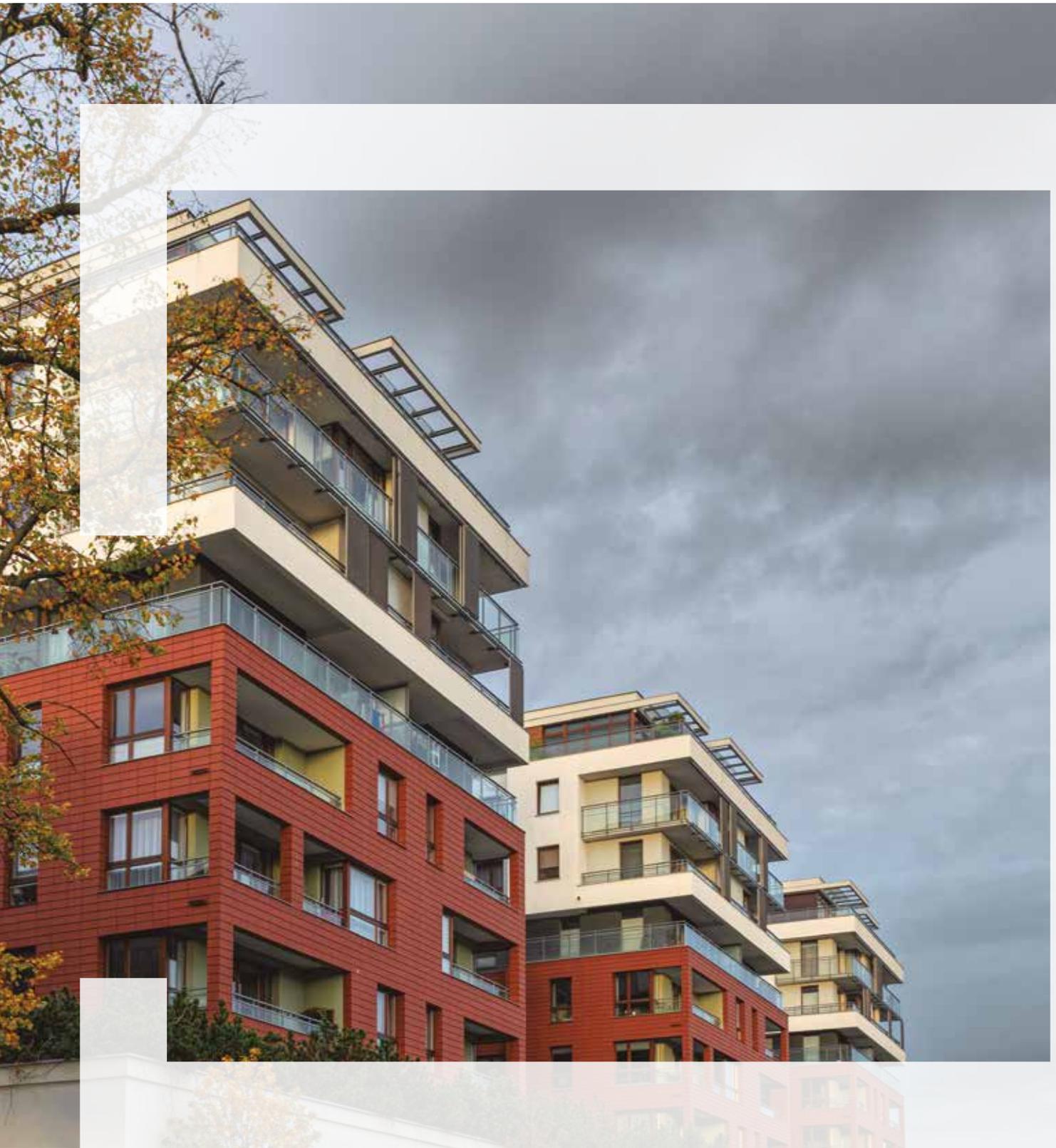


# La función del aislamiento en la protección frente a la humedad

Mayo 2023







# Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2. Objetivo</b>	<b>6</b>
<b>3. Nociones básicas de protección frente a la humedad</b>	<b>7</b>
3.1 Procedencia de la humedad	7
3.2 Patologías constructivas relacionadas con la humedad	7
<b>4. Nociones básicas de protección frente a la humedad aplicadas al aislamiento</b>	<b>8</b>
4.1 Influencia de la humedad en la conductividad térmica	8
4.2 Influencia de la humedad en la proliferación de microorganismos	8
4.3 Parámetros físicos en la difusión de vapor de agua y en la condensación	8
4.4 Barrera de vapor para evitar condensaciones intersticiales	10
4.5 Aislamiento para evitar condensaciones superficiales	11
<b>5. Normativa sobre protección frente a la humedad</b>	<b>12</b>
5.1 Introducción	12
5.2 Documento Básico sobre salubridad DB HS	12
5.3 Documento Básico de Ahorro de energía, DB HE	12
5.4 Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE	13
<b>6. Ensayos para caracterizar materiales y soluciones constructivas</b>	<b>14</b>
6.1 Ensayos sobre materiales y productos	14
6.2 Ensayos sobre soluciones constructivas	22
6.3 Certificación de calidad voluntaria y Marcado CE obligatorio	22
6.4 Certificación y acreditación	23
<b>7. Aplicación del DB HE</b>	<b>24</b>
7.1 Condensaciones intersticiales en edificación	24
7.2 Condensaciones superficiales en edificación	27
<b>8. Aplicación del DB HS</b>	<b>28</b>
8.1 General	28
8.2 Ejemplo de diseño de fachada	31
8.3 Filtraciones en cubierta	32
8.4 Humedades por capilaridad	32
<b>9. Aplicación del RITE</b>	<b>33</b>
9.1 Condensaciones superficiales en instalaciones industriales	33
9.2 Condensaciones intersticiales en instalaciones industriales	34
<b>10. Aspectos relevantes en la protección frente a la humedad de diferentes soluciones constructivas</b>	<b>36</b>
10.1 Generalidades	36
10.2 Cubierta	36
10.3 Fachada	39
10.4 Instalaciones	43
10.5 Ejemplos para pensar	44
10.6 Conclusiones	47
<b>11. Buenas prácticas</b>	<b>48</b>
11.1 Generalidades	48
11.2 En la instalación	48
11.3 Tras la instalación	50
<b>12. ANEXO</b>	
Definiciones y terminología	51
Tabla de conversión para las unidades de transmisión de vapor de agua	52



El documento se ha elaborado de forma colaborativa por los siguientes autores, miembros del Grupo de Trabajo de Humedades:

Álvaro Pimentel	AISLA
Ángel Ramírez	ARMACELL
Carlos Castro	DANOSA
Daniel Portal	KAIMANN
Fernando Peinado	ST. GOBAIN
Jaime Fernández	ANDIMAT
Juan Ramón Cáceres	K-FLEX
Luis Sanz	PROPAMSA
Mario Serrano	AIPEX
Miguel Mateos	THERMABEAD
Mónica Herranz	AFELMA
Victoria Pulido	ANFAPA

## 01

## Introducción

Cuando se habla de *envolvente térmica*, al calificar así la envolvente se toma la parte por el todo. Sin duda alguna hay que “abrigar” los edificios adecuadamente y eso es a lo que nos referimos resaltando el calificativo “térmica”, porque se controla y reduce el flujo de calor, la transmisión térmica a través de los materiales que conforman los cerramientos.

Sin embargo, en este manual ponemos el foco en otro flujo asimismo crítico en los edificios. Y es un flujo, no ya de energía calorífica, sino de materia. El agua, tomada en su fase gaseosa, es decir, como vapor, se mueve a través de los cerramientos. El “motor” que mueve al vapor de agua es el hecho de que, entre el interior y el exterior del edificio o vivienda, hay diferentes presiones de vapor, en perfecto paralelismo con las diferentes temperaturas entre interior y exterior (que generan el flujo de calor). Ese movimiento del vapor a través de los cerramientos de la envolvente se denomina “difusión”.

Como consecuencia, la envolvente, más que solamente térmica, es *higrotérmica*.

Los climas invernales más suaves no favorecen tanto el riesgo de formación de condensaciones por la sencilla razón de que no se genera un gradiente de presiones de vapor tan intenso entre el interior y el exterior. Podemos decir que el “motor” de la difusión es de menor “potencia” en Málaga que en Burgos.

Hay otra posibilidad más “cruda” e invasiva para el movimiento del agua en los cerramientos que la mera difusión de vapor. Es la convección. La convección del aire cargado de humedad, cargado de agua incluso en fase líquida si la fase gaseosa del agua, el vapor, “merodea” o incluso alcanza la saturación.

De nuevo, puede sonar raro a primera vista pensar que el aire húmedo interior se cuele en el interior de los cerramientos de la *envolvente higrotérmica* de los edificios. Nada más lejos de la realidad, como bien saben los constructores de “casas pasivas” (Passivhaus), por la dificultad de conseguir una adecuada hermeticidad al aire del cascarón del edificio. Hay que lograr hermeticidad para evitar que se cuele el frío aire exterior, sin duda, pero también para evitar que el aire interior, cargado de humedad, penetre por los intersticios de la superficie interior de la *envolvente higrotérmica* y alcance, dentro del cerramiento, interfases (fronteras entre capas de materiales, en el fondo microcámaras de aire) e incluso cámaras de aire, donde el vapor pueda saturar y condensar. Siempre que exista un fallo en la hermeticidad por el interior del cerramiento, los problemas de humedad generados por la convección serán mayores que los generados por la difusión de vapor de agua.

Los aislamientos térmicos tienen diferentes niveles de resistencia a la difusión de vapor de agua, y en algunos casos será necesario incorporar una barrera de vapor. En cada proyecto de edificación se deberá analizar cuantitativamente esta necesidad.

ANDIMAT, Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes, a través de un grupo de trabajo compuesto por asociaciones y empresas asociadas e invitadas, ha preparado la primera edición de este documento, *La función del aislamiento térmico en la protección frente a la humedad*.

# 02

## Objetivo

El objetivo es ofrecer un manual de consulta para establecer los fundamentos básicos de protección frente a la humedad y su aplicación al aislamiento térmico. Para ello el documento explica la variada procedencia de las humedades, las diferentes patologías causadas por la humedad y describe las principales soluciones constructivas que incorporan productos aislantes térmicos. A la vez, el documento sirve de guía para la aplicación de la legislación vigente en materia de protección frente a la humedad y también incorpora mejores prácticas en la instalación de las soluciones constructivas.

Este documento está dirigido a profesionales de la construcción, como arquitectos técnicos, ingenieros y demás prescriptores, así como constructores e instaladores que son responsables en sus respectivas parcelas de la calidad final de los edificios. Se plantea con el propósito de ser útil a profesionales con un amplio abanico de conocimientos. Por un lado, introduce las nociones básicas y una visión general de la normativa, y por el otro lado, profundiza en soluciones concretas y explicación de ensayos en mayor detalle.



03

## Nociones básicas de protección frente a la humedad

### 3.1 Procedencia de la humedad

El agua, elemento fundamental para la vida, se convierte en un elemento dañino cuando la encontramos de manera no deseada en los edificios, en cuyo caso se la conoce con el nombre de **humedad**. Su presencia requiere nuestra máxima atención, tanto por las lesiones que les puede ocasionar, como por los problemas de confort y salud que puede trasladar a los usuarios.

En función de su procedencia la podemos clasificar en los siguientes tipos:

- **Humedades de filtración** cuando el agua de la lluvia entra en el edificio a través de cubiertas, fachadas, muros de sótano y soleras.
- **Humedades de capilaridad** cuando el agua presente en el terreno asciende desde la cimentación.
- **Humedades de condensación** cuando el vapor de agua se transforma en agua líquida y se acumula en la superficie y/o en el interior de los cerramientos.
- **Humedades de construcción** cuando el agua empleada en el proceso constructivo queda atrapada en capas interiores.
- **Humedades accidentales** asociadas normalmente a roturas de instalaciones.

Tratar de resolver problemas derivados de la presencia de humedad no es una tarea fácil. Pero si se realiza un buen estudio de las causas, se determina con precisión la causa origen, y se utilizan los materiales adecuados para resolverla, se pueden obtener soluciones muy satisfactorias.

### 3.2 Patologías constructivas relacionadas con la humedad

Cuando la presencia de humedad en la obra excede los límites aceptables, el proceso de deterioro de los materiales se acelera de manera significativa, ocasionando un descenso paulatino de sus prestaciones mecánicas que puede llevar a su degradación total y, en consecuencia, a la ruina de la obra.

Los efectos más nocivos que produce la humedad sobre los materiales son:

- **Desagregación:** fenómeno de tipo químico característico en morteros y hormigones. Los sulfatos (muy solubles en agua) atacan al cemento, haciendo que pierda su capacidad aglomerante y se desvincule físicamente del árido, dejándolo libre. Ello conlleva la destrucción paulatina del elemento constructivo.
- **Disgregación:** también característico en morteros y hormigones, producido en este caso por mecanismos hielo/deshielo. La presión ejercida por el agua por su aumento de volumen dentro de los poros cuando se convierte en hielo produce tensiones importantes, que se traducen en roturas con pérdidas de material.
- **Proliferación de hongos y microorganismos,** que suelen aparecer en materiales porosos con altos contenidos de humedad y producen ambientes insalubres.
- **Eflorescencias:** acumulación de sales causadas por sulfatos y nitratos alcalinos en las superficies exteriores de los paramentos. Ocasionan manchas y deterioro estético.
- **Criptoflorescencias:** la acumulación de estas sales se produce en capas internas generando tensiones que ocasionan desprendimientos de los revestimientos (pintura, revocos y enlucidos).
- **Pérdida de capacidad de aislamiento térmico:** La presencia de humedad no deseada en los materiales provoca un aumento de la conductividad térmica de éstos, reduciendo la capacidad aislante.
- **Corrosión:** de las armaduras en el hormigón armado.
- **Deterioro de las conducciones:** La humedad puede oxidar elementos metálicos o reducir el aislamiento eléctrico de las instalaciones, por ejemplo.

## 04

## Nociones básicas de protección frente a la humedad aplicadas al aislamiento

### 4.1 Influencia de la humedad en la conductividad térmica

Los materiales de aislamiento térmico deben sus propiedades aislantes a su estructura interna, que retiene un elemento gaseoso, de baja conductividad térmica, en el interior de pequeñas cavidades.

La presencia de agua líquida en el interior del aislamiento, ya sea proveniente de condensaciones superficiales, intersticiales, filtraciones o absorción, desplaza al elemento gaseoso, de baja conductividad térmica, por esta agua líquida, de alta conductividad térmica.

La presencia de agua incrementa notablemente la conductividad térmica del aislamiento, reduciendo la capacidad aislante y aumentando las pérdidas energéticas a través del cerramiento.

Según la Norma UNE-EN ISO 10456, de cálculo de valores térmicos de diseño, un contenido en humedad del 10% en un material de aislamiento incrementa la conductividad térmica entre un 30% y un 80%.

### 4.2 Influencia de la humedad en la proliferación de microorganismos

La presencia continua de humedad relativa superior al 80% en los materiales porosos de construcción bajo determinadas condiciones de temperatura puede favorecer la proliferación de microorganismos como hongos y bacterias.

Esta patología puede aparecer en aquellas zonas de los cerramientos más susceptibles de sufrir humedades de forma continua como los puentes térmicos, los arranques de fachada o las cubiertas.

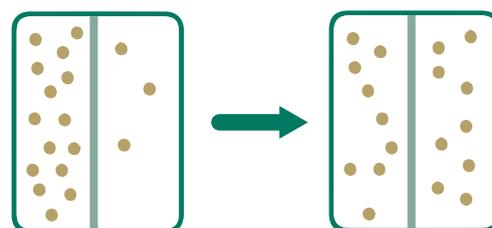
Los aislamientos térmicos no son una excepción y también pueden sufrir esta patología. Para prevenirla, hay que evitar tanto las condensaciones superficiales como intersticiales. En algunos casos los aislamientos térmicos incorporan agentes fungicidas e insecticidas que previenen la

aparición de microorganismos incluso en condiciones desfavorables de temperatura y humedad.

### 4.3 Parámetros físicos en la difusión de vapor de agua y en la condensación

La presión atmosférica del aire es la suma de las presiones parciales de los gases que la componen, principalmente nitrógeno y oxígeno y entre otros gases con menor presencia, se encuentra el vapor de agua. Mientras que los dos primeros guardan una proporción bastante uniforme, la presión parcial de vapor de agua puede variar mucho en poco tiempo y en diferentes espacios.

