

POSGRADO ARQUITECTURA Y SALUD - COAC – ESCOLA SERT
directora: Sonia Hernández Montaña

- TRABAJO FIN DE CURSO -
por Ana Tramontin

SALUD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

Recomendaciones para evitar la contaminación biológica
en viviendas de alta eficiencia energética Passivhaus

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

CRITERIOS DE DISEÑO DEL ESTÁNDAR PASSIVHAUS

Origen

Los principios básicos

Objetivos del Estándar

Relación del Estándar Passivhaus con los criterios de Salud

CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA

Qué es y tipos de contaminación biológica

Efectos en la salud

Factores que fomentan la contaminación biológica

Humedad

Qué es y tipo de humedades

La humedad por condensación superficial e intersticial

Cómo se mide la humedad ambiental

Valores de referencia: Humedad relativa optima

ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA

LA ENVOLVENTE TRANSPIRABLE

El equilibrio higroscópico o *moisture Bufferina*

Qué es un material higroscópico

Los materiales higroscópicos

La difusión de vapor

Qué es la difusión de vapor

Los materiales abiertos a la difusión de vapor

La difusión de vapor y la hermeticidad al paso de aire

Materiales herméticos al paso de aire y abiertos a la difusión de vapor de agua

LA ENVOLVENTE TÉRMICA

La temperatura ambiental y superficial

La transmitancia térmica

Qué es un aislamiento térmico

Materiales de aislamiento y su toxicidad

La posición del aislamiento

Inercia Térmica

Qué es la inercia térmica

Funcionamiento de la Inercia Térmica

Materiales con elevada inercia térmica

La ubicación de los materiales

LA VENTILACIÓN NATURAL

La importancia de la ventilación, ¿Porqué ventilar?

La ventilación en el estándar Passivhaus

Estrategias para una buena ventilación en las casas pasivas

¿Puedo abrir las ventanas en una Passivhaus?

Sistemas de Ventilación natural

Cuando abrir las ventanas

La ventilación nocturna

EL DISEÑO DE LOS BAÑOS Y COCINAS

La importancia de la radiación solar

Los equipamientos y su distribución

Los acabados en baños y cocinas

MANTENIMIENTO DEL EDIFICIO

Cómo saber si tengo un problema de moho

Medidas de prevención

Quehaceres diarios

Reparaciones de los daños en la construcción

Uso de Plantas

Deshumidificadores

Cómo eliminar el moho: Limpieza y productos de limpieza

CONCLUSIONES

INTRODUCCIÓN



Nos encontramos en un momento de cambio en el sector de la construcción donde la tendencia principal es hacia la alta eficiencia energética, es decir, construir edificios que tengan un bajo consumo de energía durante su vida útil.

Esta tendencia se ha visto reforzada desde el protocolo de Kyoto, dónde se estableció el acuerdo político UE 20.20.20 (20% ahorro + 20% eficiencia + 20% energías renovables). Desde entonces, la Comisión Europea ha actualizado la Directiva relativa a la eficiencia energética de los Edificios, con lo que, a partir del año 2020, todos los países de la Comunidad Europea han tenido que actualizar sus normativas desarrollando estándares de muy bajo consumo energético, lo que ha motivado que cobre aún más importancia los diferentes sellos de eficiencia energética como el estándar *Passivhaus*.

Este foco tan imperativo por hacer energéticamente eficientes nuestras viviendas hace que, en muchas ocasiones, podamos comprometer la calidad del espacio interior y a su vez poner en riesgo nuestra salud.

Como dice Elisabet Silvestre, *"Si el ambiente que envuelve al organismo es biótico, si es favorable, nos sentimos a gusto, nos hallamos en un espacio que promueve un estado óptimo de confort, bienestar y salud. Por el contrario, si el ambiente interior se encuentra repleto de factores de riesgo y de elementos tóxicos, vivir en ese espacio, incluso a dosis consideradas como bajas, puede acabar pasando factura al equilibrio del organismo."*

Por lo tanto, este trabajo quiere sumar esfuerzos y contribuir a mejorar, desde los criterios de salud, la calidad ambiental de las viviendas *Passivhaus*. El objetivo no es hacer un recorrido por todos los factores que puedan afectar y contaminar el interior de una vivienda, sino al contrario, se trata de poner en evidencia y hacer hincapié en uno de los aspectos más difíciles de solucionar en este tipo de viviendas: la contaminación biológica.

CRITERIOS DE DISEÑO DEL ESTÁNDAR PASSIVHAUS

ORIGEN

El estándar Passivhaus se creó en Alemania a finales de los años 80, por los profesores Bo Adamson, de la Universidad sueca de Lund y Wolfgang Feist del Instituto alemán de Edificación y Medio Ambiente, con la filosofía de que es posible aportar la energía necesaria para la calefacción y la refrigeración sólo a través de la ventilación de confort, un caudal de aire aproximadamente de 0,3/h, la mínima necesaria para garantizar una buena calidad del aire.

Como dice Victoria Beltran, en su trabajo sobre hermeticidad al paso de aire: *"Si en el siglo XX las instalaciones mecánicas y el uso de energías contaminantes invadieron la arquitectura para garantizar el confort de los usuarios sin considerar el impacto negativo sobre el medio ambiente de las mismas, en el siglo XXI es imprescindible que se cree una arquitectura donde los recursos pasivos y activos lleguen a un equilibrio para garantizar este confort."*

Es en este sentido que el estándar Passivhaus establece sus cinco principios básicos de diseño.

LOS PRINCIPIOS BÁSICOS

El estándar Passivhaus tiene los mismos requisitos a cumplir indiferentemente del clima. Esto no quiere decir que haya que aplicar unas mismas estrategias de diseño, pero sí se deben de seguir los cinco principios claves: alto grado de aislamiento, control riguroso de los puentes térmicos y de las infiltraciones indeseadas, carpinterías de gran calidad y ventilación mecánica a través de un recuperador de calor.

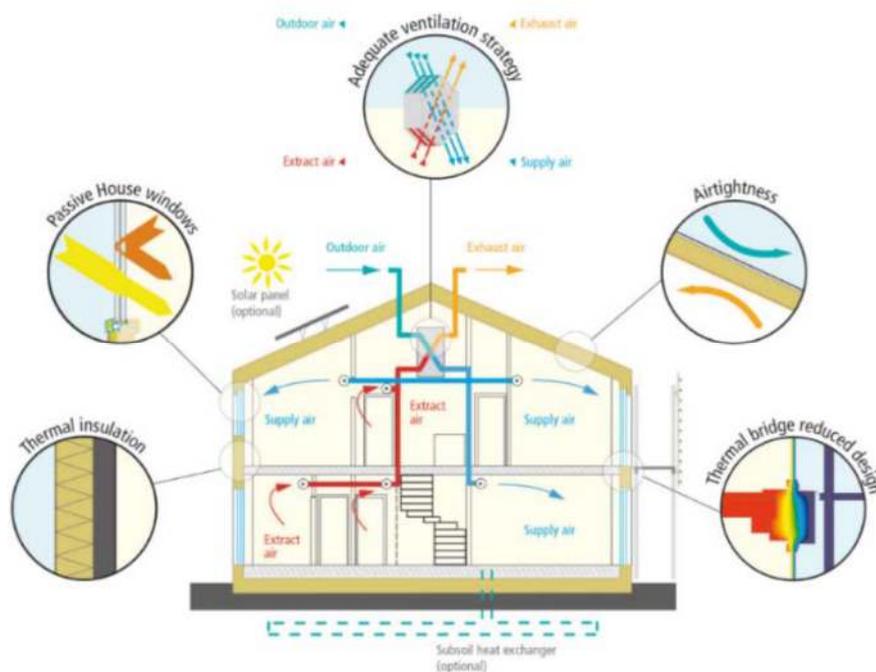


Imagen – 5 principios Passivhaus

Aislamiento térmico

La filosofía principal del estándar Passivhaus, se basa en el concepto de conservación de la energía que nunca se pierde. Por tanto, un buen aislamiento térmico es fundamental, ya que evita esta pérdida de energía, tanto en invierno como en verano.

Eliminación de los puentes térmicos

Los puentes térmicos son aquellos puntos en los que la envolvente de un edificio se debilita debido a un cambio de su composición o por el encuentro de distintos planos o elementos constructivos. Un correcto planteamiento en el diseño de un edificio permite eliminar los puentes térmicos y minimizar así las pérdidas de energía.

Ventanas de altas prestaciones

Los cerramientos acristalados son sin duda el punto más crítico de la envolvente de un edificio. Por esta razón sus secciones deben de estar muy estudiadas con dobles juntas de estanqueidad, vidrios dobles o triples bajo emisivos y que incorporen gases nobles en las cámaras con el fin de mejorar los coeficientes de transmisión térmica.

Hermeticidad al aire

En una construcción convencional, las corrientes de aire que se pueden dar a través de ventanas, huecos o grietas provocan corrientes de aire incontroladas entre el interior y exterior de la vivienda. Las infiltraciones de aire provocan desajustes en la temperatura interior que se reflejan en el consumo energético, incomodidad en el usuario y hasta condensaciones interiores, particularmente durante los períodos más fríos del año. En un edificio Passivhaus, la envolvente es lo más hermética posible logrando una eficiencia elevada del sistema de ventilación mecánica. Esto se logra cuidando al máximo la ejecución de las juntas durante la construcción.

Ventilación mecánica con recuperador de calor

El aire interior de una casa pasiva está controlado por un sistema de ventilación con recuperador de calor altamente eficiente, que lo está renovando constantemente, 24 horas 365 días al año.

En un edificio con altos niveles de hermeticidad es necesario instalar un sistema de ventilación mecánico ya que la ventilación a través de las ventanas no es suficiente para garantizar una buena renovación del aire interior. El recuperador de calor aprovecha hasta un 95% de la energía contenida en el aire de expulsión, transfiriéndolo al aire de impulsión, de tal manera que si el aire interior se encuentra a 20°C y el exterior a -10°C se consigue que este último entre a una temperatura de 16,5°C.

OBJETIVOS DEL ESTÁNDAR

El objetivo del estándar Passivhaus es limitar la demanda de energía a 15KWh/m²a para calefacción y a 15Kwh/m²a para refrigeración.

La estanqueidad del aire se debe comprobar mediante un test de presurización *Blower Door*, que consiste en crear una diferencia de presión entre interior y exterior a través de un ventilador colocado en la puerta principal y que confirme un valor no superior a 0,6 renovaciones por hora con una presión/depresión de 50 pascales.

La energía primaria total demandada por el edificio (toda, incluyendo la climatización, la iluminación, los electrodomésticos, ordenadores, etc) no debe superar los 120KWh/m²a.

Este estándar no supone el uso de un tipo de material o estilo arquitectónico específicos sino la optimización de los recursos existentes a través de los criterios descritos anteriormente para llegar a demandas energéticas muy bajas y un confort climático alto.

Relación del estándar Passivhaus con los criterios de Salud

Según el libro *Tu casa sin tóxicos* de Elisabet Silvestre, vivir en un entorno saludable es, en definitiva, fuente de salud, mientras que vivir en un entorno con presencia de factores que pueden actuar a modo de tóxicos para el organismo puede acabar afectando seriamente a nuestro bienestar y complicarnos la existencia más allá de lo estrictamente necesario.

Por esta razón, aprender a reconocer las fuentes de riesgo para el organismo es el primer paso para poder mejorar el confort, el bienestar y la salud de los usuarios de una vivienda.

Son múltiples los agentes que pueden contaminar el ambiente de una casa y que pueden producir algún efecto adverso en el organismo, alterando los equilibrios vitales y mermando la salud. Pueden presentarse bajo estados gaseosos, líquidos, sólidos o incluso en forma de ondas electromagnéticas, algunos se hacen muy visibles a través de su olor penetrante, como el formaldehído procedente de muebles hechos con aglomerado o contrachapado, otros pasan completamente desapercibidos por los sentidos, como el inodoro e insípido monóxido de carbono o el radiactivo gas radón que emana del subsuelo de la vivienda.

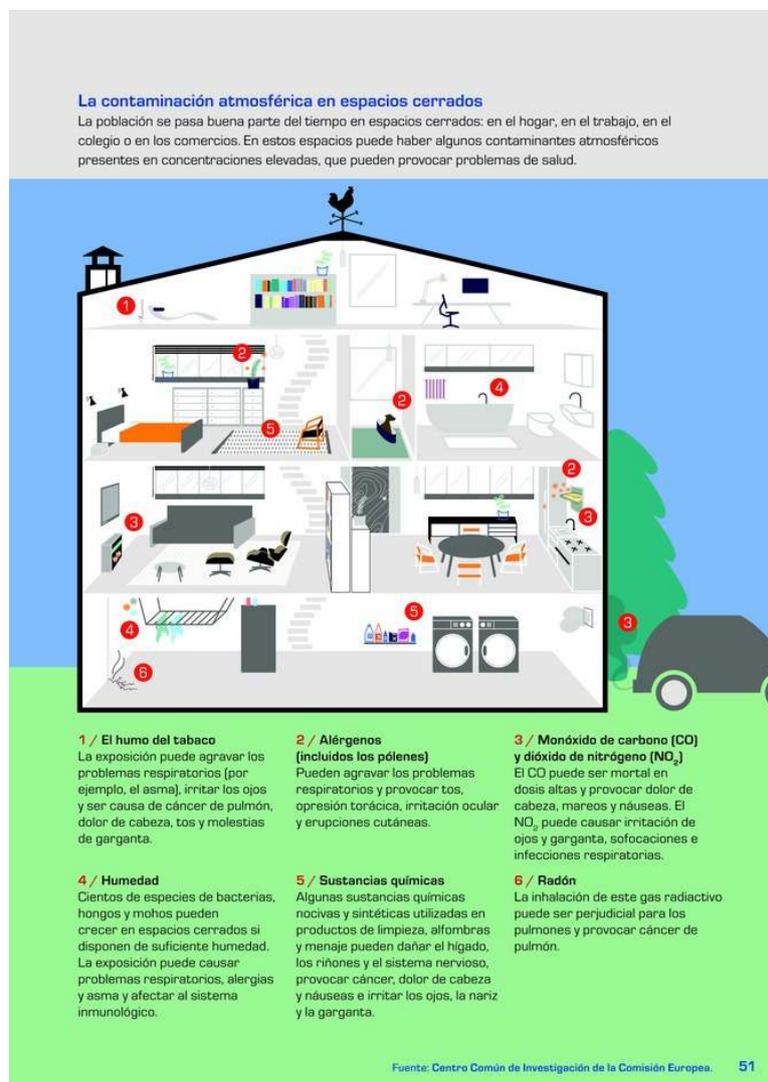


Imagen – contaminación en espacios interiores

Según Silvestre, dada la complejidad del problema, una buena forma de aproximarnos al conocimiento de los agentes ambientales de riesgo para la salud consiste en agruparlos según su naturaleza, distinguiendo tres grupos básicos: los agentes biológicos, los agentes químicos y los agentes físicos.

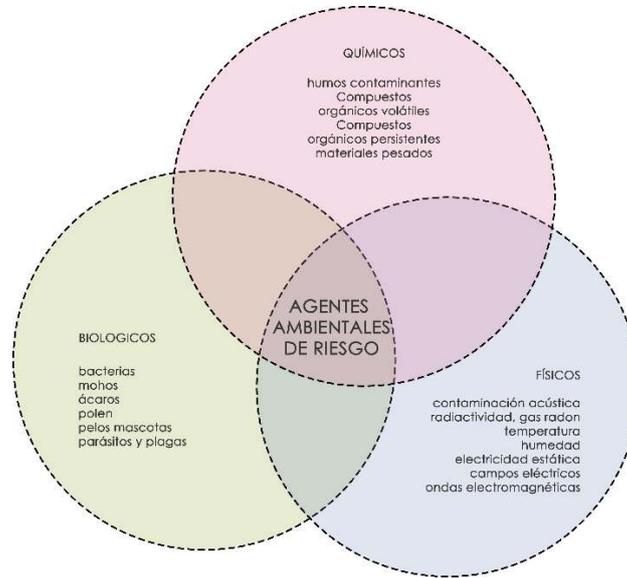


Imagen – clasificación de los agentes ambientales de riesgo.

Si comparamos los criterios de eficiencia energética de Passivhaus con los de salud podemos identificar puntos en común. Es verdad que las estrategias de diseño, en una casa pasiva visan en primer orden minimizar la pérdida de energía, pero muchas de ellas contribuyen también indirectamente al confort y la salubridad del espacio interior.

Por ejemplo, a pesar de no ser uno de los Principios Passivhaus, la contaminación acústica en estas casas suele ser muy inferiores a la que podemos encontrar en una construcción tradicional. Por otro lado, el confort térmico, es un tema tratado en este tipo de vivienda puesto que tiene relación directa con las pérdidas y ganancias de energía. Los cálculos referentes a los criterios de higiene *Frsi* es de obligado cumplimiento y ayudan a reducir la presencia de hongos, levaduras y bacterias. Y la exigencia de utilizar una ventilación mecánica controlada con recuperador de calor, dispone de filtros que ayudan a controlar la calidad del aire interior.

Otros criterios de salud como por ejemplo la contaminación por los campos electromagnéticos o por agentes químicos como los compuestos orgánicos persistentes no son tratados de ningún modo en este tipo de viviendas, pero es posible aplicarlos y son más sencillos de solucionar. Simplemente es una cuestión del proyectista combinar este estándar con los criterios de salud a fin de lograr espacios más saludables.

Sin embargo, aunque muchos criterios de salud puedan ser incorporados a estas viviendas o incluso algunos son de cierto modo tratado, la verdad es que el gran problema de estas viviendas consiste en qué debido a la alta hermeticidad unido a un sistema de ventilación mecánico, implica una mayor dificultad para controlar la contaminación por agentes biológicos o incluso por la radiactividad natural cuando estas viviendas son construidas en zonas geográficas con altos niveles de gas radón.

Por esta razón, es necesario, revisar estos criterios y tomar consciencia de cómo estos nuevos sistemas constructivos tienen un impacto sobre la salud de sus usuarios. Debemos de potenciar un diseño de viviendas que sume esfuerzos, pero siempre teniendo en cuenta que los criterios de salud deben de prevalecer sobre los demás. Sólo de esto modo, lograremos una construcción saludable y respetuosa con el medio ambiente

CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA

Que es y tipos de contaminación biológica

Los contaminantes biológicos son microorganismos vivos, generalmente invisibles, cómo las levaduras, bacterias, ácaros, hongos, mohos tóxicos (sirve de comida para ácaro – excrementos de los ácaros) que se desarrollan en las viviendas y contaminan el aire interior que respiramos. Aunque no todos generan micotoxinas peligrosas, es mejor evitar tenerlos en casa.

Los tipos más comunes son los hongos y los mohos. (*Cladosporium*, *Penicillium* y *Aspergillus*.) Estos organismos mono-celulares no necesitan de la energía proveniente de la luz para crecer. Los hongos producen grandes cantidades de esporas microscópicas que están siempre presentes en el ambiente y que se esparcen mediante corrientes de aire. A menudo repelen el agua y son resistentes a la desecación. El frío y/o el calor extremo pueden destruirlos.

Sin embargo, las esporas germinan cuando encuentran un ambiente favorable, sin embargo, lo que constituye un ambiente favorable varía para cada especie. Después de alojarse en el material receptor, las esporas deben contar con la humedad suficiente para germinar y alimentarse. De no haber humedad, las esporas permanecerán inactivas hasta que se presenten las condiciones más favorables para su desarrollo.

