiento, lo abrimos, elegimos una pestaña de este formulario, le ponemos un nombre y pinchamos 'Guardar'. Este cerramiento queda guardado en la pestaña correspondiente. Una vez guardado, se puede abrir este formulario y, eligiendo la pestaña donde está ubicado, se puede trabajar con él pinchando 'Cargar'. Si se quieren hacer modificaciones posteriormente, se carga el cerramiento, se hacen las modificaciones y se vuelve a la pestaña y se pincha 'Guardar'. Si no se quiere conservar ese cerramiento, al estar en su pestaña, se pincha 'Eliminar'¹⁵.

Cargar/guardar cerramientos exteriores

Yeso+LHD+MW+1/2P LP | Yeso+LHD+BV+MW+1/2P LP | PT Pilar | Medianera mal ejecu

Nombre: Yeso+LHD+MW+1/2P LP

Material	Espesor (mm)
Enlucido de yeso aislante 500-cd<600	0,015
Tablón LHD 60<E<90 mm	0,080
MW Lana mineral 0,034	0,040
1/2 Pie LP 40<G<60 mm	0,115

Flujo horizontal con el exterior

Doble click en nombre cerramiento = nombre del cerramiento actual

MODIFICACIÓN DE UN CERRAMIENTO:

- 1.- Selecciona y carga el cerramiento 'V' a modificar en la hoja de cálculo: "Cerr.x" > "Cargar"
- 2.- Haz las modificaciones del cerramiento que desees en la hoja de cálculo.
- 3.- Abre de nuevo este formulario: "Cargar/guardar cerramientos"
- 4.- Selecciona el cerramiento que se ha modificado: "Cerr.x"
- 5.- Guárdalo: "Guardar"

Imagen 124. Librería de cerramientos.

¹⁵ Para cualquier modificación que se haga es necesario guardar la aplicación al cerrar, ya que, si no, no se queda memorizado el cerramiento guardado o su modificación.

INFORME PORMENORIZADO



Imagen 125. Informe completo del cálculo del cerramiento.

Para ver los cálculos realizados por la aplicación, se accede pinchando el botón con la imagen de una impresora del formulario principal. En ella, además de ver el cálculo en sí, vemos los datos ambientales que sirven para hacer el cálculo, tanto interiores, como exteriores, así como los resultados obtenidos y los gráficos generados. Todo ello se puede imprimir en un informe completo.

RESULTADOS (imagen 126)

El primer resultado indica si la **transmitancia térmica** calculada cumple la limitación de HE1 y, si no la cumple, pinchando la imagen de la calculadora, se indica el incremento de espesor de aislamiento térmico necesario para cumplirlo.

El segundo indica si se cumplen las condiciones para que **no exista riesgo de enmohecimiento**, si $f_{RSi} > f_{RSi, mín}$. Se puede obtener un informe gráfico pinchando 'Cond. Superf. Int.' en el apartado 'INF. GRÁFICOS' (imagen 131).

El tercer resultado indica si hay **riesgo de condensación** y, pinchando el botón del mismo ('Ver resumen anual'), aparece una pantalla con los gráficos de condensación intersticial de todos los meses del año, con indicación de los meses en que se produce este tipo de condensación (imagen 128).

3.- RESULTADOS

Transmit. U [W/m² K]

R_t 1,794

U_t 0,56

U_{lim} 0,37

Condens. superficial

f_{RSi} 0,860

$f_{RSi, mín}$ 0,660

ϕ_{si} 64,00%

Condens. intersticial

EXISTE RIESGO EN 1 CAPA

☒ Ver resumen anual

Imagen 126. Resultados del cálculo.

PROBABILIDAD DE FORMACIÓN DE MOHO SUPERFICIAL θ_{si} - θ_{si} , min

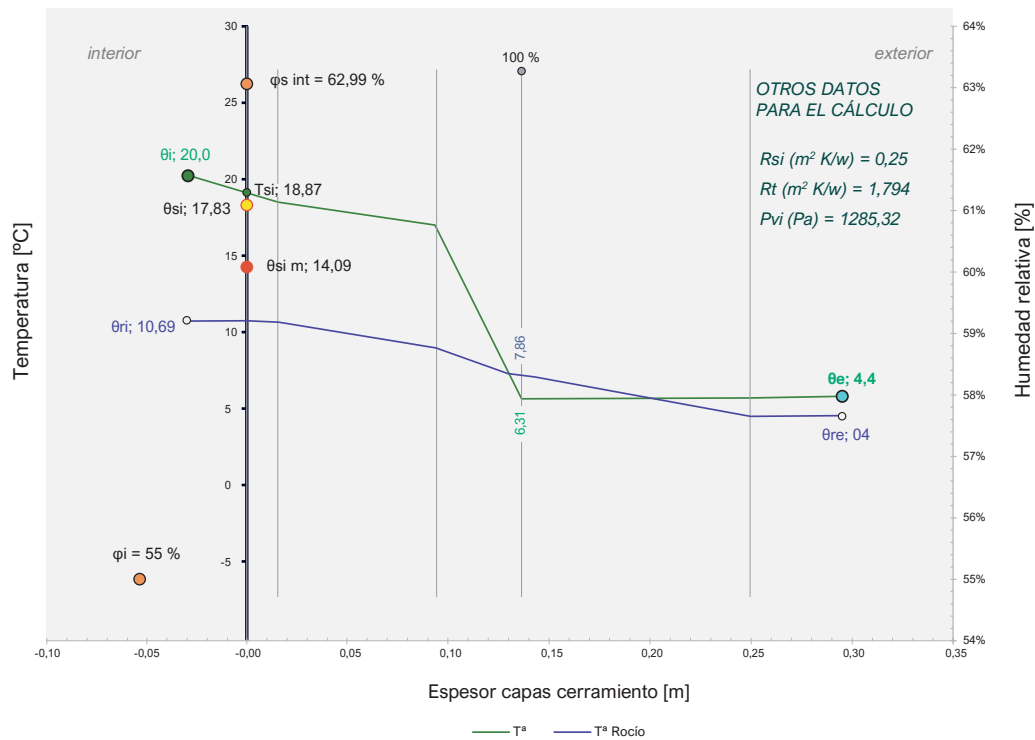


Imagen 127. Riesgo de enmohecimiento.

