

Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

Parte IX-A. Soluciones de estanqueidad al aire en el caso de rehabilitaciones térmicas.

Es bien conocido que la estanqueidad al aire constituye el requisito primordial para el buen funcionamiento de una estructura aislada térmicamente.

Las construcciones estancas al aire garantizan un clima interior confortable y participan en la prevención de daños del edificio, debidos a la acumulación de humedad por condensación.

Los flujos de humedad por convección pueden notablemente aportar, en muy poco tiempo, grandes cantidades de humedad en una capa de aislamiento térmico y comprometer de esta forma, a la vez, el buen funcionamiento de la estructura portante y del aislamiento térmico.

En los tejados existentes conviene preguntarse sobre los medios que permitan mejorar la estanqueidad al aire, hasta entonces inexistente, durante sus renovaciones energéticas (por aumento del espesor del aislamiento térmico).

Con esta consideración, es preciso examinar las diferentes posibilidades de la integración de una estanqueidad al aire en la estructura.

Según indica la DIN 4108-7 en su punto “Concepción y ejecución” estipula que, por regla general, la capa de estanqueidad al aire debe estar dispuesta del lado interior de la capa de aislamiento térmico y, si es posible, también del lado interior de la estructura portante. Esta recomendación de la norma presupone el estado ideal típico de una nueva construcción. Sin embargo, durante la renovación de un tejado, esto es solamente realizable con grandes medios y ocasiona muchos trastornos a los ocupantes. En consecuencia, conforme a la norma, la estanqueidad al aire de un edificio puede ser realizada en toda capa del elemento de construcción.

Si la capa de estanqueidad al aire dispuesta del lado interior posee una resistencia a la difusión de vapor demasiado débil (valor s_d), la cantidad de humedad que penetra en la humedad pone en riesgo de ser demasiado importante y de condensar, en función de las capas siguientes del elemento de construcción. Si hay, del lado exterior, una capa de estanqueidad al aire con una capacidad para-vapor demasiado grande, la humedad corre el riesgo de acumularse en el interior de la construcción, en caso de débiles resistencias en el interior.

El objetivo de este estudio es examinar y evaluar las diferentes variantes y de formular recomendaciones para construcciones fiables y duraderas que dispongan de un alto potencial de prevención de daños en el edificio.

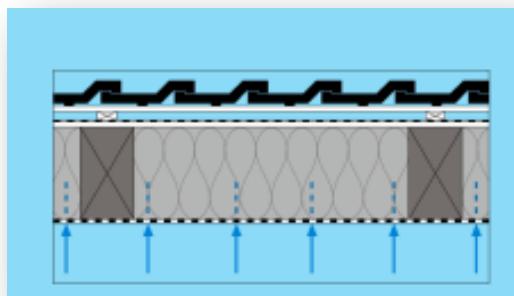
Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

Parte IX-B. Fuentes de aporte de humedad y métodos de cálculo

B.1.- Aportes de humedad.

Se distinguen dos causas fundamentales para el aporte de humedad en las estructuras de aislamiento térmico:

- Por difusión.

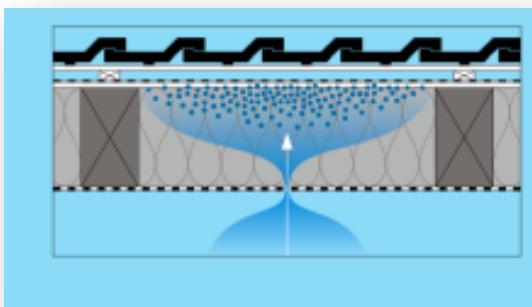


- Por convección.

La cantidad de humedad que penetra en la estructura a través de una lámina freno de vapor y estanqueidad al aire con un valor sd de 3 m es solamente de 5grs de agua por m^2 y día.

Los transportes de humedad resultantes por procesos de difusión pueden ser calculados con la ayuda de datos climáticos estáticos globales o bajo la forma de cálculo dinámico y se aproximan a la realidad del transporte de humedad con la ayuda de datos de referencia reales sobre el clima y los materiales de construcción según DIN EN 15026.

Los transportes de humedad por convección no son calculables y ocasionan bien a menudo una cantidad de humedad en la construcción que puede ser varias centenas de veces superior al de la difusión.



Una fisura de 1mm de espesor puede ocasionar aportes de humedad hasta 800 grs de agua por m^2 y día

Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

B.2.- Modelos de cálculo para el proceso de difusión.

Para determinar el transporte de humedad por difusión al seno de la construcción, existen diferentes modelos de cálculo con una precisión variable.

En la norma DIN 4108-3, la cantidad de condensación/evaporación que puede, por difusión, entrar y salir del elemento de construcción considerado, es calculado en condiciones climáticas estandarizadas. Para el cálculo, hay dos climas estáticos disponibles (clima invernal y estival).

El método según Jenisch se incluye como opción en la Norma EN ISO 13788, NBN EN ISO 13788, DIN 4108-3. Este método suministra resultados más matizados sobre la base de condiciones climáticas adaptadas a los límites de las regiones.

Los dos enfoques citados en las normas indicadas, no permiten obtener un estudio detallado de los flujos de calor y humedad. No es posible determinar la tasa de humedad precisa de uno de los materiales utilizados.