TIPOS DE HONGOS Y MOHOS EN LA CASA

En el interior de una vivienda podemos encontrar con más frecuencia estos tipos de hongos y mohos:

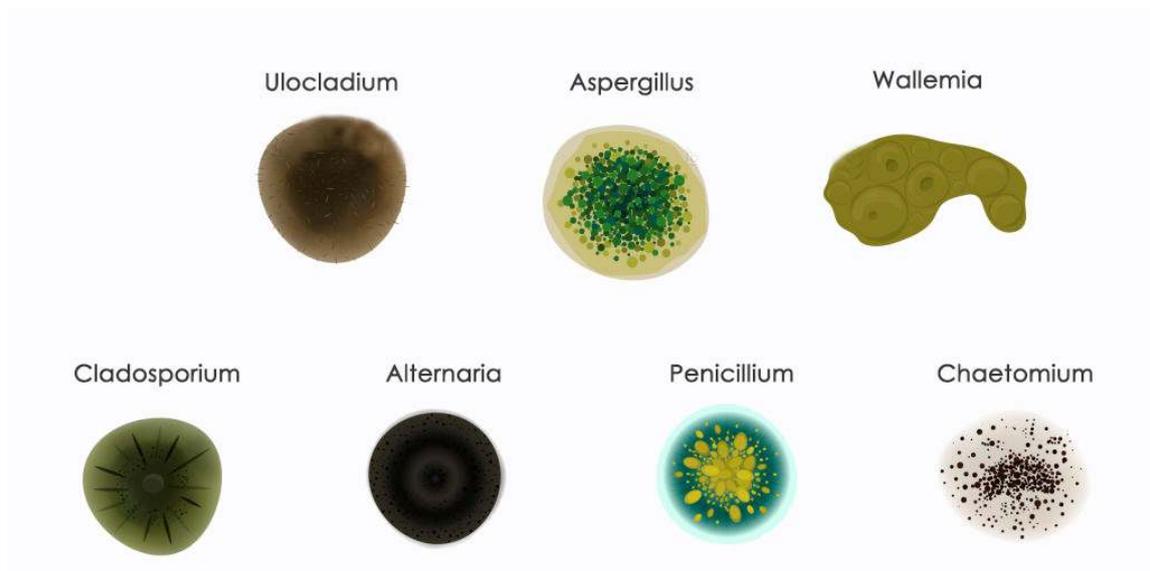


Imagen – tipo de hongos y mohos

ALTERNARIA

El moho Alternaria, como la gran mayoría, crece en espacios húmedos, prefieren las duchas o debajo de los fregaderos con tuberías que pierden algo de líquido. Este moho se desarrolla bien en las alfombras o moquetas, si se han quedado húmedas durante un cierto tiempo.

Hay que secar bien la alfombrilla del baño porque aunque parezca lo contrario, este moho, también puede crecer en lugares con una humedad mínima. Puede vivir tanto en el exterior como en el interior y se propaga con mucha facilidad hasta el punto de causar a menudo síntomas de alergia y facilita el desarrollo de asma.

La gente mayor, los niños más pequeños, las personas con problemas respiratorios comunes y aquellos con inmunosupresión (como las personas con VIH o aquellos sometidos a quimioterapia) son los que están en mayor medida más expuestos al riesgo de problemas de salud por el moho Alternaria.

CLADOSPORIUM

El moho Cladosporium crece bien en superficies de madera y ropas, como las alfombras. También lo puedes encontrar al aire libre, donde hace su vida principalmente sobre materias vegetales. Acostumbra a entrar en casa a través de los sistemas de climatización o con mucha facilidad al ventilar con las ventanas o puertas abiertas. Los mohos Cladosporium causan principalmente problemas en la piel y uñas, al mismo tiempo que problemas respiratorios. Este moho puede provocar cualquier problema respiratorio habitual de todos los relacionados con el moho, pero se le conoce más por las infecciones del tracto respiratorio superior, diversas reacciones alérgicas, picor en los ojos que nos generan tos, estornudos y más o menos secreción nasal.

PENICILLIUM

El hongo Penicillium se encuentra con frecuencia en materiales típicos para formar el aislamiento de la casa También coloniza las alfombras, vive sobre o detrás del papel pintado y se reproduce mucho sobre telas podridas (colchones viejos, trapos abandonados, cojines del sofá desechados, etc). Su transmisión es rápida y fácil de un lugar a otro. Este moho es, en realidad, la sustancia de la que está hecho el antibiótico de la penicilina, uno de los más comunes de todos los diferentes tipos de moho. Sin embargo, su uso en la industria farmacéutica no significa que sea inofensivo para las personas. Estar expuesto al moho Penicillium puede conllevar síntomas de la alergia o a la inflamación de los pulmones. Cuidadito con él.

STACHYBOTRYS CHARTARUM

A este moho se le conoce a veces como «moho negro». Esto es debido a su aspecto gomoso blando negro, o quizás de un azul muy, muy oscuro. Por lo general crece en lugares con humedad que se mantiene continua, como alrededor de tuberías con fugas, en superficies frías de la casa que condensan a diario o en los conductos del aire acondicionado en que a veces se producen situaciones o contrastes térmicos que generan gran cantidad de condensación.

Sin embargo, se puede extender y formar colonias a otras zonas muy distintas de la casa. De todos los tipos de moho existentes en el catálogo de especies, el **Stachybotrys chartarum** o moho negro, es quizás el que está asociado con un mayor número de problemas de salud.

Efectos en la salud - ¿Cómo nos afecta?

La contaminación biológica del aire interior de las viviendas constituye una importante causa de enfermedades y malestar frecuente. Las reacciones alérgicas pueden ir desde levemente incómodas hasta peligros de vida, como en el caso de un ataque de asma severo o incluso desarrollar la enfermedad llamada aspergilosis. Una enfermedad infecciosa que afecta a pulmones y menos frecuentemente a los senos paranasales, sistema nervioso central, ojos o la membrana que tapiza el corazón (endocardio).

Las reacciones alérgicas solo ocurren luego de sucesivas exposiciones a un alérgeno biológico específico. Sin embargo, la reacción puede ocurrir inmediatamente después de una nueva exposición, o después de varias exposiciones en el tiempo. Como resultado de esto, gente que ha tenido solo algunas suaves reacciones alérgicas, o no haber tenido ningún tipo de reacción, pueden transformarse en muy sensibles a algunos alérgenos en particular.

En el 2004, el Instituto de Medicina (IOM) halló que había suficiente evidencia para relacionar la exposición al moho en espacios interiores con síntomas de afecciones en el aparato respiratorio superior, tos y sibilancias en personas que, fuera de eso, eran sanas; con síntomas de asma en personas que tenían esta enfermedad, y con la neumonitis por hipersensibilidad en personas con predisposición a esa afección inmunitaria.

En el 2009, la Organización Mundial de la Salud emitió directrices adicionales en la Guía de la OMS para la calidad del aire en interiores: Humedad y moho. Otros estudios recientes parecerían indicar una relación potencial entre la exposición temprana al moho y la aparición del asma en algunos niños, especialmente en aquellos que son propensos a presentarlo, y que intervenciones específicas que mejoran las condiciones de vivienda pueden reducir la morbilidad del asma y de las alergias respiratorias.

La combinación de estos agentes puede generar una serie de efectos nocivos en las personas, tales como: Ojos llorosos, moqueo y estornudos, congestión nasal, picazón, tos, respiración ruidosa y dificultad para respirar, dolor de cabeza y fatiga.

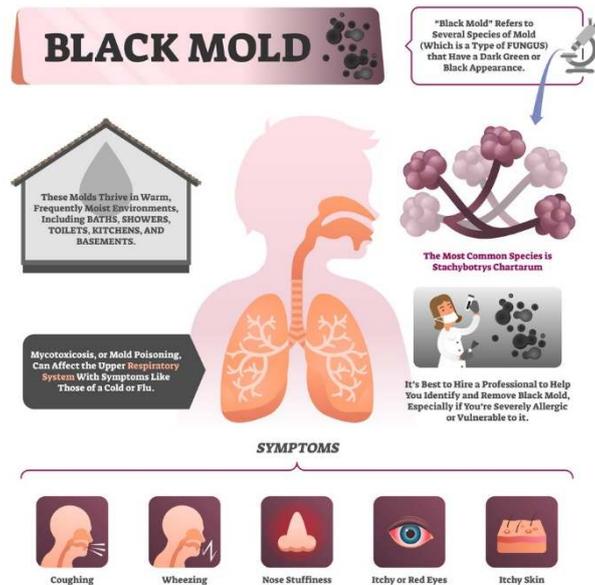


Imagen – efectos en la salud

Todos estamos expuestos a los contaminantes biológicos. Sin embargo, los efectos sobre nuestra salud dependen del tipo y cantidad de contaminación biológica y de cada persona individualmente. Los niños, embarazadas y ancianos, y quienes sufren de problemas respiratorios, alergias y enfermedades pulmonares son especialmente susceptibles a los agentes biológicos causantes de enfermedades en ambientes interiores.

Factores que fomentan la contaminación biológica

Varios son los factores que permiten que los agentes biológicos crezcan y se liberen al aire, cómo la **humedad relativa elevada** (propia de climas cálidos y lluviosos), los espacios con deficiente ventilación natural e insolación, los nutrientes, presencia de contaminantes químicos, exceso de electrostática, la falta de limpieza, entre otros.

En definitiva, siempre cuando nos encontramos con un ambiente interior desequilibrado, tendremos contaminación biológica en nuestras viviendas. No obstante, se ha demostrado que la principal clave para evitar la propagación de los contaminantes biológicos, sobre todo del moho tóxico, es eliminar o controlar las fuentes de **humedad** en el interior de la vivienda y es en este aspecto que se centrará este trabajo.

LA HUMEDAD

Para entender cómo podemos minimizar la contaminación biológica, es importante comprender el comportamiento de la humedad en las viviendas, ya que como se ha comentado en el apartado anterior, se trata de la principal causa de la aparición de microorganismos que pueden tener efectos adversos en nuestra salud.

QUE ES Y TIPOS DE HUMEDAD

La humedad (agua líquida) o vapor de agua, se presenta de varias formas en las viviendas: hay humedad del suelo producida en terrenos con malos drenajes, humedad de construcción que es la que queda atrapada durante el proceso constructivo, humedad de lluvia cuando ésta, con el viento, azota los muros y fachadas, humedades accidentales causadas por fugas de agua y, finalmente, la molesta humedad de condensación que ocurre en muros, ventanas y techos.

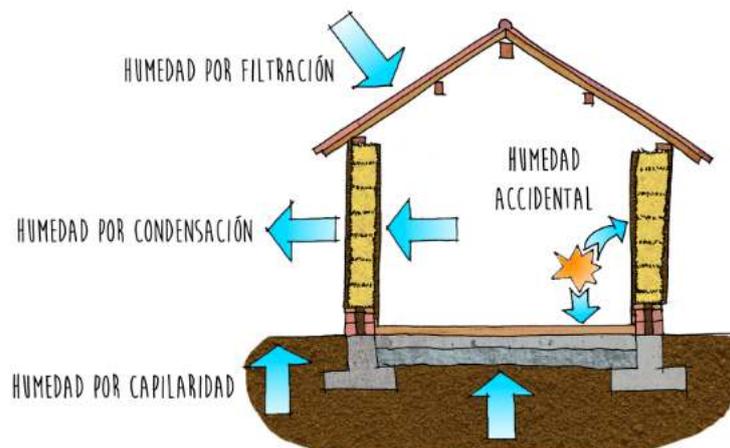


Imagen – Tipos de humedades

Esta última, humedad por condensación, es la más difícil de controlar y será el foco de atención en este trabajo, puesto que como hemos explicado anteriormente, la tendencia actual hacia la alta eficiencia energética, tiende a hacer edificios cada vez más herméticos y esto incrementa la humedad relativa interior y consecuentemente fomenta patologías como las **humedades por condensación**.

Qué es la HUMEDAD POR CONDENSACIÓN

La condensación es el fenómeno por el cual el vapor de agua (gas) contenido en el aire pasa del estado gaseoso al líquido y para ello el vapor de agua necesita desprender energía (reacción exotérmica). El vapor de agua o humedad ambiental no es dañino para los materiales, pero el agua líquida sí lo es como anteriormente se ha explicado.

Para entender de buena manera este proceso es necesario comprender los fenómenos de humedad del aire y los conceptos de humedad absoluta, relativa y punto de rocío.

“Humedad absoluta” es la cantidad de vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire en un cierto ambiente, se expresa en gramos de agua por metro cúbico de aire seco. Cuando el aire ya no puede admitir más vapor de agua a una determinada temperatura se dice que está saturado. A la relación porcentual entre la humedad absoluta y la saturada se le llama “humedad relativa”, como se verá con mayor detalle más adelante. Si se tiene una cierta cantidad de vapor de agua en el ambiente a una cierta temperatura, el “punto de rocío” viene a ser aquella temperatura máxima a la cual el ambiente se satura de vapor de agua, por tanto mientras la temperatura del aire se mantenga sobre la de rocío no habrá condensación, no obstante, si la temperatura del aire baja habrá condensación.

Este tipo de humedad por condensación superficial se produce cuando la temperatura de algún elemento (pared, pilar, vidrio, etc.) es inferior al punto de rocío del ambiente. Por lo general este fenómeno se produce en invierno y se aprecia en superficies frías, tales como cristales y metales.

Sin embargo, la condensación también puede generarse en los intersticios, entonces no es posible verla. Este fenómeno no sólo depende de la temperatura, sino también de la presión del vapor de agua, así cuando la temperatura baja o la presión de vapor aumenta, la posibilidad de que se produzca condensación se incrementará.

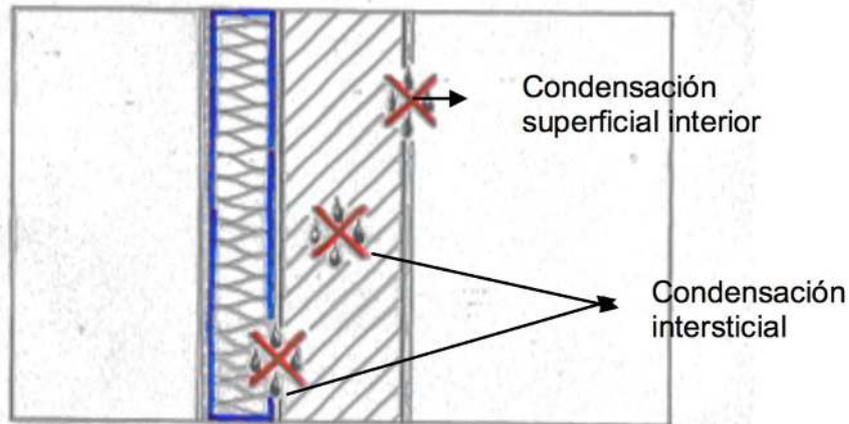


Imagen – humedad por condensación

Fuentes que generan la humedad por condensación

La condensación, tanto superficial como intersticial, se genera por la combinación de tres factores:

1. Baja temperatura exterior: la menor temperatura exterior se produce generalmente a la salida del sol en invierno, de preferencia en los muros con orientación norte. Estos son más propensos a la condensación debido a que reciben menos radiación del sol.
2. Baja resistencia térmica de los elementos envolventes tales como muros, rincones, esquinas, ventanas, antepechos, puentes térmicos, detrás de muebles, entre otros elementos que presenten una alta transmitancia térmica.
3. Alta humedad relativa en el aire interior que puede tener su origen en el exceso de personas o en la alta actividad física de ellas, uso de calefacción húmeda, falta de extractores en el baño y

cocina, lavado, secado y planchado de ropa al interior de la casa, exceso de plantas o falta de ventilación.

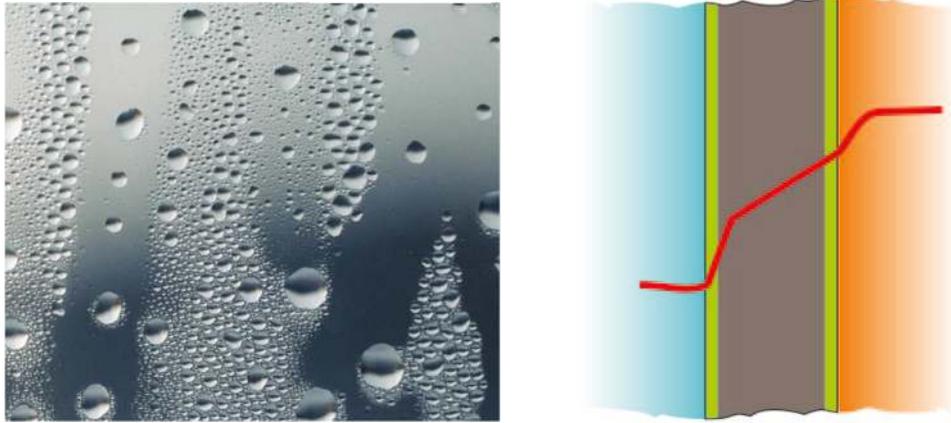


Imagen – humedad por condensación superficial e intersticial

¿CÓMO SE MIDE LA HUMEDAD AMBIENTAL?

Para resumir, la humedad ambiental, se puede medir mediante la humedad absoluta o mediante la humedad relativa.

La **humedad absoluta** mide la cantidad de vapor de agua por unidad de volumen de aire (kg/m³).

Y la **humedad relativa** o grado de humedad es la relación porcentual entre la cantidad de vapor de agua real en el aire y la que tendría que contener para saturarse a idéntica temperatura y presión (la máxima que puede contener).

VALORES DE REFERENCIA: HUMEDAD RELATIVA OPTIMA

Mantener un nivel adecuado de humedad relativa permite mantener el confort térmico y reducir el riesgo de aparición de infecciones respiratorias y de alergias.

Según diversos estudios, como el publicado en el *Environmental Health Perspectives*, los valores de humedad recomendables para interiores deben estar entre el 40% y 60% de humedad relativa. Dos son los motivos:

- La supervivencia de bacterias y virus infecciosos transmitidos por el aire (como la bronquiolitis, el catarro o la gripe) se reduce al exponerse a humedades relativas entre 40 y 70%.
- Las poblaciones de ácaros y hongos se minimiza cuando la humedad relativa está por debajo del 50% y alcanzan un máximo de un 80% de humedad relativa. Y la mayoría de los hongos no pueden crecer por debajo de un 60% de humedad relativa.

Por tanto, la mayoría de los efectos adversos para la salud causados por la humedad se minimizarían manteniendo los niveles interiores entre 40 y 60%.

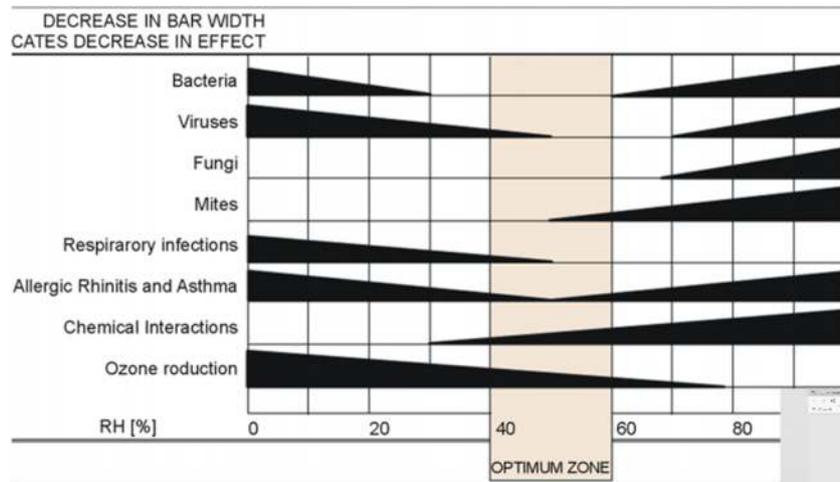


Imagen – niveles de humedad relativa optima

CRITERIOS DE DISEÑO

¿Cómo controlar la humedad relativa en el interior de las viviendas y evitar la contaminación biológica?