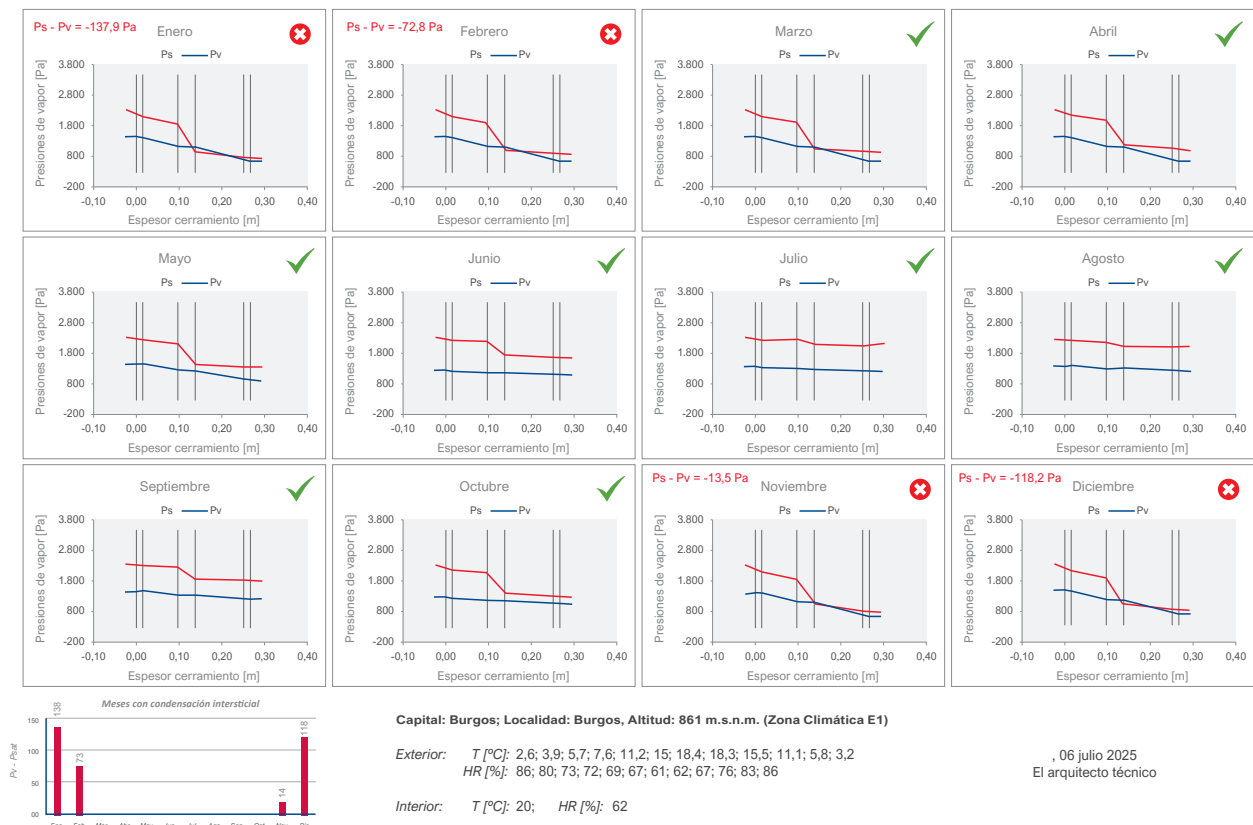


Imagen 128. Condensaciones intersticiales mes a mes.

INFORMES GRÁFICOS EN PANTALLA

Los tres gráficos inferiores de la pantalla de inicio dibujan:

- El gráfico de **Condensación superficial**, el primero de izquierda a derecha, muestra las temperaturas interior, exterior y de la superficie interior del cerramiento, que, junto a la humedad relativa del interior de la vivienda, son las causas de este enmohecimiento.
- La caída de **Presiones de vapor – Resistencia a la difusión de vapor S_d** , el segundo de izquierda a derecha, que es el que se define en el *Documento de apoyo al DB HE DA DB-HE/2* de condensaciones.
- La caída de **Presiones de vapor y Temperatura - Hojas del cerramiento**, el tercero de izquierda a derecha, donde se comparan la **presión de saturación**, la **presión de vapor** y la **temperatura**.

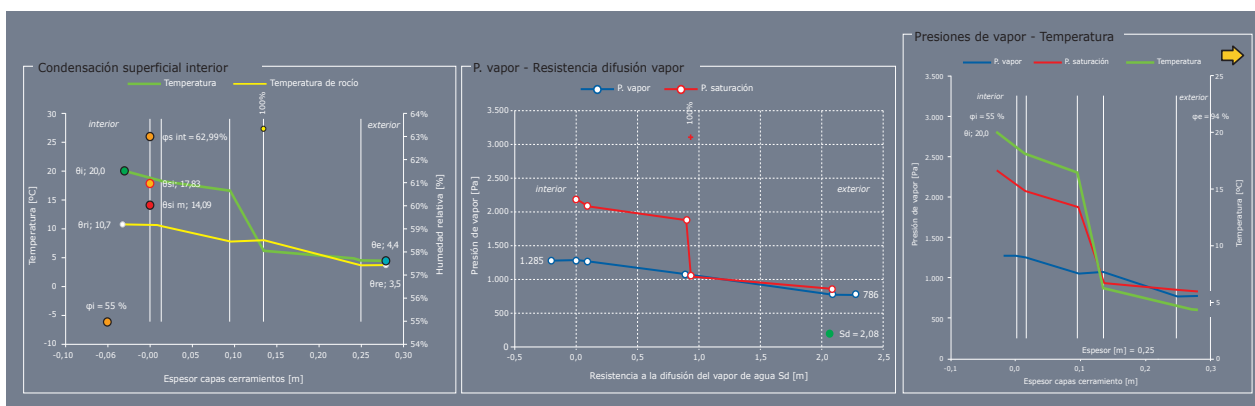


Imagen 129. Gráficas del cerramiento.