En el sector de la construcción, el método Glaser sirve después de varios decenios exclusivamente para la evaluación aproximada de cantidades de condensación y de evaporación.

Los modelos de cálculo dinámicos según la norma DIN EN 15026, tal como son adoptados en los programas WUFI pro, WUFI 2D o Delphin, simulan los flujos de humedad y de calor en el seno de las construcciones.

Si el cálculo se funda sobre datos climáticos determinados hora a hora, suministra sobradamente los resultados más precisos.

Todos los modelos de cálculo descritos parten del principio de que las capas en el elemento de construcción son estancas al aire.

Continuará: "Cálculos según EN ISO 13788, NBN EN ISO 13788, DIN 4108-3.

B.3.- Cálculos según EN ISO 13788, NBN EN ISO 13788, DIN 4108-3

a) Método Glaser.

Los flujos de humedad son calculados con un clima globalizado de 60 días de invierno (-10°C en el exterior/ 80% de humedad relativa del aire y 20°C en el interior / 50% de h.r. del aire) y 90 días de verano (+12°C en el interior y exterior/ 70 % h.r. del aire, 20°C al nivel del tejado por el exterior).

Las construcciones deben respetar los límites siguientes; la cantidad de condensación no puede pasar de 500 g/m² en las capas del elemento de construcción no absorbentes por capilaridad (p.e. las láminas); y la cantidad de

Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

condensación durante el período invernal debe ser inferior a la cantidad de evaporación en verano.

b) Método Glaser con datos climáticos de Jenisch.

El método Jenisch calcula por región, con doce series de datos climáticos globales, una situación climática por cada mes, con una temperatura media exterior e interior.

Las temperaturas exteriores se sitúan solamente alrededor de 0°C en invierno (y no a -10°C como con Glaser) y a 18°C en verano según la región (y no a 12°C como con Glaser).

Las construcciones son incluso calculadas sin período de heladas del lado exterior dando así resultados netamente menos críticos que con el método Glaser. Por tanto, los resultados han de ser interpretados en consecuencia. Este método no se utiliza prácticamente en nuestros días. Para obtener resultados precisos se utilizan métodos de cálculo dinámicos.

c) Método de cálculo dinámico según DIN EN 15026.

Los métodos de cálculo dinámicos como WUFI pro, WUFI 2D o Delphin, suministran resultados verdaderamente realistas. Estos métodos permiten el cálculo de transporte de humedad y de calor en la construcción sobre la base de datos climáticos reales (temperatura, tasa de humedad del aire, lluvia batiente, soleación viento, etc.) de las propiedades de los materiales de construcción (difusión, absorción, acumulación y transporte de agua, etc.) y de la orientación geográfica de los elementos del edificio (pendiente, punto cardinal).

La tasa de humedad y la temperatura pueden ser suministrados para cada punto de la construcción.

Continuará: “Modelos de cálculo para el aporte de humedad por convección”.

B.4.- Modelos de cálculo para el aporte de humedad por convección.

El motor de la convección es la diferencia de presión entre el interior de un edificio y el aire exterior. Esta diferencia de presión resulta del efecto del viento sobre el exterior y de la subida del aire caliente al interior de la pieza habitada.

A partir de la versión 5.0, el programa WUFI Pro, propone un modelo de infiltración de aire para el cálculo de los aportes de humedad por convección. Es capaz de simular un aporte de humedad por convección sobre la base de un intercambio con el aire de ambiente contenido en las dependencias. Eso presupone que la “inestanqueidad” de la construcción es conocida, por lo cual sirve para cuantificar el aporte de humedad.

Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

Durante la rehabilitación es difícilmente posible determinar con precisión la calidad del revestimiento interior. Sin embargo, tiene una influencia determinante sobre el aporte de humedad por difusión y convección.

Por razones de seguridad constructiva, se calcula incluso el transporte de humedad debido a fugas en la construcción sin tener en cuenta las capas interiores de los elementos que frenan la difusión de vapor (p.e. frenos de vapor, o los revestimientos interiores).

En el caso de flujo de aire debido a fugas, el aporte de humedad se concentra sobre una pequeña superficie. Por consiguiente, este aporte es enormemente superior a los valores indicados por el resultado del cálculo.

Por convección una fuga de 1 mm y una longitud de 1m (=1/1000 m²) puede dejar penetrar 800 grs/m² día de humedad en el aislamiento térmico. Incluso una pantalla bajo teja muy permeable al vapor no es capaz de dejar evaporar tal cantidad de humedad.

Parte IX-C. Formación de humedades internas.

C.1.- Acumulación de humedad debido a la convección interna.

Fenómenos convectivos pueden también sobrevenir en el seno de las paredes. El sobrecalentamiento de la construcción por el exterior, causado por la exposición directa al sol, puede ocasionar la subida de humedad y, llegado el caso, su acumulación en los lugares donde otros procesos de convección son interrumpidos, p.e. a causa de soleras.

C.2.- Las capas de hielo son lo mismo que los para-vapor.

Cuando hay formación de condensación sobre las capas de materiales situados en la zona de hielo (p.e. sobre membranas de estanqueidad al aire colocadas en el exterior), se corre el riesgo de formarse hielo en caso de temperaturas negativas.

Como la construcción no puede difundir esta humedad hacia el exterior, se producen grandes cantidades de agua por condensación que se acumulan allí y se hielan.