Como bien informa el estudio realizado por EPA, sobre la calidad del aire interior, no hay una forma efectiva de eliminar totalmente el moho o sus esporas del ambiente interior, pues algunas esporas seguirán siempre flotando en el aire y en el polvo de la casa. Sin embargo, las esporas no crecerán siempre que la humedad relativa del ambiente interior esté controlada.

Como se ha comentado en los apartados anteriores, la contaminación biológica es uno de los principales problemas de las viviendas construidas bajo el estándar de eficiencia energética, puesto que para evitar las pérdidas de energía se utilizan estrategias que generan espacios muy herméticos y aunque exista un control de cumplimiento de higiene obligatorio para la certificación Passivhaus, es muy fácil que, en este tipo de viviendas, la tasa de humedad relativa quede comprometida, con valores muy altos o al contrario muy bajos generando espacios secos y poco cómodos, comprometiendo la salud del usuario.

Por esta razón, aunque los criterios de Passivhaus garanticen unos mínimos de higiene, debemos de tener en cuenta ciertos aspectos de diseño que pueden contribuir a mejorar aún más la calidad de estos espacios.

A continuación, se ha reunido información técnica sobre cómo podemos evitar el crecimiento de microorganismos en el interior de las viviendas, estableciendo directrices de diseño que se presentan en cinco apartados: envolvente transpirable, envolvente térmica, sistemas de ventilación, mantenimiento de la vivienda y el diseño del baño y la cocina.

ESTRATEGIA 01

La envolvente transpirable

Antiguamente, la envolvente de los edificios tenía cómo mucho dos o tres capas de materiales, incluso en muchas ocasiones solo una. Eran sistemas constructivos mucho más simples y los materiales al ser naturales (piedra, ladrillo, adobe, revoco de cal), no presentaban tantos problemas de transpirabilidad.

Los tiempos han cambiado, los sistemas de construcción se han transformado y hoy en día existen infinidad de soluciones, la mayoría de ellas más complicadas, con multitud de capas diferentes. Estos sistemas de construcción se denominan como "multicapas", donde cada material que compone esta estructura tiene unas características físicas concretas, que bien utilizadas pueden ir mucho más allá que una mera barrera de protección o aislamiento entre interior y exterior.

La envolvente de una vivienda debería, entre otras cosas, funcionar más bien como la piel humana, una **estructura transpirable**, que por un lado, interactúa con el aire interior y equilibra los niveles de humedad, y por otro logra transportar y expulsar el vapor de agua del interior al exterior. De este modo, lograremos equilibrar la humedad relativa interior y evitar la condensación dentro de los edificios y la aparición de microorganismos.

EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO o *Moisture Buffering*

Si nuestro objetivo es amortiguar las variaciones de humedad relativa del aire interior de una vivienda, entonces es fundamental que se utilicen **materiales higroscópicos**, tanto en la envolvente del edificio como en cualquier mobiliario de su interior.

¿QUÉ ES UN MATERIAL HIGROSCÓPICO?

Un material higroscópico es aquel que tiene la capacidad de absorber o emitir humedad al aire, logrando equilibrar los niveles de humedad o *Moisture Buffering* en los ambientes interiores.

Cuando la humedad se eleve en el recinto, el material higroscópico en contacto directo con el aire interior, comenzará a absorber agua por sus poros y lentamente se transferirá por ejemplo hacia la profundidad de la pared. Dicha transferencia finalizará cuando el material alcance el equilibrio en el contenido de humedad con el aire interior del recinto. Por lo tanto, la capacidad de intercambio de humedad de un material poroso no sólo depende de su capacidad para almacenar agua, sino también de su capacidad para transportar dicho vapor de agua desde/hacia su interior, es decir, de la resistencia a la difusión del agua en la matriz porosa.

Todos los materiales que componen el interior de una vivienda tienen un papel importante en el equilibrio de la humedad relativa y consecuentemente en la aparición de microorganismos. Por ejemplo, el revestimiento de los muebles, colchas, edredones, almohadas y demás enseres habituales de decoración juegan un papel importante en la comprensión de los factores que determinan las condiciones para la supervivencia de ácaros del polvo doméstico, una causa común de alergia, mientras que los riegos de crecimientos biológicos como mohos en las paredes, dependerá de la elección de los materiales superficiales interiores de la envolvente.

Sin embargo, es importante resaltar que son apenas los primeros 2-3cm superficiales los que influyen inmediatamente en la humedad atmosférica de los espacios. Por esta razón, en este caso, lo más importante será que los materiales de acabados y revestimiento tengan capacidades higroscópicas.

LOS MATERIALES HIGROSCOPICOS

Los materiales de construcción, al contacto con aire húmedo, se pueden clasificar en higroscópicos y no higroscópicos, según su capacidad de almacenar humedad en los poros. Todos los materiales de construcción comunes son porosos. El volumen de poros ocupa desde en torno al 0,5% del volumen bruto en el caso del granito, hasta el 95% en la lana mineral.

El instituto de bioconstrucción Alemán IBN, realizó unas pruebas sobre absorción de vapor de agua de los materiales más usados para acabados, que se reflejan en la siguiente tabla y nos sirven de referencia a la hora de elegir un material:

Tabla - absorción de vapor de agua por distintos materiales en un periodo de 3 horas después de incrementar la humedad atmosférica del 40 al 80%.

Revoque de cal con	
Pintura oleosa	2 g/m ²
Yeso en emulsión	3 g/m ²
Pintura de látex	9 g/m ²
Sin tratar	13 g/m ²
Pintura a cal	15 g/m ²
Pintura a base de cola (al temple)	17 g/m ²
Papel pintado (170g/m ²)	34 g/m ²
Recubrimiento fibra cruda	41 g/m ²
Fibra de coco	58 g/m ²
Pita	63 g/m ²
Barro	
Revoque de barro sin tratar (20mm)	30 g/m ²
Revestimiento de suelo	
Papeles pintados lavables PVC y poliéster	0-2 g/m ²
Tablones de abeto rojo de 20mm	33 g/m ²
Papeles pintados sobre	
Revoque de cal blanco	33 g/m ²
Tablero de fibra dura	44 g/m ²
Placa de cartón - yeso	47 g/m ²
Tablero blando de fibra de madera	80 g/m ²
Alfombras y moquetas	
Fibra sintética	26 g/m ²

Lana	52 g/m ²
Tejido de pelo	61 g/m ²

* Fuente: arkialbura. Información obtenida del Máster de Bioconstrucción del IEB.

Los datos de esta tabla nos llevan a concluir que cuánto más naturales sean los materiales, mayor será la capacidad de absorción de humedad que realicen, mientras que aquellos como los acabados de PVC o incluso una pintura oleosa impedirán la absorción del vapor de agua del ambiente.

El cuidado en la elección del aislamiento térmico también contribuye a mejorar el equilibrio de la humedad ambiental. Por ejemplo, en la tabla a continuación podemos observar que los aislamientos de origen vegetales y animal son los que más contenido de agua absorben en porcentaje a su propio peso (kg).

A continuación, algunos ejemplos de aislamiento térmicos, teniendo en cuenta una humedad atmosférica de 80%:

Aislamientos térmicos	
Lana de oveja	20%
Fibra de madera	15%
Placa de corcho	7%
Lana mineral	0,5%

Analizando los datos de este cuadro, podemos clasificar los aislamientos en dos tipos: por un lado, los hidrófilos, como la lana de oveja o los derivados de la madera que por sus características logran regular muy bien la humedad y por otro los materiales hidrófugos, como las lanas minerales o el corcho que tienen un peor comportamiento, es decir, absorben poca cantidad de vapor de agua.

Sin embargo, como veremos a continuación, algunos materiales como el corcho, aunque sean hidrófugos, son muy eficientes cuánto a la difusión de vapor de agua, lo que le hace un material muy interesante contra la humedad.

LA DIFUSIÓN DE VAPOR

Otra característica importante para evitar la aparición de mohos y daños en los sistemas constructivos, es utilizar materiales que además de higroscópicos, sean abiertos a la **difusión de vapor de agua**.

¿QUÉ ES LA DIFUSIÓN DE VAPOR?

La difusión de vapor es la capacidad de un material para migrar el vapor de agua a través de elementos de construcción, debido a diferencias de presión de vapor.

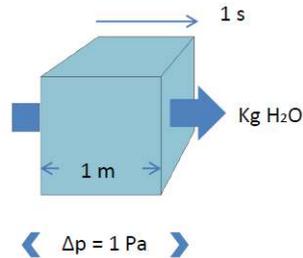


Imagen – vapor de agua. fuente Jordi Corominas.

Es importante aclarar, que los materiales abiertos a la difusión de vapor no influyen apenas en el control de la humedad ambiental del interior de los edificios, sin embargo ayudan a evitar las condensaciones intersticiales, puesto que facilitan la expulsión del vapor de agua del interior al exterior.

La propiedad física de los materiales que refleja su resistencia a la difusión del vapor de agua es la μ . Este coeficiente representa el factor por el que el material en cuestión es más estanco al vapor de agua que una capa de aire estática del mismo grosor. (La μ del aire es 1) Cuanto mayor es la μ de un material, mayor es su resistencia a la difusión de vapor. Esta capacidad de difusión también depende del grosor del material, por lo que para comparar materiales usamos el valor s_d (espesor de aire equivalente a la difusión de vapor de agua) que resulta de multiplicar la μ por el espesor.

$$S_d = \mu \text{ (resistencia de difusión) } * s \text{ (grosor del material en metros)}$$

Valor de $S_d(m)$	Capacidad de difusión
< 4	optima
4 - 7	satisfactoria
7 - 15	mala
15 - 25	Muy mala
> 25	Barrera impermeable de vapor

Para cada sistema constructivo, se deberá estudiar el valor S_d más recomendado. Habrá casos en los que se requiera de un valor S_d alto para no dejar pasar el vapor de agua hacia dentro de las capas del cerramiento, por ejemplo si ponemos el aislamiento por dentro y no queremos que este pueda tener condensaciones. De cualquier modo, por norma general a la hora de elegir la composición de nuestro muro es importante tener en cuenta que además de la justificación del cumplimiento de las exigencias de condensaciones intersticiales del CTE DB HE1, estaremos

siempre del lado de la seguridad si el valor s_d de la capa más interna es 5 veces mayor que el de la capa más externa.

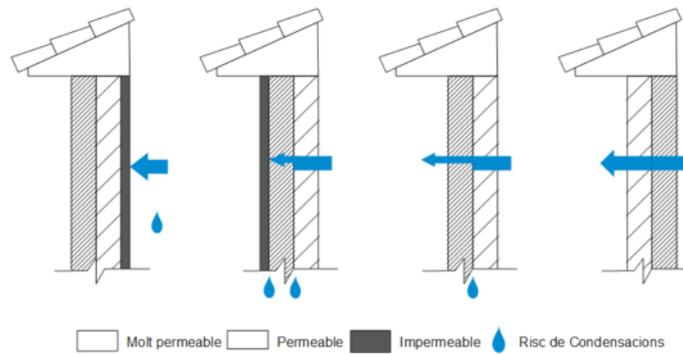


Imagen – Relación entre punto de condensación y ubicación del material estanco al vapor de agua.
fuente Jordi Corominas.

Para entender la importancia de la resistencia decreciente al vapor de agua, podemos ilustrar el principio del flujo de vapor con la ayuda de dos embudos con diferentes diámetros de salida. Si la salida del embudo exterior es más pequeña que la del flujo que recibe, se llenaría hasta desbordarse, provocando condensaciones intersticiales.



Imagen - Gestión del Vapor de Agua.
Fuente arquitectutecnica

LOS MATERIALES ABIERTO A LA DIFUSIÓN DE VAPOR

En las fichas técnicas de los materiales, aparece esta característica de difusión de vapor y estos serían los valores a tener en cuenta a la hora de seleccionarlos:

	μ	S (m)	Sd (μ^*s)
Poliéstereno XPS	20-100	0,20	33
Lino o cáñamo	1	0,20	0,20
Balas de paja	1	0,50	0,50
Placa de corcho	5-10	0,20	2,00
Tableros blandos fibra madera	2-5	0,20	1,00
Madera maciza blanda	20-50	0,02	0,80
Tablero barro prefabricado	10	0,03	0,30
Tablero OSB	50-300	0,02	4,00
Revoco de barro	8	0,02	0,15
Hormigón armado	70-150	0,30	45
Lamina impermeable - transpirable			<0,08
Tela asfáltica		0,00025	100
Pintura a cal		0,015	0,02

* Fuente: arkialbura. Información obtenida del Máster de Bioconstrucción del IEB.

LA DIFUSIÓN AL VAPOR Y LA HERMETICIDAD AL PASO DEL AIRE

Una de las características claves y a la vez que genera muchos conflictos de las viviendas Passivhaus, es que al diseñar un edificio con bajas infiltraciones, ya sea obra nueva o rehabilitación, deberemos seguir la llamada "regla del lápiz", que consiste en proyectar la hermeticidad al paso del aire como una línea continua que rodea todo el edificio.

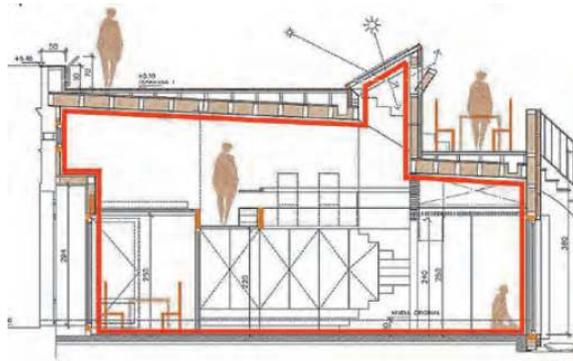


Imagen – Regla del lápiz / hermeticidad.
Fuente Michael Wossouf

Esto conlleva el definir una línea en la que se encuentran materiales estancos al paso del aire así como la unión entre los mismos y que no deberá ser perforada ni atravesada por ningún elemento. Es tan importante la correcta ejecución y mantenimiento de esta capa, que se recomienda el uso de cámaras de instalaciones para que la hermeticidad esté protegida durante la fase de uso de la vivienda.

Sin embargo, como dice Micheel Wassouf en su libro “De la casa pasiva al estándar Passivhaus”, la hermeticidad al aire muchas veces se confunde con la capacidad de respirar que tiene la piel de un edificio, es decir de su capacidad a la resistencia a la difusión del vapor de agua.

Por esta razón, es importante remarcar que una envolvente térmica hermética al paso del aire puede ser al mismo tiempo transpirable al paso del vapor de agua. El gran reto, cómo bien señala Victoria Merchán en su trabajo sobre hermeticidad, es saber elegir el material correcto y pensar en una solución viable constructivamente.

Por ejemplo, para un clima donde domina un invierno frío, es mejor definir la línea de hermeticidad por el interior, para evitar condensaciones intersticiales por convección de aire. En un clima donde domina un verano cálido y húmedo, puede ser mejor definir la línea de hermeticidad por el exterior evitando condensación intersticial por el aire húmedo en verano. También es importante comprender que los puntos más habituales de fuga de aire, y que deben de estar bien sellados, se encuentran principalmente en: encuentros de fachada con estructura, cambios de material/sistema constructivo, contorno de huecos y encuentros de instalación de carpintería exterior, destacando la puerta de acceso a los edificios, instalaciones eléctricas, mecanismos empotrados en paredes que forman parte de la envolvente térmica, sistema de ventilación, rejillas, aireadores y campana extractora.

Materiales herméticos al paso de aire y abiertos a la difusión de vapor de agua

En una vivienda Passivhaus, para conseguir la estanqueidad, normalmente se utilizan los siguientes materiales: Hormigón, cemento, freno de vapor/barrera de vapor/ láminas sd variable instaladas con solapamiento o selladas, acabado interior a base de una capa continua de yeso, tableros OSB clase 4 o incluso clase 3 (según fabricante), algunos paneles de madera - Madera contra laminada (según espesor) o pinturas que hacen de barrera de vapor y de capa de hermeticidad.

Mientras que para los encuentros se suele utilizar, cintas declaradas como estancas al paso del aire, con base butílica, acrílica y sin disolventes, cintas precomprimidas a base de poliuretano,

relleno de pasos de instalaciones en paramentos con mortero en obra, espumas de siliconas, deben ser flexibles y con garantía de durabilidad, resistencia a los rayos UV.

A continuación, se presenta una tabla comparativa, dónde se puede ver por un lado la hermeticidad al aire de algunos materiales ensayados para una diferencia de presión de 50Pa, y por otro lado estos materiales ensayados con su permeabilidad al paso del agua.

Material	Hermeticidad al paso de aire Q50-mat. (m3/m2/h)	Permeabilidad al paso de agua μ / sd
Lana mineral	13-150	1
Aislamiento rígido mineral	0,003-1,1	20-250
Aislamiento de corcho	2,5	5-10
Hormigón celular tipo Ytong-30cm	0,009	5/10
Madera	Hasta 0,0003	20/50
Contrachapado de madera	0,004-0,02	50/110
Conglomerado - DF	0,05-0,22	50-100
Placa de cartón yeso	0,002-0,03	10
Papel Kraft	0,01-3	Sd > 0,10
Lámina PE-0,1mm	0,0015	Sd 20
Lámina anti-viento	1	Sd < 0,08
Impermeable bituminoso	0,008-0,02	Sd 100
Enfoscado de cal	0,02-0,6	8
Enfoscado de cemento-cal	0,002-0,05	8
Hormigón	Considerado hermético	100
Yeso	Considerado hermético	10

TABLA – Fuente: Victoria Merchan. Comparativa q50 y μ / sd. Datos extraídos de valores genéricos y aproximados extraídos del artículo de Zeller, J. (2012) Luftdichtheitsanforderungen an Materialien. Wie dicht müssen Bauprodukte sein, die die Luftdichtheit herstellen sollen 7th International BUILDAIR-Symposium. May 11-12, 2012, Stuttgart, Germany y de la normativa alemana.

La recomendación para lograr una envolvente transpirable es elegir aquellos materiales que cumplan con los requisitos de hermeticidad y que sean abiertos al vapor de agua.

Por otro lado, aunque la capa hermética en principio no debería afectar significativamente a la calidad del aire interior debido a su composición ya que los COVs que pueda llegar a emitir serán en una proporción mucho menor de lo que pueden llegar a emitir materiales de acabados y mobiliario, es preferible utilizar materiales estancos al aire sin emisiones: materiales con sellos de

calidad del aire interior, revestimientos tipo cal o yeso y limitar el uso de cintas y/o espumas. En el caso de utilizarlas habrá que buscar aquellas que tengan emisiones más bajas.