ÁBACO PSICROMÉTRICO

Este es, probablemente, el **gráfico que ofrece más información**, aunque es el **menos intuitivo**. En él se reflejan (imagen 130):

- Las **condiciones interiores y exteriores de temperatura** [°C], **humedad relativa** [%], **humedad específica** [g/Kg] y **presión de vapor** [Pa]
- La gráfica de **caída de presiones y temperaturas** a lo largo del cerramiento, indicando si hay **condensaciones intersticiales** si esta gráfica supera la **curva de saturación**.
- El cálculo gráfico de las **temperaturas superficial y superficial interior mínima**, indicando si hay riesgo de enmohecimiento.

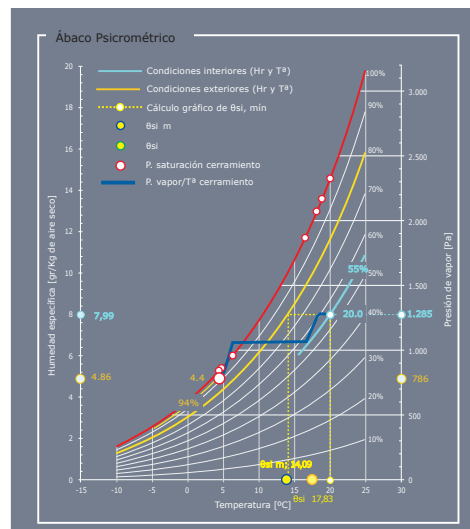


Imagen 130. Gráfica en Ábaco.

4.- INF. GRÁFICOS

- ☐ Cond. superf. int.
- ☐ P.vap-Resist. difus.vap
- ☐ P.vapor- ☒ Temp
- ☐ Ábaco Psicrométrico

Imagen 131. Informes gráficos.

INFORMES PARA IMPRIMIR

Pinchando sobre cualquiera de los botones del apartado '4.- INF. GRÁFICOS', aparece el propio gráfico con un **informe detallado de la composición**, el **cálculo** y los **resultados del cerramiento** que, posteriormente, se puede **imprimir**. Al hacer esto aparece un formulario con dos pestañas ('Datos para el cálculo' y 'Resultados') que se ve en la imagen 132.

En la pestaña ‘Resultados’ aparecen los de ‘Aislamiento’, ‘Riesgo de enmohecimiento’ y ‘Condensación intersticial’. Si alguno de estos valores no cumple, aparece en rojo.

PRESIONES DE VAPOR Y TEMPERATURA

Cerram.: Yeso+LHD+MW+1/2P LP

Tipo de cerramiento: MURO

Rsi [m2K/w]Rse [m2K/w]

Localidad de cálculoCapital: Lugo

a.s.n.m [m]

Zona climática

Localidad: Cervantes

a.s.n.m [m]

Zona climática

Está introducida una localidad de cálculo

Datos para el cálculoResultados

Composición cerramiento (de interior a exterior)

ENLUCIDO DE YESO AISLANTE 500<D<600
TABICÓN LHD 60<E<90 MM
MW LANA MINERAL 0,034
1/2 PIE LP 40<G<60 MM

Espesor [m]
0,015
0,080
0,040
0,115

Condiciones de cálculo condensaciones

$\phi_i =$ $\theta_i =$ °C

$\phi_e =$ $\theta_e =$ °C

Condiciones ambientales por defecto, según DA DB-HE/2

☒ Ver/ocultar gráfica de temperatura



PRESIONES DE VAPOR Y TEMPERATURA

Cerram.: Yeso+LHD+MW+1/2P LP

Tipo de cerramiento: MURO

Rsi [m2K/w]Rse [m2K/w]

Localidad de cálculoCapital: Lugo

a.s.n.m [m]

Zona climática

Localidad: Cervantes

a.s.n.m [m]

Zona climática

Está introducida una localidad de cálculo

Datos para el cálculoResultados

Aislamiento

R_T (m2K/w)

U (w/m2K)

$U_{\max}$. (w/m2K)

☒ U cerramiento > Umáx

Riesgo de emmohecimiento

fRsi

fRsi, mín

☐ Riesgo de formación de moho superficial

Condensación intersticial

Sd [m]

☒ Riesgo de condensación intersticial

☒ Ver/ocultar gráfica de temperatura



En la imagen siguiente se describe el informe para imprimir de **Presiones de vapor - Temperatura**. En este informe se reflejan los mismos datos y resultados que tiene el formulario descrito en el párrafo anterior.