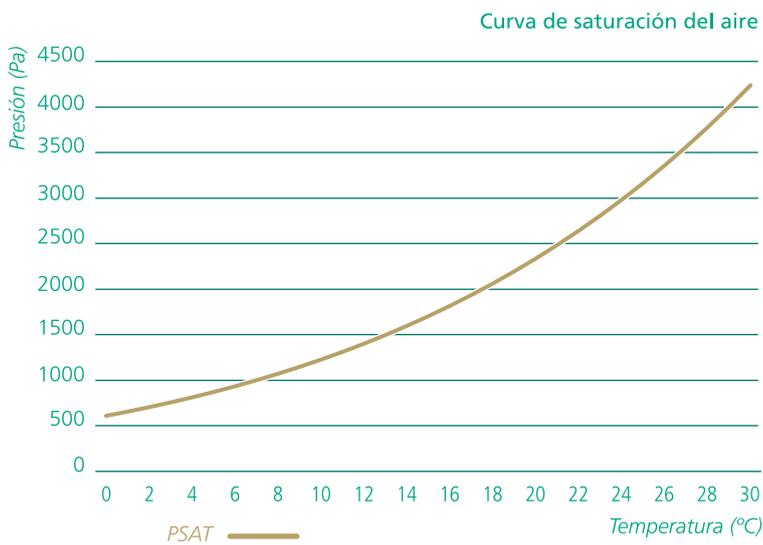
Cuando dos estancias ocupadas por gases se encuentran a diferente presión y están separadas por una membrana permeable a ese gas, ocurrirá el fenómeno de difusión, moviéndose las partículas del gas de la estancia de mayor presión a la estancia de menor presión, hasta que las presiones parciales se igualen.



Las partículas de un gas se difundirán a través de una membrana permeable hasta encontrar el equilibrio de presiones.

Este fenómeno es el que ocurre en nuestras viviendas, siendo el gas que se difunde el vapor de agua, y siendo la membrana permeable los cerramientos. La particularidad que tiene el vapor de agua es que bajo ciertas condiciones, a temperatura ambiente cambia de estado gaseoso a líquido, generando una condensación intersticial no deseada. Para cada temperatura (a una presión atmosférica

determinada) existe una presión máxima, a partir de la cual comienza el proceso de condensación. Esta presión se denomina la presión de vapor de saturación. La siguiente curva muestra la relación entre la temperatura del aire y su presión de saturación:



Presión de vapor de saturación frente a la temperatura, basada en la ecuación (3) del DA-DB-HE-2 Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía

La presión de vapor es proporcional a la cantidad de moléculas de vapor de agua en el ambiente, así que tendríamos una gráfica con una forma similar en la que se sustituye la presión de vapor de agua por la masa de agua en aire seco.

Esta gráfica explica el motivo por el que el aire frío en invierno es más seco que el aire caliente en verano. La razón es que el aire caliente puede admitir mayor cantidad de vapor de agua sin condensar. Para entender este concepto mejor, nos podemos imaginar que sujetamos una gran bola transparente entre nuestras manos que contiene pelotas de pimpón. Imaginemos que está lleno a un tercio de capacidad. Cuando mantenemos la bola quieta, las pelotas de pimpón reposan. Esto es equivalente a un sistema

con baja temperatura en el que las pelotas de pimpón son moléculas de agua en estado líquido. Si agitamos un poco, las bolas se moverán, pero sobre todo las de la parte superior. Algunas bolas se quedan abajo. Esta energía que damos a las bolas es equivalente a un pequeño incremento de temperatura. Unas cuantas moléculas de agua tienen suficiente energía para cambiar al estado gaseoso. Los golpes de las pelotas de pimpón saltarinas en la parte superior de nuestra bola son equivalentes a la presión de vapor. A pocos golpes con pocas bolas, poca presión de vapor. Si agitamos con mucha más fuerza, damos más energía al sistema y todas las bolas se elevan y rebotan por todas partes. Esto equivale a una mayor temperatura en el que las moléculas tienen más energía para pasar al estado gaseoso y rebotar unas de otras sin convertirse al estado líquido. A mayor número de bolas, más masa en movimiento y más presión de vapor. Cada nivel de energía que le damos a la bola, o cada nivel de agitación que le damos con nuestras manos, implica un número determinado de golpes de las pelotas de pimpón más saltarinas. Esto es equivalente a la presión de vapor de saturación que depende de la temperatura, sencillamente no puede haber más moléculas en estado gaseoso porque no tienen suficiente energía para evaporarse.

Cuanto más frío sea el ambiente exterior, menos vapor de agua permitirá el aire. Cuando generamos vapor de agua en nuestras viviendas (en la cocina, con las duchas del baño, con nuestra respiración) se crea un gradiente de mayor presión de vapor en el interior frente al exterior, iniciándose así la difusión de vapor de agua a través de los cerramientos.

Se define la humedad relativa como el cociente entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación. Es un valor que nos dice cómo de cerca estamos de llegar al nivel de saturación. A continuación se presenta un diagrama psicrométrico completo:

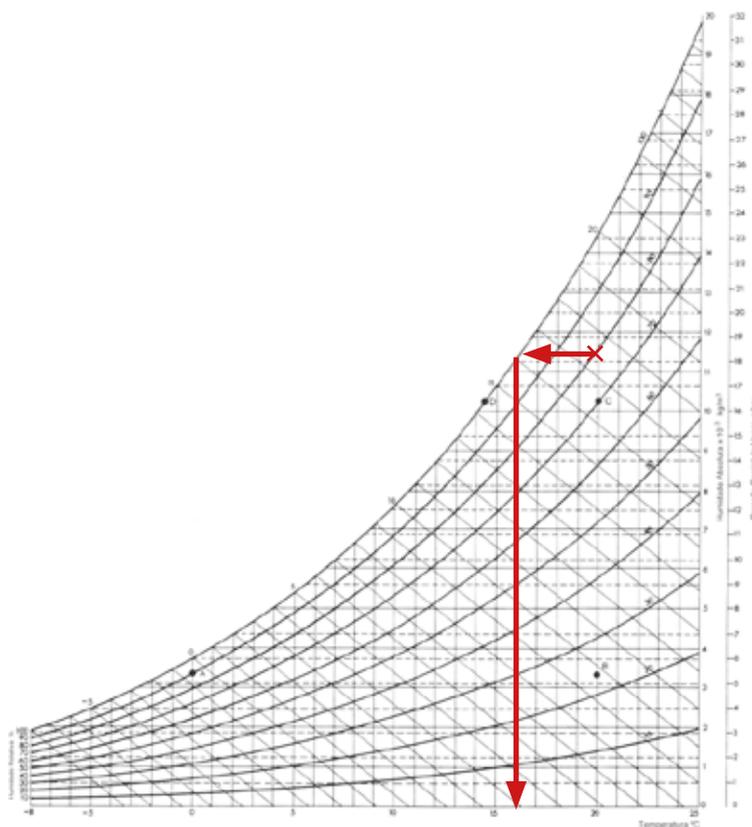


Diagrama Psicrométrico del aire con ejemplo de punto de rocío a 20°C y 80 % humedad relativa

Se puede usar este diagrama para comprender el efecto de la condensación superficial mediante el concepto de la temperatura de rocío. Si nos encontramos en una habitación a 20 °C con una humedad relativa del 80 %, pero existe una superficie de la pared a una temperatura de 15 °C, en esta superficie se creará una condensación (línea roja del gráfico). Esta es la temperatura de rocío y es el mismo efecto que observamos cuando sacamos un vaso del congelador en verano.

#### 4.4 Barrera de vapor para evitar condensaciones intersticiales

Una condensación intersticial se genera cuando el vapor de agua que se difunde a través del cerramiento se encuentra con una superficie interior cuya temperatura es menor que la temperatura de rocío. Este fenómeno dependerá de la temperatura interior, la temperatura exterior, la humedad relativa interior, la humedad relativa exterior y de la capacidad de transmitir el vapor de agua de los materiales que componen el cerramiento. Por ello, **la condensación intersticial se puede evitar con el diseño del cerramiento mediante la incorporación de una barrera de vapor, es decir mediante un material**

**que ofrezca una elevada resistencia a la difusión del vapor de agua.** Debido a que el propio aislante térmico es el elemento del cerramiento que genera un fuerte gradiente de temperaturas entre el interior y el exterior, cuando exista riesgo de condensación intersticial se deberá colocar la barrera de vapor en la cara caliente del aislamiento.

A lo largo del documento se explicarán los parámetros involucrados y el método para calcular el riesgo de condensaciones intersticiales.

Además de esta definición cualitativa de barrera de vapor, se encuentran dos definiciones cuantitativas que difieren ligeramente según el documento consultado:

- El Documento de Apoyo al DB-HE / 2, en el Anexo A define la barrera de vapor como “elemento que tiene una resistencia a la difusión de vapor mayor que 10 MN·s/g equivalente a 2.7 m<sup>2</sup>·h·Pa/mg”
- El RITE en el apartado IT 1.2.4.2.1.1 indica que “se instalará una adecuada barrera al paso de vapor, la resistencia total será mayor que 50 MPa·m<sup>2</sup>·s/g”

#### 4.5 Aislamiento para evitar condensaciones superficiales

La condensación superficial se genera cuando la temperatura de una superficie del interior del edificio se encuentra a una temperatura inferior a la temperatura de rocío. Este fenómeno dependerá de la temperatura interior, de la humedad relativa interior y de la temperatura de las superficies que componen el interior. Por lo tanto, **se pueden evitar las condensaciones superficiales mediante la incorporación de un aislamiento que aumente la temperatura de las superficies frías.**

Las condensaciones superficiales pueden provocar manchas de humedad, y proliferación de hongos y moho, creando un ambiente interior insalubre.

Los puentes térmicos son los elementos más débiles térmicamente, donde menos aislamiento podemos encontrar, y por lo tanto, son los que tienen un mayor riesgo de sufrir este tipo de condensaciones. Por ello, es importante aislar los puentes térmicos siempre que sea posible, no solo para mejorar la eficiencia energética, sino también para evitar la patología de las condensaciones superficiales.



La superficie de la viga se encuentra a menor temperatura que la pared y genera una condensación superficial, que a su vez crea moho. El problema se corrige eliminando este puente térmico con aislamiento.

# 05

## Normativa sobre protección frente a la humedad

### 5.1 Introducción

La normativa del Código Técnico de la Edificación que afecta a las humedades en edificación y en instalaciones en base a su origen se presenta la siguiente tabla y se describe a lo largo del capítulo.

PATOLOGÍA	NORMATIVA CTE	ORIGEN	ESTADO
Condensaciones superficiales en edificación	DB-HE	Ambiente	Vapor de agua
Condensaciones intersticiales en edificación			
Condensaciones superficiales e intersticiales en instalaciones	RITE		Agua Líquida
Filtraciones en fachada	DB-HS	Lluvia	
Filtraciones en cubierta			
Humedades por capilaridad		Terreno	

Resumen de origen de patologías y legislación aplicable

### 5.2 Documento Básico sobre salubridad DB HS

El documento básico sobre salubridad DB HS establece aquellas reglas y procedimientos que permiten cumplir con las exigencias básicas de salubridad. En el caso del aislamiento térmico aplica la parte *HS1: Protección frente a la humedad*, donde su correcta aplicación implica el cumplimiento de esta exigencia básica.

La exigencia básica HS 1 Protección frente a la humedad se establece en el artículo 13 de la Parte I de este CTE:

*Se limitará el riesgo previsible de presencia inadecuada de agua o humedad en el interior de los edificios y en sus cerramientos como consecuencia del agua procedente de precipitaciones atmosféricas, de escorrentías, del terreno o de condensaciones, disponiendo medios que impidan su penetración o, en su caso permitan su evacuación sin producción de daños.*

El DB HS1 se aplica a muros y suelos en contacto con el terreno y a los cerramientos en contacto con el aire exterior (fachadas y cubiertas) de todos los edificios incluidos en el ámbito de aplicación general del CTE.

Este también considera que:

- Los suelos elevados se consideran suelos que están en contacto con el terreno.
- Las medianerías que vayan a quedar descubiertas porque no se ha edificado en los solares colindantes o porque la superficie de estas excede a las de las colindantes se consideran fachadas.
- Los suelos de las terrazas y los de los balcones se consideran cubiertas.

Para la comprobación de la limitación de humedades de condensación superficiales e intersticiales el DB HS 1 indica que debe realizarse según lo establecido en la Sección HE-1 Limitación de la demanda energética del DB HE Ahorro de energía

### 5.3 Documento Básico de Ahorro de energía, DB HE

El DB HE 1 Condiciones para el control de la demanda energética, en el punto 4 del apartado 2 “Caracterizaciones de la exigencia” indica que:

*Se limitarán los riesgos debidos a procesos que produzcan una merma significativa de las prestaciones térmicas o de la vida útil de los elementos que componen la*

*envolvente térmica, tales como las condensaciones*

Y en el apartado 3.3 "Limitación de condensaciones en la envolvente térmica":

*1. En el caso de que se produzcan condensaciones intersticiales en la envolvente térmica del edificio, estas serán tales que no produzcan una merma significativa en sus prestaciones térmicas o supongan un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil. En ningún caso, la máxima condensación acumulada en cada periodo anual podrá superar la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo*

Como vemos en estos apartados, las condensaciones son contempladas, pero no de forma muy específica. Para verificar la ausencia de condensaciones (superficiales e intersticiales) se debe realizar el cálculo de condensaciones siguiendo la metodología descrita en la norma *UNE-EN 13788 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.*

Por otro lado, de forma adicional, se dispone del DA DB HE/2 *Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos.* En este documento de apoyo se describen una serie de procedimientos que pueden ser empleados en la comprobación de la limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en espacios habitables establecida dentro de los Documentos Básicos DB-HE y DB-HS del CTE. Aun así, es posible utilizar otros métodos que permitan realizar dichas comprobaciones con suficiente solvencia técnica.

#### **5.4 Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, RITE**

En el DB HE 2 *Condiciones de las instalaciones térmicas* indica que: "Las instalaciones térmicas de las que dispongan

*los edificios serán apropiadas para lograr el bienestar térmico de sus ocupantes. Esta exigencia se desarrolla actualmente en el vigente Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), y su aplicación quedará definida en el proyecto del edificio"*

Este reglamento se aplica a las instalaciones térmicas en los edificios de nueva construcción y a las instalaciones térmicas que se reformen en los edificios existentes, exclusivamente en lo que a la parte reformada se refiere, así como en lo relativo al mantenimiento, uso e inspección de todas las instalaciones térmicas, con las limitaciones que en el mismo se determinan

Se considerarán instalaciones térmicas aquellas instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y de producción de agua caliente sanitaria, destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas. Excluyéndose las instalaciones térmicas de procesos industriales, agrícolas o de otro tipo, que no esté destinada a atender la demanda mencionada.

A través de sus instrucciones técnicas podemos ver los puntos indispensables para tener en cuenta con el objetivo de evitar la aparición de condensaciones.

- Control de la humedad relativa para proteger los cerramientos.
- Instalación de barreras al paso de vapor para evitar condensaciones intersticiales.
- Asegurar un espesor mínimo de aislamiento de las tuberías e instalaciones de frío y redes de agua fría (caliente) sanitaria.
- Proporcionar un aislamiento térmico suficiente en conductos y accesorios de la red de impulsión de aire y en los conductos de tomas de aire exterior.

## 06

## Ensayos para caracterizar materiales y soluciones constructivas

### 6.1 Ensayos sobre materiales y productos

#### 6.1.1 Introducción

La industria del aislamiento tiene una larga tradición en el uso y desarrollo de normas europeas e internacionales que permiten caracterizar los materiales de una manera armonizada y transparente. Las normas se pueden dividir en dos tipos:

- **Las normas de ensayo**, que describen los métodos de ensayo que se aplican a los materiales aislantes para obtener una descripción cuantitativa de su comportamiento para una determinada propiedad.
- **Las normas de producto**, que describen para cada material qué normas de ensayo le aplican y aspectos específicos de aplicación del ensayo y el código que se utiliza para su declarar de forma cuantitativa el comportamiento de cada propiedad.

Las normas de producto se pueden convertir en normas armonizadas, cuando

se publican en el DOUE (Diario Oficial de la Unión Europea) y sirven como herramienta técnica para el Mercado CE según la aplicación del Reglamento de Productos de la Construcción.

Las propiedades principales que afectan a los aislantes térmicos en la protección frente a la humedad son:

- La transmisión de vapor de agua
- La absorción de agua
- La resistencia a ciclos de congelación-descongelación.

Estas tres propiedades se pueden caracterizar mediante ensayos diferentes a los múltiples productos. La siguiente tabla muestra la interrelación entre las diferentes normas de ensayo y sus aplicaciones en las diferentes normas de producto. Cada norma de producto indica el código para cada propiedad y ofrece una explicación sobre los valores declarados en los códigos de designación.

A continuación se describen de manera general los ensayos de la tabla.