ESTRATEGIA 02

La envolvente térmica

Como se ha comentado anteriormente, al diseñar la envolvente de nuestros proyectos, debemos poner especial cuidado en cada uno de los elementos que la componen, ya que cada una de estas capas presenta cualidades específicas que van a ser determinantes, entre otros factores, en el comportamiento higrotérmico y acústico de nuestro edificio.

Como se ha explicado, el estándar Passivhaus visa por todos los medios controlar las pérdidas y ganancias de energía en una vivienda y por esta razón pone especial atención en las características térmicas de la envolvente del edificio. Sin embargo, lo que nos interesa en este apartado, es entender que el control térmico también es una estrategia esencial para controlar la humedad relativa de un ambiente, ya que la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener en el aire depende de su temperatura:

- A medida que aumenta la temperatura, el aire es capaz de contener más cantidad de vapor de agua. Si no varía la cantidad absoluta de vapor de agua, la humedad relativa descendería.
- Y al revés, conforme baja la temperatura del aire, este es capaz de albergar menos humedad. Si no varía la cantidad absoluta de vapor de agua, la humedad relativa aumentaría. Si llegara al punto de saturación, el vapor de agua se condensaría, en forma de vapor cuando respiramos, del rocío de la noche o de niebla.

Por tanto, cuando la temperatura del aire cambia y no hay variación de la cantidad de vapor de agua, la humedad relativa varía bastante.

Por esta razón, una buena estrategia para controlar la humedad relativa interior de una vivienda es el control térmico del edificio. Cuanto mayor sea la temperatura de las superficies interiores, más cantidad de vapor de agua podrán emitir los materiales y se conseguirá equilibrar la humedad interior.

LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y SUPERFICIAL

Por lo tanto, la alta temperatura superficial de los parámetros del interior de una vivienda es esencial para mantener un equilibrio de la humedad ambiental y evitar así las condensaciones y la formación de mohos, pero además es muy importante a nivel de confort térmico del usuario.

Nuestra sensación de confort térmico está directamente relacionada entre otros factores con la temperatura ambiental y la temperatura superficial de los parámetros de nuestra vivienda.

En Passivhaus, como regla general, se asume que la temperatura ideal operativa del ambiente interior (promedio entre la temperatura del aire y la temperatura media de las superficies interiores de la estancia) es de 22°C y se debe justificar mediante cálculos que la temperatura interior superficial de la envolvente no debe bajar de 12,6°C, cuando la humedad relativa interior es de 50%, para de este modo evitar que se generen condensaciones superficiales.

Según los criterios de salud, una temperatura uniforme en el conjunto de la vivienda, como recomienda Passivhaus, no es bueno para la salud. Según el IEB, con base en diversos estudios, se recomiendan las siguientes temperaturas atmosféricas interiores:

Sala de estar y despacho	18 – 22 °C
Dormitorio	15 – 17 °C
Cuarto de baño	20 – 23 °C
Escalera	10 – 14 °C
Cocina y espacios de actividad no muy intensa	18 – 20 °C
Espacios de trabajo con actividad física intensa	15 – 17 °C

Tabla – temperaturas atmosféricas interiores recomendadas

La diferencia entre la temperatura ambiental y la superficial no debe de sobrepasar una diferencia de 2°C a 3°C, sobre todo, debemos de disponer de alta temperatura en las superficies del suelo. Según los criterios de salud, un suelo cálido es fundamental para la sensación de confort térmico y evita resfriados, dolores reumáticos y problemas circulatorios entre otras enfermedades.

Hay que tener en cuenta también que a pesar de que representan una parte menor de la superficie total del cuerpo, las extremidades del cuerpo, cabeza, manos y pies son especialmente importantes como indicadores de la sensación de confort térmico. Además, el impacto de los pies siempre es mayor, ya que la carga térmica de los pies viene determinada principalmente por la conducción de calor a través de los suelos de los zapatos, mientras que en el caso de cabeza, manos y tronco la emisión de calor se produce por radiación y convección.

Según un estudio realizado por el físico Walter Shüle en 1963, con un pie artificial a una temperatura de 30°C, se demostró que, al cabo de 5,5 minutos, la temperatura se reduce a los siguientes valores en función del tipo de suelo:

	Pavimento de hormigón	aprox. 24 °C
	Suelo de tableros de madera de 24 mm	aprox. 28 °C
	Parquet de corcho de 8 mm	aprox. 29 °C

Tabla – sensación de confort

Por lo tanto, las características térmicas de los sistemas constructivos de una vivienda, determinan la velocidad del aumento de la temperatura superficial cuando se calienta o se enfría un espacio.

Aunque el estándar Passivhaus tiene muy bien estudiado cómo controlar estos aspectos, es importante a nivel de salud y confort hacer hincapié en dos características físicas que condicionan de forma significativa la temperatura superficial interior de la envolvente en una vivienda como son las siguientes: la **transmitancia térmica** y la **inercia térmica**.

La transmitancia térmica

La transmitancia térmica de una fachada es el flujo de calor a través de un elemento constructivo dividido por el área y diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior del edificio, o dicho en otras palabras, es la capacidad del cerramiento a aislar respecto a las inclemencias meteorológicas. Cuanto más alta es la transmitancia más flujo de calor fluye en el cerramiento de dentro hacia fuera en invierno y en verano al revés, es decir más pérdidas de energía se producen cuando la transmitancia es mayor.



Imagen – transmitancia térmica

Si queremos garantizar superficies interiores con alta temperatura, es fundamental que la envolvente del edificio tenga una baja transmitancia térmica, por lo que el uso de aislamientos térmicos será esencial en la composición de nuestra fachada, ya que reducen significativamente la transmisión de calor a través de la estructura sobre la que se instala.

El espesor del aislamiento térmico dependerá de cada clima y de su conductividad térmica. Por lo general el aislamiento térmico siempre resultará más eficaz cuando la diferencia de temperatura entre exterior e interior es muy elevada, y pierde su interés cuando esta es muy baja. Así que una envolvente bien aislada será siempre más eficiente en invierno que en verano, pues la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior es siempre mayor en invierno.

Qué es un aislante térmico

Un aislante térmico es un material que, por sus propiedades físicas, no conduce el calor ni el frío, es decir, no transmite a su través la temperatura con facilidad. Se caracterizan por su baja conductividad térmica. Por ejemplo, podemos sujetar un palo de madera por un extremo y ponerlo al fuego por el otro sin temor a quemarnos, pero no haríamos lo mismo con una barra de hierro ... La madera es un material aislante y el hierro es conductor de calor.

Materiales de aislamiento y su toxicidad

Existen una infinidad de diferentes materiales aislantes en el mercado, como: Poliestireno expandido EPS, Poliestireno extruido XPS, Poliuretano PU, fibra mineral (lana de vidrio, celulosa, vidrio celular, etc.

El estándar Passivhaus no exige el uso de un material u otro, simplemente exige que se cumplan los requisitos de demanda de calefacción y refrigeración, esto es, a nivel energético lo que interesa es que el valor de la conductividad térmica del aislamiento sea lo más bajo posible.

Sin embargo, a nivel de salud y confort, cabe fijarnos no sólo en el valor de la conductividad térmica de los materiales, sino también en conocer la composición del material, siempre será más recomendable elegir un material proveniente de fuentes naturales, pues los aislantes naturales no son tóxicos ni contienen sustancias nocivas para la salud.

Como afirma Juan Antonio Riveira, la toxicidad de los materiales también contribuye a la contaminación biológica. Según Riveira, la presencia de contaminantes químicos hace que los hongos se vuelvan cada vez más resistentes. Por esta razón, es importante siempre saber la procedencia de los materiales, consultar con los fabricantes o mirar en la ficha del material si dispone de alguna etiqueta o certificación que garantice que no se trata de un producto tóxico.



Imagen – algunos sellos de los materiales de construcción relacionados con la salud.

La posición del aislamiento

Otro factor importante a considerar cuando estamos diseñando la envolvente térmica de una vivienda Passivhaus, es la ubicación del aislamiento.

Colocar el aislamiento por exterior será siempre la mejor opción, porque lograremos un aislamiento continuo en toda la envolvente, evitaremos los puentes térmicos y por otro lado conseguiremos que la temperatura superficial de los elementos de construcción sea superior a la temperatura de condensación, como podemos apreciar en la siguiente imagen.

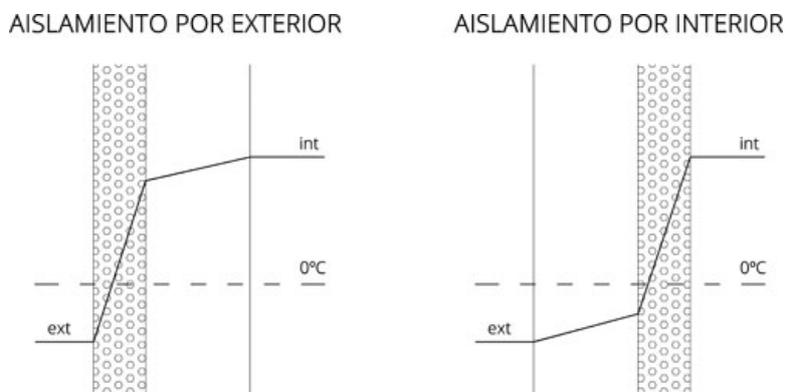


Imagen – posición del aislamiento

LA INERCIA TÉRMICA

La inercia térmica de los elementos constructivos de una vivienda es un concepto de menor importancia en las casas Passivhaus, puesto que la solución constructiva que adoptan estas viviendas hace que la temperatura sea constante a lo largo del día y de la noche. Sin embargo, la inercia térmica contribuye a mejorar la sensación de confort de un ambiente y además potencia que las superficies no pierdan temperatura y de este modo se evitan condensaciones superficiales.

Que es la inercia térmica

La inercia térmica en la construcción consiste en la capacidad de los materiales para almacenar calor. Una propiedad que bien aprovechada puede servir como estrategia pasiva para estabilizar la temperatura en los espacios interiores. De esta manera podemos evitar el uso de sistemas mecánicos de apoyo. Pero para entender qué es la inercia térmica de los materiales de construcción y de qué depende su aprovechamiento tenemos que tener en cuenta ciertos factores.

Su aprovechamiento dependerá del clima en el que se encuentre el edificio, del uso del edificio, de la ubicación del material y de su mayor o menor capacidad para almacenar calor.

Funcionamiento de la inercia térmica

En verano, por ejemplo un muro másico, que presenta una gran inercia térmica, absorbe calor durante el día del ambiente interior, debido a la diferencia de temperatura entre ambos, lo va almacenando de manera progresiva, y se disipa durante la noche, con una ventilación adecuada. A la mañana siguiente, dicho muro ha reducido su temperatura, para empezar de nuevo el ciclo: absorbe calor durante el día, y lo emite durante la noche, manteniendo una temperatura constante y reduciendo la necesidad de utilizar el equipo de refrigeración.

Durante las estaciones más frías, el funcionamiento consiste en almacenar calor durante el día, para después devolverlo al ambiente interior durante la noche cuando desciende la temperatura. Se trata de mecanismos de refrigeración y calefacción pasivos, que aprovechan la diferencia de temperatura entre el elemento constructivo y su entorno, amortiguan las diferencias térmicas, y se comportan de forma anticíclica (amortiguación y retardo).

Evidentemente, el aprovechamiento efectivo de estos sistemas implica un estudio previo del clima en el que se ubica el edificio – orientación, asoleamiento, horas de radiación, etc.-, y una adecuada aplicación del mecanismo, que evite temperaturas elevadas en estancias donde no se requiere, junto con un buen sistema de ventilación, que permita enfriar la masa térmica en verano.

Materiales con elevada inercia térmica

La inercia térmica de los materiales de construcción está directamente relacionada con la energía que en forma de calor que es capaz de acumular. Dicha cantidad de calor se puede cuantificar de manera objetiva y su valor dependerá de tres factores:

- Su calor específico (c) o capacidad para almacenar calor ($c = J/Kg.K$).

– Su masa (Kg): la capacidad calorífica (C), mide relación entre la energía o calor transmitida a un cuerpo y la variación de temperatura que experimenta ($C = J/K$). Cuanto mayor es la capacidad calorífica de un cuerpo, mayor energía hay que transmitirle para que aumente su temperatura en un grado; y cuanto mayor es su masa ($C = c \times \text{masa (Kg)}$), mayor es la capacidad calorífica, y por tanto su inercia térmica.

– Su densidad (Kg/m^3). Relaciona el volumen y la masa del elemento. A mayor densidad, mayor inercia térmica.

A mayor valor de cada uno de ellos, mayor inercia térmica, mayor calor acumulado por unidad de superficie.

A continuación, se pone una tabla dónde se puede comparar los valores de conductividad térmica con la capacidad calorífica (inercia térmica) de los principales materiales de construcción.

Material	Conductividad Térmica W/mK	Densidad Kg/m³	Calor específico J/KgK	Capacidad calorífica KJ/m³K
agua	0,58	1.000	4.184	4.184
Tierra vegetal	0,52	2.000	1.840	3.680
hierro	72,00	7.870	450	3.452
acero	50,00	7.800	450	3.510
cobre	380,00	8.900	380	3.382
bronce	65,00	8.700	380	3.306
granito	2,80	2.600	1.000	2.600
Hormigón armado	2,30	2.400	1.000	2.400
aluminio	230,00	2.700	880	2.376
Piedra caliza	1,40	1.895	1.000	1.895
Adobes, bloques tierra comprimida	1,10	1.885	1.000	1.885
vidrio	1,40	2.200	750	1.650
plomo	35,00	11.300	130	1.469
arena	2,00	1.450	1.000	1.450

ladrillo	0,66	1.220	1.000	1.220
silicona	0,35	1.200	1.000	1.200
Madera de frondosa	0,18	660	1.600	1.056
Tablero de virutas OSB	0,13	600	1.700	1.020
Madera conífera	0,15	480	1.600	768
Yeso	0,30	750	1.000	750
Corcho	0,07	450	1.500	675
Hormigón celular	0,14	500	1.000	500
Madera de balsa	0,06	180	1.600	288
lana	0,06	200	1.300	260
Espuma de poliuretano	0,05	70	1.500	105
Poliestireno expandido EPS	0,04	30	1.000	30

Fuente: autopromotores.com / inercia térmica

Algunos materiales con gran inercia o capacidad calorífica son el agua, el granito, la tierra seca o el adobe (capacidad calorífica entre 500 y 1000 Kcal/m³°C); para la construcción de elementos constructivos bioclimáticos. Otros materiales más habituales en la construcción y que también tienen una capacidad calorífica aceptable son la madera, el ladrillo o el hormigón, por un lado (entorno a 400 Kcal/m³°C), mientras que los aislantes térmicos (capacidad calorífica inferior a 40 Kcal/m³°C) como la lana mineral, el EPS y el poliuretano, o la celulosa que se utilizan como aislamiento térmico, por otro.

Estos valores nos ayudan a tomar decisiones a la hora de elegir los materiales de construcción de una vivienda. Sin embargo, no podemos olvidar que la inercia térmica no es la solución idónea para todos los casos.

Hay que tener en cuenta, que los espacios con envolvente térmica de gran inercia, necesitan más tiempo para calentarse al principio y poder alcanzar la temperatura de confort deseada; por lo tanto, no es un recurso adecuado en edificios que no se usen de forma continuada o permanente. Este es el caso de segundas residencias, que pueden permanecer cerradas de lunes a Viernes, y sólo se utilizan durante el fin de semana.

Por otro lado, la inercia térmica junto a un buen aislamiento térmico puede ser un recurso factible que permite mantener una temperatura constante durante el día en el interior de una vivienda, siempre y cuando dicha vivienda permanezca cerrada durante el día y la temperatura nocturna no supere los 25° C.

En verano es conveniente oscurecer o bloquear la radiación solar en las orientaciones este y oeste, ya que la excesiva radiación solar puede llegar a ser un problema. Si a ello se suma una elevada inercia térmica, el resultado puede ser justo el contrario al deseado.

La ubicación del material

Los materiales de construcción con elevada inercia térmica pueden estar ubicados en el exterior y/o en el interior. En el primer caso para acumular el calor procedente de la radiación solar. En el segundo, expuestos a las fuentes internas de calor o a las ganancias solares a través de huecos acristalados. Hablamos de fuentes internas entendidas como puede ser la propia actividad de las personas, la iluminación o los aparatos y equipos en funcionamiento que desprenden calor.

En función de la posición del aislamiento la acumulación de calor de la parte interior variara, como podemos observar en la imagen a continuación.

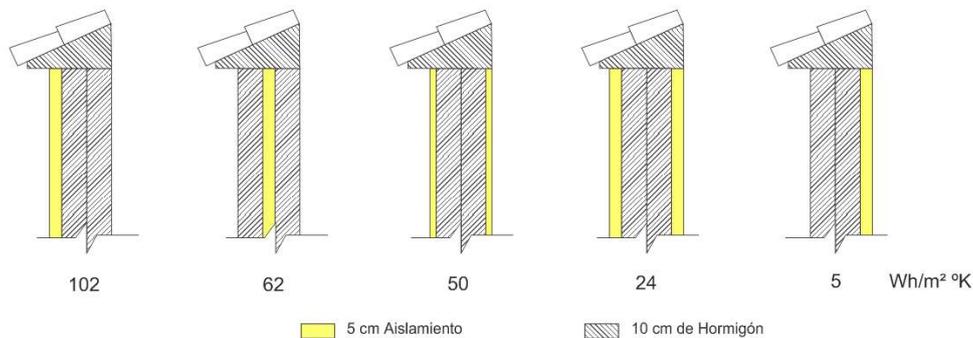


Imagen – relación entre la inercia térmica y la ubicación del aislamiento térmico.
fuente Jordi Corominas.

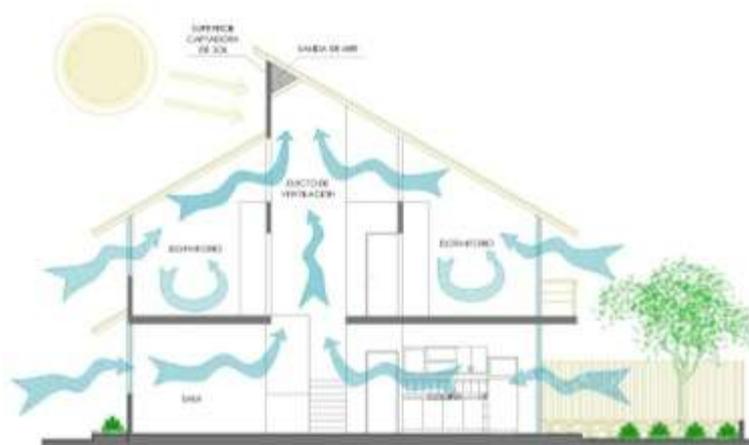
Por esta razón, si queremos aprovechar la inercia térmica de los materiales en la cara interior de la vivienda, lo ideal es ubicar el aislamiento térmico por el exterior de la fachada y si ponemos trasdosados por el interior, no poner aislamiento térmico, dejarlos huecos simplemente para el paso de instalaciones. Como hemos visto en la imagen anterior, el aislamiento es un material que tiene baja transmitancia térmica, si ponemos por el interior, perderemos la capacidad de inercia térmica de los materiales que componen nuestra envolvente.