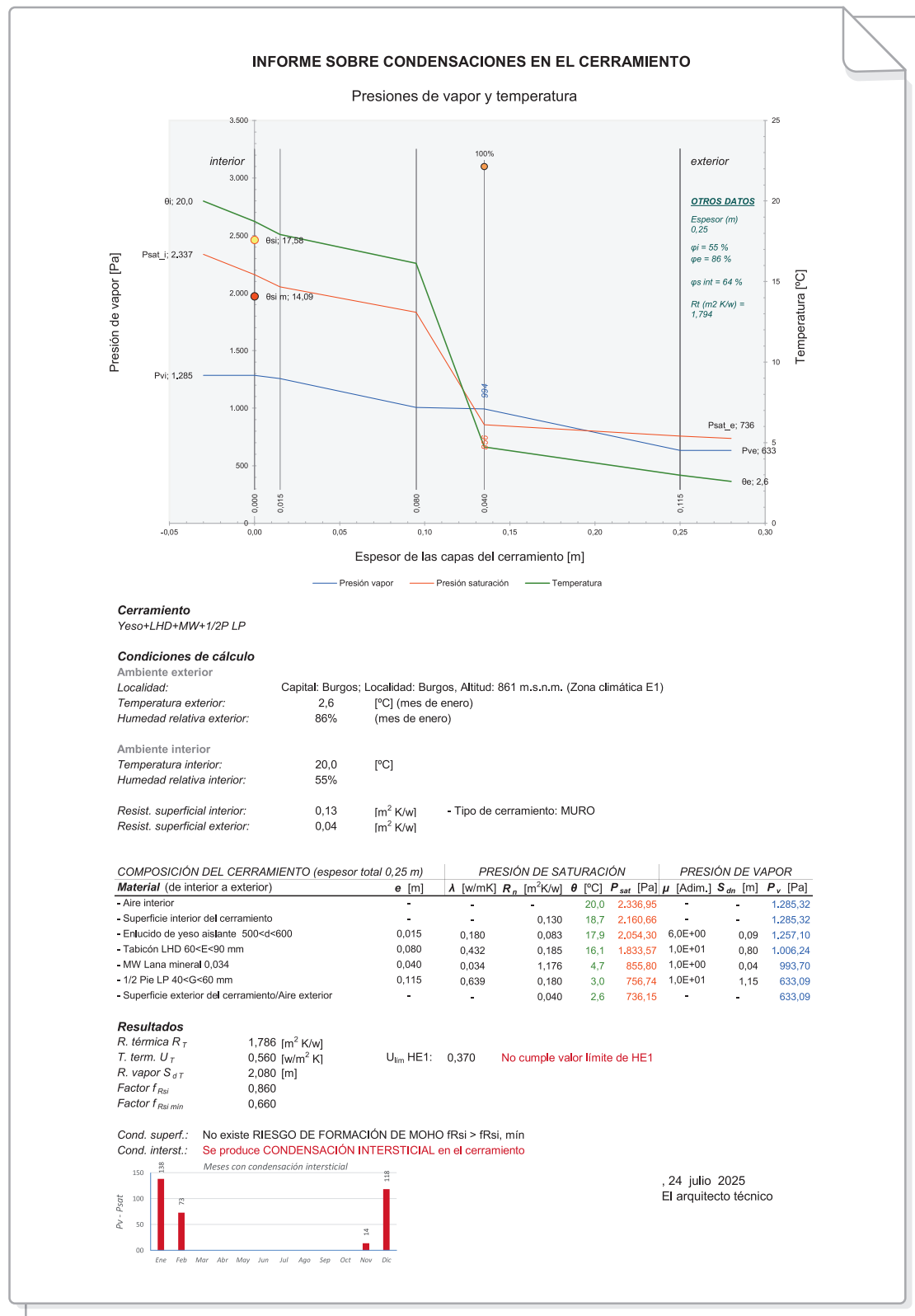


Imagen 133. Informe.

Se puede elegir cualquier informe como este pinchando sobre los distintos botones del formulario principal, en los que lo único que varía es el gráfico que aparece en el informe.

9.2 ESTUDIO HIGROTÉRMICO

Se compone de la siguiente manera:

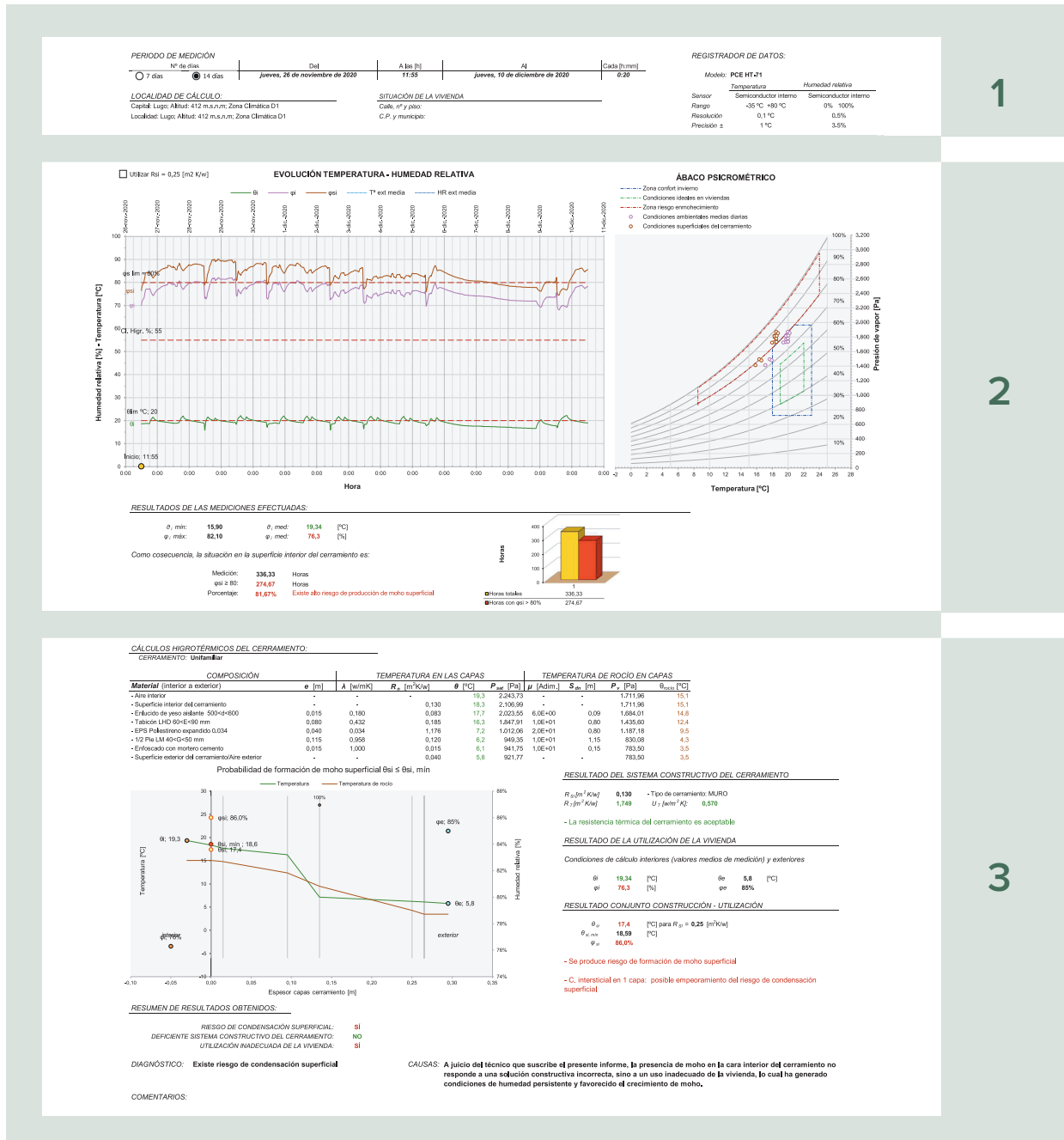


Imagen 134. Componentes de la parte principal 2. INFORME.