Resultado; un debilitamiento del poder de aislamiento utilizado además de un gran riesgo de deterioro en la pared.

C.3.- Magnitudes de difusión s_d y μ .

El elemento determinante en la formación de condensación es representado por la magnitud μ (coeficiente de resistencia a la difusión de vapor). Esta magnitud señala la “calidad” del material de construcción como “para-vapor”.

Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

La magnitud s_d (espesor de capa de aire equivalente [m]) tiene en cuenta el espesor del material. Si este espesor aumenta, una molécula de agua necesita más tiempo para atravesar el material.

Las pantallas bajo-teja son abiertas a la difusión y tienen un valor s_d débil. El valor μ es elevado si se le compara con el espesor de la lámina. En cifras: una lámina bajo-teja con un film microporoso tiene, en el caso de un valor s_d de 0,02m y de un espesor de 0,50mm, un valor μ de 40.

Comparado con un aislamiento térmico de fibra (valor $\mu=1$), la lámina posee una estanqueidad a la difusión cuarenta veces superior.

Así que el agua de condensación puede también formarse sobre las láminas bajo-teja abiertas a la difusión de vapor. Éstas y las láminas de estanqueidad al aire, exteriores dejan evaporar significativamente menos humedad que la que nos indican sus magnitudes μ y s_d .

Esto es debido a la diferencia de presión incluso nula de un elemento de construcción en situaciones relacionadas con el clima. La explicación es simple: un flujo de difusión aparece siempre seguido a diferencias de presión. Si el clima es el mismo entre las dos caras (p.e. 10°C y 80% de humedad relativa del aire) no se produce ningún transporte de humedad. Solamente cuando la temperatura o la humedad relativa cambian de uno u otro lado del elemento de construcción, las moléculas quieren pasar de un lado a otro, por difusión.

En el caso de una pantalla bajo-teja o de una membrana de estanqueidad al aire exterior, no hay diferencia de temperatura en razón al poco espesor del material, de manera que se puede centrar solo sobre las diferencias de las tasas de humedad relativa del aire a uno y otro lado.

En invierno en caso de riesgo de condensaciones, estas diferencias son evidentemente débiles al nivel de la lámina cuando, sobre la cara interior de la pantalla la humedad relativa alcanza el 80% o más, del lado exterior las tasas de humedad son similares.

Aquí las membranas de estanqueidad al aire dotadas de películas funcionales monolíticas ofrecen ventajas de seguridad.

En caso de condensación sobre la cara interior de la lámina, la humedad es extraída "activamente" del elemento de construcción, por difusión a lo largo de las cadenas moleculares.

Bajo el efecto de la humedad, la resistencia a la difusión de pro clima DASAPLANO 0,01 connect, disminuye; el riesgo de formación de hielo también disminuye.

Por el contrario, con las láminas micro-porosas, la formación de agua de condensación sobre la pantalla arrastra una disminución de la capacidad de difusión.

Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

La humedad puede únicamente atravesar las láminas de manera “pasiva”, en el estado gaseoso, y el riesgo de formación de hielo es más elevado que con las láminas monolíticas.

Parte IX-D. Valoración de las influencias de la humedad.

D.1.- La formación de mohos.

Los aportes de humedad pueden entrañar un incremento en la tasa de humedad relativa del aire incluso la formación de condensación en el seno de los elementos de construcción.

En combinación con una temperatura suficientemente elevada en el sitio donde reina esta tasa de humedad aumentada, podemos ver, en caso de efecto prolongado y de fuente de alimentación apropiada, la germinación de esporas de mohos.



Éstas son consideradas como las primeras colonizadoras porque ellas pueden proliferar incluso en condiciones ambientales biológicamente desfavorables.

El criterio para una construcción amenazada por la proliferación de mohos se puede definir así:

- La temperatura es superior a 0° C (media del día).
- La tasa de humedad relativa es por tiempo prolongado superior a 90° C.
- La temperatura y la tasa de humedad relativa del aire deben mantenerse largo tiempo en este nivel.

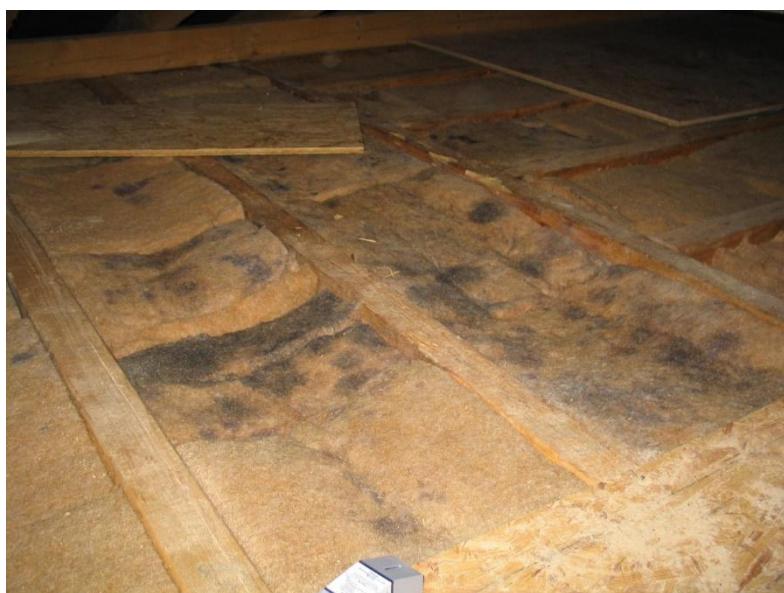
Sedlbauer y Krus indican que una tasa de humedad relativa del aire de 80% permite alcanzar las condiciones de desarrollo de casi todos los mohos que se pueden encontrar en el sector de la construcción. Según la especie, la zona óptima se sitúa entre 90 y 96% de humedad relativa del aire.

Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

La temperatura que cede al aumento de la humedad debe situarse entre 0 y 50 °C para la germinación de las esporas y/o la proliferación de mohos. La temperatura de desarrollo ideal es alrededor de 30 °C.

A esta temperatura, los mohos pueden germinar y proliferar sobre la lana mineral a partir de una tasa de humedad relativa del aire de 92%. Si la temperatura es más baja, es preciso tasas de humedad más elevadas para la colonización.

A razón de la alternancia día-noche, las temperaturas son sometidas a fluctuaciones que pueden conseguir por momentos que no sean alcanzadas las condiciones requeridas para la proliferación de mohos.



D.2.- Estudio de cuatro sistemas constructivos aplicables en la rehabilitación.

Presentamos un análisis comparativo con el programa WUFI pro[5] del Instituto Fraunhofer, con la ayuda de datos climáticos, en esta ocasión, de Paris/Bruselas.

Los cuatro casos presentan las características comunes siguientes:

1. Tejado de fuerte pendiente, de 40° orientado al Norte, con cubrición de teja gris.
2. Altura de los cabrios: 12 cm con aislamiento entre ellos con materiales en fibra:
 - a. Aislamiento absorbente (p.e. fibra de madera o celulosa).
 - b. Aislamiento no absorbente (p.e. lana mineral, de masa volumínica = 60 kg/m³).

Los aislamientos absorbentes ofrecen un beneficio de seguridad suplementario. Pueden amortiguar los picos de humedad en la construcción al nivel de las capas en su límite con el elemento contiguo.

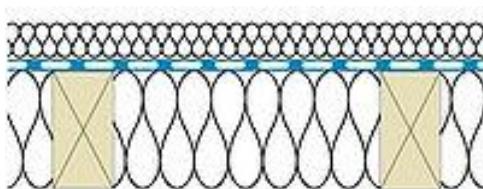
Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

Con los aislamientos de fibra de madera o de celulosa, eso se hace, por ejemplo, por absorción de la humedad en las celdas de la madera contenidas en el aislamiento.

El ambiente de clima interior está determinado con una carga de humedad normal, como la que existe en las piezas de casas habitadas (dormitorios, baños y cocina).

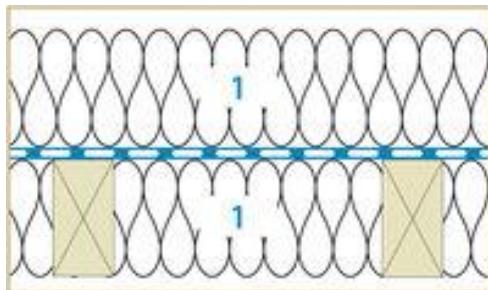
Para evaluar la influencia de la estanqueidad del revestimiento interior, los diferentes casos que presentamos son calculados con una placa de cartón-yeso de 10mm de espesor aplicada sobre toda la superficie y sin paramento interior, a fin de tener en cuenta la influencia de los defectos de estanqueidad al aire.

Caso 1: 35mm de madera a modo de aislamiento sobre cabrios.



- Fibra de madera de 35 mm
- Estanqueidad al aire abierta a la difusión ($s_d = 0,02m$)
- Aislamiento en fibra **no absorbente**, 120 mm

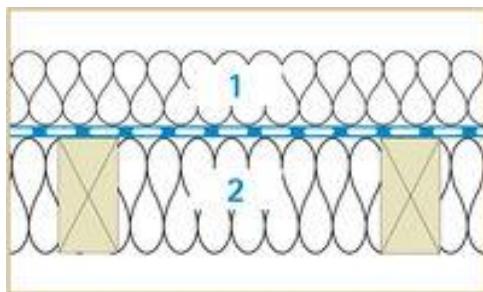
Caso 2: Estanqueidad intercalada entre 2 capas aislantes de igual espesor.



- Fibra de madera de 120 mm
- Estanqueidad al aire abierta a la difusión ($s_d = 0,02m$)
- Aislamiento de fibra **no absorbente** de 120 mm

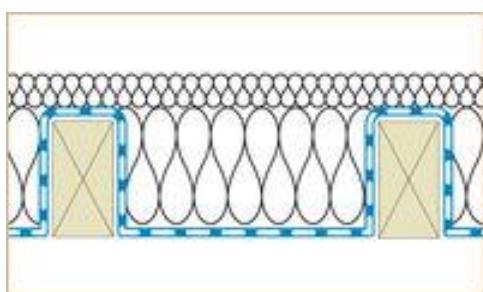
Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

Caso3: Estanqueidad intercalada entre 2 capas aislantes de distinto espesor y aislamiento absorbente.