NORMAS DE ENSAYO		NORMAS DE PRODUCTO								
		MW (EN 13162)	MW(IND+EQ) (EN 14303)	MW IN SITU (EN 14064-1)	EPS (EN 13162)	EPS IN SITU (EN 16809-1)	XPS (EN 131604)	PUR IN SITU (EN 14315-1)	PUR (EN 13165)	FEF (EN 14304)
UNE-EN ISO 16535:2020 (Antigua UN-E-EN 12087) <i>Absorción de agua a largo plazo por inmersión parcial</i>	Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a largo plazo por inmersión.	WL(P)			WL(P) i / WL(T)i		WL(T)i		WL(P) i / WL(T)i	
UNE-EN ISO 16536:2020 (Antigua UNE-EN 12088) <i>Absorción de agua a largo plazo por difusión</i>	Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a largo plazo por difusión				WD(V)i		WD(V)i			
UNE-EN ISO 29767:2020 (Antigua UNE-EN 1609) <i>Absorción de agua a corto plazo por inmersión parcial (planchas y rollos)</i>	Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la absorción de agua a corto plazo por inmersión parcial.	WS	Wsi			WS		Wi	WS(P)i	WP
UNE-EN 13472:2015 <i>Absorción de agua a corto plazo por inmersión parcial (coquillas)</i>	Productos aislantes térmicos para equipos en edificación e instalaciones industriales. Determinación de la absorción de agua a corto plazo por inmersión parcial en coquillas aislantes prefabricadas									WP
UNE-EN 12091:2013 <i>Resistencia a congelación-descongelación (después del ensayo de absorción de agua a largo plazo por inmersión total)</i>	Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la resistencia a ciclos de congelación y descongelación.				FTCLi / FTCDi		FTCLi / FTCDi			
UNE-EN 12086:2013 <i>Transmisión de vapor de agua para productos homogéneos (planchas y rollos)</i>	Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de las propiedades de transmisión del vapor de agua.	Mui / Zi	MVi		Mui / Zi	MUi	Mui / Zi	MUi	Mui / Zi	MUi
UNE-EN 13469:2015 <i>Transmisión de vapor de agua para productos homogéneos (coquillas)</i>	Productos aislantes térmicos para equipos en edificación e instalaciones industriales. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua en coquillas aislantes prefabricadas.		MVi							MUi

Relación entre los códigos de designación en cada norma de producto para las diferentes normas de ensayo

## 6.1.2 Transmisión de vapor de agua

### 6.1.2.1 Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua según la norma UNE- EN 12086

Esta norma de ensayo es aplicable a todos los aislantes térmicos y describe los procedimientos de ensayo para determinar la permeancia, la permeabilidad, la resistencia al vapor de agua y el factor de resistencia a la difusión del vapor de agua. La norma está diseñada para materiales homogéneos que pueden contener pieles integrales o recubrimientos de otros materiales. Según el DB HE, todo producto de un cerramiento debe tener definida su resistencia a la difusión del vapor de agua  $\mu$  ( $MU$ ).

**Procedimiento General:** Se sella la probeta de ensayo a la parte abierta de un conjunto de ensayo que contiene un desecante o una solución salina saturada.

Este conjunto se sitúa en una atmósfera de ensayo con temperatura y humedad controladas. Debido a la diferencia de presiones parciales de vapor de agua en el conjunto de ensayo y en la atmósfera de ensayo, se consigue que un flujo de vapor de agua pase a través de la probeta de ensayo. El conjunto se pesa de forma periódica hasta que se obtiene un flujo continuo que indica un estado estacionario. En este momento, las diferentes pesadas en sus correspondientes intervalos de tiempo ofrecen el incremento de vapor de agua en el interior.

Los valores obtenidos permiten determinar las propiedades indicadas a continuación (y definidas en el anejo I):

- **Coefficiente de transmisión de vapor de agua,  $g$**
- **Permeancia al vapor de agua,  $W$**
- **Resistencia al vapor de agua,  $Z$**
- **Permeabilidad al vapor de agua,  $\delta$**
- **Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua,  $\mu$**

- **Espesor de capa de aire equivalente a la difusión del vapor de agua,  $S_d$**

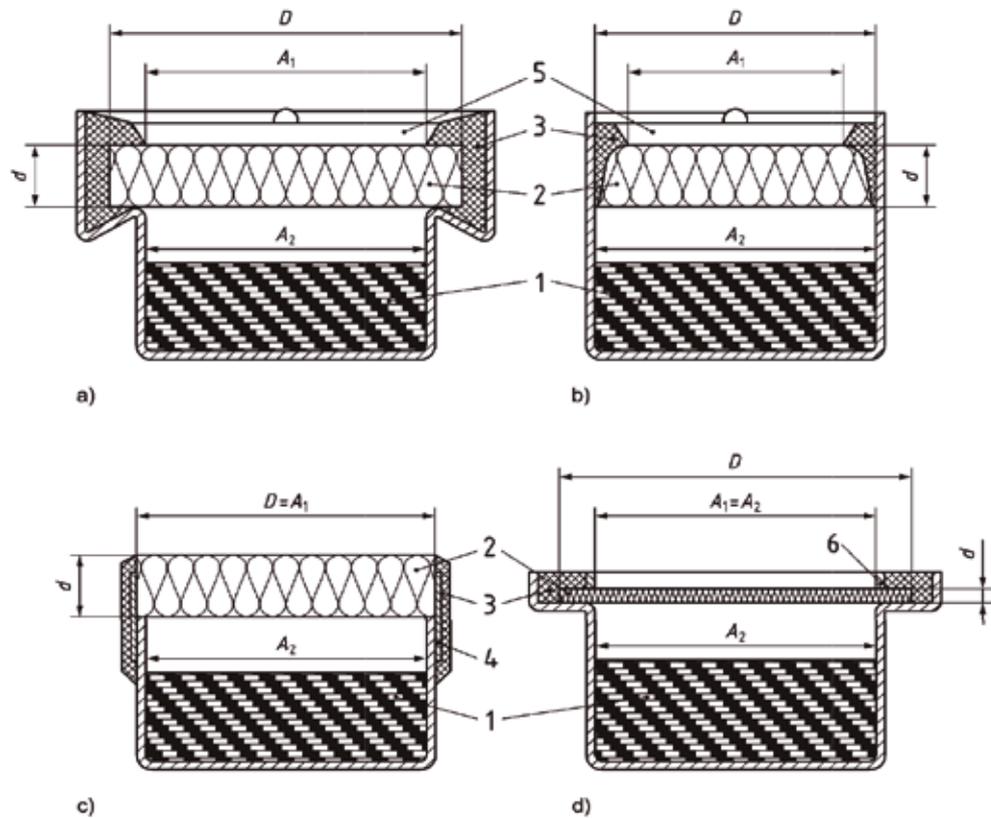
Cada norma de producto utiliza este método de ensayo general y lo particulariza a las características de cada material aislante. En particular, cada norma de producto ofrece las indicaciones sobre la manera de expresar los resultados mediante tres códigos: MU, Z y MV. Se incorpora un índice  $i$  a cada código, de manera que se puede expresar, en base a los resultados de ensayo, el nivel de prestación de un producto determinado. A continuación se muestran algunos ejemplos.

- **$MU_i$ :** Se refiere al factor de **resistencia a la difusión del vapor de agua,  $\mu$** . El índice  $i$  expresa el resultado de ensayo con el que cumple el producto. Por ejemplo el código MU65 significa que cualquier resultado de ensayo cumple  $MU > 65$ .
- **$Z_i$ :** Se refiere a la **Resistencia al vapor de agua,  $Z$** . El índice  $i$  expresa el resultado de ensayo con el que cumple el producto. Por ejemplo el código Z3 significa que cualquier resultado de ensayo cumple  $Z > 3$ . Aplicable a productos con revestimientos que actúan como barrera de vapor
- **$MV_i$ :** Se refiere al **espesor de capa de aire equivalente a la difusión del vapor de agua,  $S_d$** . El índice  $i$  expresa el resultado de ensayo con el que cumple el producto. Por ejemplo el código MV1 significa que cualquier resultado de ensayo cumple  $S_d > 100$  m



Ejemplos de probetas para el ensayo de transmisión de vapor de agua. Imagen cedida por el laboratorio CEIS

Ejemplos de conjuntos de ensayos



- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1. Desecante/solución salina saturada | $A_1$ es el área expuesta superior        |
| 2. Probeta de ensayo                  | $A_2$ es el área expuesta inferior;       |
| 3. Sellante                           | área media expuesta: $A = (A_1 + A_2)/2$  |
| 4. Cinta adhesiva                     | $D$ es el área de la probeta de ensayo    |
| 5. Plantilla                          | $d$ es el espesor de la probeta de ensayo |
| 6. Anillo de guarda                   |   |

Contenido reproducido con la autorización de la Asociación Española de Normalización [www.une.org](http://www.une.org)

[Acceso a la Norma UNE-EN 12806](#)

### 6.1.2.2 Transmisión de vapor de agua en coquillas aislantes preformadas según la norma UNE-EN 13469

Esta norma de ensayo es aplicable a los aislantes térmicos para uso en equipos en edificación e instalaciones industriales con forma de coquillas preformadas. Es equivalente a la norma anterior (UNE-EN 12086) y también describe los procedimientos de ensayo para determinar la permeancia, la permeabilidad, la resistencia al vapor de agua y el factor de resistencia a la difusión del vapor de agua. La norma está diseñada para materiales homogéneos que pueden contener pieles integrales o recubrimientos de otros materiales.

**Procedimiento General:** El principio de ensayo es el mismo que se ha descrito en el apartado anterior.

### 6.1.3 Absorción de agua

Esta tabla ofrece un resumen de los diferentes métodos de ensayo, los códigos utilizados y una breve descripción de la simulación deseada:

A continuación se describe cada norma de ensayo en mayor detalle.

#### 6.1.3.1 Absorción de agua a largo plazo por inmersión según la norma UNE-EN ISO 16535 (antigua EN 12087)

Esta norma de ensayo es aplicable a los aislantes térmicos y especifica el equipo y los procedimientos para determinar la absorción de agua a largo plazo de probetas de ensayo. Se describen dos métodos de ensayo:

- **Por inmersión parcial:** En este caso se pretende simular la absorción de agua causada por exposición al agua a largo plazo.
- **Por inmersión total:** En este caso no existe una relación directa con las condiciones del emplazamiento, pero se ha visto como una condición de ensayo pertinente para algunos productos en algunas aplicaciones. En particular, se utiliza este ensayo para definir un aislante no hidrófilo en el DB HS (<5%)

ABSORCIÓN DE AGUA		CÓDIGO	SIMULACIÓN DEL ENSAYO	NORMA
Largo plazo	Inmersión total	WL(T)i	Sin relación directa con las condiciones de emplazamiento, pero es pertinente para algunos productos en algunas aplicaciones. Método usado por DB HS para definir aislante no hidrófilo.	UNE-EN ISO 16535 UNE-EN 12087
	Inmersión parcial	WL(P)i	Absorción de agua causada por exposición al agua a largo plazo.	
	Difusión	WD(V)i	Absorción de agua de productos expuestos a humedades altas (aproximadamente 100%) con gradiente presión alto y durante largo tiempo. Aislantes en cubiertas invertidas o sin proteger.	UNE-EN ISO 16536 UNE-EN 12088
Corto plazo	Inmersión parcial	WS, WP, Wi	Absorción de agua que se produce en periodos de lluvia de 24 h durante los trabajos de construcción. Método usado por DB HS para definir aislante no hidrófilo.	UNE-EN ISO 29767 UNE-EN 1609 y UNE-EN 13472

Ensayos de absorción de agua en aislantes

**Procedimiento general:** El fundamento del método es el mismo para ambos métodos, siendo la diferencia el grado de inmersión de las probetas. En ambos casos se mide el cambio en la masa de una probeta de ensayo tras su inmersión en agua durante un período de 28 días. Las siguientes fotografías del ensayo en las instalaciones del laboratorio CEIS muestran las condiciones de ensayo.



Ejemplos de probetas y equipo del ensayo de absorción de agua por inmersión total. Imagen cedida por el laboratorio CEIS

Cada norma de producto utiliza este método de ensayo general y lo particulariza a las características de cada material aislante. En particular, cada norma de producto ofrece las indicaciones sobre la manera de expresar los resultados mediante dos códigos: WL(P) y WL(T). Se incorpora un índice i a cada código, de manera que se puede expresar, en base a los resultados de ensayo, el nivel de prestación de un producto determinado. A continuación se muestran algunos ejemplos.

- **WL(P)i:** Absorción de agua a largo plazo por inmersión parcial. El índice i expresa el resultado de ensayo con el que cumple el producto. En alguna norma, no existe índice i, y la propia norma indica un valor umbral que se cumple cuando se declara.
- **WL(T)i:** Absorción de agua a largo plazo por inmersión total. El índice i expresa el

resultado de ensayo con el que cumple el producto. Por ejemplo, una declaración WL(T) 0,7 significa que el producto cumple con un valor de ensayo WL(T) <0,7%

### 6.1.3.2 Absorción de agua a largo plazo por difusión según la norma UNE-EN ISO 16535 (antigua EN 12088)

Esta norma de ensayo es aplicable a los aislantes térmicos y especifica el equipo y los procedimientos para determinar la absorción de agua a largo plazo por difusión de probetas de ensayo. El método de ensayo simula la absorción de agua de productos expuestos a humedades relativas altas, aproximadamente del 100%, con un gradiente de presión alto y durante un largo periodo de tiempo. Simula, y por lo tanto es aplicable, al caso de aislantes en cubiertas invertidas o de un aislamiento sin proteger.

**Procedimiento general:** El principio de ensayo es la medición del incremento de masa de una probeta de ensayo expuesta a una diferencia de presión de vapor de agua y a un gradiente de temperatura durante un periodo de 28 días.

En la siguiente fotografía se muestra una probeta durante el ensayo en el laboratorio CEIS.



Ejemplos de probetas y equipo del ensayo de absorción de agua por difusión. Imagen cedida por el laboratorio CEIS



Ejemplos de probetas y equipo del ensayo de absorción de agua por difusión. Imagen cedida por el laboratorio CEIS

Cada norma de producto utiliza este método de ensayo general y lo particulariza a las características de cada material aislante. En particular, cada norma de producto ofrece las indicaciones sobre la manera de expresar los resultados mediante un código: WD(V). Se incorpora un índice *i* a cada código, de manera que se puede expresar, en base a los resultados de ensayo, el nivel de prestación de un producto determinado. A continuación se muestra un ejemplo:

- **WD(V)*i***: Absorción de agua a largo plazo por difusión. El índice *i* expresa el resultado de ensayo con el que cumple el producto. Por ejemplo, una declaración WD(V) 1 significa que el producto cumple con un valor de ensayo  $WD(V) < 1\%$

#### 6.1.3.3 Absorción de agua a corto plazo por inmersión parcial según la norma UNE-EN ISO 29767 (antigua EN 1609)

Esta norma de ensayo es aplicable a los aislantes térmicos y especifica el equipo y los procedimientos para determinar la absorción de agua a corto plazo de probetas por inmersión parcial. El objeto del método de ensayo es simular la absorción de agua que se produce en periodos de lluvia de 24 h durante los trabajos de construcción. En particular, se utiliza este

ensayo para definir un aislante no hidrófilo en el DB HS ( $< 1 \text{ kg/m}^2$ )

**Procedimiento general:** El fundamento del ensayo es medir el cambio de masa de una probeta que se ha inmerso parcialmente en agua por un periodo de 24 h.

Cada norma de producto utiliza este método de ensayo general y lo particulariza a las características de cada material aislante. En particular, cada norma de producto ofrece las indicaciones sobre la manera de expresar los resultados mediante tres códigos: WS, W y Wp. Se incorpora un índice *i* a cada código, de manera que se puede expresar, en base a los resultados de ensayo, el nivel de prestación de un producto determinado. A continuación se muestran algunos ejemplos:

**WS<sub>i</sub>, W<sub>i</sub> o Wp<sub>i</sub>:** Según la norma de producto, se usan diferentes códigos. El índice *i* expresa el resultado de ensayo con el que cumple el producto. Por ejemplo, una declaración W0,2 significa que el producto cumple con un resultado de ensayo  $Wp < 0,2 \text{ kg/m}^2$

#### 6.1.3.4 Absorción de agua a corto plazo por inmersión parcial en coquillas según la norma UNE-EN 13472

El método de ensayo es análogo al indicado en la norma explicada arriba (UNE-EN 29767), con la diferencia que aplica exclusivamente a coquillas aislantes preformadas.