1

Datos generales

- Período y frecuencia de medición.
- Localidad climática de cálculo.
- Situación de la vivienda.
- Datos del registrador.

2

Mediciones con termohigrómetro

- Datos de medición cada 7/14 días.
- Con una periodicidad de 20 minutos.
- Resultados medios de medición.

3

Datos del cerramiento

- Resultados construcción del cerramiento.
- Resultados utilización de la vivienda.
- Resultado conjunto, Construcción – Utilización INFORME.

Esta sección es el segundo pilar de la aplicación en lo que a justificación de condensaciones se refiere. Seleccionando la pestaña 'Estudio higrotérmico' del formulario de inicio aparece una pantalla como la de la imagen 135. Aquí se introducen los datos registrados de temperatura y humedad relativa por un termohigrómetro (explicación en imágenes 60 y 61) y se generan unas gráficas que se pueden comparar con los límites normativos: 20 °C de temperatura interior y 80% de **humedad relativa en la superficie del cerramiento**. Todos los valores, tanto medidos como calculados, se reflejan también sobre el Ábaco Psicrométrico.

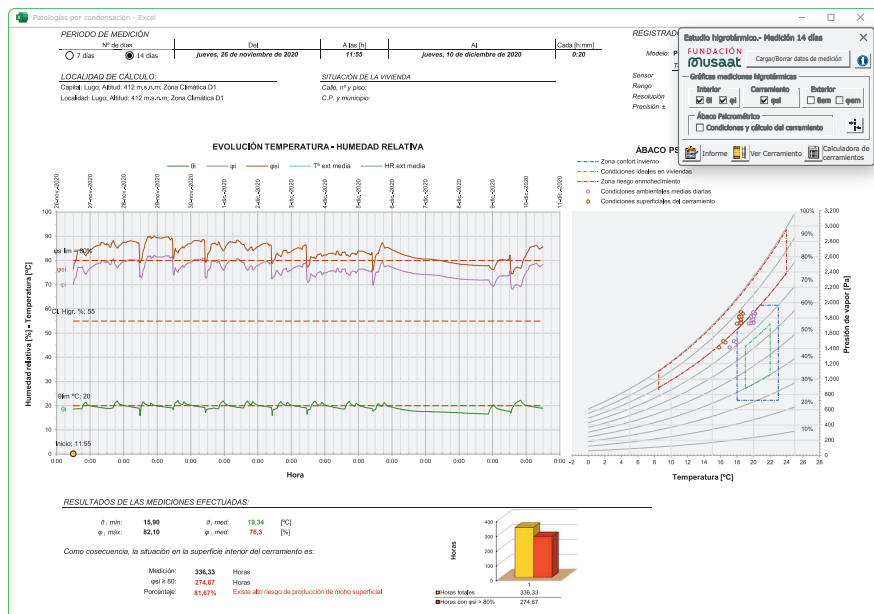


Imagen 135. Estudio higrométrico.

Para la utilización de este apartado se emplean dos formularios:

- El formulario de la Cargar/eliminar las mediciones de temperatura y humedad relativa tomadas por el registrador de datos (imagen 136). Su funcionamiento se explica en la imagen 61 y 62: **Introducción de los datos de medición a la aplicación Excel de apoyo.**

Cargar/eliminar datos ambientales interiores registrados

Registros de Tª y HR interiores | Registros de Tª y HR exteriores

En el apartado "2.2.2 Condiciones Interiores para el cálculo de condensaciones Intersticiales" del Documento de apoyo al DBHE, DA DB-HE/2 Condensaciones, se hace el siguiente comentario:
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.

Nº máximo de mediciones = 3 x 24 horas x 14 días = 1008 Buscar día

1º día	Hora	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
	11:55	18,60	70,10
	12:15	18,60	71,40
	12:35	18,70	72,00
	12:55	18,70	72,40
	13:15	18,70	72,80
	13:35	18,70	73,00
	13:55	18,70	73,30
	13:15	18,70	74,40
	13:35	18,70	75,40
	13:55	18,80	76,50
	13:15	18,80	77,10
	13:35	18,90	77,20

Eliminar datos interiores registrados por termohigrómetro

En este apartado se miden periódicamente, con una frecuencia adecuada, la humedad relativa y la temperatura durante 7/14 días, y se calculan los valores medios de ambas, proporcionando una representación precisa de las condiciones en la vivienda utilizadas para el cálculo. En este caso:

Condiciones Interiores medias de cálculo (DA DB-HE/2 Condensaciones)
T: 19,34 [°C] H: 76,3 [%]

Comienzo, horario y frecuencia de medición
Fecha de inicio (dd/mm/aaaa): 26/11/2020
Hora de comienzo (hh:mm): 11:55
Cada (hh:mm): 00:20

Ir a hoja de datos | Cerrar

Imagen 136. Cargar/Borrar mediciones higrotérmicas.

- El formulario de Redacción del informe sobre condensaciones (imagen 137). Su funcionamiento se explica en las imágenes 72 a 76.

REDACCIÓN DEL INFORME SOBRE CONDENSACIONES

DATOS GENERALES

Situación de la vivienda
Calle, nº, piso y letra
C.P. y Municipio

Registrador de datos
MODELO: PCE HT-71

Sensor: Semicondutor interno / Humedad relativa: Semicondutor interno

Rango: -35 °C +80 °C / 0% 100%

Resolución: 0,1 °C / 0,5%

Precisión: 1 °C / 3,5%

Zona climática de cálculo
Capital: Lugo; Altitud: 412 m.s.n.m.; Zona Climática D1
Localidad: Cervantes; Altitud: 550 m.s.n.m.; Zona Climática E1

Período de medición
Nº de días: 14
Del: jueves, 26 de noviembre de 2020
A las (h): 11:55
Al: jueves, 10 de diciembre de 2020
Cada (h:mm): 0:20

REDACCIÓN DEL INFORME | Límites a la RT y a la HRI | Justificación límites | Límites por defecto

Excel genera un informe basado en la composición del cerramiento con condensación superficial y las mediciones de temperatura y humedad relativa dentro de la vivienda. Aunque el informe suele ser correcto, es aconsejable revisar y ajustar los límites en la pestaña 'Límites a la RT y a la HRI' para asegurar mayor precisión.