ESTRATEGIA 3

La ventilación natural

Haciendo un poco de historia, nos damos cuenta que la importancia de la ventilación está muy ligada a las teorías de los arquitectos modernos, pues las nuevas soluciones de vivienda que nacieron en aquella época estaban muy vinculadas a las ideas higienistas. Pero esta situación cambia a lo largo del siglo XX, a medida que se desarrolla una confianza excesiva en los nuevos materiales, y posteriormente con la invención del aire acondicionado en Estados Unidos.

La incorporación, especialmente a partir de los años 70, de materiales de construcción y productos de acabado de origen sintético, en combinación con la creciente estanqueidad de las viviendas debida al encarecimiento del precio de la energía, ha dado especial relevancia al fenómeno de la contaminación de espacios interiores. La ventilación natural simplemente dejó de considerarse en edificios de oficinas y poco a poco incluso en las viviendas y comenzó a perder un saber técnico basado en el conocimiento del clima y el entorno, acumulado durante años y poniendo en riesgo la salud de sus usuarios.



LA IMPORTANCIA DE LA VENTILACIÓN - ¿POR QUÉ VENTILAR?

El propósito principal de la ventilación es suministrar al edificio y sus ocupantes suficiente cantidad de aire fresco y garantizar la extracción al exterior de agentes que pueden ser nocivos para el cuerpo humano o el edificio.

Para entender por qué y cómo debemos de ventilar, es importante tener claro que el confort térmico y la salubridad de un espacio está directamente relacionado con la convección, el contenido de humedad y la composición del aire.

La convección del aire

La convección es el movimiento del aire. El aire está normalmente en movimiento, consecuencia de las fuerzas exteriores a que está sometido y a las diferencias de densidad que originan la

variación en su temperatura y contenido de humedad: el aire caliente pesa menos que el frío, y el húmedo menos que el seco, de modo que ambos tienden a ascender provocando su desplazamiento. Este comportamiento implica la convección, de modo que la circulación de aire afecta a la temperatura.

La convección es importante en nuestra sensación térmica, pues la velocidad del aire produce una disminución de la temperatura superficial: cuando las temperaturas son altas, la circulación de aire disminuye nuestra sensación de calor, y cuando son bajas aumenta la sensación de frío.

La humedad del aire

El vapor de agua es uno de los componentes del aire, que puede contener mayor cantidad de humedad cuanto más alta es su temperatura, hasta una cantidad máxima que es la presión de saturación. La humedad relativa es el cociente entre el contenido de humedad del aire y el de saturación.

La humedad también nos afecta. Un alto contenido de humedad – superior al 60% - nos hace percibir el aire más caliente o frío de lo que está. Con temperaturas elevadas la alta humedad relativa impide la transpiración y aumenta la sensación de calor, mientras que con bajas temperaturas aumenta la sensación de frío. Un bajo contenido de humedad provoca sensación de sequedad. El exceso de humedad, como ya se ha comentado, favorece la presencia de hongos y la formación de condensaciones, afectando no sólo al bienestar sino a las construcciones, pues casi todos los materiales de construcción alteran sus propiedades o se degradan con exceso de agua.

Para tener una idea, sólo una persona produce unos 1,5L de vapor de agua por día, y una familia de cuatro miembros produce unos 10L al día (incluyendo actividades como la ducha, cocinar ..). Si no se evacua ese vapor de agua y la humedad relativa media del aire supera el 80% durante varias semanas, pueden crearse mohos u hongos en las superficies interiores de la envolvente térmica.

Composición del aire

El aire puro y limpio tiene una composición que varía con diferentes condiciones, desde su contenido de humedad como ya se ha comentado, hasta la presencia de diferentes contaminantes, que suele medirse en partes por millón (ppm) o mg/m³. Los principales contaminantes del aire exterior en medio urbano están originados por la combustión y los procesos industriales, son el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono.

El espacio interior produce también sus propios contaminantes el principal origen de la contaminación somos nosotros y el CO₂ originados por la respiración, pero también son frecuentes aquellos originados por la combustión, las diferentes máquinas, el tabaco, los productos de limpieza, etc. Los microorganismos presentes en el aire y los materiales de construcción contaminan con sus emisiones – metales, materiales fibrosos, pinturas, resinas, etc.

Se recoge a continuación información sobre los contaminantes más habituales en los ambientes interiores según la fuente de la que proceden.

Contaminantes procedentes del ambiente	Fuente:	Contaminantes procedentes del ambiente	Fuente:
	<ul style="list-style-type: none"> Exteriores / + Interiores / - General 		<ul style="list-style-type: none"> Exteriores / + Interiores / - General
Monóxido de Carbono (CO)	<ul style="list-style-type: none"> Principal fuente: Combustión de los motores a gasolina. Otros monóxidos: Combustión en centrales eléctricas y en incineradoras de residuos. Sistemas de calefacción, calderas de gas de leñosas, estufas de carbón, braseros y hornos. Consumo de tabaco. 	Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	<ul style="list-style-type: none"> Procesos de combustión (vehículos, calderas, hornos, incendios, emisión de cenizas industriales). Emisión al ambiente de diversos productos, materiales decorativos y de construcción: (entre otros: pinturas, barnices, colas, aditivos de la madera, limpiadores, textiles, ambientadores, biocidas, etc.)
Dióxido de carbono (CO₂)	<ul style="list-style-type: none"> Combustión desde las chimeneas de las industrias. Combustión de los vehículos de motor. 	Compuestos orgánicos persistentes (COPs)	<ul style="list-style-type: none"> Biocidas: Festicidas, bactericidas, fungicidas etc. Procesos industriales. Tratamientos biocidas que pueden encontrarse en productos de construcción textiles, aislamientos, equipos electrónicos o electrodomésticos etc. Productos ignífugos (especialmente los bromados) y retardantes de llama. A partir de la combustión de algunos productos.
Dióxido de Nitrógeno (NO₂)	<ul style="list-style-type: none"> Calefacciones. Estufas y cocinas de gas. Humo de tabaco. 	Radón	<ul style="list-style-type: none"> Naturalmente en la desintegración del uranio, que se encuentra en pequeñas cantidades en la mayoría de las rocas y en el suelo. Minas de fosfatos y de uranio. Combustión del carbón, pudiéndose adherir al polvo y a otras partículas presentes en el aire o pasar desde el suelo al agua subterránea. Agua de pozo en niveles elevados. Gas natural del subsuelo. Aunque en un grado mucho menor, también pueden emitir radón al ambiente los propios materiales de construcción empleados cuando lo contienen (rocas graníticas, o productos como ladrillos u hormigones cuyos materiales base provienen de zonas de alta radiación). Combustión de gas natural en estufas sin chimenea o en los calentadores.
Óxido de Nitrógeno (NO_x)	<ul style="list-style-type: none"> Combustión desde las chimeneas de las industrias. Combustión de los vehículos de motor. Algunos procesos naturales (relámpagos, microorganismos del suelo). 	Asbesto	<ul style="list-style-type: none"> Elementos del edificio: Materiales de revestimiento de fachada o paredes, suelos de baldosa o linóleo, cubiertas (como productos de fibrocemento), carpintería interior (puertas), aislantes térmicos (incluidos los de estructuras de acero y conductos de calefacción, ACS o ventilación, calentadores y calderas), cornisufijos en huecos de techo, sistemas de agua sanitaria (cañerías de agua corriente y residual, válvulas, rebornos, juntas, depósitos de agua potable sistemas de sanitarios...), instalaciones eléctricas.
Óxido de Azufre (SO₂)	<ul style="list-style-type: none"> Combustión (calderas, tráfico). Actividad industrial próxima. 	Formaldehído (CH₂O, HCHO)	<ul style="list-style-type: none"> Materiales de construcción que lo contienen (Aglomerados de madera, barnices, lacas, pegamentos, fibra de vidrio...) Productos textiles (Alfombras, telas que no requieren planchado...) Productos de papel. Ciertos productos de limpieza y desinfección. Humo del tabaco. Cocinas y hornos a gas.
Dióxido de Azufre (SO₂)	<ul style="list-style-type: none"> Quema de combustibles fósiles que contienen azufre, como el carbón, ya que reacciona con el oxígeno originando dióxido de azufre. Poco común en ambientes interiores, siempre que no existan focos que lo originen como estufas de queroseno, calderas o chimeneas. 	Humo de tabaco	<ul style="list-style-type: none"> Humo que procede de un cigarrillo ardiendo (pipa o cigarro) denominado humo de flujo lateral (HL). Humo exhalado por el fumador o humo de flujo central (HC).
Partículas en suspensión PM₁₀ y PM_{2,5}	<ul style="list-style-type: none"> Tráfico rodado, especialmente los vehículos diésel. Procesos industriales, incineradoras, canteras, minería. Calefacciones de carbón. Polvos procedentes de las labores agrícolas, de la construcción de carreteras, o del paso de vehículos por caminos sin asfaltar. Aparatos de combustión. Humo del tabaco. 	Creosota	<ul style="list-style-type: none"> Reutilización de la madera tratada con creosota y empleada en recubrimientos de madera en interiores o en elementos decorativos (vigas, arcos de madera...) o de ocio (traviesas en parques infantiles).
Ozono (O₃)	<ul style="list-style-type: none"> Naturalmente en las capas altas de la atmósfera (estratosfera) a partir de la disociación de moléculas de oxígeno por acción de la luz solar actuando como barrera frente a la radiación solar. Originado (contaminante secundario) por la presencia de otros contaminantes como los óxidos de Nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COVs) en presencia de luz solar (producción fotoquímica local). Transporte desde largas distancias de este contaminante producido en otras áreas. Equipos que generan una descarga de potencial entre placas metálicas o con existencia de radiaciones ultravioleta: Máquinas fotocopiadoras, impresoras láser, equipos electrostáticos para purificación del aire, motores eléctricos, o equipos con radiación UV (como los utilizados en desinfección). 		

Tabla – contaminantes del aire interior.
Fuente H.A.U.S.

El aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humano. Respirar nos permite vivir y, para hacerlo en buenas condiciones, el aire debe tener una calidad mínima que garantice la cantidad de oxígeno necesario, proporcione una humedad relativa adecuada y evite que elementos nocivos penetren en nuestro sistema respiratorio.

LA VENTILACIÓN EN EL ESTÁNDAR PASSIVHAUS

El estándar Passivhaus, tanto en la legislación, europea como la española, ha puesto el foco en los últimos años en la importancia de la eficiencia energética de los edificios. Por esta razón, en este tipo de vivienda se potencia un sistema de ventilación mecánico controlado, para que el aire frío del invierno o el aire caliente del verano no entre, enfriando o calentando la casa. Cualquier forma de ventilación natural, en este tipo de viviendas, comprometerá siempre el compromiso con la eficiencia energética.

Además según el Instituto Passivhaus, la ventilación natural a través de la ventana se realiza por casualidad, de forma manual, lo que implica que es necesario motivar y sensibilizar a los usuarios para que ventilen sus casas. Por otro lado, depende de las condiciones exteriores del viento. Ya que las fuerzas de impulsión que provocan el movimiento del aire cuando una estancia se ventila a través de las ventanas, únicamente se debe a las variaciones de densidad provocadas por la diferencia de temperatura y por la presión o succión del viento en la fachada. Si estas condiciones no son favorables, la ventilación será deficiente.



Imagen – sistema de filtración del aire en Passivhaus

Podríamos sumar a estos inconvenientes, otros factores que limitan la aplicación de la ventilación natural como la seguridad o el ruido y la contaminación del aire exterior, sobre todo en las ciudades. Por lo tanto, el estándar Passivhaus prioriza que todas las habitaciones del interior de la envolvente térmica se ventilen por un sistema de ventilación con recuperador de calor a fin de garantizar la calidad del aire interior.

Ventilación controlada de doble flujo

La ventilación controlada de doble flujo consiste en un sistema de ventilación en el que introducimos aire del exterior en cada espacio de la vivienda y desde los espacios húmedos (cocinas, aseos, baños, etc) extraemos el aire viciado, gracias a un sistema de conductos correctamente regulado. Con ello conseguimos una renovación de aire constante.

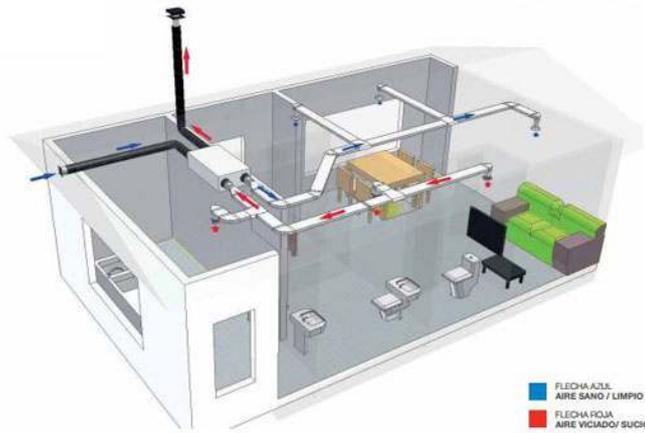


Imagen – sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor.
Fuente Siber

La pieza clave en este tipo de ventilación es la unidad de ventilación mecánica con recuperador de calor por dos razones fundamentales: Por un lado, recupera el calor o el frío expulsados, es decir el aire exterior se precalienta entrando en contacto con el aire expulsado (pero sin mezclarlo) antes de entrar en la vivienda. Y por otro lado, incluye filtros muy finos que retienen gran parte de la contaminación exterior garantizando la entrada de un aire exterior libre de partículas contaminantes.

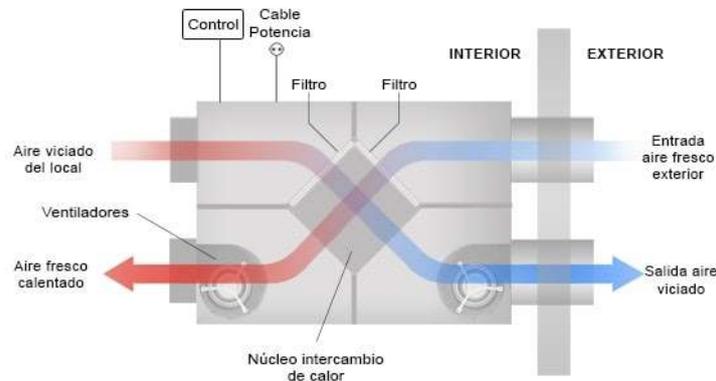


Imagen – recuperador de calor
Fuente Siber

Sin este tipo de sistema de ventilación mecánico, no lograríamos mantener un mínimo de nivel de confort e higiene en el interior de una vivienda tipo Passivhaus. Además es imprescindible que estos aparatos estén siempre encendidos, a fin de mantener una ventilación automática y permanente, incluso cuándo no haya nadie en casa o se trate de una casa de vacaciones que este cerrada durante parte del año.

ESTRATEGIAS PARA UNA BUENA VENTILACIÓN EN LAS CASAS PASIVAS

Cómo se ha comentado, la tendencia a la hermeticidad en las casas pasivas no parece una solución razonable, por muy potentes que sean los sistemas mecánicos de ventilación. Si queremos evitar que nuestras viviendas padezcan del síndrome de los edificios enfermos, un fenómeno derivado en gran parte de la ventilación deficiente de los espacios interiores, debemos de encontrar un equilibrio entre los criterios de salud y la eficiencia energética.

En este sentido, fomentar la ventilación natural en las casas pasivas puede jugar un rol decisivo en el control de la calidad del aire interior y evitar la propagación entre otras cosas de microorganismos en el interior de la vivienda.

¿Puedo abrir las ventanas en una Passivhaus?

Una de las principales preguntas que surgen acerca de las viviendas Passivhaus, es si es posible abrir las ventanas. Por normativa del CTE, todas las casas están obligadas a tener ventanas que se pueda abrir, así que el estándar Passivhaus no certificaría una casa en que todas sus ventanas fuesen fijas sin posibilidad de abertura.

Además, en un artículo publicado por el propio Instituto Passivhaus alemán se expone seis razones por las cuáles sobre la importancia de abrir las ventanas:

1. During warm periods, opening your windows is the easiest, cheapest, most effective and environmentally friendly way of cooling your building, with cross ventilation offering the most effective solution; at least in climates, in which the external temperatures cool down during the night. The standard air exchange provided by Passive House ventilation systems generally is far lower, and with the fan giving off additional heat, the cooling effect is reduced even more. The air change rates of ventilation systems are typically laid out for really cold (or hot) periods and may not be too high to keep the air from getting too dry (or too humid). A completely different type of ventilation system would be needed to allow for significantly higher air change rates. Such systems would be more expensive and less efficient; of course, in some circumstances such systems can provide another solution. Providing large volumes of air by opening your windows, on the other hand, is fairly inexpensive.

2. Users typically expect to have openable windows anyway as they offer maximum flexibility. Most users would not want to miss windows as a "connection to the outside world", and want to be able to choose whether to keep the windows open or closed. Eliminating this option might cause discontent amongst users whose wishes should be respected – unless it would be unreasonable to do so (for example in a submarine or a spaceship).

3. Cleaning fixed glazing is usually much more difficult than cleaning windows that can be opened and cleaned from the inside. Openable windows thus make a building much easier to maintain and can help reduce running costs.

4. Monitoring results suggest that there is little risk of Passive Houses not getting warm or requiring significantly more energy for heating due to users keeping the windows open. There is no need to fear that « human errors » might cause problems, even when bedroom windows are tilted all night long during winter. In this case, the only negative effect is a slight increase in heating energy.

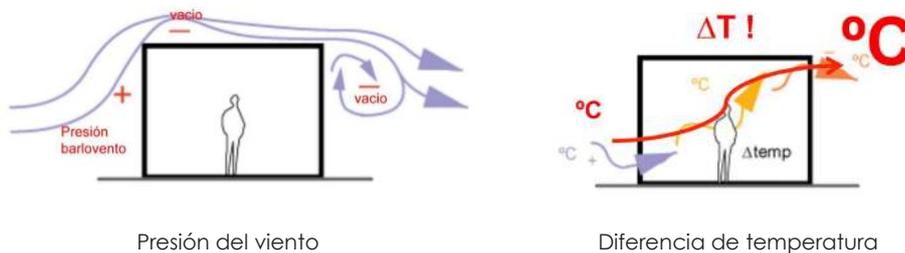
5. Even during cold periods, sometimes it may be nice to be able to open the windows to let in some fresh air, for example during a party or an assembly.

6. Last but not least, an openable window could save one's life as it offers an easy way out in the unfortunate event of an emergency.

En una vivienda Passivhaus, la ventilación mecánica con recuperador de calor es imprescindible, pero desde los criterios de salud, se debería de compatibilizar con la ventilación natural. Así que a continuación, se explica algunas formas de cómo podemos potenciar la ventilación natural en este tipo de viviendas.

La ventilación natural en el interior de la vivienda

La ventilación natural es la generada de forma espontánea mediante corrientes de aire producidas por el viento al abrir los huecos existentes en el cerramiento de los edificios. Se obtiene pues sin dispositivos mecánicos, debida a la velocidad y presión del viento, así como por la diferencia de temperatura y de densidad que ésta provoca en las masas de aire, las cuales debido a este efecto se desplazan.



La distribución de la presión dinámica alrededor, dentro de una edificación y las corrientes de ventilación que se generan dependen en los hechos de numerosos factores relativos a la geometría de la edificación, entorno y características del viento incidente.