#### 6.1.4 Resistencia a congelación-descongelación

##### 6.1.4.1 Resistencia a ciclos de congelación y descongelación según la norma UNE-EN 12091

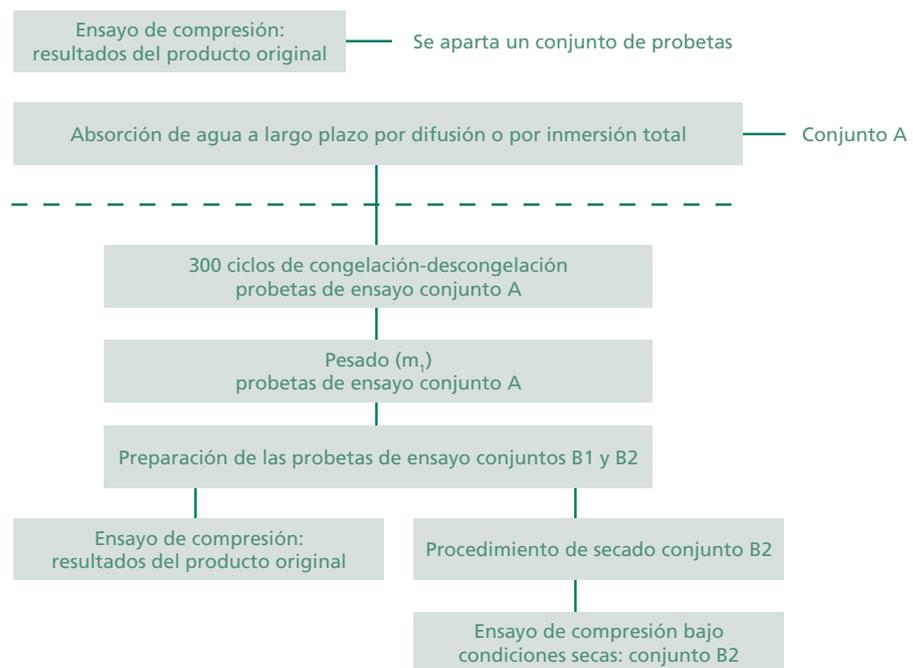
Esta norma de ensayo es aplicable a los aislantes térmicos y especifica el equipo y los procedimientos para determinar el efecto de los ciclos sucesivos desde condiciones secas a  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$  a condiciones húmedas a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  sobre las propiedades mecánicas y el contenido de humedad el

producto. El método de ensayo simula los efectos de congelación-descongelación sobre los productos aislantes térmicos expuestos con frecuencia a condiciones húmedas y de bajas temperaturas, por ejemplo cubiertas invertidas y aislamiento sobre el terreno sin protección.

**Procedimiento general:** La resistencia a la congelación-descongelación se determina por el cambio de la cantidad de agua absorbida y el cambio en la resistencia a

la compresión de una probeta de ensayo sometida a 300 ciclos sucesivos oscilando entre una condición seca a -20 °C y una condición húmeda a 20 °C. El ensayo se realiza junto con uno de los dos ensayos absorción de agua a largo plazo:

- Absorción de agua por difusión (UNE-EN ISO 16536)
- Absorción de agua por inmersión total (UNE-EN ISO 16535)



Ejemplos de probetas y equipo del ensayo de ciclos de congelación y descongelación. Imagen cedida por el laboratorio CEIS

## 6.2 Ensayos sobre soluciones constructivas

### 6.2.1 Resistencia a la lluvia de muros exteriores bajo impulsos de presión de aire según la norma EN 12865

La acción combinada del agua de lluvia y el viento sobre una fachada puede provocar humedades por filtración en el interior de los edificios. Para evitar esta patología, es necesario que los cerramientos de fachada ofrezcan cierta resistencia a la penetración del agua.

Para conocer esta característica existe la Norma UNE-EN 12865, que recoge un procedimiento para determinar la resistencia al agua de lluvia de muros exteriores bajo impulsos de presión de aire, que simulan la acción combinada de la lluvia y el viento sobre la fachada.

El elemento a ensayar bajo esta norma es la solución constructiva completa, un cerramiento de fachada con todas sus capas. El ensayo se realiza sobre una muestra de muro de media escala, de 1,6 m de ancho por 3 m de alto, con una superficie útil de ensayo de 1,2 m x 2,4 m.

A la probeta de ensayo se le adhiere herméticamente un cajón con rociadores de agua, que está conectado a un sistema que genera presión de forma pulsante, simulando los embates del viento.



Cajón con rociadores adosado a la muestra de ensayo

Durante el ensayo los rociadores forman una película continua de agua sobre la superficie exterior de la probeta, y se incrementa la presión en forma de pulsos.



Detalle de los rociadores durante el ensayo

El ensayo puede expresar los resultados de forma cualitativa, con un criterio de pasa - no pasa, o cuantitativa, expresando la cantidad de agua absorbida por el cerramiento durante el ensayo.

### 6.3 Certificación de calidad voluntaria y Mercado CE obligatorio

Todos los productos aislantes térmicos deben cumplir con el Reglamento de Productos de la Construcción, que explica la manera de preparar la Declaración de Prestaciones (DdP o DoP) y cuyo cumplimiento se demuestra usando el Mercado CE. En algunos casos (que están explicados en la correspondiente norma de producto armonizada) es necesario recurrir a un organismo notificado (laboratorio o entidad de evaluación) para realizar ensayos, o bien recibir auditorías en fábrica.

Por otra parte, la mayoría de empresas fabricantes de aislamiento cuentan con la certificación de calidad voluntaria ofrecida por AENOR. En este caso, la certificadora realiza auditorías en las fábricas, sus inspectores toman productos que se ensayan en un laboratorio con unas frecuencias determinadas en su

sus reglas internas. Se puede encontrar más información del proceso en [aislamientocertificado.aenor.com](http://aislamientocertificado.aenor.com).

Existen también otras certificadoras voluntarias como APPLUS o BUREAU VERITAS para el aislamiento.

En definitiva, el Mercado CE y la DdP son obligatorios en España para los productos de aislamiento, mientras que una certificación de calidad como la Marca N de AENOR es voluntaria, aunque muy recomendable para garantizar las prestaciones de los productos.

En cualquier caso, cuando se declaren las prestaciones relacionadas con la salubridad indicadas en este capítulo, siempre se encontrarán en la Declaración de Prestaciones obligatoria asociada al Mercado CE, y cuando aplique, se podrán encontrar también en el certificado voluntario, por ejemplo de AENOR.

#### 6.4 Certificación y acreditación

La certificación y la acreditación son conceptos diferentes. La certificación afecta a las empresas fabricantes y la acreditación afecta a las certificadoras y los laboratorios. La acreditación en España se realiza por ENAC, la Entidad Nacional de Acreditación en España, y cada país en Europa tiene su propia entidad de acreditación. Cuando un informe de ensayos o un certificado usa el logotipo de ENAC o hace referencia a ENAC, significa que ha sido auditado por ENAC para asegurar que realiza su labor correctamente y según las normas correspondientes. Para asegurar la igualdad de los laboratorios y certificadoras que realizan evaluaciones para el Mercado CE, en España es obligatorio que estén acreditados. En la certificación voluntaria de Producto, es habitual que las certificadoras y laboratorios estén acreditados, si bien no existe requisito reglamentario al respecto.

# 07

## Aplicación del DB HE

### 7.1 Condensaciones intersticiales en edificación

El Documento de Apoyo al Documento Básico de Ahorro de energía, DA DB-HE, ofrece un método cuantitativo para comprobar el riesgo de condensaciones intersticiales en los cerramientos. Se basa en el cálculo de la presión de vapor y la presión de vapor de saturación en cada superficie de los diferentes elementos del cerramiento. Para que no exista riesgo de condensación intersticial, se debe cumplir a través del cerramiento que:

$$P_{\text{vapor saturación}} < P_{\text{vapor}}$$

El método de cálculo se realiza en tres fases:

**a) Cálculo de temperaturas en el cerramiento.** Se calcula la temperatura de cada superficie de los diferentes elementos que componen el cerramiento. Estos valores dependen de: las temperaturas de los extremos y de la resistencia térmica del elemento (que a su vez depende del espesor y de la conductividad térmica). La temperatura de cada capa  $i$  ( $T_i$ ) se obtiene según la ecuación:

$$T_i = T_{i-1} + R_i \times (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}) / R_{\text{Total}}$$

Donde:

$T_i$  es la temperatura de la capa  $i$ , en °C o K

$T_{i-1}$  es la temperatura de la capa anterior a la capa  $i$ , en °C o K

$R_i$  es la resistencia térmica de la capa  $i$ , en  $m^2K/W$

$T_{\text{int}}$  es la temperatura del ambiente interior, en °C o K

$T_{\text{ext}}$  es la temperatura del ambiente exterior, en °C o K

$R_{\text{Total}}$  es la resistencia térmica total del cerramiento, en  $m^2K/W$

**b) Cálculo de presiones de vapor de saturación en el cerramiento:** Para cada superficie de cada elemento del cerramiento para que se ha hallado el valor de  $T$ , se calcula su correspondiente Presión de saturación. Para ello se usan las ecuaciones en diferentes rangos de temperatura:

$$\text{para } T < 0 \text{ °C} \\ P_{\text{sat}} = 610,5 \exp[(21,875 \times T) / 265,5 + T]$$

$$\text{para } T > 0 \text{ °C} \\ P_{\text{sat}} = 610,5 \exp[(17,269 \times T) / 237,3 + T]$$

Donde:

$T$  es la temperatura en un punto del cerramiento, en °C

$P_{\text{sat}}$  es la presión de saturación en ese punto del cerramiento, en Pa

### c) Cálculo de presiones de vapor en el cerramiento:

Se calcula la presión de vapor de cada superficie de los diferentes elementos que componen el cerramiento. Estos valores dependen de: Presión de vapor de los extremos y espesor de aire equivalente de cada capa frente a la difusión de vapor de agua  $S_{di}$  (que a su vez depende del espesor y del factor de resistencia a la difusión del vapor de agua MU de cada capa). La presión de vapor de cada capa  $i$  ( $P_i$ ) se obtiene según la ecuación:

$$P_i = P_{i-1} + S_{di} \times (P_{\text{vint}} - P_{\text{vext}}) / \sum (S_{di})$$

Donde:

$P_i$  es la presión de vapor de la capa  $i$ , en Pa

$P_{i-1}$  es la presión de vapor de la capa anterior a la capa  $i$ , en Pa

$S_{di}$  es el espesor equivalente de la capa  $i$ , en m

$P_{\text{vint}}$  es la presión de vapor interior, en Pa

$P_{\text{vext}}$  es la presión de vapor exterior, en Pa

Finalmente, a través de este proceso se caracterizan de manera cuantitativa los parámetros involucrados en la difusión de vapor a través de un cerramiento. En la figura 1 del DA DB HE se muestra un ejemplo de la distribución de la presión de vapor en un cerramiento frente a su correspondiente distribución de presión de vapor de saturación.

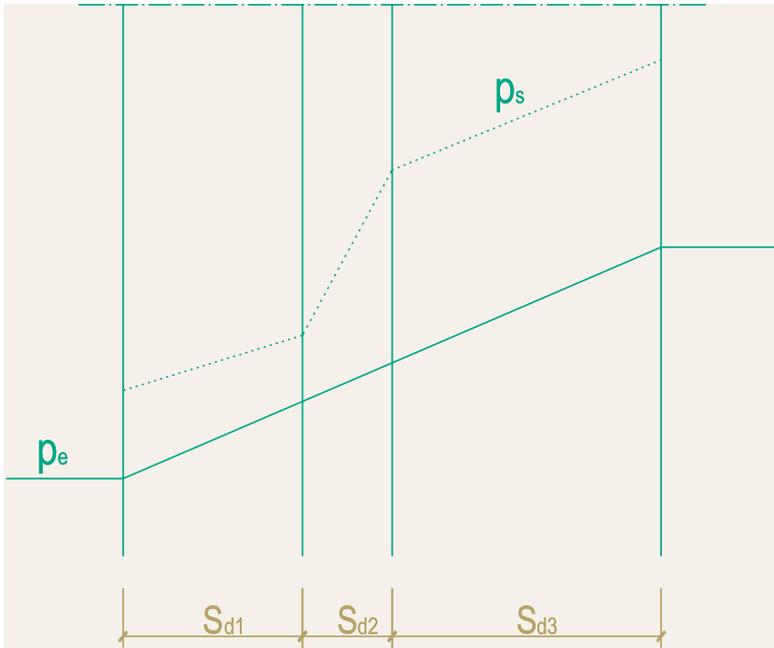
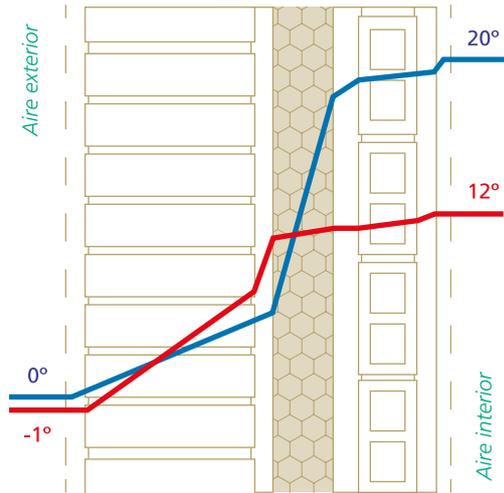


Figura 1 del DA DB HE que muestra la distribución de presiones de vapor y de presiones de vapor de saturación en un cerramiento

Pero esta gráfica resulta muy poco intuitiva, ya que no estamos acostumbrados a imaginar un cerramiento en base a espesores de aire equivalentes ni a pensar en presiones parciales. Por este motivo en la práctica los programas que se utilizan para el cálculo de condensaciones intersticiales realizan la conversión a espesores reales y comparan la temperatura de cada superficie frente a la temperatura de rocío. Es decir, que convierten la primera condición de este apartado en la siguiente condición para evaluar el riesgo de condensaciones intersticiales:

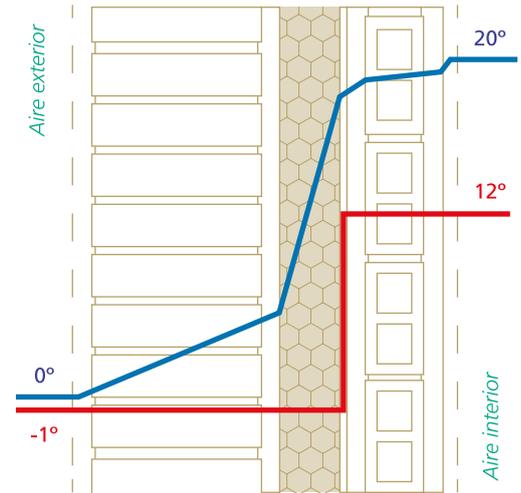
$$T_{\text{capa}} > T_{\text{rocío}}$$

A continuación se muestra un ejemplo utilizando de esta forma más intuitiva de visualizar el método de cálculo de condensaciones intersticiales recurriendo a la temperatura y al dibujo real del cerramiento. Una vez realizados los cálculos, se puede ver la distribución de temperaturas a lo largo del cerramiento mediante la curva azul y la distribución de temperatura de rocío mediante la curva roja. En el lugar en el que se cruzan las curvas la temperatura del cerramiento se encuentra por debajo de la temperatura de rocío y se genera una condensación intersticial.



Distribución de temperatura y de temperatura de rocío en los elementos de una fachada con riesgo de condensaciones intersticiales

La forma de evitar la condensación intersticial con esta misma estructura es incorporando una barrera contra el vapor en la cara caliente del aislamiento. Realizando de nuevo los cálculos y utilizando las curvas de temperaturas se puede observar como las curvas roja y azul ya no se cruzan, evitando así la condensación intersticial.



Distribución de temperatura y de temperatura de rocío en los elementos de una fachada en la que se elimina el riesgo de condensaciones intersticiales con una barrera contra el vapor

Para realizar estos cálculos existen varias aplicaciones, entre las que podemos mencionar:

**Aplicaciones gratuitas:**

- [quia.synthesia.com/](http://quia.synthesia.com/)
- [ursa.es/calculos/](http://ursa.es/calculos/)
- [coeficiente.es/econdensa2/](http://coeficiente.es/econdensa2/)
- [rvburke.com/condensaciones.html](http://rvburke.com/condensaciones.html)
- [ubakus.de/u-wert-rechner/](http://ubakus.de/u-wert-rechner/)

**Aplicaciones de pago:**

- [wufi.de/en/](http://wufi.de/en/)
- [physibel.be/en](http://physibel.be/en)
- [ubakus.de/u-wert-rechner/](http://ubakus.de/u-wert-rechner/)

## 7.2 Condensaciones superficiales en edificación

El Documento de Apoyo al Documento Básico de Ahorro de energía, DA DB-HE, ofrece un método cuantitativo para comprobar el riesgo de condensaciones superficiales en el interior de edificios. Se basa en la comparación entre el factor de temperatura de la superficie interior ( $f_{Rsi}$ ) y el factor de temperatura de la superficie interior mínimo ( $f_{Rsi,min}$ ). El requisito para evitar condensaciones superficiales es que se cumpla la relación siguiente :

$$f_{Rsi} > f_{Rsi,min}$$

**Valor de  $f_{Rsi,min}$ :** Se parte de la base de unas condiciones interiores en el mes de enero de 20 °C y se establece un límite máximo del 80 % de humedad relativa media mensual sobre la superficie del cerramiento analizado. En caso de no conocer la humedad relativa, se pueden utilizar los valores de la tabla 1 del DA DB HE, que dependen de la zona climática y la clase de higrometría del espacio. En caso de conocer la humedad relativa, se puede calcular siguiendo el método descrito en el apartado 4.1.3 del DA DB HE.