- Fibra de madera de 60 mm
- Estanqueidad al aire abierta a la difusión ($s_d = 0,02m$)
- Aislamiento de fibra **absorbente** de 120 mm

Caso 4: Colocación de la estanqueidad en bucle, por encima del cabrio y debajo del aislamiento.



- Fibra de madera de 35 mm
- Estanqueidad al aire puesta en bucle ($s_d = \text{higrovariable entre } 0,05 \text{ y } 2,0 \text{ m}$)
- Aislamiento en fibra **no absorbente**, 120 mm

Objetivos:

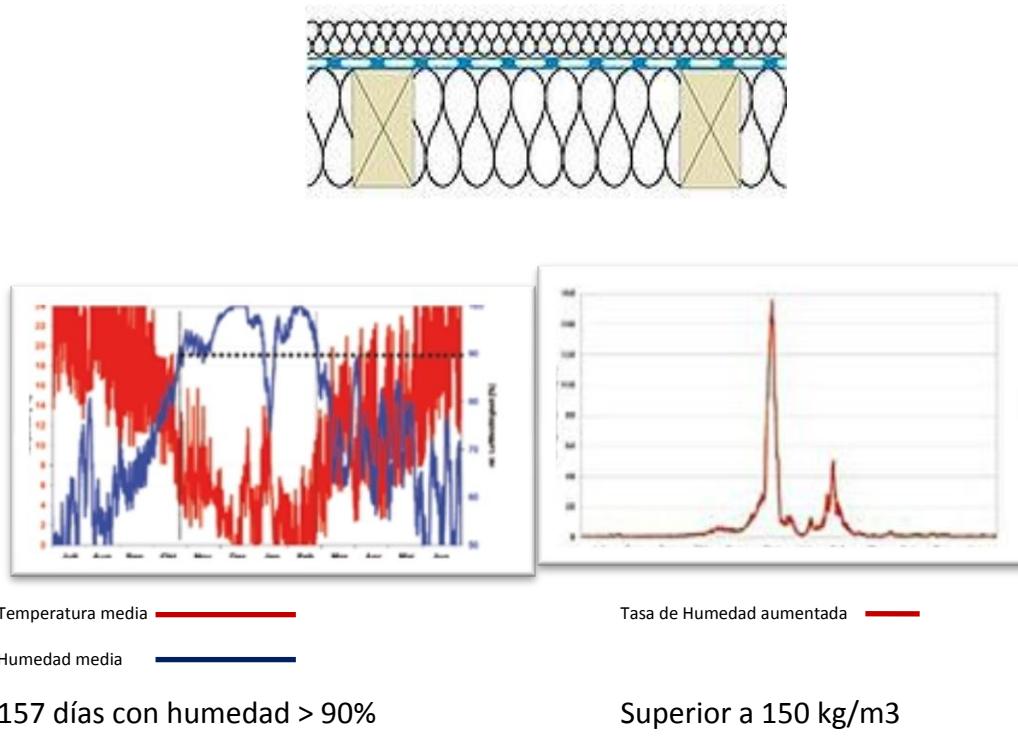
En el seno de construcciones dotadas de un aislamiento térmico, las tasas de humedad o de humedad relativa del aire más elevadas se producen en la zona límite del paso entre materiales con valores μ diferentes.

El contenido en agua del aislamiento térmico en la capa más exterior (1 mm) y la humedad relativa del aire no deberían ser superiores de manera significativa.

Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

D.3.- Resultados obtenidos del programa WUFI.

Caso 1: 35mm de madera a modo de aislamiento sobre cabrios.



En este caso se producen tasas elevadas superiores al 90 % entre el aislamiento térmico y la capa de estanqueidad exterior, durante 147 días y llegando a la formación de agua de condensación durante 15 días.

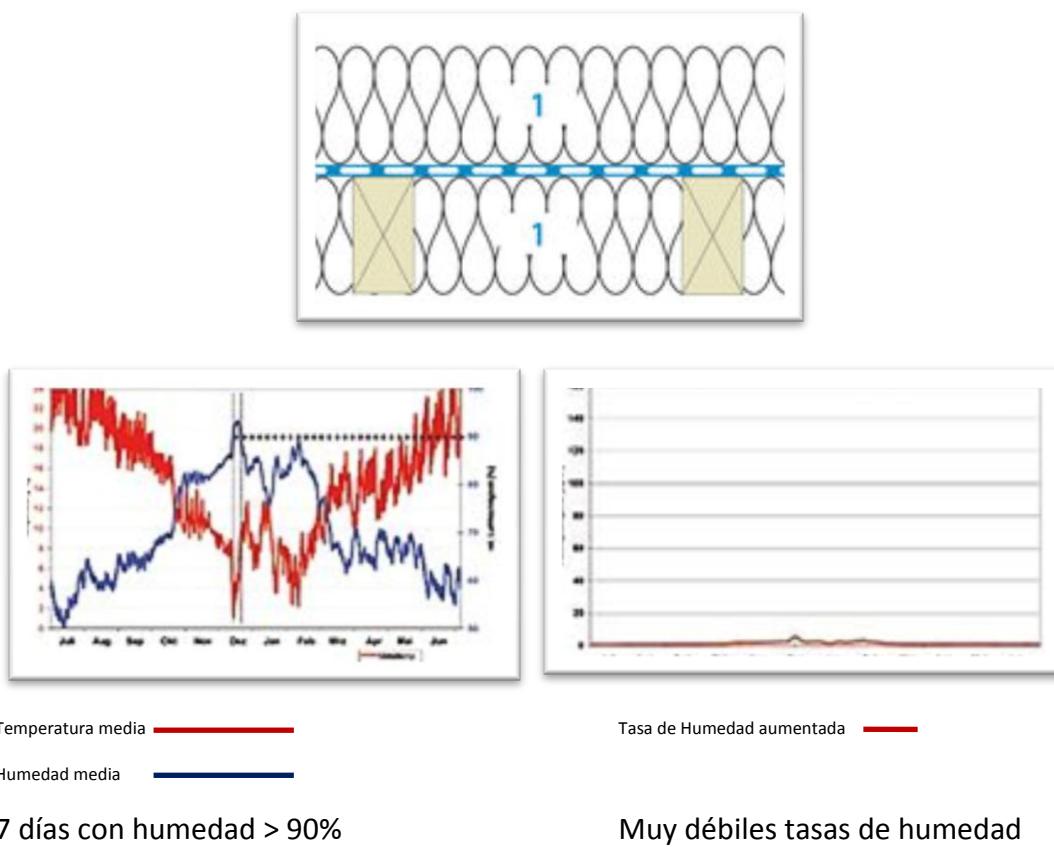
Existe, por tanto, un gran riesgo de desarrollo de mohos, puesto que hay conjuntamente muy altas humedades relativas y temperaturas por mucho tiempo superiores a 0° C.