En este sentido, para favorecer la ventilación natural en el interior de una vivienda, podemos incorporar las siguientes técnicas al diseño de nuestras edificaciones:

VENTILACIÓN UNILATERAL

Es la que se produce a través de un hueco que pone en contacto el interior del edificio con el exterior, y el movimiento del aire se originará por diferencias de presión y temperatura. Si la presión exterior del aire es superior a la interna, éste tiende a entrar perpendicularmente al hueco, volviendo a salir por el mismo necesariamente. Si hay diferencia de temperatura – caso de aire exterior más frío – éste descenderá al entrar en el espacio, asciende al calentarse y vuelve a salir.

La circulación de aire consiste básicamente en un remolino próximo al hueco, por lo que es efectiva en espacios con poco fondo construido, y en todo caso la renovación es baja si lo son la presión de viento y el salto térmico. Su efectividad aumenta al hacerlo la dimensión vertical del hueco o diferenciar la toma y salida en la misma vertical.

Además, si colocamos al menos dos ventanas en la misma fachada, es posible que la fachada no sea completamente perpendicular a la dirección del viento lo que hará que los coeficientes de presión no sean del todo iguales, induciendo una entrada de aire en una de ellas y una salida en la otra. Sin embargo, lo que resulta realmente de provecho en tales casos es incorporar salientes que introduzcan diferencias de presión localizadas.

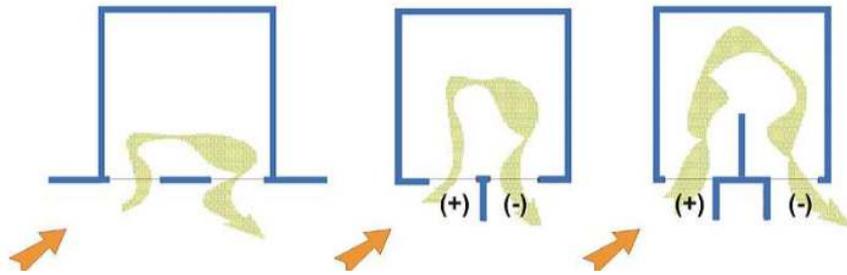


Figura - creación de diferencias de presión para una ventilación unilateral

El volumen de renovación resultante es proporcional a la velocidad del viento exterior y al tamaño del hueco, y es máximo con viento perpendicular. Para una efectiva ventilación se recomiendan aberturas superiores a 1/20 de la superficie de la habitación, con alturas superiores a 1,5 m y fondos de crujía inferiores a 2 veces la altura del recinto.

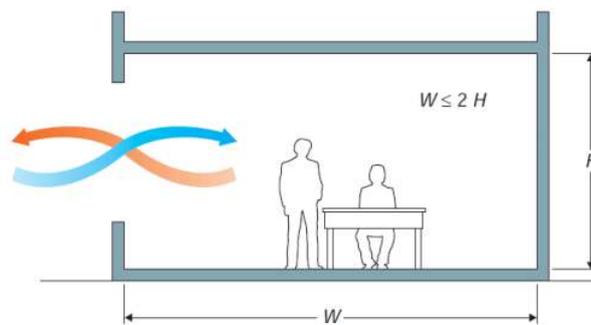


Figura – profundidad del espacio

VENTILACIÓN CRUZADA

La ventilación cruzada se produce cuando la entrada y salida del aire se efectúan por aberturas situadas en diferentes planos, típicamente opuestos, y se activa por diferencias de presión entre ambos: si el viento actúa en una fachada, produce presión positiva sobre ella y negativa sobre la opuesta, diferencia que activa la ventilación cruzada.

La corriente originada se modifica con las diferencias de temperatura y la forma del recinto. Hay que considerar que el aire de admisión tenderá a mantener su trayectoria perpendicular al plano de entrada, y sólo la altera al cambiar su temperatura – asciende o desciende – o encontrar un obstáculo – girar al chocar con una pared. Así, si el aire interior está más caliente, la corriente desciende junto a la admisión y asciende a medida que se aproxima a la salida.

También el diseño del hueco afecta a la dirección de la corriente: un hueco descentrado redirige la corriente hacia el lado del frente menor – al ser la presión mayor sobre el tramo de mayor desarrollo–, y el mismo efecto tiene una ventana abierta o una aleta. Un hueco próximo al suelo tiene el efecto de aumentar la componente vertical de la corriente, y el efecto contrario tendrá un voladizo superior.

También podemos modificar las trayectorias variando la situación del hueco de salida para alterar el barrido, recordando que la dirección de la corriente no variará hasta encontrar un obstáculo.

Para aumentar la velocidad del aire los huecos de salida deben ser amplios y mayores que los de entrada – pensar en la analogía con una corriente de agua represada.

La presión de aire generada por la ventilación cruzada es proporcional al cuadrado de la velocidad del viento y a la diferencia entre los coeficientes de presión y succión de las fachadas.

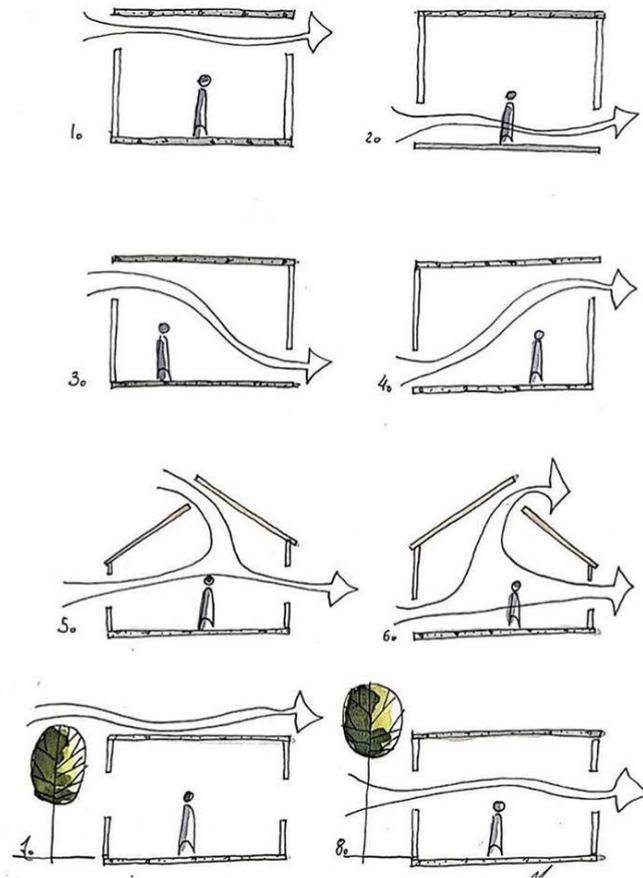


Figura – diferentes trayectorias del aire en la ventilación cruzada

La ventilación cruzada es más eficiente que la unilateral, debido más al amplio barrido que a la presión generada, pero es un fenómeno ocasional y eficiente sólo con velocidades de viento características del espacio abierto o diferencias térmicas significativas, y disminuye además notablemente cuando el viento no es perpendicular a la fachada, por lo que su consideración es siempre discutible en medio urbano. En todo caso, puede favorecerse con un diseño de huecos adecuado.

También hay que considerar que el aire de admisión puede provenir de zonas donde está más contaminado, especialmente en plantas bajas y áreas con escasa circulación de aire.

VENTILACIÓN POR ESTRATIFICACIÓN

La ventilación por estratificación, está basada en una diferencia de temperatura vertical, esto es, la diferencia de temperatura que existe en un espacio cerrado entre la parte superior y la parte

inferior se denomina estratificación térmica, siendo más apreciable cuanto mayor sea la diferencia de altura entre ambas.

En verano, la ventilación natural nocturna resulta muy eficaz para descargar el calor acumulado durante el día. Este tipo de ventilación funciona mejor en zonas donde las temperaturas nocturnas bajan considerablemente respecto a las temperaturas interiores y menos en zonas costeras donde las temperaturas estivales no sufren tanta oscilación.

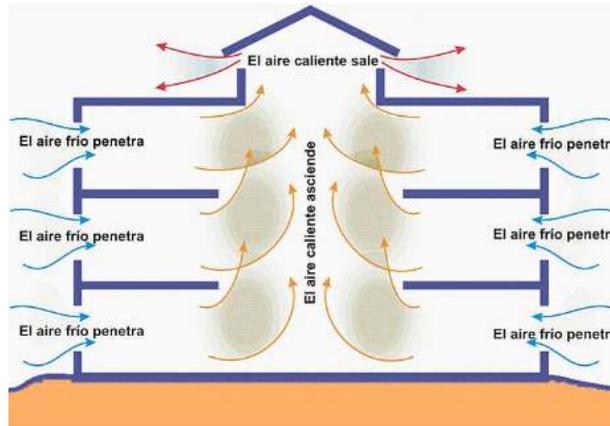


Figura – corrientes térmicas en una edificación

Cuando abrir las ventanas

En cada estación del año, se dan unas condiciones climatológicas concretas que nos va a condicionar el modo en que abrimos las ventanas.

Por ejemplo, en una casa convencional, en invierno, abrimos las ventanas para ventilar y normalmente no solemos dejarlas horas abiertas, ya que la temperatura exterior no es agradable y entrará frío. Lo mismo ocurre en verano, si abrimos las ventanas cuando fuera estamos a 30°C, nuestra casa se calentará e igualmente estaremos perdiendo el confort. Probablemente, la primavera es la estación dónde más aprovecharemos para abrir las ventanas, puesto que las temperaturas exteriores son propicias y no son desagradables.

Lo mismo ocurre con las casas Passivhaus, si abrimos las ventanas en las estaciones del año dónde hay mucha diferencia de temperatura entre exterior e interior, sentiremos una sensación desagradable y además perderemos energía térmica. Por esta razón, la tendencia en una casa pasiva es abrir poco las ventanas ya que disponen de un sistema altamente eficiente de ventilación mecánica con recuperador de calor y su principal objetivo es la eficiencia energética.

Sin embargo, cómo se ha explicado anteriormente, esto no implica que no podamos abrir las ventanas en una casa Passivhaus, simplemente como técnicos tenemos que orientar el usuario a abrirlas en los momentos que sean más beneficiosos tanto a nivel energético como de salud.

Según los criterios de salud, para poder eliminar la contaminación biológica y renovar el aire de nuestras viviendas bastaría con mantener las ventanas abiertas durante los tiempos recomendados en el siguiente esquema:

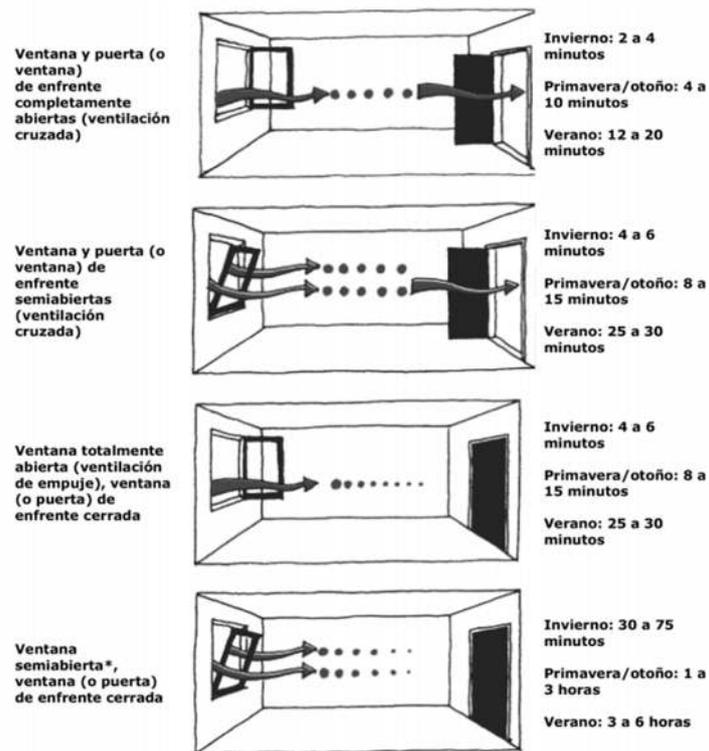


Imagen – criterio de salud sobre tiempos de ventilación.
Fuente Juan Antonio Rivera

La ventilación nocturna

En España, la estación del año más problemática para abrir las ventanas en las casas Passivhaus, es el verano y este es el foco de nuestra atención.

En los meses más fríos, como el invierno, aunque no es aconsejable dejar las ventanas mucho tiempo abiertas y a nivel energético no tendríamos un buen rendimiento, esto no significaría un riesgo para la vivienda ni para el usuario, por lo que podría tomar la decisión que mejor le convenga en cada momento.

En cambio, en el verano, sobre todo en países como España dónde la mayor parte de las provincias superan los 40°C, tenemos que tener mucho cuidado en no permitir que el aire caliente del exterior entre libremente en el interior de estas viviendas, pues podríamos tener un serio problema de sobrecalentamiento.

Un exceso de sobrecalentamiento en un edificio, puede tener consecuencias muy graves, afectando a la salud de los ocupantes, llegando a causar un ataque cardíaco, un accidente cerebrovascular o una muerte súbita del lactante. Este riesgo se incrementa en las viviendas Passivhaus, dado su alto nivel de aislamiento térmico.

Por esta razón, en climas calurosos y secos, y en menor grado en climas calurosos y húmedos, debemos de potenciar la ventilación natural nocturna en este tipo de viviendas, ya que durante

la noche en estos lugares se produce un descenso de las temperaturas que pueden llegar a suponer una diferencia de 20° con las temperaturas diurnas.

La ventilación nocturna consiste básicamente en la estrategia de mantener el edificio cerrado durante las calurosas horas del día y ventilar la masa estructural a la noche, cuando las temperaturas son menores.

Con esta estrategia lograremos por un lado, renovar y mover completamente el aire interior, pero además es una buena medida combinada de eliminación del sobrecalentamiento y de reducción de la sensación de calor. Esto es porque la entrada de aire a menor temperatura y el incremento de la velocidad, reducen la temperatura efectiva y por tanto la sensación de sobrecalentamiento en el interior.

ESTRATEGIA 04

El diseño de los baños y cocinas

Los hongos y mohos que se desarrollan en el interior de una vivienda suelen coincidir en zonas con humedades y poca luz. Por esta razón, los espacios de la casa más propensos a que aparezcan colonias de microorganismos son los cuartos de baño y la cocina.

Como sabemos, en los baños coinciden las labores de higiene corporal con las de eliminación de los desechos fisiológicos, mientras que en la cocina están todas las labores de conservación, lavado y preparación de la comida, así como en muchas ocasiones disponen incluso de una zona para el lavado y secado de la ropa. Se tratan de espacios donde se concentran el mayor número de puntos de agua de una vivienda, lo que conlleva a una gran producción de vapor de agua y consecuentemente a una mayor probabilidad de humedades y la aparición de hongos y bacterias.

A continuación, se hace algunas recomendaciones a modo de reflexión, pero que debemos de tener en cuenta a la hora de diseñar estos espacios.

LA IMPORTANCIA DE LA RADIACIÓN SOLAR

Como bien nos explica, Elisabet Silvestre, en su libro "Tu casa sin tóxicos": *en todas las culturas, el análisis del entorno y la buena elección del emplazamiento ha sido un puntal determinante para situar la morada. De hecho, en épocas en las que la disposición del suelo no constituía un limitador, la elección del lugar donde ubicar los espacios para vivir venía determinado por el conocimiento ancestral de la relación entre el emplazamiento y la salud.*

Nuestros antepasados, guiados por la observación y sus sentidos, tenían una especial sensibilidad para relacionarse de forma favorable con el entorno, con las energías del ambiente y con las radiaciones naturales – las del cosmos y las de la tierra. Conocían muy bien cómo construir al amparo de los vientos extremos, orientarse para beneficiarse de la luz solar y protegerse del frío invernal o evitar la sobreexposición a las radiaciones terrestres. Eran muy conscientes en que medida la radiación natural que nos llega del sol o la que emana de la tierra son imprescindibles para la vida, a la vez que sabían que una sobreexposición continuada a ellas no era nada favorable.

Orientación solar de la vivienda: impacto energético

Actualmente y sobre todo en el diseño de las viviendas altamente eficientes, cuando hablamos sobre cómo distribuir la vivienda o de su ubicación en el terreno, nuestra prioridad es siempre orientarlas a fin de garantizar un adecuado balance energético.

En este sentido, se puede decir que si estamos ubicados en el hemisferio norte, la mejor orientación del edificio es la sur, pues se maximizan las ganancias solares en invierno (momento en que se precisa energía solar para calentar el edificio de forma pasiva), y por otro lado, el ángulo de incidencia de los rayos solares en verano permite una protección solar más fácil a sur que a este u oeste (al recibir mucha radiación solar en verano y poca en invierno, los huecos al este y oeste deberían ser de tamaño reducido).

En este hemisferio, los huecos a norte tienen balance energético más negativo porque reciben muy poca radiación solar, y las pérdidas energéticas por transmisión térmica son más elevadas respecto a los elementos opacos. En consecuencia, una planta rectangular alargada, con el largo orientado al sur, es la forma teórica ideal para un edificio pasivo.

También es cierto, que siempre hay que tener en cuenta que la orientación del edificio tiene más relevancia en climas con una alta radiación solar, en cambio, un edificio en un lugar con poca radiación varía menos su balance energético al cambiar la orientación. De este modo, los edificios en zonas urbanas muy densas y con grandes superficies que arrojan sombra son menos sensibles a los cambios de orientación que aquellos situados en zonas de menos densidad.

Orientación solar de la vivienda: impacto en la salud

Por otro lado, no hay que olvidar que la incidencia del sol también es vital para nuestros procesos biológicos. Como dice el refrán popular "donde entra el sol, no entra el médico".

Los seres vivos sincronizan sus ritmos y su metabolismo al compás de las ondas electromagnéticas procedentes del sol. Los hábitos de vida o una mala distribución de los espacios de la vivienda pueden conllevar a una exposición deficiente a la luz natural lo que puede afectar nuestra salud

o asociarse a determinadas enfermedades: falta de energía, estado de ánimo variable, pérdida de estimulación, dificultad para disfrutar, cambios en los hábitos alimentarios, alteraciones del sueño, merma de la libido, merma de la función inmunológica, déficit de vitamina D, dolencias asociadas entre otras.

La luz solar también tiene propiedades desinfectantes. La publicación científica *Journal of Hospital Infection* explica que "la mayoría de los microbios que transmiten infecciones por el aire no tolera la luz del sol".

Es claro: una habitación mal iluminada es un espacio perfecto para la incubación de microbios.

Según la investigación liderada por Kevin Van Den Wymelenberg, PhD, de la Universidad de Oregon (EEUU), "las comunidades microbianas se encuentran en los rincones polvorientos de los edificios, en pisos, paredes, y en el aire. El polvo interior incluye material particulado que se deposita en el aire, impactando su calidad, y proporcionando la humedad y los nutrientes necesarios para que las comunidades microbianas prosperen en el interior".