**Valor de  $f_{Rsi}$ :** Se calcula para cada cerramiento a partir de la ecuación que depende exclusivamente de la transmitancia térmica:

$$f_{Rsi} = 1 - 0.25 \times U$$

Sustituyendo esta igualdad en la primera ecuación, se puede encontrar una relación cuantitativa entre el riesgo de condensación superficial y la falta de aislamiento:

$$4 \times (1 - f_{Rsi,min}) > U$$

Tal y como se había explicado en el apartado 4.4, la mejor manera de evitar una condensación superficial es incrementando el nivel de aislamiento. En esta ecuación se demuestra como al reducir el valor de U (al mejorar el aislamiento del cerramiento) se reduce el riesgo de condensación superficial.

En la parte homogénea del cerramiento y cuando se cumplen los estándares de aislamiento que marca el CTE, no se producen condensaciones superficiales en los espacios con una clase de higrometría 4 o menor. En cambio, en los puentes térmicos de la envolvente suele ser necesario realizar esta comprobación. El factor de temperatura de la superficie interior,  $f_{Rsi}$ , de un puente térmico se puede calcular siguiendo la Norma UNE-EN ISO 10211:2012. El atlas de puentes térmicos recogido en el DA DB-HE/3 incluye una valoración cualitativa del riesgo de cada puente térmico de sufrir esta patología.

# 08

## Aplicación del DB HS

### 8.1 General

De acuerdo con el DB HS-1, se codifican distintas series de soluciones constructivas de cerramientos en función de sus *bloques de condiciones*.

Las condiciones exigibles a la fachada están cifradas según identificadores designados por códigos (R, C, B, J, N y H). Cada código lleva asociado un número (entre 1 y 3) que indica el nivel de prestación de ese requerimiento, de modo que a mayor numeración mayor exigencia. Así, una solución válida de grado inferior (X1) puede ser sustituida por otra de orden superior (X2).

Los códigos simbolizan las exigencias de los componentes constructivos:

- **R:** Resistencia a la filtración del revestimiento exterior (R1, R2, R3).
- **C:** Composición de la Hoja principal (C1, C2).

- **B:** Resistencia a la filtración de la Barrera contra la penetración del agua (B1, B2, B3).
- **J:** Resistencia a la filtración de las Juntas de la hoja principal (J1, J2).
- **N:** Resistencia a la filtración del revestimiento intermedio (N1, N2).
- **H:** Higroscopicidad de la hoja principal (H1).

El conjunto constructivo se determina por la combinación de estos bloques, divididos en dos grandes grupos: con o sin revestimiento exterior. La solución a elegir viene determinada por el **grado de impermeabilidad** a cumplir, calculado en el punto anterior, y la existencia o no de revestimiento, conforme a la tabla **Condiciones de las soluciones de fachada**

**Tabla 2.7 Condiciones de las soluciones de fachada**

		CON REVESTIMIENTO EXTERIOR				SIN REVESTIMIENTO EXTERIOR			
Grado de impermeabilidad	≤1	R1+C1 <sup>(1)</sup>				C1 <sup>(1)</sup> +J1+N1			
	≤2					B1+C1+J1+N1	C2+H1+J1+N1	C2+J2+N2	C1 <sup>(1)</sup> +H1+J2+N2
	≤3	R1+B1+C1	R1+C2			B2+C1+J1+N1	B1+C2+H1+J1+N1	B1+C2+J2+N2	B1+C1+H1+J2+N2
	≤4	R1+B2+C1	R1+B1+C2	R2+C1 <sup>(1)</sup>		B2+C2+H1+J1+N1	B2+C2+J2+N2		B2+C1+H1+J2+N2
	≤5	R3+C1	B3+C1	R1+B2+C2	R2+B1+C1	B3+C1			

(1) Cuando la fachada sea de una sola hoja, debe utilizarse C2.

La acepción de cada una de estas composiciones se deduce de las solicitaciones climatológicas a las que la fachada quedará expuesta para asegurar su impermeabilidad hacia el interior. Los factores ambientales que se consideran influyentes ante este requisito son la lluvia y el viento.

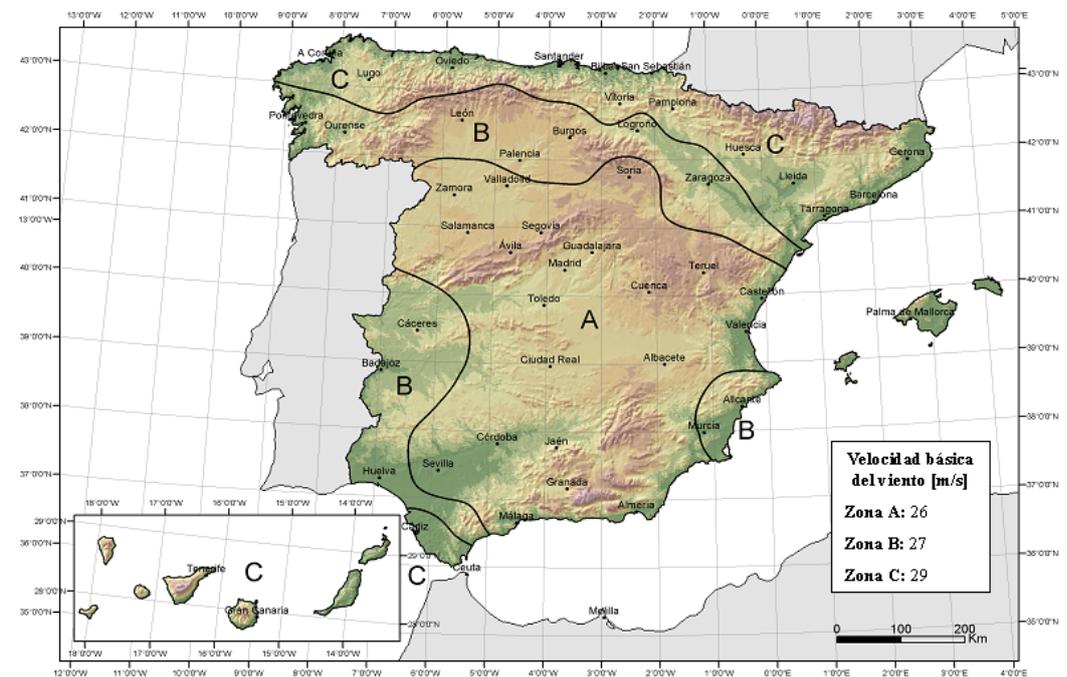
La acción de la lluvia queda clasificada según el emplazamiento geográfico de acuerdo con el concepto de zona pluviométrica de promedios. Así, se definen cinco áreas (I, II, III, IV y V) del territorio nacional, obtenidas según el mapa de zonas pluviométricas.



Zonas pluviométricas de promedios en función del índice pluviométrico anual

Por su parte, la acción del viento se evalúa según tres factores:

1. La altura de coronación del edificio.
2. La zona eólica donde se emplaza (A, B, C), obtenida del **mapa de zonas eólicas**
3. La clase de entorno (E0, E1), que depende de su ubicación.



Zonas eólicas

Se diferencia en:

• Clase E0:

- i. Terreno tipo I: Borde del mar o de un lago con una zona despejada de agua en la dirección del viento de una extensión mínima de 5 km.
- ii. Terreno tipo II: Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia.
- iii. Terreno tipo III: Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados tales como árboles o construcciones pequeñas.

• Clase E1:

- i. Terreno tipo IV: Zona urbana, industrial o forestal.
- ii. Terreno tipo V: Centros de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura.

**Tabla 2.6 Grado de exposición al viento**

		CLASE DEL ENTORNO DEL EDIFICIO					
		E1			E0		
		Zona eólica			Zona eólica		
		A	B	C	A	B	C
Altura del edificio en m	≤15	V3	V3	V3	V2	V2	V2
	16-40	V3	V2	V2	V2	V2	V1
	41-100 <sup>(1)</sup>	V2	V2	V2	V1	V1	V1

<sup>(1)</sup> Para edificios de más de 100 m de altura y para aquellos que están próximos a un desnivel muy pronunciado, el grado de exposición al viento debe ser estudiada según lo dispuesto en el DB-SE-AE.

Finalmente, se combinan la zona pluviométrica y el grado de exposición conforme a la siguiente tabla para obtener el grado de impermeabilidad exigible a la fachada.

**Tabla 2.5 Grado de impermeabilidad mínimo exigido a las fachadas**

		ZONA PLUVIOMÉTRICA DE PROMEDIOS				
		I	II	III	IV	V
Grado de exposición al viento	V1	5	5	4	3	2
	V2	5	4	3	3	2
	V3	5	4	3	2	1

El grado de impermeabilidad resulta un valor entre 1 (baja impermeabilidad) y 5 (alta impermeabilidad), de modo que la solución constructiva a disponer deberá igualar o superar el valor hallado.

## 8.2 Ejemplo de diseño de fachada

Como ejemplo, se diseña una fachada de un edificio situado en Gijón, de 20 m de altura, junto al mar, sin revestimiento exterior.

Según el *Mapa de zonas eólicas*, Gijón se encuentra en la Zona eólica C.

Al tratarse de un edificio cercano al mar se trata de un entorno E0 Tipo I.

Al tener 20 m de altura obtenemos el grado de exposición al viento V1.

		CLASE DEL ENTORNO DEL EDIFICIO					
		E1			E0		
		Zona eólica			Zona eólica		
		A	B	C	A	B	C
Altura del edificio en m	≤15	V3	V3	V3	V2	V2	V2
	<b>16-40</b>	V3	V2	V2	V2	V2	<b>V1</b>
	41-100	V2	V2	V2	V1	V1	V1

Según la Mapa de zonas eólicas, la zona pluviométrica de Gijón es II.

Según la Tabla 2.5 obtenemos un grado de impermeabilidad mínimo para esa fachada de 5.

		ZONA PLUVIOMÉTRICA DE PROMEDIOS				
		I	II	III	IV	V
Grado de exposición al viento	<b>V1</b>	5	<b>5</b>	4	3	2
	V2	5	4	3	3	2
	V3	5	4	3	2	1

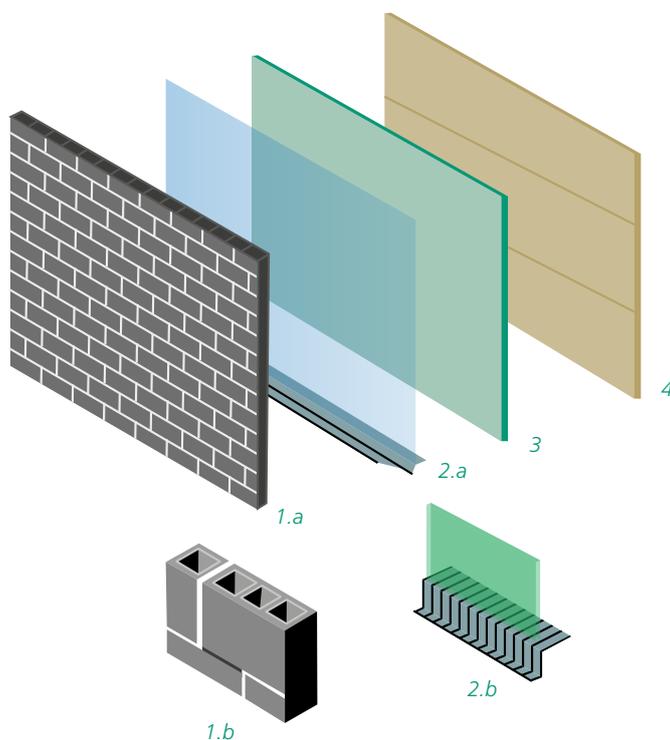
Con este grado de impermeabilidad y teniendo en cuenta que se trata de un edificio sin revestimiento exterior, según la

tabla 2.7 de la solución de fachada que nos permite el CTE es B3+C1

		CON REVESTIMIENTO EXTERIOR				SIN REVESTIMIENTO EXTERIOR			
		R1+C1 <sup>(1)</sup>				C1 <sup>(1)</sup> +J1+N1			
Grado de impermeabilidad	≤1	R1+C1 <sup>(1)</sup>				C1 <sup>(1)</sup> +J1+N1			
	≤2	R1+C1 <sup>(1)</sup>				B1+C1+J1+N1	C2+H1+J1+N1	C2+J2+N2	C1 <sup>(1)</sup> +H1+J2+N2
	≤3	R1+B1+C1	R1+C2			B2+C1+J1+N1	B1+C2+H1+J1+N1	B1+C2+J2+N2	B1+C1+H1+J2+N2
	≤4	R1+B2+C1	R1+B1+C2	R2+C1 <sup>(1)</sup>		B2+C2+H1+J1+N1	B2+C2+J2+N2		B2+C1+H1+J2+N2
	<b>≤5</b>	R3+C1	B3+C1	R1+B2+C2	R2+B1+C1	<b>B3+C1</b>			

(1) Cuando la fachada sea de una sola hoja, debe utilizarse C2.

Una solución B3+C1 es una solución de una hoja principal de espesor medio (C1) y una barrera de resistencia muy alta a la filtración (B3), que podría tener la siguiente composición:



Ejemplo solución de fachadas

1. Hoja principal de espesor medio:
  - 1a. Fábrica de bloque de hormigón de 12 cm.
  - 1b. Aberturas de ventilación (perforaciones, llagas sin mortero, rejillas...) de área 120 cm<sup>2</sup> / 10 m<sup>2</sup> de fachada entre forjados repartidos al 50 % entre la parte inferior y superior.
2. Barrera de resistencia muy alta a la filtración:
  - 2a. Cámara de aire ventilada de espesor entre 3 y 10 cm.
  - 2b. Lámina o perfil impermeable en la base de la cámara recibida desde la hoja interior e inclinada hacia el exterior con borde superior a 10 cm del fondo.
3. Aislante térmico no hidrófilo de espesor en función de la resistencia térmica requerida (CTE DB HE-1), dispuesto por el interior de la hoja principal, estando la cámara por el lado exterior del aislante.
4. Hoja interior.

### 8.3 Filtraciones en cubierta

Este tipo de humedades están asociados a la impermeabilización y no son objeto del documento, que se centra en la función del aislamiento térmico en la protección frente a la humedad.

### 8.4 Humedades por capilaridad

Este tipo de humedades están asociados a la impermeabilización y no son objeto del documento, que se centra en la función del aislamiento térmico en la protección frente a la humedad.

09

## Aplicación del RITE

Según el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (R.I.T.E), para instalaciones térmicas se comentan los siguientes puntos relacionados con el control de condensaciones:

- En la IT 1.2.4.2.1.1, punto 5, del RITE, para redes de tuberías con fluidos térmicos, se contempla que "para evitar condensaciones intersticiales se instalará una adecuada barrera al paso del vapor; la resistencia total será mayor que **50 MPa·m<sup>2</sup>·s/g**. Se considera válido el cálculo realizado siguiendo el procedimiento indicado en el apartado 4.3 de la norma UNE-EN ISO 12241".
- En el caso de redes de conductos, según la IT 1.2.4.2.2 "Aislamiento térmico de redes de conductos", punto 1 se establece: Los conductos y accesorios de la red de impulsión de aire dispondrán de un aislamiento térmico suficiente para que la pérdida de calor no sea mayor que el 4 % de la potencia que transportan y **siempre que sea suficiente para evitar condensaciones.**

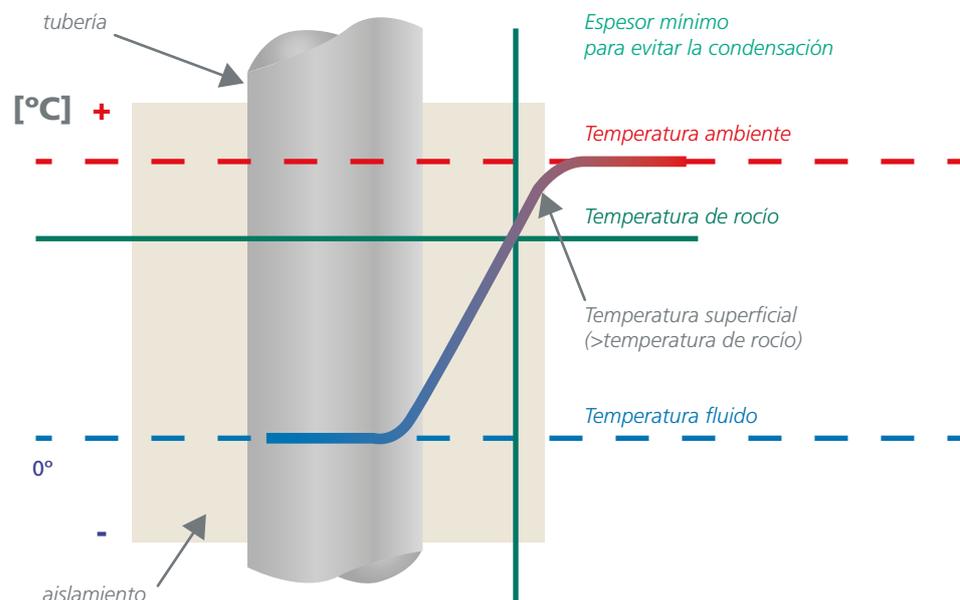
En el método simplificado del RITE se establecen espesores mínimos de aislamiento con la finalidad de proporcionar el ahorro energético adecuado, y en el caso de instalaciones de frío, evitar las condensaciones superficiales.