El contenido de agua en la zona límite alcanza hasta más de 150 kg/m³.

En tal construcción con una estanqueidad al aire imperfecta (que tenga infiltraciones), hay un gran riesgo de daños en el edificio.

Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

Caso 2: Estanqueidad intercalada entre 2 capas aislantes de igual espesor.



Si el 50% del aislamiento térmico están colocados delante de la capa de estanqueidad al aire, las tasas de humedad relativa del aire superiores al 90% aparecen solamente durante una semana en el periodo de invierno.

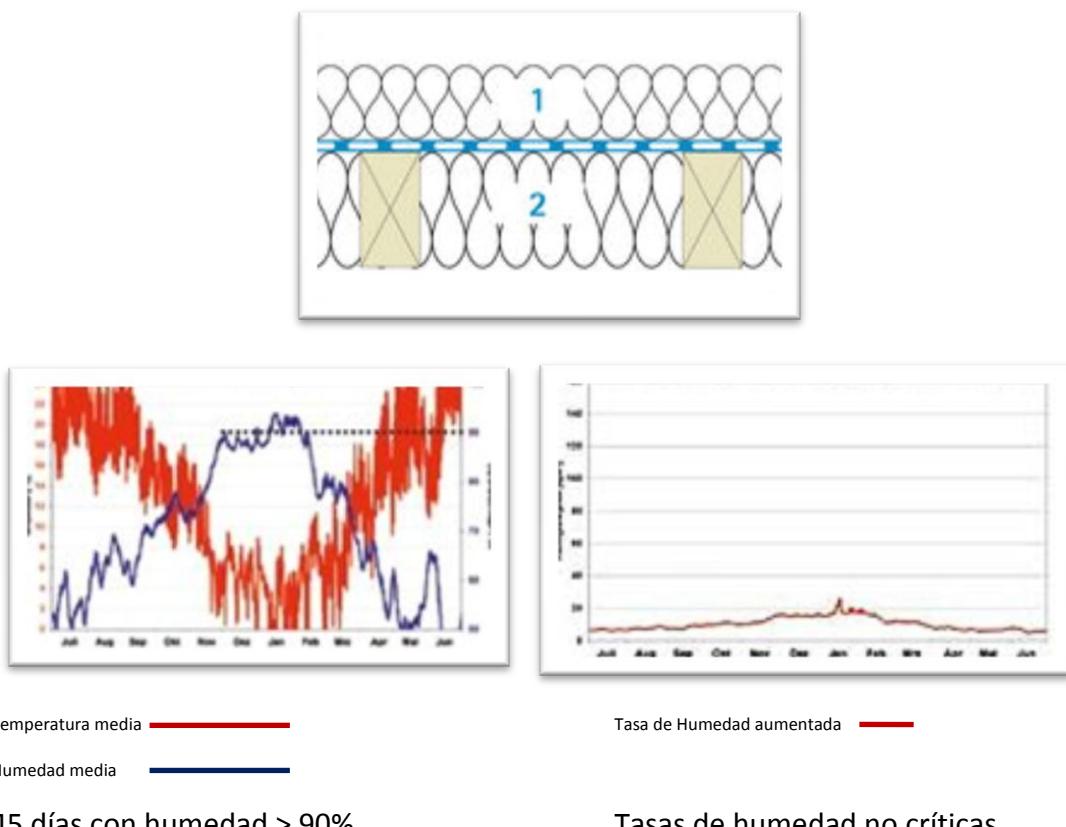
No hay ninguna formación de condensación. La zona límite no presenta ninguna acumulación de humedad determinante.

Si existe un revestimiento interior intacto (sin infiltraciones), la humedad relativa del aire en la zona límite entre el aislamiento y la membrana de estanqueidad al aire permanece inferior a 90% durante todo el año.