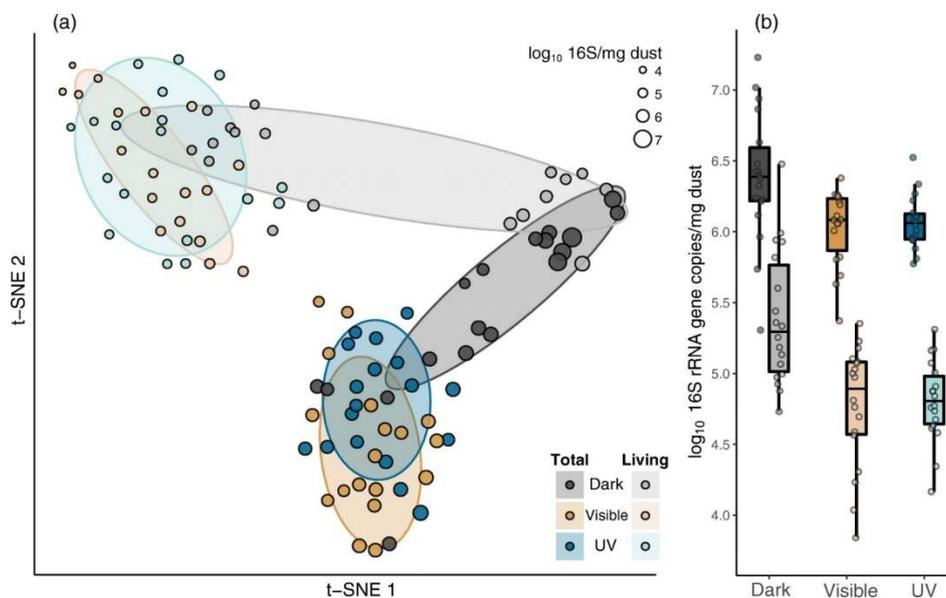


Imagen - "Daylight and the Indoor Microbiome" by Kevin Van Den Wymelenberg. Image Cortesía de Kevin Van Den Wymelenberg

Para aumentar esta comprensión, Van Den Wymelenberg y su equipo de investigadores desarrollaron espacios experimentales y controlados, replicando diferentes condiciones de temperatura, humedad relativa, y exposición a la luz del día. Los resultados del estudio, luego de 90 días, permitieron concluir que la luz solar inactiva ciertos taxones en comunidades microbianas, reduciendo su floración y propagación.

Por esta razón, es fundamental a la hora de diseñar una vivienda, pensar que la luz natural del sol debería de llegar a todas las habitaciones de la casa, sobre todo a aquellos espacios dónde se concentran un mayor número de microorganismos, como es el caso de los baños y cocinas.

¿Cómo podemos promover diseños moldeados y nutridos por la luz?

Con la llegada de la tecnificación de la vivienda y el sueño americano de los electrodomésticos de los años 40, los espacios de servicios de la casa, como el baño y la cocina, empezaron a tener más protagonismo dentro de las viviendas y a ubicarse en lugares jamás antes imaginados.

De allí nace la tendencia actual de ubicar estos espacios de servicios en el centro de la vivienda, tan sólo ventilados por un extractor mecánico. La creencia absoluta en la mecanización, en los productos de limpieza altamente desinfectantes o bien en la comida envasada hace con que desaparezca la necesidad de abrir estos espacios al exterior.

Quizás deberíamos volver a inspirarnos y recuperar algunos de los conceptos de los años 20, como por ejemplo de la villa Savoye de Le Corbusier, dónde la cocina o bien las zonas de aseo, como el baño estaban inundados por la luz solar, disponían de grandes ventanales que permitían además una muy buena ventilación natural.

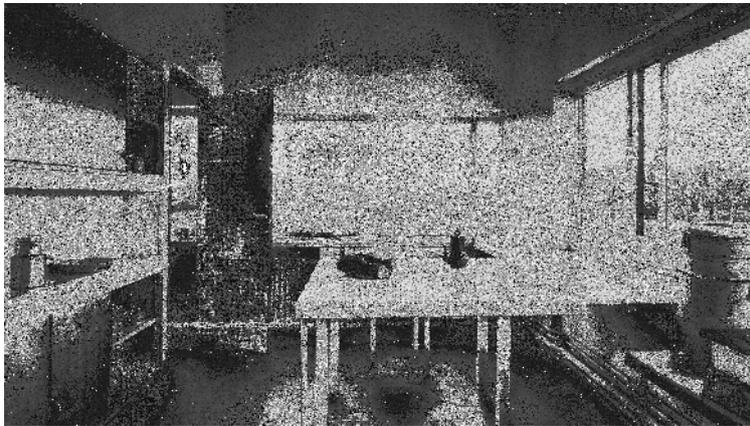


Imagen – Cocina Villa Savoye

O bien recurrir a la reflexión de la cocina de Mike Meire de los años 90, una cocina aireada, conectada con el exterior que funcionaba como un espacio vital de comunicación y bienestar de la familia.

Partiendo de criterios de salud, deberíamos cuestionarnos la importancia de la entrada de luz, sol y aire natural en estos espacios. Sin duda alguna, la presencia de ventanas preferiblemente ubicadas y orientadas de manera que pueda recibir varias horas de exposición directa a la luz solar será lo ideal para cualquier espacio que genere tanta humedad como es el caso de los baños y cocinas.

Lo cierto es que cuanto más ventilado y mayor número de horas de sol tengan en estos espacios menos posibilidades habrá de que aparezcan hongos.

El mobiliario y su distribución

Pensar en la disposición de los equipamientos y mobiliario del baño y de la cocina también es de fundamental importancia para evitar la propagación de microorganismos.

De modo general, debemos de incorporar criterios que faciliten siempre la limpieza y el mantenimiento. Diseñar las instalaciones de tal manera que se evite la acumulación de suciedad, haciéndolas registrables y utilizando materiales duraderos y de fácil mantenimiento.

Evitar también las cavidades en que se pueda acumular suciedad, insectos o roedores.

Distribución de la Cocina

En el caso de la cocina, deberíamos de pensar en las zonas críticas de acumulación de agua, como la zona del fregadero y la zona de cocción.

La zona del fregadero, aunque tengamos los grifos cerrados, suele ser un área que esta siempre mojada, bien sea por algún goteo de tuberías debajo del fregadero o por su uso casi permanente. Por lo tanto, es fundamental que estas zonas estén muy bien ventiladas y poco sombreadas.

La zona de cocción, genera mucho humo y vapor de agua producidos por la cocción de los alimentos. Por lo tanto, es fundamental disponer de un buen extractor de humos y ubicar esta zona de tal modo que el movimiento del aire ayude a expulsar este vapor de agua hacia al exterior.

En las casas Passivhaus, para evitar las pérdidas de energía en la cocina, se suele recomendar extractores con filtro de carbono. Quizás habría que repensar esta solución, y buscar alternativas más efectivas para la extracción de los vapores de agua de la cocina, aunque tengamos una pérdida mayor de energía.

La zona de los desechos es otro punto crítico de la cocina. Lugar donde se concentra todo tipo de microorganismos. En muchas ocasiones, solemos ubicar esta zona justamente debajo del fregadero, junto a la red de saneamiento, es decir en una de las zonas de mayor humedad de la cocina. Es importante encontrar un lugar idóneo para estos pequeños contenedores de suciedad. Buscar lugares secos, aireados y evitar al máximo la acumulación de basura.

Distribución del baño

En el caso del baño, el inodoro es el principal foco de crecimiento de bacterias por lo que es muy importante mantener un alto nivel de limpieza y desinfección.

Aunque lo habitual es incluir todos los equipamientos de higiene en un mismo espacio, muchos países como Francia, Suecia o Japón apuestan por separar el inodoro de la zona de baño.

Crear un espacio independiente para el inodoro y un lavamanos, separándolo del resto de zona de baño - que se destinará para el aseo, baño y bienestar-, es una tendencia que podría imponerse en los nuevos proyectos. Una solución también muy adecuada cuando sólo se dispone de un baño para toda la casa o para una planta. Cada usuario podrá utilizar el baño sin bloquear el uso del inodoro.

La zona de la ducha es otro punto crítico, puesto que genera mucho vapor de agua. Lo ideal es ubicarla justo al lado de una ventana, para que después de una ducha se pueda ventilar y expulsar toda la humedad al exterior. E incluso siempre que posible que este bañada por los rayos del sol, puesto que el sol, como hemos visto, es un modo muy eficaz de prevenir la formación de hongos y bacterias.

Los materiales de acabados

Desde las teorías higienistas del inicio del siglo XX, se ha marcado la tendencia de que los cuartos de baño y las cocinas deberían de transmitir una imagen fuerte e intuitiva de la higiene, y para ello se buscaron sensaciones que de manera inconsciente se relacionaban con la limpieza, como el color claro brillante, el tacto liso, el olor a desinfectante, los ambientes con resonancia acústica e incluso poco fríos.

Es cierto que con el tiempo esta estética ha ido evolucionando, sobre todo después de la segunda guerra mundial, momento en que una variedad de colores y nuevos materiales invadieron el mercado. Sin embargo, aunque hoy en día podemos encontrar una estética mucho más acogedora y acorde de estos espacios con el resto de la vivienda, lo cierto es que aún tenemos la tendencia en asociar estos espacios con materiales impermeables, duraderos y fáciles de limpiar, como recurso de higiene y salubridad.

Cómo se ha comentado a lo largo del trabajo, una de las principales estrategias para controlar la humedad ambiental es crear superficies higroscópicas. Es decir, utilizar materiales que sean capaces de regular la humedad y temperatura.

Por ejemplo, un cuarto de baño que por su actividad interior produce gran cantidad de vapor de vapor, incrementará aún más la humedad por condensación superficial si utilizamos en su interior materiales poco absorbentes como azulejos cerámicos esmaltados, espejos, vidrios, etc.

Para equilibrar los niveles de humedad de estos espacios, lo ideal es crear superficies higroscópicas. Es decir, utilizar materiales que sean capaces de absorber y regular la humedad y temperatura, como son los ladrillos de tierra, cáñamo o revestimientos de superficie de arcilla o cal. Como bien recomienda Sonia Hernández Montaña: "La solución óptima es que todo el grueso de la pared sea transpirable e higroscópico, pero como alternativa y para no cambiar la distribución, se puede actuar únicamente en superficie, aplicando revocos de arcilla de un grosor mínimo de 1,5 cms. Estos revestimientos, además, son muy fáciles de limpiar al no tener juntas y puedes combinarlos con otras superficies de materiales pétreos, cerámica natural o incluso de madera en paredes que no estén en contacto directo con agua."

El uso de plantas deshumidificadoras en estos espacios podría ser una buena alternativa.

Además, por lo general, debemos de elegir siempre materiales que por su composición no contengan sustancias tóxicas. Por ejemplo, en las encimeras de las cocinas o incluso en el baño, debemos de pensar en diseñar soluciones constructivas que eviten contaminantes ambientales como el radón.

El radón es un gas radiactivo de origen natural que se produce por la descomposición de uranio y se encuentra en los suelos y rocas, principalmente graníticas. En el ambiente exterior, el riesgo para la salud es menor porque su concentración es baja, pero si se libera o entra en un espacio

interior cerrado, puede acumularse y alcanzar concentraciones que suponen un riesgo alto para la salud de los ocupantes. La exposición al radón en España varía por zonas geográficas.

Evita las encimeras de granito o materiales sintéticos por su posible carga tóxica, y elige materiales como la madera o piedra natural. El pavimento más cálido es la madera, pero si tienes niños o puede mojarse más de la cuenta ve a por una piedra o cerámica natural.

ESTRATEGIA 05

Mantenimiento de la vivienda

Cómo hemos comentado a lo largo de este trabajo, la contaminación biológica puede afectar la salud de muchas maneras. A algunas personas, les puede causar congestión nasal, dolor de garganta, tos o sibilancias, ardor en los ojos o sarpullidos, mientras que otras, ataques de asma, alergias o incluso reacciones más graves.

Por lo tanto, cualquier medida que evite la proliferación de estos microorganismos es fundamental para que dispongamos de una casa saludable. Sin embargo, aunque en nuestro proyecto utilicemos diferentes estrategias de diseño con el objetivo de minimizar este tipo de contaminación, tenemos que ser conscientes que el uso y el mantenimiento del edificio también tienen un papel fundamental a la hora de controlar el desarrollo de este tipo de toxicidad.

¿Cómo saber si tengo un problema de moho?

Por muchas estrategias de diseño y limpieza que hagamos, siempre habrá un poco de moho en el interior de una vivienda. El moho puede entrar a través de puertas o ventanas abiertas, rejillas de ventilación, y sistemas de calefacción y aire acondicionado. El moho en el aire exterior también puede adherirse a la ropa, los zapatos y las mascotas, y llevarse a los ambientes interiores.

Las esporas de moho crecen cuando se depositan en lugares donde hay humedad excesiva, como en aquellos donde hubo filtraciones en techos, tuberías, paredes o macetas, o incluso una inundación. Muchos materiales de construcción proveen los nutrientes adecuados para estimular el crecimiento del moho. Los materiales de celulosa húmedos, como el papel y los productos de papel, el cartón, los paneles del cielo raso, la madera y los productos de madera, son especialmente propicios para el crecimiento de algunos tipos de moho. Otros materiales, como el polvo, las pinturas, los empapelados, los materiales aislantes, los paneles de yeso, las alfombras, las telas y los tapizados, generalmente favorecen el crecimiento de moho.

Cómo hemos visto, no todos los hongos son tóxicos, pero aún así deben de ser eliminados lo más rápido posible. Con frecuencia, la primera indicación de que existen problemas originados por microorganismos es la presencia de un olor a humedad característico. Un examen visual cuidadoso, por lo general, localizará manchas de pigmentación claramente visibles y de diferentes colores sobre la superficie del objeto.

Otra manera de descubrir daños es mediante el uso de luz ultravioleta (UV). Bajo esta luz una colonia de microorganismos tiene un aspecto luminiscente. Por otro lado, se pueden hacer pruebas CDC en el laboratorio. Sin embargo, este tipo de prueba no es habitual para casos rutinarios, ya que una buena toma de muestras de moho puede ser costosa. Lo mejor que se puede hacer es eliminar el moho de manera segura y hacer lo posible para prevenir el crecimiento futuro de moho.

MEDIDAS DE PREVENCIÓN

Ya hemos comentado a lo largo de este trabajo que la mejor manera de prevenir o de controlar la propagación de microorganismos es negándole a las esporas la humedad necesaria para su germinación. Por lo tanto, regular el ambiente, especialmente la humedad relativa, es esencial para prevenir la aparición de mohos.

A continuación, se hace referencia a una serie de recomendaciones específicas en cuanto al uso y mantenimiento de la vivienda para evitar el crecimiento de mohos en su interior.

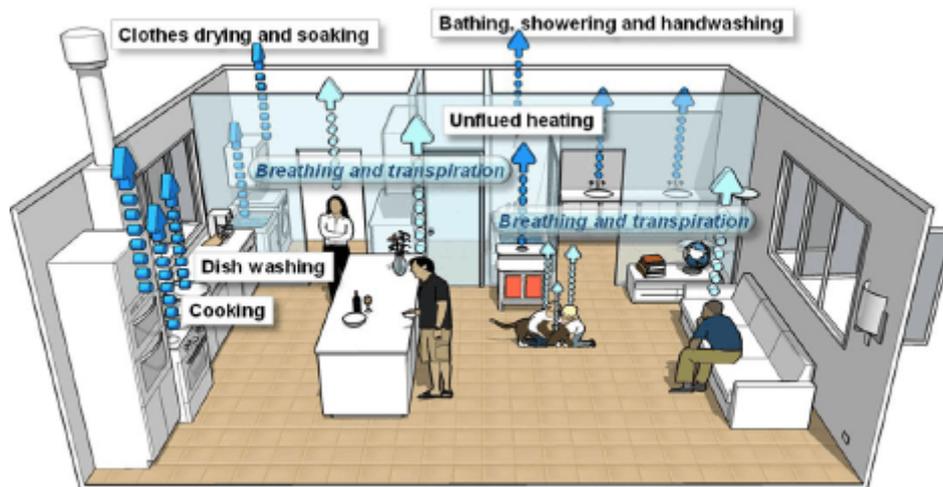


Imagen – fuentes de vapor de agua

SOBRE LOS QUEHACERES DIARIOS

El uso de la vivienda conlleva una serie de actividades diarias que eventualmente presentan un mayor riesgo de generar humedad de condensación. Tomar consciencia de estas actividades nos ayudara a mantener a raya todas las posibles fuentes de evaporación de agua en la vivienda. Estas son algunas de ellas:

Lavado y planchado de ropa

El lavado de ropa en sí no produce mucho vapor de agua, cuando se realiza con lavadora, pero el secado de ropa es el que aporta gran cantidad de vapor al ambiente.

Actualmente las lavadoras modernas entregan la ropa lavada y centrifugada, sin embargo, en este último proceso la ropa retiene una cantidad importante de agua de alrededor de 1,5 veces su peso. Peor es el caso si la ropa se estruja a mano, ya que puede retener cerca de 2,5 veces su peso en agua. Si la ropa es secada en el interior de un recinto, toda esta agua se va al ambiente en forma de vapor, pudiendo llegar a generar del orden de 10kg de vapor de agua al día en un lavado de ropa de una familia.

Por lo tanto, lo ideal es siempre secar la ropa al aire libre y evitar secarla en el interior de la vivienda, especialmente sobre radiadores.

El planchado de ropa es otra actividad que entrega una cantidad importante de vapor al ambiente.

Cocinar

La cocina es otra fuente generadora de vapor de agua, sobre todo aquellas que no poseen una campana extractora de aire, debido a que la mayoría de los alimentos que consumimos deben ser hervidos o preparados con agua.

Al cocinar se puede llegar a generar hasta 500g de vapor de agua por hora, en el momento de máxima producción de vapor.

Por esta razón, siempre que sea posible, debemos de ventilar mucho este espacio y tapar las cazuelas y ollas al cocinar. Por otro lado, evitar desperdicios orgánicos sobre encimeras o cualquier otra superficie de la cocina.

Aseo personal

Es probable que el cuarto de baño sea el lugar más propenso a la condensación debido a que los baños, en especial la ducha si es con agua caliente, generan gran cantidad de vapor que fácilmente satura su atmósfera.

En el baño se puede producir del orden de 1000 g de vapor de agua por hora. Por lo tanto, debemos evitar duchas largas y sobre todo con agua caliente, ventilar siempre el cuarto de baño después de una ducha, además evitar el uso de alfombras en estos espacios.

Número y actividad de habitantes

Los habitantes de un inmueble son una fuente generadora de vapor de agua continua debido la transpiración y la respiración. La cantidad de agua que evapora una persona depende en gran medida de la actividad física que esté realizando y en menor medida de su masa corporal, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tomando en cuenta que en promedio una persona genera unos 50g/h y considerando que permanece unas 12 horas en la vivienda, se estima que la producción de vapor de agua es de 0,6kg/día por habitante. En el caso de una familia de 4 personas se tiene una producción de vapor de agua no menor a 2,4kg/día. Este fenómeno toma relevancia durante la noche cuando todo el grupo familiar está reunido.

Riego de plantas de interior

Esta actividad entrega menor vapor de agua al ambiente que las anteriores, sin embargo, es una fuente que generalmente no se toma en cuenta y que produce vapor por transpiración de las plantas. Toda el agua usada en el riego termina por evaporarse. Sin embargo, existen algunas plantas que describo a continuación que funcionan como deshumidificadoras.

A continuación, se pone una tabla a modo de resumen con las principales fuentes de humedad en la vivienda:

Fuentes de humedad en la vivienda

Persona en reposo	aprox. 40 g/h
Persona desempeñando labores domésticas	aprox. 90 g/h
Planta de interior (de tamaño mediano)	aprox. 5 g/h
Cocinar o fregar el suelo	aprox. 600 g/h
Lavadora	aprox. 300 g/carga
Lavavajillas	aprox. 200 g/ciclo
Ducha	aprox. 1.700 g/ducha
Baño	aprox. 1.100 g/vez
Superficies de agua (expuestas al aire interior)	aprox. 40-200 g/h y m ²

Tabla – información máster bioconstrucción

REPARAR LOS DAÑOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Además de las actividades diarias que realizamos en las viviendas, es importante detectar de dónde vienen los problemas de humedad, ya que en muchas ocasiones no derivan de la acción humana, sino que provienen de daños estructurales en la vivienda.