### 9.1 Condensaciones superficiales en instalaciones industriales

Para hablar de condensaciones superficiales debemos tomar en cuenta distintos factores de la instalación, como la temperatura ambiente, humedad relativa, temperatura de rocío, temperatura de operación, emisividad, convección, entre otros.

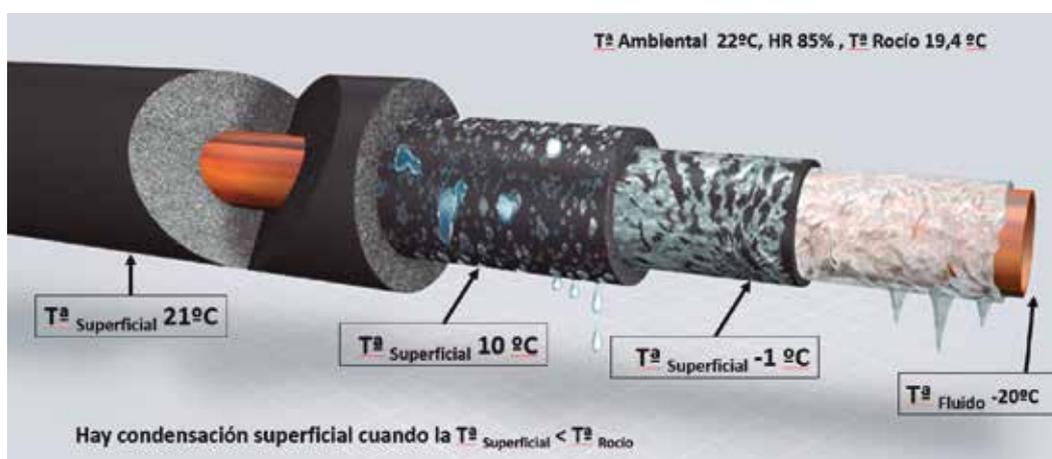
Para impedir que se forme condensación superficial, el espesor del aislamiento utilizado en las tuberías de frío debe ser suficiente para asegurar que la temperatura superficial del material aislante nunca esté por debajo del punto de rocío.

$$T^{\circ}\text{superficial} > T^{\circ}\text{rocío}$$



En conclusión se indica que para evitar condensaciones superficiales en el aislamiento de las instalaciones, se debe calcular espesor de aislamiento para que el gradiente de temperatura

alcance una temperatura de la superficie externa del aislamiento que sea superior a la temperatura de rocío del ambiente circundante.



La condensación superficial se evita con la cantidad adecuada de aislamiento térmico.

Según la norma EN ISO 12241 (Aislamiento térmico para instalaciones y equipos industriales - Reglas de cálculo), La condensación superficial depende no solo de los parámetros que afectan a la temperatura de la superficie, sino también de la humedad relativa del aire circundante, que muy a menudo no se puede determinar con precisión. Cuanto mayor sea la humedad relativa, más aumentarán las fluctuaciones de la humedad o de las temperaturas superficiales el riesgo de condensación superficial. A menos que se disponga de otros datos, es necesario hacer suposiciones (como en la Tabla 3 de la norma) para calcular el espesor de aislamiento necesario para evitar la formación de rocío en las tuberías. Usando la Ecuación (48), el espesor de aislamiento necesario para evitar la formación de condensación se puede obtener mediante técnicas iterativas. La diferencia de temperatura permitida, expresada en K, entre la superficie y el aire ambiente para diferentes humedades relativas al comienzo de la formación de condensaciones se da en la Tabla 4.

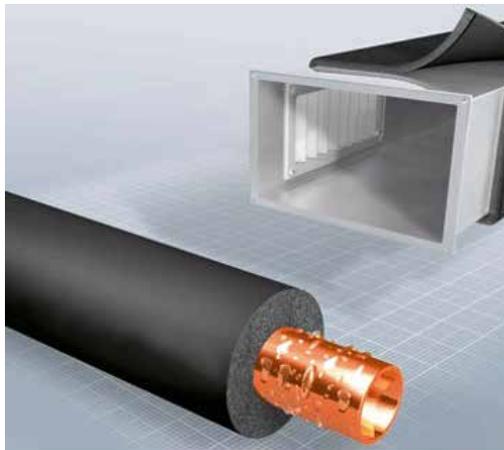
## 9.2 Condensaciones intersticiales en instalaciones industriales

Como se comenta al inicio de la sección 9 de este documento, el R.I.T.E. contempla una resistencia al paso de vapor mínima para evitar las condensaciones intersticiales. Se pueden tener en cuenta dos casos diferentes en función de la temperatura del fluido:

- **Temperatura de fluido < Temperatura ambiente**

En las instalaciones con fluidos a temperatura menor que la de ambiente, el flujo de vapor de agua intentará entrar al sistema tubería - aislamiento, lo cual genera que exista un gran riesgo de creación de condensaciones intersticiales, ya que la partícula de vapor que entre en contacto con la tubería condensaría. A medida que la diferencia de temperatura entre el ambiente (temperatura de rocío) y la temperatura de operación sea mayor, mayor diferencia de presión parcial de vapor se tendrá, y en consecuencia, mayor riesgo a condensaciones intersticiales. Por

este motivo, las propiedades de barrera de vapor se deben considerar en detalle para estos casos. En la práctica, ello conlleva a que instalaciones de refrigeración o de impulsión de clima, sean más críticas que las tuberías de retorno en un circuito de climatización o de agua fría sanitaria, en lo que a valores de barrera de vapor refiere.



La condensación intersticial de tuberías a bajas temperaturas se resuelve con MU alto o directamente con una barrera contra el vapor

- **Temperatura fluido > Temperatura ambiente**

En instalaciones de calor, como A.C.S (agua caliente sanitaria) por ejemplo, la dirección de flujo de vapor es inversa (de la tubería al ambiente) y nunca se alcanzaría la temperatura de rocío. En tales casos, el riesgo de condensaciones intersticiales es nulo.

# 10

## Aspectos relevantes en la protección frente a la humedad de diferentes soluciones constructivas

### 10.1 Generalidades

Este capítulo es una aplicación práctica de las consideraciones técnicas y normativas explicadas en el documento. Se muestran diferentes soluciones constructivas que incorporan aislamiento, realizando las correspondientes clasificaciones y describiendo sus características generales.

Se analizan los casos de manera general y se muestran algunos casos para llegar

a unas conclusiones finales que ayudarán al profesional en la protección frente a la humedad.

El uso del aislamiento adecuado se debe analizar caso a caso, si bien se recomienda siempre recurrir de forma orientativa al conjunto de normas sobre características mínimas aplicables que se han desarrollado por el sector del aislamiento térmico en el seno del Comité Técnico de Normalización de UNE, CTN-92.

UNE 92180:2017	Características mínimas recomendables para distintas aplicaciones. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana mineral.
UNE 92181:2017	Características mínimas recomendables para distintas aplicaciones. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno expandido (EPS).
UNE 92182:2019	Características mínimas recomendables para distintas aplicaciones. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de poliestireno extruido (XPS).
UNE 92184:2017	Características mínimas recomendables para distintas aplicaciones. Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos de espuma rígida de poliuretano (PUR) y poliisocianurato (PIR) proyectado in situ.

Normas UNE de características mínimas recomendables para las distintas aplicaciones del aislamiento térmico

### 10.2 Cubierta

#### 10.2.1 Clasificaciones de cubiertas

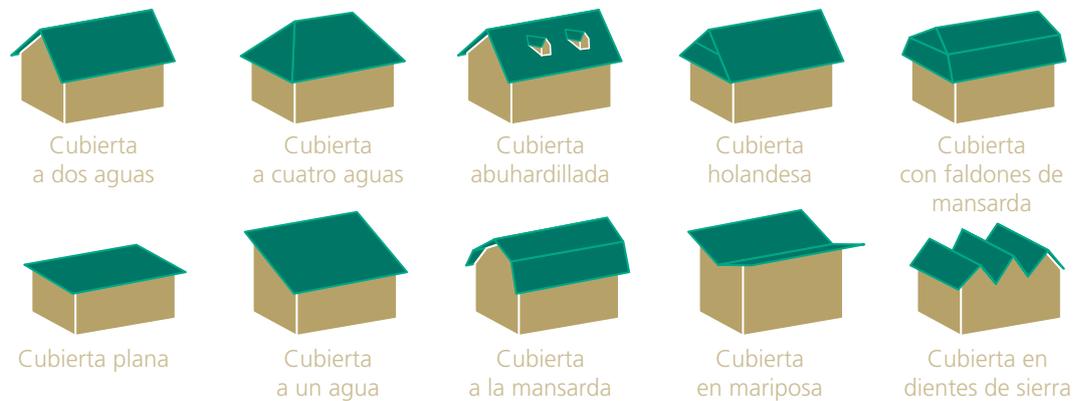
Las cubiertas se pueden clasificar por su ángulo de inclinación, por el orden de los elementos constructivos y por su accesibilidad. Las tres clasificaciones son intercambiables y no excluyentes entre sí.

En todos los casos hay que realizar el control de condensaciones por si es necesario disponer de una barrera de vapor o la propia disposición de los materiales cumple con este aspecto.

## 10.2.2 Clasificación por ángulo de inclinación

### 10.2.2.1 Cubiertas planas

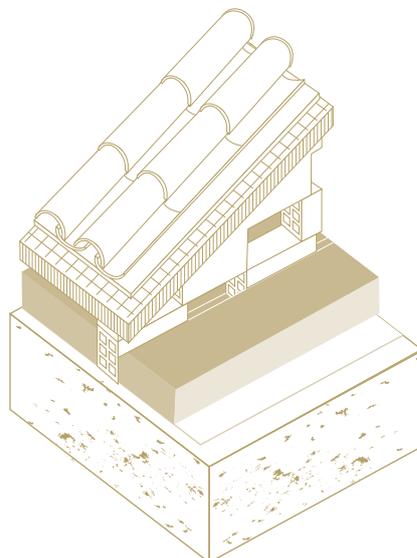
Aunque se denominan planas tienen una ligera inclinación, también denominada formación de pendientes, (alrededor del 3%) para facilitar la evacuación del agua de lluvia.



Tipos de cubierta según la inclinación

### 10.2.2.3 Buhardilla no habitable

En las buhardillas no habitables el aislamiento se instala rellenando total o parcialmente la cámara formada entre el último forjado y la cubierta.



Aislamiento térmico en buhardilla con barrera de vapor

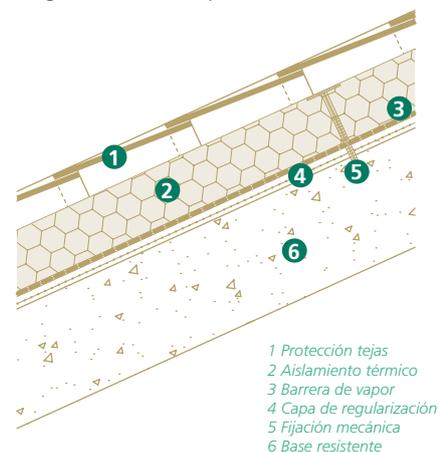
### 10.2.2.2 Cubiertas inclinadas

Se considera cubierta inclinada cuando la pendiente es superior al 10%. En función del número de faldones podemos encontrar cubiertas a un agua, dos aguas o cuatro aguas.

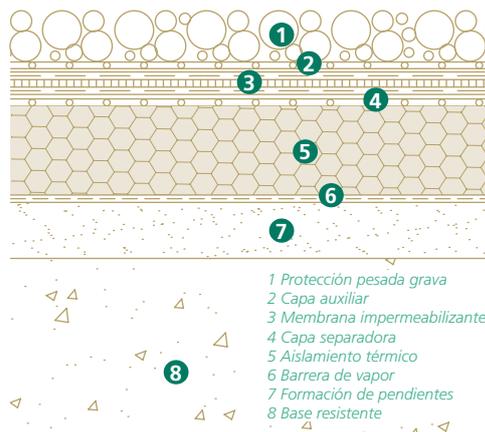
## 10.2.3 Clasificación por el orden de los elementos

### 10.2.3.1 Cubierta convencional

En este tipo de cubiertas, la impermeabilización está colocada por encima del aislamiento, de manera que lo protege de la intemperie.



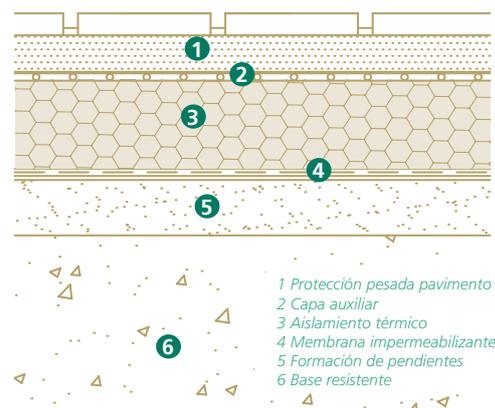
Ejemplo de aislamiento con barrera de vapor en cubierta inclinada convencional



Ejemplo de aislamiento con barrera de vapor en cubierta convencional plana

### 10.2.3.2 Cubierta invertida

Es el sistema de cubierta plana en el que se “invierten” las posiciones del aislante y la lámina de impermeabilización respecto a las cubiertas tradicionales, de forma que el aislamiento se coloca por encima de la lámina impermeabilizante. El aislamiento reduce la oscilación térmica de la impermeabilización.



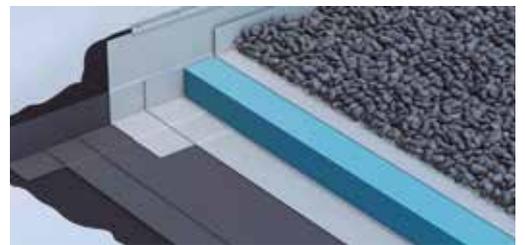
Ejemplo de aislamiento en cubierta plana invertida sin barrera de vapor

La lámina impermeable se coloca bajo el aislamiento, por lo tanto, en la cara caliente del cerramiento y actúa como barrera de vapor. De esta forma se evitan condensaciones intersticiales y por este motivo, no es necesario realizar un cálculo de condensaciones.

## 10.2.4 Clasificación por accesibilidad

### 10.2.4.1 Cubiertas no transitables

Se denomina a aquella cubierta que sólo será visitable para realizar labores de mantenimiento.

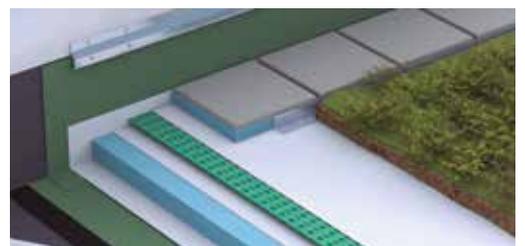


Ejemplo de cubierta no transitable (plana invertida) con acabado en grava

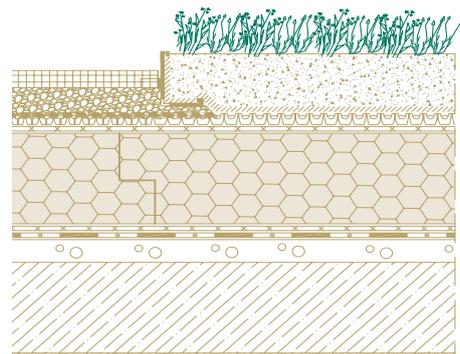
### 10.2.4.2 Cubiertas transitables

Las cubiertas transitables pueden ser:

- Tipo terraza con acabado cerámico o sobre baldosas aislantes,
- Ajardinadas
- Tipo aparcamiento



Ejemplo de cubierta plana (invertida) ajardinada



Ejemplo de cubierta ajardinada plana convencional

## 10.3 Fachada

### 10.3.1 Generalidades

Las soluciones de fachada se pueden categorizar en base a la colocación del aislamiento. El Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (versión 06.3 marzo 2010) distingue entre:

- **Fachadas con aislamiento por el exterior:** el aislamiento se coloca al exterior de la hoja principal.
- **Fachadas con el aislamiento por el interior:** el aislamiento se coloca por el interior de la hoja principal. Incluyen los casos en los que el aislamiento se encuentra entre la hoja principal y la hoja interior.

### 10.3.2 Fachada con aislamiento térmico por el exterior

#### 10.3.2.1 Generalidades

La solución del aislamiento térmico por el exterior se utiliza tanto en obra nueva como en rehabilitación. Existen dos modalidades, SATE y fachada ventilada. La principal característica del aislamiento por el exterior es la reducción o eliminación de los puentes térmicos, así como de las oscilaciones térmicas de la fachada.

Como consecuencia, se reduce el riesgo de condensaciones intersticiales y superficiales, si bien se debe siempre realizar un estudio. Ambas soluciones ofrecen también protección a la infiltración de agua de lluvia.

#### Riesgo de condensaciones intersticiales:

Al colocar el aislante por el exterior, la mayor parte del muro estará a una temperatura más alta, con lo que se minimiza el riesgo de aparición de condensaciones.