FUNDAMENTOS DEL CÁLCULO | ELABORACIÓN DEL INFORME

COMPOSICIÓN DEL CERRAMIENTO Y CONDICIONES AMBIENTALES DE CÁLCULO

RESISTENCIA TÉRMICA DEL CERRAMIENTO

Unifamiliar RT cerramiento [m² K/w] = 1,794

Material	Espesor (m)	λ (W / m K)	R _{th} (m ² K / W)
ENLUCIDO DE YESO AISLANTE 500<D<600	0,015	0,180	0,083
TABICÓN LHD 60<E<90 MM	0,080	0,432	0,185
EPS POLIESTIRENO EXPANDIDO 0.034	0,040	0,034	1,176
1/2 PIE LP 40<G<50 MM	0,115	0,958	0,120
ENFOCADO CON MORTERO CEMENTO	0,015	1,000	0,015

R_{si} [m² K/w] = 0,130 R_{se} [m² K/w] = 0,040

MEDICIÓN Tª Y HR INTERIORES

θi med: 19,34 [°C]
φi med: 76,3 [%]

RESULTADO CONJUNTO

La composición del cerramiento y las mediciones de temperatura y humedad relativa interiores producen los siguientes resultados:

θsi min: 17,2 [°C]
θsi: 18,59 [°C]
φsi: 87,0%

CONDICIONES EXTERIORES DE CÁLCULO

Las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa deberán cumplir con las especificaciones de la zona climática asignada. En ausencia de dicha especificación, estos parámetros se establecerán manualmente, pudiendo utilizarse, si están disponibles, las medias exteriores registradas.

Tª Y HR EXTERIORES HE1
θe: 4,4 [°C] φe: 94% [%]

Tª Y HR EXTERIORES MEDIAS DE MEDICIÓN
θe: 0,00 [°C] φe: 0,00 [%] ☐ Cálculo con valores de medición

DIAGNÓSTICO

Condensación superficial: -Se produce riesgo de formación de moho superficial
Condensación intersticial: -C. Intersticial en 1 capa: posible empeoramiento del riesgo de condensación superficial

☒ Ver cálculo del cerramiento o ver mediciones efectuadas en el Ábaco Psicrométrico

Cerrar

Imagen 137. Formulario de generación de informe.

AYUDA AL MANEJO DE LA APLICACIÓN



Al pinchar el botón de la imagen en el formulario de inicio surge una ayuda en la que se hace un recorrido ordenado por las distintas partes de la aplicación, explicando el funcionamiento de cada una de ellas.

AYUDA AL MANEJO DE LA APLICACIÓN

1.- Condiciones para el cálculo | 2.- Calculadora de transmitancias y condensaciones | 3.- Resultados | 4.- Informes gráficos | 5.- Otros Informes

1.- CONDICIONES PARA EL CÁLCULO

Clima
Capital: a.s.n.m [m] | Zona climática

Localidad: a.s.n.m [m] | Zona climática

Z. clim
Condiciones de cálculo
φi = 0,55 θi = 20
φe = 0,95 θe = 0

Dirección y sentido del flujo de calor
Flujo: Flujo horizontal con el exterior
MURO ☐ Hd Rsi 0,130 Rse 0,040

Esta es el cuadro de entrada para las condiciones ambientales utilizadas en el cálculo de condensaciones. Si no se ha especificado una localidad, es posible ajustar tanto las condiciones interiores como las exteriores (rango: 30% a 100% m humedades relativas y -10 °C a +25 °C en temperatura).

ZONA CLIMÁTICA DB HE
Para seleccionar una zona climática se pincha en el botón con la 'silueta de España' y se elige la 'Capital' de provincia. Si es la localidad de cálculo, no se necesita hacer nada más y se pincha 'Aceptar'. Si la localidad de cálculo es distinta y tiene una altitud mayor que la capital, se escribe su nombre y altitud en metros, luego se busca su zona climática y se asigna a la localidad.

Cuando se selecciona una 'Zona climática', no es posible establecer las condiciones exteriores para el cálculo de condensaciones. Además, colocando el cursor sobre la figura, se puede visualizar la localidad y su altitud respecto a la capital en la figura del mapa de España presente en el formulario, lo que abrirá otra vez el formulario que permite realizar dicha modificación.

En el apartado 'Dirección y sentido del flujo de calor', es posible definir el tipo, la dirección y el sentido del flujo térmico. Esta acción también permite seleccionar el tipo de cerramiento, ya sea MURO, CURSERA o SUELO, y buscar las limitaciones establecidas por la Exigencia básica HE1 para cada uno de ellos.

AYUDA AL MANEJO DE LA APLICACIÓN

1.- Introducción de datos | 2.- Mediciones registrador 1 | 2.- Mediciones registrador 2 | 3.- Cálculo del cerramiento | 4.- Informe

1.- INTRODUCCIÓN DE DATOS

Corporativo datos ambientales interiores registrados
Registro de Tª y HR interiores

En el apartado '1.2 Condiciones ambientales para el cálculo de condensaciones' se introducen los datos de temperatura y humedad relativa interiores. En este apartado se puede introducir los datos de temperatura y humedad relativa interiores para cada una de las mediciones registradas. Para ello, se debe introducir el valor de temperatura y humedad relativa en los campos correspondientes. En este apartado se puede introducir los datos de temperatura y humedad relativa interiores para cada una de las mediciones registradas. Para ello, se debe introducir el valor de temperatura y humedad relativa en los campos correspondientes.

Corporativo datos ambientales exteriores registrados
Registro de Tª y HR exteriores

En el apartado '1.2 Condiciones ambientales para el cálculo de condensaciones' se introducen los datos de temperatura y humedad relativa exteriores. En este apartado se puede introducir los datos de temperatura y humedad relativa exteriores para cada una de las mediciones registradas. Para ello, se debe introducir el valor de temperatura y humedad relativa en los campos correspondientes. En este apartado se puede introducir los datos de temperatura y humedad relativa exteriores para cada una de las mediciones registradas. Para ello, se debe introducir el valor de temperatura y humedad relativa en los campos correspondientes.