Según la proliferación de mohos no es posible, incluso si la capa de estanqueidad al aire interior presenta defectos.

Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

Caso 3: Estanqueidad intercalada entre 2 capas aislantes de distinto espesor y aislamiento absorbente.



Débil probabilidad de mohos con aislamiento absorbente

En caso de puesta en obra de aislantes capaces de almacenar humedad a corto plazo por absorción, es posible establecer una relación 30-70 para la proporción de aislamiento bajo teja/aislante entre cabrios.

Por esto, es preciso que los materiales aislantes posean la misma conductividad térmica. En el caso considerado, el aislamiento entre cabrios de 120 mm y el aislamiento bajo teja, están separados por una membrana de estanqueidad al aire abierta a la difusión.

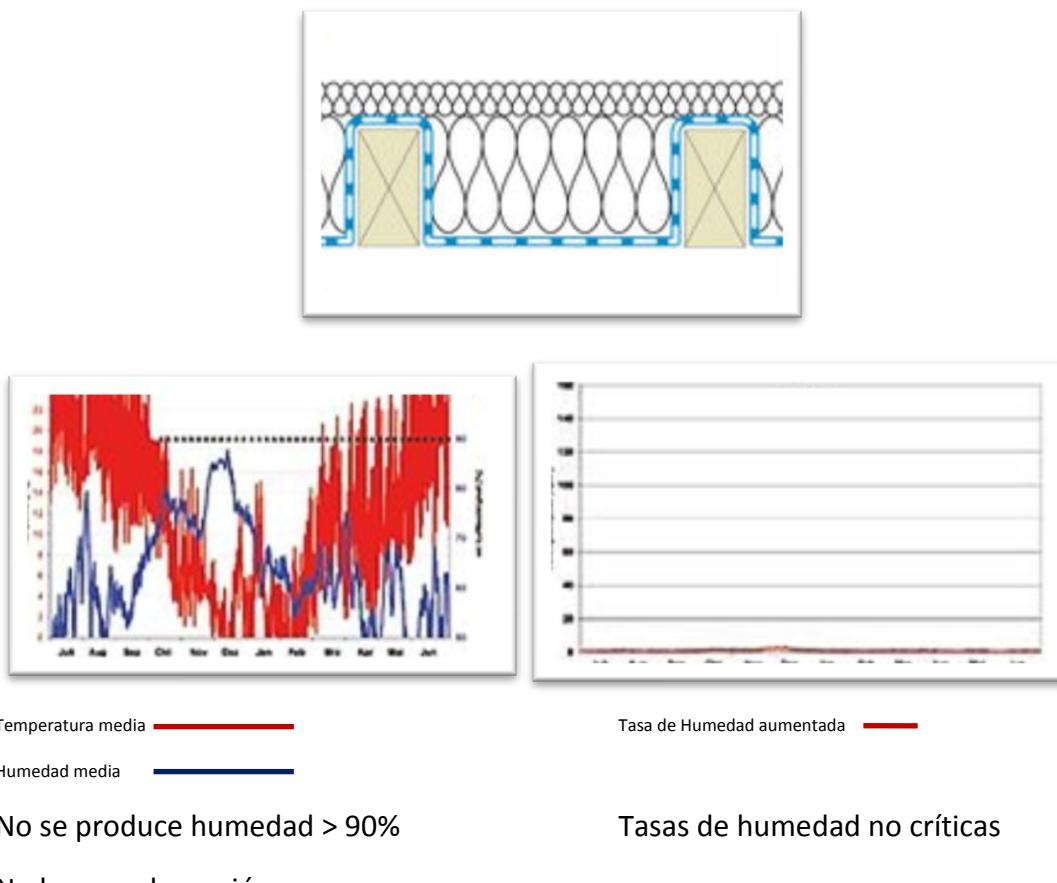
En la zona límite de esta construcción, las tasas de humedad alcanzan 90% en períodos relativamente largos y superándolo en alguna ocasión.

Gracias a las propiedades de absorción, notablemente de la celulosa o de la fibra de madera, estas tasas de humedad son tolerables. Por tanto, no resultan críticas.

Durante una rehabilitación, un aislamiento no absorbente (p.e. la lana mineral) presente en el elemento de construcción puede permanecer en la construcción si está cubierta hasta la capa de estanqueidad (no hay cámara de aire) para al menos 40 mm de espesor de material aislante absorbente en la capa superior (p.e. fibra de madera o celulosa).

Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

Caso 4: Colocación de la estanqueidad en bucle, por encima del cabrio y debajo del aislamiento.



La puesta en bucle del freno de vapor para rehabilitación DASATOP garantiza una estanqueidad al aire fiable y protege el aislamiento térmico de daños al edificio debido a tasas de humedad aumentada en todas las capas del elemento de construcción, gracias al valor s_d higrovariable.

La membrana DASATOP puede combinarse con todos los aislamientos de fibra. En este caso, la colocación de una membrana de estanqueidad al aire por encima del aislamiento entre cabrios no es necesaria.

Gracias al uso de la membrana DASATOP, las tasas de humedad en el aislamiento térmico colocado inmediatamente por debajo del panel de fibra de madera, no es nunca crítico. El pico de humedad de 85% no se sobrepasa más que brevemente en casos de temperaturas alrededor de 0° C. No habría allí ninguna tasa de humedad que pudiera entrañar daños a los materiales.