Además, el vapor de agua que atraviesa el muro y el aislamiento, y llega a la cara fría del aislamiento, se difunde rápidamente al exterior a través del mortero de acabado en el caso del SATE, o de la cámara de aire ventilada en el caso de la fachada

ventilada, por lo que en ninguno de los dos casos existe un riesgo de condensaciones intersticiales.

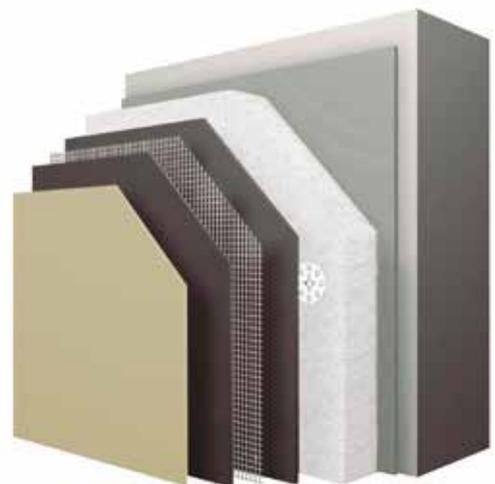
#### Riesgo de condensaciones superficiales:

Al reducir los puentes térmicos se reduce también la posibilidad de condensaciones en los puntos fríos del interior de la vivienda, por lo que es difícil encontrar puntos donde la temperatura superficial sea inferior a la temperatura de rocío del ambiente.

#### 10.3.2.2 Fachada tipo SATE

##### Descripción técnica

El SATE es un sistema de aislamiento térmico por el exterior, consistente en un panel aislante prefabricado, adherido al muro, cuya fijación habitual es con adhesivo y fijación mecánica. El aislante se protege con un revestimiento constituido por una o varias capas de morteros, una de las cuales lleva una malla como refuerzo y se aplica directamente sobre el panel aislante, sin intersticios de aire o capa discontinua.



Sección general de un SATE



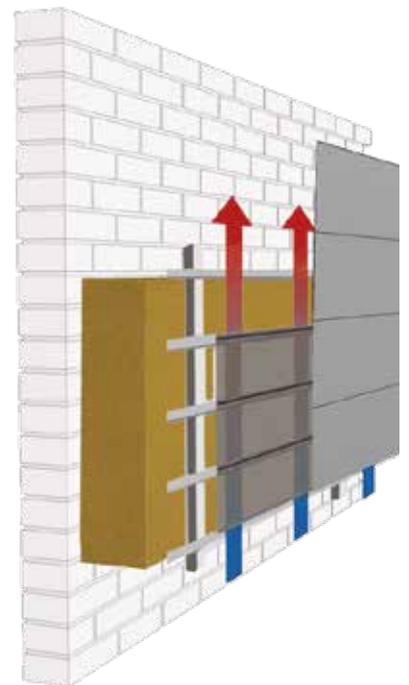
Sección transversal de un SATE mostrando accesorio

Los componentes básicos en un SATE son:

- Adhesivo y fijación mecánica
- Material aislante
- Capa base, malla de refuerzo y 2ª mano de capa base
- Capa de imprimación
- Capa de acabado
- Accesorios

### 10.3.2.3 Fachada Ventilada

El sistema constructivo de cerramiento exterior está constituido por una hoja interior, una capa aislante, y una hoja exterior no estanca. Sobre la fachada del edificio (hoja interior) se ancla una subestructura destinada a soportar la hoja exterior de acabado, así como una capa de aislamiento, mediante espigas plásticas o mortero adhesivo. Una vez colocada la capa aislante, se monta la hoja de acabado. La subestructura deja una cámara de aire de unos pocos centímetros entre el aislamiento y las placas que conforman la segunda piel. Las juntas entre estas placas son abiertas, permitiendo el flujo de aire. Las placas exteriores pueden ser de diversos materiales: piedra, madera, etc. La piel exterior o de acabado debe disponer de ranuras tanto en la parte inferior como en la superior, para permitir la renovación de aire.

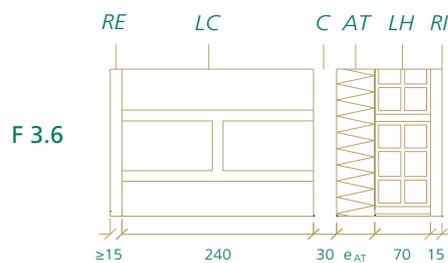


Sección de una fachada ventilada

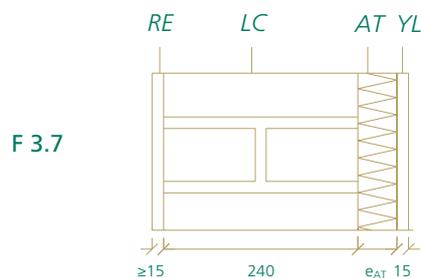
### 10.3.3 Fachada con aislamiento térmico por el interior

#### 10.3.3.1 Generalidades

La categoría de fachada con aislamiento por el interior se divide, a efectos de este documento, en dos subcategorías: aislamiento en cámara y con trasdosado. Esta división está basada en las definiciones encontradas en El Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (versión 06.3 marzo 2010), si bien existe cierto debate sobre la denominación del relleno en cámara como aislante por el interior.



Ejemplo de aislamiento por el interior con trasdosado en El Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (versión 06.3 marzo 2010)

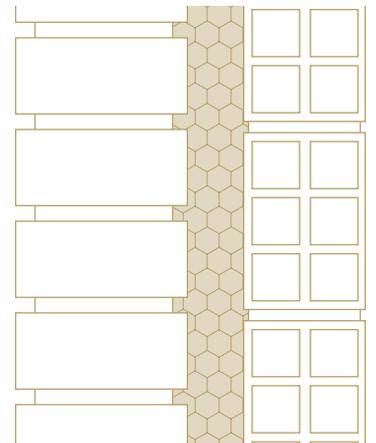


Ejemplo de aislamiento por el interior El Catálogo de Elementos Constructivos del CTE (versión 06.3 marzo 2010). El aislamiento se encuentra entre la hoja principal (LC) y la hoja interior (HI).

#### 10.3.3.2 Fachada con aislamiento en cámara

En este sistema se aprovecha el espacio libre de la cámara de aire de la fachada

para instalar el aislamiento térmico. En rehabilitación, el relleno se realiza a través de un patrón de pequeños taladros. La actuación se puede realizar desde el interior o desde el exterior de la fachada. Se requiere un estudio previo de las cámaras para comprobar su idoneidad.



Aislamiento en cámara de aire de fachada

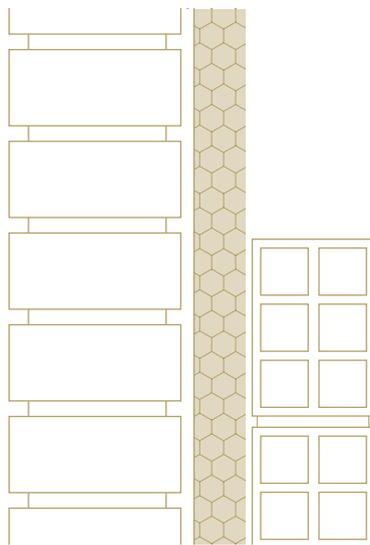
**Riesgo de condensaciones superficiales:** En esta solución es muy importante garantizar el completo llenado de la cámara para evitar un espacio vacío sin aislamiento que pueda crear una zona fría en la pared, generando un puente térmico. En algunos casos puntuales los pilares invaden la cámara de aire, siendo imposible garantizar la continuidad del aislamiento. En esos casos, puede ser necesario realizar un aislamiento previo de esa estructura para el correcto tratamiento del puente térmico.

**Riesgo de condensaciones intersticiales:** Los materiales de aislamiento para esta solución constructiva ofrecen una baja resistencia a la difusión de vapor, declaran valores de MU entre 1 y 5, lo que en las zonas climáticas más severas puede suponer que haya riesgo de condensaciones intersticiales según el espesor de la cámara. Por eso, se debe realizar el cálculo de condensaciones para evaluar el comportamiento de la solución constructiva completa, y en aquellos en los que exista riesgo muy alto de condensaciones intersticiales, se deberá

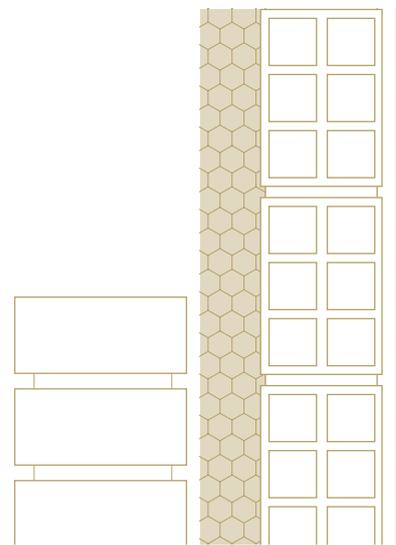
prever la instalación de una barrera de vapor en la cara caliente, por ejemplo con una pintura impermeable a la difusión de vapor de agua.

### 10.3.3.3 Fachada con aislamiento por el interior con trasdosado

En este caso, el aislamiento térmico se instala por el interior de la hoja principal de la fachada, y posteriormente se levanta el trasdosado interior, que puede ser de ladrillo o de PYL. Aunque es poco habitual, se puede invertir el orden de ejecución, levantando primero la hoja interior, instalando el aislamiento, y terminando con la hoja principal de la fachada.



Fachada ejecutada del exterior al interior.



Fachada ejecutada del interior al exterior

Es una solución tradicional muy habitual en obra nueva, que también se puede emplear en rehabilitación.

**Riesgo de condensaciones superficiales:**

Si se asegura la continuidad del aislamiento, el espesor mínimo de aislamiento que marca el CTE, y un correcto tratamiento de puentes térmicos, esta solución no sufre patologías de condensaciones superficiales.

**Riesgo de condensaciones intersticiales:**

En esta solución constructiva, según

la resistencia a la difusión de vapor de agua del producto de aislamiento y del resto de capas del cerramiento, y en las zonas climáticas de invierno más severas, puede ser necesario la instalación de una barrera de vapor en la cara caliente para evitar patologías por condensaciones intersticiales. Por eso, se debe realizar el cálculo de condensaciones para evaluar el comportamiento de la solución constructiva completa.

#### 10.4 Instalaciones

La solución más habitual en instalaciones es el recubrimiento de tuberías.

Se debe evaluar el riesgo de condensaciones intersticiales para evitar corrosión y reducción de la capacidad aislante. En este sentido se debe evaluar si es necesario añadir una barrera de vapor al material aislante.

Por otro lado, se debe evaluar el grosor mínimo de aislamiento para reducir el riesgo de condensaciones superficiales. Es importante que el espesor del aislamiento se mantenga en toda la instalación (incluyendo accesorios, válvulas, codos, derivaciones, bridas, etc), para no comprometer la temperatura superficial del aislamiento y exista riesgo de condensaciones superficiales.

También se resalta la importancia del sellado correcto de las juntas transversales y longitudinales en la aplicación del material del aislamiento, ya que de lo contrario, la ya citada diferencia de presión de vapor de agua podría generar la entrada de vapor de agua en el sistema de tuberías por las juntas mal ejecutadas.



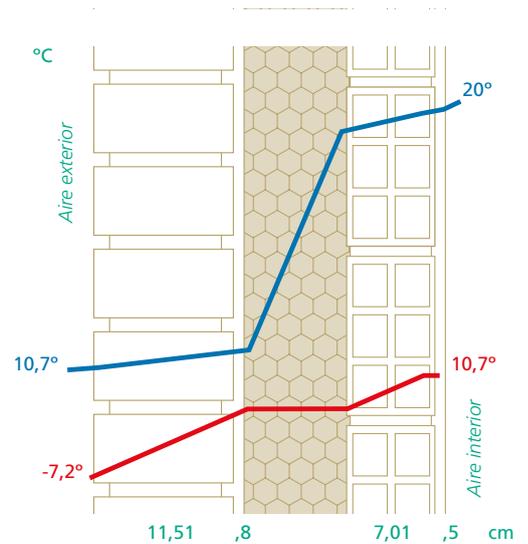
Aislamiento térmico en instalación de frío

### 10.5 Ejemplos para pensar

A continuación se muestran 3 ejemplos con el objeto de aplicar los conocimientos del documento y terminar con unas conclusiones al final del capítulo.

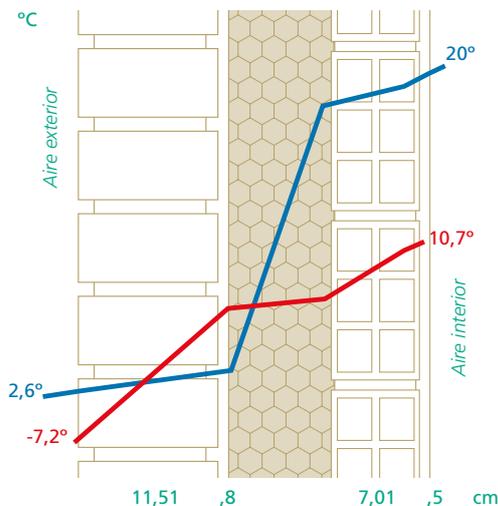
#### Ejemplo A. Una misma solución de aislamiento interior y MU bajo en ciudades diferentes

En este ejemplo se compara una solución constructiva de aislamiento interior con trasdosado en Sevilla y en Burgos. Se utiliza un aislamiento con MU bajo ( $MU < 5$ ). Al realizar el cálculo de condensaciones intersticiales, se puede comprobar que un aislamiento térmico muy transpirable al vapor de agua, con una MU menor de 5, en un clima suave no sufre condensaciones intersticiales en invierno. Sin embargo, la misma solución en un clima más severo sí sufre condensaciones, como se puede observar mediante el cruce de las curvas de temperatura y temperatura de rocío. En el caso de Burgos, el problema se resuelve aplicando una barrera de vapor en la cara caliente del aislamiento.



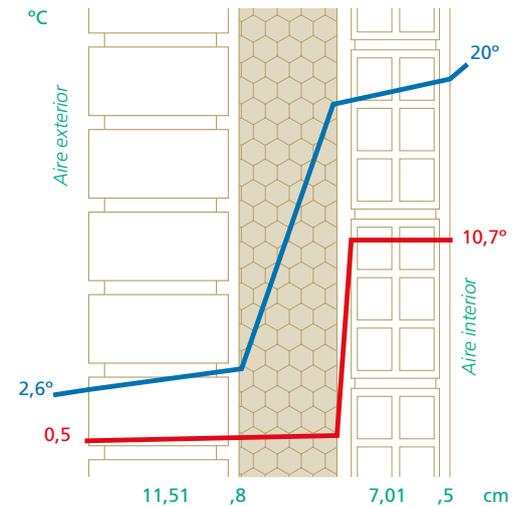
No hay problema de condensación de vapor de agua en el cerramiento

Aislamiento térmico con una MU baja ( $MU < 5$ ), en una zona climática suave (Sevilla).



Hay condensación intersticial en el cerramiento

Aislamiento térmico con una MU baja ( $MU < 5$ ), en una zona climática severa (Burgos).

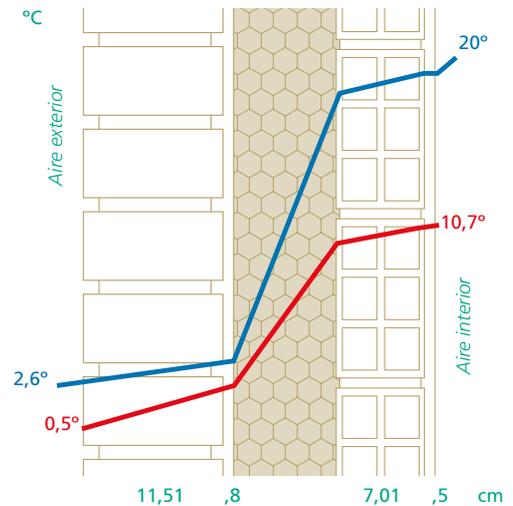


No hay problema de condensación de vapor de agua en el cerramiento

Aislamiento térmico con una MU baja ( $MU < 5$ ) y barrera de vapor (Papel Kraft), en una zona climática severa (Burgos).

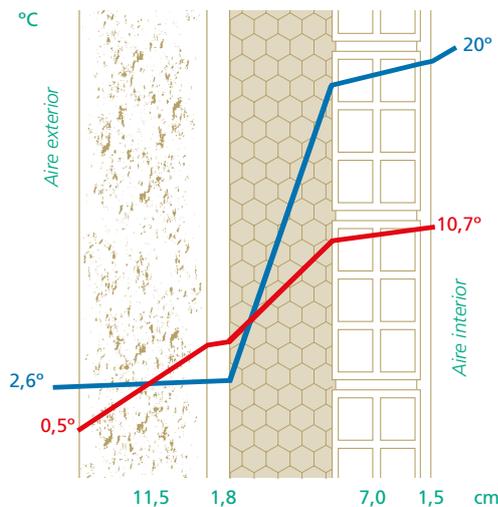
**Ejemplo B. Diferentes soluciones constructivas con aislamiento interior y MU alto en la misma localidad**

En este ejemplo se comparan dos soluciones constructivas diferentes en la misma localidad, Burgos. Se utiliza un aislamiento con MU alto ( $MU > 60$ ). Se comprueba que un producto de aislamiento con una resistencia al paso del vapor de agua alta, mayor de 60, es más robusto frente a las condensaciones intersticiales en una zona climática severa, pero no está exento de riesgo. En este caso, un cerramiento exterior de mampostería ofrece una resistencia a la difusión de vapor mayor que el propio aislamiento, lo que produce una retención de vapor en una capa fría del cerramiento, y se producen condensaciones. De nuevo el problema siempre queda resuelto con una barrera de vapor en la cara caliente del aislamiento. No obstante, se puede cuantificar la cantidad de agua condensada para valorar la necesidad de incorporar una barrera de vapor.