2.- MEDICIONES REGISTRADOR 1

Corporativo datos ambientales interiores registrados
Registro de Tª y HR interiores

En el apartado '1.2 Condiciones ambientales para el cálculo de condensaciones' se introducen los datos de temperatura y humedad relativa interiores. En este apartado se puede introducir los datos de temperatura y humedad relativa interiores para cada una de las mediciones registradas. Para ello, se debe introducir el valor de temperatura y humedad relativa en los campos correspondientes. En este apartado se puede introducir los datos de temperatura y humedad relativa interiores para cada una de las mediciones registradas. Para ello, se debe introducir el valor de temperatura y humedad relativa en los campos correspondientes.

2.- MEDICIONES REGISTRADOR 2

Corporativo datos ambientales interiores registrados
Registro de Tª y HR interiores

En el apartado '1.2 Condiciones ambientales para el cálculo de condensaciones' se introducen los datos de temperatura y humedad relativa interiores. En este apartado se puede introducir los datos de temperatura y humedad relativa interiores para cada una de las mediciones registradas. Para ello, se debe introducir el valor de temperatura y humedad relativa en los campos correspondientes. En este apartado se puede introducir los datos de temperatura y humedad relativa interiores para cada una de las mediciones registradas. Para ello, se debe introducir el valor de temperatura y humedad relativa en los campos correspondientes.

3.- CÁLCULO DEL CERRAMIENTO

Corporativo datos ambientales interiores registrados
Registro de Tª y HR interiores

En el apartado '1.2 Condiciones ambientales para el cálculo de condensaciones' se introducen los datos de temperatura y humedad relativa interiores. En este apartado se puede introducir los datos de temperatura y humedad relativa interiores para cada una de las mediciones registradas. Para ello, se debe introducir el valor de temperatura y humedad relativa en los campos correspondientes. En este apartado se puede introducir los datos de temperatura y humedad relativa interiores para cada una de las mediciones registradas. Para ello, se debe introducir el valor de temperatura y humedad relativa en los campos correspondientes.

4.- INFORME

Corporativo datos ambientales interiores registrados
Registro de Tª y HR interiores

En el apartado '1.2 Condiciones ambientales para el cálculo de condensaciones' se introducen los datos de temperatura y humedad relativa interiores. En este apartado se puede introducir los datos de temperatura y humedad relativa interiores para cada una de las mediciones registradas. Para ello, se debe introducir el valor de temperatura y humedad relativa en los campos correspondientes. En este apartado se puede introducir los datos de temperatura y humedad relativa interiores para cada una de las mediciones registradas. Para ello, se debe introducir el valor de temperatura y humedad relativa en los campos correspondientes.

Imagen 138. Ayuda.

OTROS INFORMES SECUNDARIOS



CONDENSACIÓN – EVAPORACIÓN UNE EN ISO 13788:2001



En este apartado se puede ver si se pincha el botón ‘C.evap Glaser’ del formulario principal, una pantalla como la siguiente:

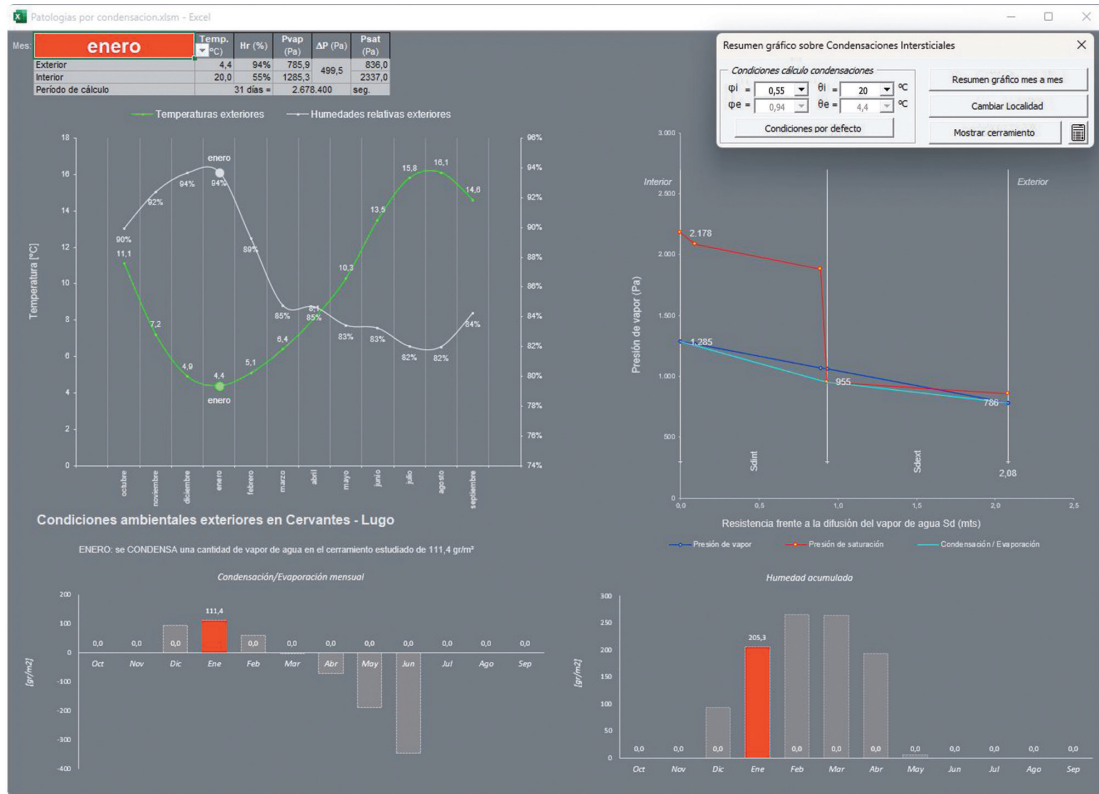


Imagen 139. Condensación/evaporación UNE EN ISO 13788:2001.