En este caso los mohos no pueden, ni germinar ni proliferar. Se ofrece así la mayor seguridad para todos los aislantes en fibra y para la construcción.

Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

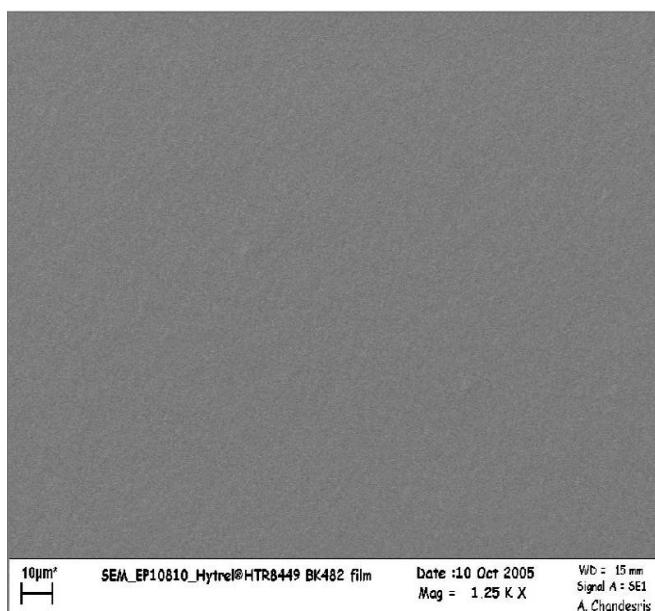
D.4.- Membranas de estanqueidad al aire con capa de funcionamiento monolítico.

Si como en la descripción del Caso nº 2 y 3, la capa de estanqueidad al aire está colocada por encima de los cabrios, conviene utilizar una membrana de estanqueidad al aire abierta a la difusión de vapor con un film de funcionamiento monolítico e higrovariable.

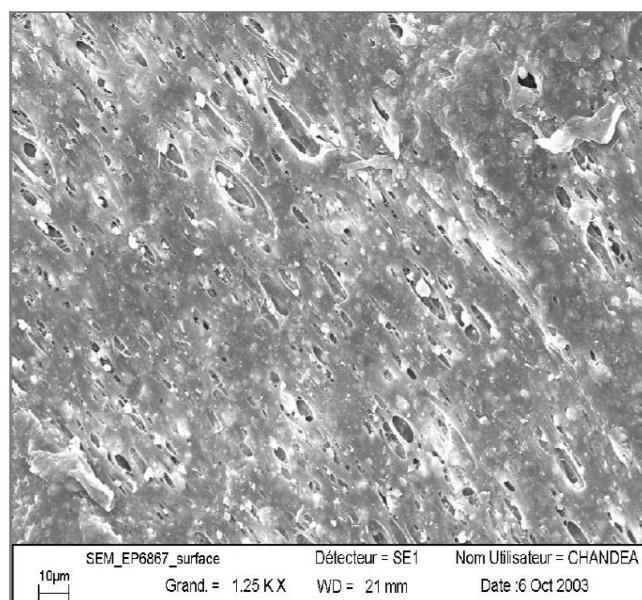
La membrana pro clima DASAPLANO dispone de un film TEEE adecuado y ofrece las siguientes ventajas para la construcción:

- **Estanqueidad al aire.**

El film de funcionamiento monolítico de la membrana DASAPLANO garantiza una estanqueidad al aire al 100%.



Contrariamente a las membranas de estanqueidad al aire convencionales con films microporosos, la membrana DASAPLANO es totalmente no porosa.

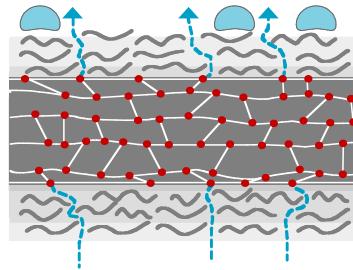


Parte IX.- La Estanqueidad al aire en la Rehabilitación

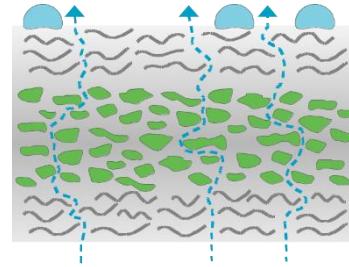
- Apertura a la difusión.

El film monolítico TEEE permite un transporte activo de la humedad a través del material de la membrana.

Si la condensación se acumula bajo forma de gotas de agua sobre la cara interna de la membrana DASAPLANO, es transportada activamente hacia el exterior a lo largo de las cadenas moleculares.



Esto reduce sensiblemente el riesgo de formación de hielo (lo que tendría un efecto para-vapor) al nivel de la membrana de estanqueidad al aire por el contrario que en una membrana de films microporosos.



- Higrovariabilidad.

El film TEEE de la membrana DASAPLANO 0,01 connect, tiene propiedades higrovariables.

Esta higrovariabilidad disminuye la resistencia a la difusión de las membranas en caso de formación de condensación hasta un valor s_d inferior a 0,01m.

Si se coloca la membrana de estanqueidad al aire por encima de los cabrios, la membrana DASAPLANO alcanza el mejor rendimiento en relación a las membranas de estanqueidad al aire microporosas.