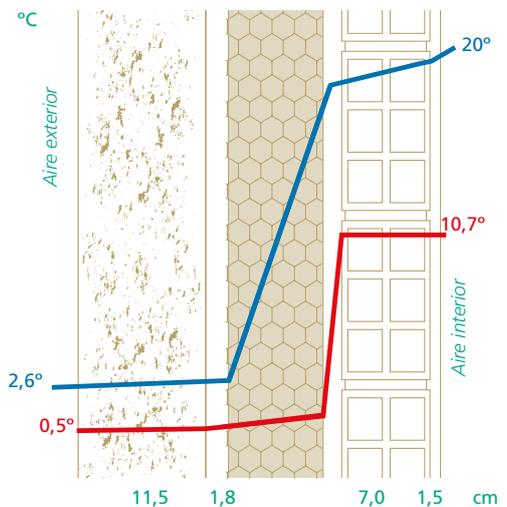
No hay problema de condensación de vapor de agua en el cerramiento

Aislamiento térmico con una MU alta ( $MU > 60$ ), en una zona climática severa (Burgos).



Hay condensación intersticial en el cerramiento

Aislamiento térmico con una MU alta ( $MU > 60$ ), en una zona climática severa (Burgos) con cerramiento exterior poco transpirable (piedra).

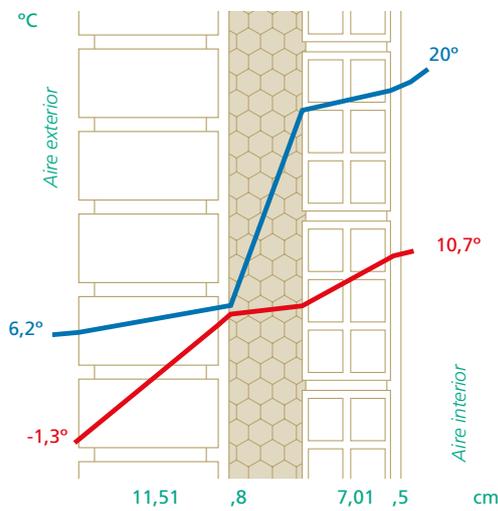


No hay problema de condensación de vapor de agua en el cerramiento

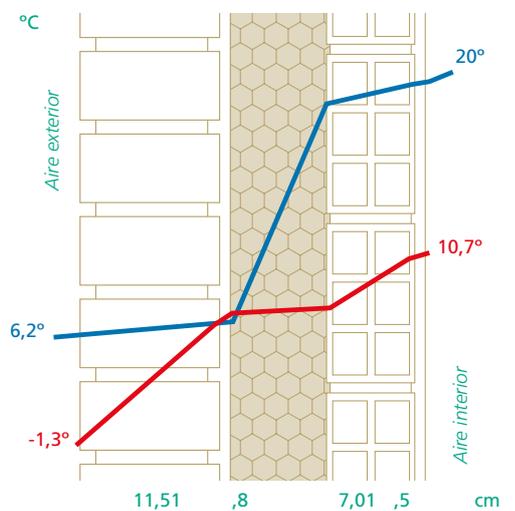
Aislamiento térmico con una MU alta ( $MU > 60$ ) y barrera de vapor (Papel Kraft), en una zona climática severa (Burgos) con cerramiento exterior poco transpirable (piedra).

**Ejemplo C. Evaluación de fachadas con aislamiento en cámara con diferente espesor en la misma ciudad**

En este otro ejemplo apreciamos el efecto del tamaño de la cámara. La misma solución constructiva en la misma ubicación, Madrid en este caso, presenta problemas si la cámara tiene 8 cm, y no presenta riesgo alguno si la cámara tiene 5 cm. Cabe destacar que en todo caso el riesgo de condensación es muy leve, prácticamente imperceptible, por lo que la cantidad de agua condensada a lo largo de un año no superará la cantidad de agua evaporada en el mismo periodo.



No hay problema de condensación de vapor de agua en el cerramiento



Hay condensación intersticial en el cerramiento

Influencia del tamaño de la cámara. 5 cm a la izquierda, 8 cm a la derecha.

## 10.6 Conclusiones

Las principales conclusiones en la función del aislamiento en la protección frente a la humedad:

- La zona climática influye: cuanto más fría y más húmeda, mayor riesgo.
- La resistencia de la difusión de vapor del aislamiento influye, cuanto más baja, mayor riesgo.
- La condensación superficial se resuelve aumentando la temperatura de la superficie mediante el incremento de aislamiento térmico.
- En caso de riesgo de condensación intersticial, se resuelve añadiendo una barrera contra el vapor, siempre en la cara caliente del aislamiento.
- El CTE indica que no será necesaria la comprobación de las condensaciones intersticiales en aquellos cerramientos que dispongan de barrera contra el vapor de agua en la parte caliente del aislamiento. No obstante, se recomienda realizar un cálculo de condensaciones en soluciones en las que el cerramiento tiene una capa exterior de mayor resistencia a la difusión de vapor de agua, como puede ocurrir en la cubierta convencional con la membrana impermeabilizante, o en fachada con un muro de mampostería.
- Todo lo anterior tiene sentido cuando existe una correcta instalación y las barreras contra el vapor cuentan con un completo sellado en todos los encuentros y las juntas de la solución constructiva.
- Siempre que exista un fallo en la hermeticidad por el interior del cerramiento, los problemas de humedad generados por la convección serán mayores que los generados por la difusión de vapor de agua.

# 11

## Buenas prácticas

### 11.1 Generalidades

El primer paso para evitar problemas de humedades es el proyecto. Realmente, todos los capítulos previos de este documento se centran en revisar todo el conocimiento necesario y los principales ejemplos para que el diseño sea el adecuado.

Este capítulo describe los siguientes dos pasos, que pueden ser igual de importantes en la protección frente a la humedad: durante el proceso de instalación y tras el proceso de instalación.

### 11.2 En la instalación

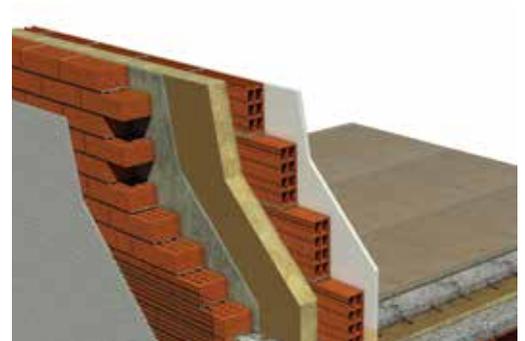
#### 11.2.1 Seguir las indicaciones del proyecto

Aunque parezca evidente, es fundamental que el instalador tenga toda la información que recoge el proyecto para que lo pueda ejecutar fielmente. A continuación se recogen cuatro casos en los que no seguir las indicaciones generan problemas de humedades.

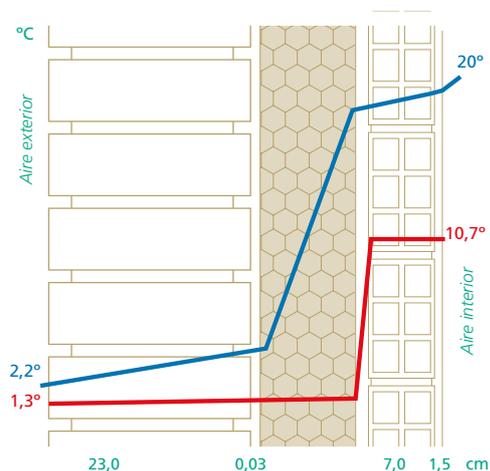
- Uno de los errores más habituales es colocar producto del revés, con la barrera de vapor en la cara fría del cerramiento. Se deberá verificar la correcta orientación de la barrera de vapor en aquellos productos que la tienen, siempre mirando hacia la cara caliente, hacia el interior.



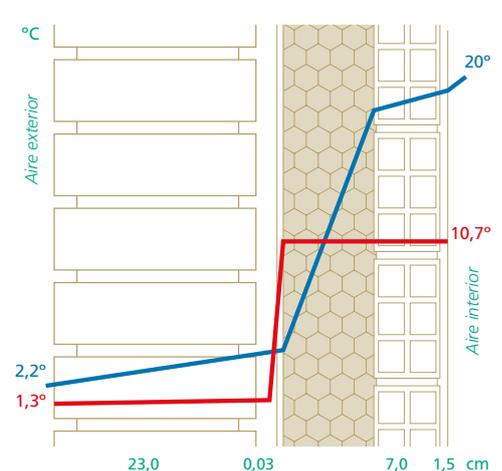
Ejemplo de correcta instalación con la barrera de vapor en la cara caliente



Ejemplo de incorrecta instalación con la barrera de vapor en la cara fría (aislamiento colocado al revés).



Cálculo de condensaciones cuando se coloca correctamente el aislamiento.



Cálculo de condensaciones cuando se coloca el aislamiento al revés.

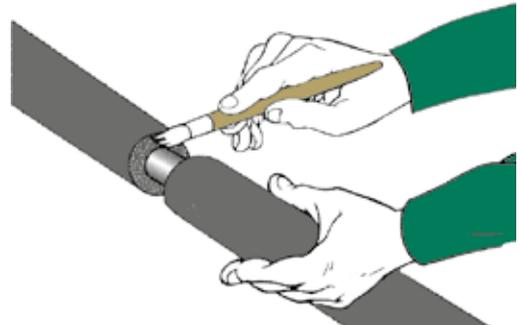
- Por supuesto, se deberá instalar el tipo de producto que recoge el proyecto, respetando si lleva o no barrera de vapor, y el tipo de barrera que se prescribe. Por tanto, se deberá verificar que el producto finalmente instalado se corresponde con la especificación del proyecto.
- Seguir las indicaciones del proyecto para la incorporación de aislamiento en las zonas señaladas. La falta de aislamiento es otro origen de patologías. Dejar una zona sin aislar, aunque sea pequeña, puede provocar condensaciones localizadas. Se deberá verificar la presencia de aislamiento térmico en toda la superficie del cerramiento.
- Por último, es importante respetar los espesores de diseño y su uniformidad. Instalar menos aislamiento del previsto, o permitir excesiva variabilidad en el espesor puede incrementar el riesgo de sufrir condensaciones superficiales o intersticiales. Se deberá verificar la uniformidad del espesor de aislamiento.

### 11.2.2 Respetar la continuidad

La continuidad, tanto de la envolvente térmica de un edificio, como la del recubrimiento de tuberías, conductos e instalaciones, es fundamental tanto para el aislamiento térmico, acústico, como en la protección frente a la humedad. A continuación se comparten tres ejemplos en los que la falta de continuidad generan problemas de humedad.

- Se deberá verificar la continuidad y uniformidad del espesor de la capa de aislamiento.

- En aquellos materiales con barrera de vapor, es importante garantizar la continuidad y el sellado de dicha barrera, prestando especial atención a los solapes, las cintas adhesivas y la compatibilidad y durabilidad de éstas. Por tanto, se deberá verificar el correcto sellado de la barrera de vapor, cuando proceda.
- En aquellos materiales cuya resistencia al paso de vapor de agua garanticen la ausencia de condensaciones intersticiales, se deberá verificar la correcta ejecución de las juntas, a tope, mediamadera o machihembradas, para evitar infiltraciones de vapor a través de las mismas.



Correcta ejecución de juntas a tope. Se aplica adhesivo en los bordes de ambas coquillas, se juntan los bordes y se presiona firmemente.

## 11.3 Tras la instalación

### 11.3.1 Durante el resto del proceso constructivo

Una vez instalado el aislamiento, es importante no dañarlo antes de su protección con el recubrimiento final.



Ejemplo de aislamiento térmico que ha sido correctamente instalado, pero ha sufrido deterioro durante el proceso de construcción y antes de su recubrimiento.

### 11.3.2 Mantenimiento

Una vez finalizada la construcción del edificio, el aislamiento no requiere cuidados especiales de mantenimiento. De nuevo, se trata de evitar dañarlo al realizar posibles actuaciones de mantenimiento en el futuro.

# 12

## ANEXO

### Definiciones y terminología

**Aislante no hidrófilo:** aislante que tiene una succión o absorción de agua a corto plazo por inmersión parcial menor que  $1 \text{ kg/m}^2$  según ensayo UNE-EN 1609:2013 o una absorción de agua a largo plazo por inmersión total menor que el 5% según ensayo UNE-EN 12087:2013.

**Barrera de vapor:** Un material que ofrece una elevada resistencia al paso del vapor de agua y se utiliza para evitar condensaciones intersticiales.

**Coefficiente de transmisión de vapor de agua,  $g$ :** Cantidad de vapor de agua transmitida a través de una unidad de área, en una unidad de tiempo, bajo determinadas condiciones de temperatura, humedad y espesor.

**Condensación intersticial:** Condensación creada en una superficie interior de un cerramiento. Ocurre cuando esta superficie interior se encuentra a una temperatura inferior que la temperatura de rocío.

**Condensación superficial:** Condensación creada en una superficie del interior del edificio. Se genera cuando la superficie interior de un cerramiento está más fría que la temperatura de rocío del ambiente interior.

**Espesor de capa de aire equivalente a la difusión del vapor de agua,  $sd$ :** Espesor de una capa de aire sin movimiento que tiene la misma resistencia al vapor de agua que la probeta de ensayo de espesor  $d$ .

**Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua,  $\mu$ :** Cociente formado por la permeabilidad al vapor de agua del aire y la permeabilidad al vapor de agua del material o producto homogéneo. Indica la magnitud de la resistencia del producto al vapor de agua con relación a una capa de aire estacionario del mismo espesor a la misma temperatura.

**Permeancia al vapor de agua,  $W$ :** Cociente formado por el coeficiente de transmisión de vapor de agua de la probeta de ensayo y la diferencia de presión entre las dos caras de la probeta durante el ensayo.

**Permeabilidad al vapor de agua,  $\delta$ :** Producto de la permeancia por el espesor de la probeta de ensayo

**Resistencia al vapor de agua,  $Z$ :** Inversa de la permeancia al vapor de agua.

### Tabla de conversión para las unidades de transmisión de vapor de agua

Tabla A.1. Tabla de conversión para las unidades de transmisión de vapor de agua		
A <sup>a</sup>	B	C <sup>b</sup>
Cantidad de acuerdo con la Norma UNE-EN 12806	Factor de conversión	Cantidad de acuerdo con la Norma ISO 9346
coeficiente de transmisión de vapor de agua <b>g</b> [mg/(m <sup>2</sup> ·h)]	2,778 x 10 <sup>-10</sup>	índice de densidad de flujo de humedad <b>g</b> [kg/(m <sup>2</sup> ·s)]
permeancia al vapor de agua <b>W</b> [mg/(m <sup>2</sup> ·h·Pa)]	2,778 x 10 <sup>-10</sup>	permeancia a la humedad <b>Wp</b> [kg/(m <sup>2</sup> ·s·Pa)]
resistencia al vapor de agua <b>Z</b> [m <sup>2</sup> ·h·Pa/mg]	3,60 x 10 <sup>9</sup>	resistencia a la humedad <b>Zp</b> [m <sup>2</sup> ·s·Pa/kg]
permeabilidad al vapor de agua <b>δ</b> [mg/(m·h·Pa)]	2,778 x 10 <sup>-10</sup>	permeabilidad a la humedad <b>δp</b> [kg/(m·s·Pa)]
factor de resistencia a la difusión del vapor de agua <b>μ</b> [-]		factor de resistencia a la humedad <b>μ</b> [-]
espesor de la capa de aire equivalente a la difusión del vapor de agua <b>sd</b> [m]		
cambio de masa por unidad de tiempo <b>G</b> [mg/h]	2,778 x 10 <sup>-10</sup>	índice de flujo de humedad <b>G</b> [kg/s]

<sup>a</sup> A = B/C

<sup>b</sup> C = A/B

Este anexo coincide con el anexo A de la norma UNE-EN 12806:2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de las propiedades de transmisión de vapor de agua

Contenido reproducido con la autorización de la Asociación Española de Normalización [www.une.org](http://www.une.org)

[Acceso a la Norma UNE-EN 12806](#)





Paseo de la Castellana, 203, 1º Izda.  
28046 Madrid  
T. 91 575 54 26  
andima@andimat.es