En ella se observa el cálculo de **Condensación - Evaporación por el método Glaser**, reflejado en la norma UNE EN ISO 13788:2001 mes a mes pinchando el botón ‘Resumen gráfico mes a mes’

ÁBACO PSICROMÉTRICO



Si se pincha la pestaña ‘Cálculos sobre el Ábaco Psicrométrico’ del formulario principal, nos lleva a una pantalla como la siguiente, donde se pueden hacer cálculos directamente sobre el Ábaco Psicrométrico:

Entre otros, se puede simular un **cálculo de ventilación por infiltraciones** a través de la carpintería **en función de su clase de permeabilidad al aire**.

También se puede visualizar la **caída de temperaturas y presiones de vapor** del cerramiento sobre él.

Por último, se puede realizar el **cálculo gráfico de la temperatura superficial interior mínima $\theta_{si,min}$** .

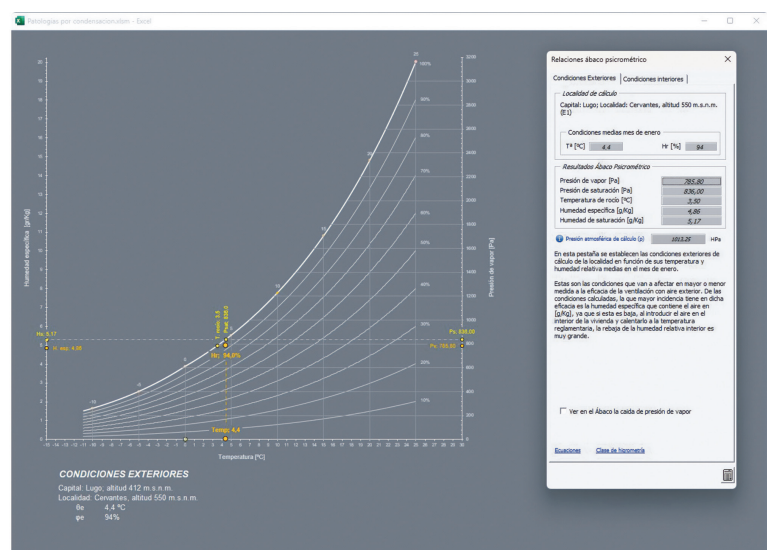


Imagen 140. Ábaco psicrométrico.



AUTORIZACIÓN DE REGISTRO DE DATOS HIGROTÉRMICOS

Con objeto de hacer un seguimiento sistemático de las condiciones ambientales en las que se encuentran determinadas estancias donde se producen patologías aparentemente relacionadas con humedades, y con la finalidad de emitir un diagnóstico preciso de las causas de estas patologías, D/Dña _____, propietario/a de la vivienda situada en _____, autoriza al redactor del informe de condensación a la colocación provisional en las dependencias afectadas de dicha vivienda, durante un período de _____ días, del siguiente equipo:

Registrador de datos higrotérmicos

Características técnicas:

- CUOTA DE MEDICIÓN: 20 minutos
- TEMPERATURA
 - Sensor: _____
 - Rango: _____
 - Resolución: _____
 - Precisión: _____
- HUMEDAD RELATIVA
 - Sensor: _____
 - Rango: _____
 - Resolución: _____
 - Precisión: _____

Período de medición:

Del _____, a las _____ horas, al _____, a las _____ horas.

COMPROMISOS:

1. Los moradores de la vivienda **se comprometen a custodiar y proteger** el equipo instalado, **evitando su manipulación** e informando al redactor del informe de cualquier anomalía que se produzca durante el período de medición. Cualquier manipulación del equipo que se detecte al descargar los datos **invalidará los resultados**, quedando el redactor del informe **eximido de practicar cualquier otra prueba**.
2. Los **resultados de las mediciones serán aceptados por todas las partes**, es decir, tanto por los afectados, como por el redactor del informe, teniendo siempre en cuenta las imprecisiones que se mencionan en el cuadro de características técnicas que figura en este documento.
3. Los **cálculos realizados por el redactor del informe** con las mediciones obtenidas por el equipo durante el período de medición **podrán ser rebatidos por el propietario de la vivienda**, encargando a un técnico o gabinete técnico independiente un **informe pericial contradictorio**. Para ello, el propietario podrá solicitar por escrito al redactor del informe una copia del archivo generado por el registrador de datos con las mediciones realizadas.

En _____, a _____
El técnico redactor del informe

El/La propietario/a de la vivienda

- Norma Básica de la Edificación NBE – CT/79 Condiciones Térmicas en los Edificios.
- Documento Básico *DB HE* – Zonas climáticas.
- Documento Básico *DB HE - HE1* Condiciones para el control de la demanda energética.
- Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía *DA DB-HE/1* Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.
- 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.
- *DA DB-HE/2* - Apéndice C: Datos climáticos de las capitales de provincia.
- *CAT-EC-v06.2_ENERO10* Catálogo de elementos constructivos del CTE.
- *DB HS1 Protección frente a las humedades.*
- *DB HS3 Calidad del aire interior.*
- *UNE EN ISO 13788:2001 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.*

José M. Grandío Rodríguez

Es arquitecto técnico por la EUAT de A Coruña y colegiado 214 del COAT de Lugo. Desarrolla su labor profesional como arquitecto técnico en funciones facultativas en el Instituto Galego de Vivenda e Solo (IGVS), donde realiza tareas de control de obras de vivienda protegida, rehabilitación, certificación energética y asesoramiento técnico. Cuenta con formación específica como formador en eficiencia energética, impartida por el Instituto Enerxético de Galicia (INEGA). Ha publicado diversos artículos sobre ahorro de energía y certificación energética en las revistas CERCHA y DEPLANO, y ha participado en mesas redondas y entrevistas especializadas, como el monográfico de La Voz de Galicia en 2013. Ha sido también docente en cursos sobre normativa energética y procedimientos de certificación en colegios profesionales y administraciones públicas. Además, es autor de diversas aplicaciones informáticas para el cálculo de condensaciones, estudio de condiciones termohigrométricas y calificación energética de edificios.

FUNDACIÓN musaat

GRUPO
musaat

agradecimiento:



C. del Jazmín, 66. 28033 Madrid
T. (+34) 913 84 11 27
fundacionmusaat.musaat.es



ISBN: 978-84-09-77944-4