Inspeccione la vivienda en busca de evidencias de daño por agua y moho visible como parte de su mantenimiento de rutina. Repare las filtraciones en el techo, las paredes o las tuberías que gotean, las cañerías y las bajantes de agua, las ventanas rotas, la mampostería o las paredes agrietadas de su casa para que el moho no tenga humedad para crecer.

PLANTAS DESHUMIDIFICADORAS

Aunque las plantas decorativas de follaje son estéticamente agradables, debe preverse que las condiciones de humedad de la tierra pueden promover el crecimiento de microorganismos que pueden ocasionar efectos adversos para la salud, principalmente en climas cálidos y húmedos y en viviendas con ventilación e insolación insuficientes.

Sin embargo, existen **plantas deshumidificadoras y purificadoras**, capaces de absorber humedad y tóxicos. Hay varias plantas, que, según la NASA, ayudan a que respiremos un aire más limpio eliminando tóxicos como benceno, formaldehído, monóxido de carbono, xileno, tricloroetileno o tolueno. Algunas de las más potentes son el potos, la cinta, el ficus, el aloe vera, las sansevierias, el helecho, la palmera de bambú, la hiedra, el espatifilo o la palmera china.

Por otro lado, existen una serie de plantas que pueden ser excelentes aliadas en la lucha contra la humedad en casa, como Lirio de la paz, planta araña o cinta, Tillandsias, Calathea, Palmera bambú, Menta, Niaouli o Melaleuca quinquenervia, Hiedra Inglesa, Helecho de Boston, Helecho culantrillo, Helecho babilónico, Chamaedorea elegans, Cafetero, Orquídeas, Dracaena o tronco de Brasil, Bambú de la suerte, Cornejo rojo, Soleirolia soleirolii, Acebo, Peperomias, entre otras.

DESHUMIDIFICADORES

Los niveles de humedad relativa deben ser revisados rutinariamente. Es menos probable que tenga lugar la germinación de esporas si la humedad relativa se mantiene entre el 45% y el 55% y, en todo momento, debe mantenerse por debajo del 65%.

Cuando los niveles de humedad relativa sobrepasan el 65% y no hemos logrado controlarlo de ningún otro modo, en este caso se hace necesario el uso de deshumidificadores portátiles a fin de reducir el contenido de humedad en el aire, especialmente en climas cálidos y húmedos.

CÓMO ELIMINAR EL MOHO



Cuando nos encontramos con moho negro, gris o verde en una pared, debemos de actuar con rapidez y eliminarlo lo más rápido posible. Sin embargo, muchas veces el remedio puede ser peor que la enfermedad.

Los productos de droguería para eliminar los mohos pueden suponer un riesgo. La lejía, biocidas y otros productos similares basados en el cloro son realmente eficaces: matan las esporas en 10 segundos. Pero también son un riesgo para la salud, ya que emiten compuestos volátiles que al ser respirados dañan las células de las vías respiratorias y, entre otras cosas, aumentan la vulnerabilidad a las infecciones.

Cuando la aparición del moho es reciente suele ser suficiente con alguna de las tres posibilidades siguientes:

- Alcohol etílico al 80%
- Peróxido de hidrógeno o más conocido como agua oxigenada al 3-10%
- Carbonato de sodio al 5%

En la gran mayoría de los casos, al aplicar uno de estos productos, el moho se desprende y puede ser eliminado. Además, es una solución biocompatible no agresiva.

Puedes hacerlo tú mismo si el moho no se extiende por una superficie mayor de un metro cuadrado. Hazte con unos guantes, unas gafas, una mascarilla y un cepillo y limpia con uno de los desinfectantes seguros propuestos.

Con los mismos productos podemos limpiar rincones donde el moho aprovecha cualquier oportunidad: las gomas de las puertas de la nevera, los filtros del aire acondicionado, los marcos de las ventanas o las mamparas de baño.

Después de la limpieza, hay que tomar medidas para que no vuelva a aparecer: mejorar la ventilación, limpiar con más frecuencia y mantener las superficies secas.

Si el moho lleva tiempo instalado su eliminación es mucho más complicada. Las esporas habrán penetrado en el material y una limpieza superficial no conseguirá resultados duraderos. Lo más sensato es acudir a un profesional del que tengamos buenas referencias y que nos informe de las opciones que tenemos para erradicar el problema.

CUIDADOS EN LA LIMPIEZA - ¿Dónde limpiar?

Artefactos que estén en contacto con agua

Es muy importante estar atentos a los electrodomésticos, cómo las neveras o lavadoras. Limpiar de forma regular cualquier artefacto que pueda acumular agua, como por ejemplo las bandejas que recogen las gotas de la nevera. Además, ojo con las puertas de las neveras, si no sellan correctamente, se va a acumular humedad y puede aparecer moho.

La goma de las puertas en las lavadoras también debe de ser revisada periódicamente. En caso de que no sea posible eliminar el moho, hay que reemplazar la goma dañada.

Limpie las superficies

Es fundamental mantener siempre limpias las superficies húmedas, como la alcachofa de la ducha, las bañeras, lavabos y la encimera de la cocina. No olvidar de revisar la zona debajo del fregadero.

Controle el Polvo

El control del polvo es muy importante para gente alérgica a caspa de animales y a ácaros. Los ácaros no son visibles, pero puede remover sus caldos de cultivo o mantener estas áreas secas y limpias. Los ácaros del polvo pueden alojarse en sofás, sillas rellenas, alfombras y ropa de cama. Las estanterías abiertas, los papeles de pared y las persianas venecianas también son fuentes de ácaros del polvo. Los ácaros del polvo viven muy adentro de las alfombras y no pueden eliminarse con la aspiradora. Muchos médicos sugieren que aquellos pacientes alérgicos a los ácaros deben usar alfombras lavables en vez de moquetas de pared.

Lave siempre la ropa de cama con agua caliente (por lo menos 130°F) para matar los ácaros del polvo. No lo logrará con agua fría. Lave la ropa de cama al menos cada siete a diez días.

CONCLUSIONES

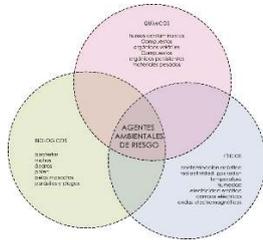


Imagen – agentes ambientes de riesgos

Para concluir, el trabajo ha querido hacer hincapié en la importancia de los criterios de salud cuando diseñamos una casa Passivhaus.

Cómo se ha visto, hay muchos factores que tienen influencia en la calidad del aire, sin embargo algunos como la contaminación biológica y el gas radón son los más difíciles de evitar en este tipo de viviendas. Por esta razón, es de valorar cualquier el esfuerzo que se haga de informar y mejorar los criterios de diseño en este sentido.

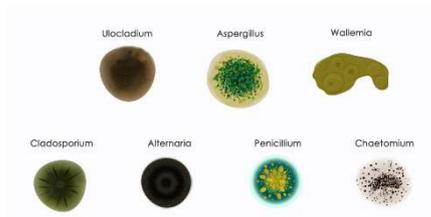


Imagen – contaminación biológica

Para poder investigar es necesario acotar y por esta razón este trabajo se ha centrado por un lado en entender cómo la contaminación biológica se desarrolla en los ambientes interiores y afecta a la salud de sus usuarios, y por otro como desde la arquitectura podemos contribuir para evitar la propagación de estos microorganismos.

A modo de resumen, se enumeran las principales recomendaciones referente a las estrategias de diseño en una vivienda para controlar la aparición de mohos, hongos o cualquier otro tipo de contaminación biológica.

ESTRATEGIAS DE DISEÑO PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA

Estrategia 1

LA ENVOLVENTE TRANSPIRABLE

Diseñar una envolvente que sea transpirable, se trata de una estrategia esencial para impedir el desarrollo de microorganismos en el interior de la vivienda, puesto que ayuda a regular la humedad relativa del ambiente interior. Como hemos visto, la humedad es la principal fuente para el desarrollo de hongos y mohos.

Para disponer de una envolvente transpirable es necesario diseñarla teniendo en cuenta dos conceptos fundamentales: *Moisture Buffering* y la difusión de vapor.

El equilibrio higroscópico o *Moisture Buffering*

Para el confort y salud de los usuarios es fundamental controlar las variaciones de humedad relativa del aire interior de una vivienda. Lo ideal es una tasa de humedad relativa entre el 40% y 60%.

Todos los materiales que componen el interior de una vivienda tienen un papel importante en el equilibrio de la humedad relativa. Por esta razón, es fundamental elegir materiales higroscópicos, puesto que tienen la capacidad de absorber o emitir humedad al aire.

Es importante tener en cuenta que son apenas los 2 o 3 cm superficiales los que influyen inmediatamente en el control de la humedad ambiental. Por lo tanto, nuestra atención se centrará siempre en la capacidad higroscópica de los materiales de acabados, tanto para los parámetros como mobiliarios, de nuestra vivienda.

Los revestimientos y acabados cuanto más naturales sean, mayor será su capacidad de absorción de humedad, mientras que los materiales sintéticos son los peores en este sentido. La madera por ejemplo, es un material con muy buena capacidad higroscópica y por esta razón solemos siempre sentirnos a gusto cuando entramos en una casa construida con madera.

La difusión de vapor

Para evitar la condensación intersticial en la envolvente de la vivienda es fundamental elegir materiales abiertos a la difusión de vapor.

La difusión al vapor es la capacidad de un material para migrar el vapor de agua a través de elementos de construcción, debido a diferencias de presión de vapor.

Los materiales abiertos a la difusión de vapor no influyen en la humedad ambiental, en cambio facilitan la expulsión de ese vapor del interior al exterior, evitando las condensaciones intersticiales.

Mucha atención a la hora de elegir el material para la hermeticidad en las viviendas Passivhaus. La recomendación es elegir materiales que cumplan con los requisitos de hermeticidad al paso del aire y además que sean abiertos a la difusión de vapor de agua.

Aunque la capa hermética suele estar en las entrañas de la envolvente y por esta razón no debería de afectar significativamente a la calidad del aire interior, siempre será preferible utilizar materiales libres de sustancias tóxicas, como revestimientos de cal o yeso y limitar al máximo el uso de cintas y espumas.

Estrategia 2

LA ENVOLVENTE TÉRMICA

El control térmico ambiental y superficial de la vivienda es también una estrategia esencial para equilibrar la humedad relativa interior, ya que la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener el aire depende de la temperatura. Además, nuestra sensación térmica depende, entre otros factores, de la temperatura superficial de los parámetros de la vivienda, en especial de un suelo cálido.

Según los criterios de salud, una temperatura uniforme en el conjunto de la vivienda, como recomienda Passivhaus, no es bueno para la salud.

Para controlar la temperatura superficial de la envolvente de una vivienda es fundamental tener en cuenta dos conceptos: la capacidad de transmitancia térmica y la inercia térmica de los materiales.

La transmitancia térmica

La transmitancia térmica es la capacidad del cerramiento a aislar respecto a las inclemencias meteorológicas. Para lograr una envolvente con baja transmitancia térmica es fundamental el uso de aislante térmico.

Siempre que sea posible optar por aislamientos naturales, pues estos no son nocivos para la salud, es decir no están compuestos por sustancias tóxicas. Además, es importante tener en cuenta que la presencia de contaminantes químicos hace que los hongos se vuelvan cada vez más resistentes.

La posición del aislamiento en la envolvente de una vivienda es un factor clave para evitar las tan temidas condensaciones intersticiales. Lo ideal es colocar el aislamiento por la cara exterior de la envolvente, pues así lograremos un aislamiento continuo en toda la envolvente y evitaremos los puentes térmicos.

Inercia térmica

Elegir materiales con buena inercia térmica, es decir, con capacidad para absorber y amortiguar el calor, contribuye a mejorar sobre todo la sensación de confort térmico de un ambiente.

Los materiales con mayor inercia térmica son el granito, la tierra o el adobe. La madera es un material con baja inercia térmica debido a su porosidad, lo mismo ocurre con los aislamientos térmicos.

La ubicación del aislamiento interfiere radicalmente en la capacidad de inercia térmica de una envolvente. Si ubicamos el aislamiento en la cara exterior de la envolvente, podremos aprovechar más la inercia térmica de los materiales en la cara interior de la vivienda. Si ponemos el aislamiento por la cara interior, no podremos aprovechar la capacidad de absorción térmica de los demás materiales.

La inercia térmica será siempre ideal para las casas de larga permanencia, ya que necesitan más tiempo para calentarse y alcanzar la temperatura de confort deseada.

Estrategia 3

LA VENTILACIÓN

El propósito principal de la ventilación es suministrar al edificio y a sus ocupantes suficiente cantidad de aire fresco y garantizar la extracción al exterior de agentes que pueden ser nocivos para el cuerpo humano o el edificio.

El confort térmico y la salubridad de un espacio interior están directamente relacionados con la convección, el contenido de humedad y la composición del aire.

Aunque las viviendas Passivhaus, dispongan de un sistema de ventilación mecánico con recuperador de calor, debemos también de fomentar la ventilación natural.

Para favorecer la ventilación natural en el interior de una vivienda, podemos incorporar las siguientes técnicas al diseño de nuestras edificaciones: ventilación unilateral, cruzada o por estratificación.

El gran problema de las casas Passivhaus es el sobrecalentamiento en verano. Un exceso de sobrecalentamiento en un edificio, puede tener consecuencias muy graves, afectando a la salud de los ocupantes, llegando a causar un ataque cardíaco, un accidente cerebrovascular o una muerte súbita del lactante. Este

riesgo se incrementa en las viviendas Passivhaus, dado su alto nivel de aislamiento térmico.

Por esta razón, en climas calurosos y secos, y en menor grado en climas calurosos y húmedos, la ventilación natural nocturna es indispensable y un gran modo de fomentar el aire a través de las ventanas, ya que durante la noche en estos lugares se produce un descenso de las temperaturas que pueden llegar a suponer una diferencia de 20° con las temperaturas diurnas.

Estrategia 4

EL DISEÑO DEL CUARTO DE BAÑO Y COCINA

Estrategia 5

MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA

La primera indicación de que existen problemas de contaminación biológica es la presencia de un olor a humedad. Un examen visual, puede localizar manchas de pigmentación claramente visibles y de diferentes colores sobre la superficie del objeto.

Medidas de prevención

Secar la ropa siempre al aire libre y no en el interior de la vivienda.

Cocinar, siempre que posible, con las cazuelas tapadas.

Evitar desperdicios de comida y agua sobre la encimera de la cocina.
Evitar las duchas largas con agua caliente y el uso de alfombras en estos espacios.

Cuanto mayor es el número de personas en casa, mayor será la producción de vapor de agua debido a la transpiración y respiración.

El riego de planta también puede producir humedad en el ambiente, aunque existen plantas que son deshumidificadores.

Inspeccionar la vivienda y reparar cualquier daño por agua en la construcción de la vivienda.

Utilizar deshumidificadores en último caso. Lo ideal siempre es buscar el problema y solucionarlo.

Como eliminar el moho

Los productos como la lejía, biocidas u otros productos similares basados en cloro son muy eficaces para matar las esporas de moho, pero son un riesgo para la salud.

Para eliminar el moho, utilizar productos no agresivos como el Peróxido de hidrógeno.

En muchos casos, no basta con una limpieza superficial, será necesario llegar a picar toda la capa manchada por moho o eliminar directamente el material, para eliminar completamente las esporas de moho.

El moho en muchos casos es tóxico, así que antes de limpiar es muy importante protegerse con guantes y mascarillas o llamar a profesionales especializados.

Vigilar y limpiar regularmente las neveras y lavadoras, las duchas de los baños, lavados, fregaderos. Son aparatos y lugares que acumulan fácilmente agua.

Quitar el polvo regularmente y lavar las ropas de cama al menos cada siete o diez días con agua caliente para matar los ácaros del polvo.

Este conjunto de medidas, es fruto de una revisión bibliográfica de diferentes autores y estudios que analizan la influencia de la arquitectura en la salud de las personas, así como del conocimiento adquirido durante el curso de Postgrado Arquitectura y Salud – COAC / Escuela Sert, dirigido por la arquitecta Sonia Hernández Montaña.

BIBLIOGRAFIA

AA.VV.. **2 CLAVES DE LOS MATERIALES NATURALES. HIGROSCOPICIDAD Y DIFUSION DE VAPOR** (www.arkialbura.com)

AA.VV.. **DAYLIGHT EXPOSURE MODULATES BACTERIAL COMMUNITIES ASSOCIATED WITH HOUSEHOLD DUST.** Microbiome, 2018.

AA.VV.. **GUÍA DE CALIDAD DEL AIRE INTERIOR.** Comunidad de Madrid. Madrid, 2016.

AA.VV.. **GUÍA DEL ESTÁNDAR PASSIVHAUS.** Comunidad de Madrid. Madrid, 2011.

AA.VV.. **HEALTH AND WELLBEING IN HOMES.** UK green building council. July, 2016

AA.VV.. **HUMEDAD POR CONDENSACIÓN EN VIVIENDAS. PREVENCIÓN Y SOLUCIONES.** CDT / Documentos técnicos: corporación de desarrollo tecnológico, nº33, abril 2012.

AA.VV.. **IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE DOMESTIC INDOOR ENVIRONMENT AND ASSOCIATED HEALTH RISKS IN THE UK.** Environment International, nº 85, 2015 – 290-313.

AA.VV.. **LEYENDAS URBANAS SOBRE LA VENTILACIÓN.** Plataforma de Edificación Passivhaus, 2021.

AA.VV.. **RIESGOS POR AGENTES CONTAMINANTES.** Instituto Navarro de Salud Laboral.

AA.VV.. **SALUD, ESPACIO Y PERSONAS.** H.A.U.S. healthy building y G.B.C.e (Green building council españa), 2020.

AA.VV.. **VENTILACIÓN NATURAL: CONCEPTOS BÁSICOS.** www.yusoproyectos.com

AA.VV.. **WHO GUIDELINES FOR INDOOR AIR QUALITY: DAMPNES AND MOULD.** World healthy Europe organization, 2009.

ALVARENGA, Augusto. **La piel de la arquitectura brasileña: las soluciones de la envolvente a la luz de los conceptos de la arquitectura bioclimática.** UPC, 2013

ARAUJO, Ramón. **LA ARQUITECTURA Y EL AIRE: VENTILACIÓN NATURAL.** Tectonica, n35.

DEL TORO, Antúnez. **VENTILACIÓN NATURAL Y ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA.** Sustentable y Sostenibles, julio, 2014.

FEIRER, Martina y FRANKEL, Alexandra. **CONSTRUIMOS UNA CASA PASIVA.** Madrid: Plataforma edificación passivhaus – PEP, 2016.

FRANCO, José Tomás. **Sin luz natural no hay buena arquitectura: ¿Cómo promover diseños moldeados y nutridos por la luz?.** ArchDaily, diciembre, 2019.

GONZÁLEZ, Francisco Javier Neila. **ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA.** Madrid: Munilla-Leria, 2004.

LÓPEZ, Jesús García y REVILLAS, Sergio Melgosa. **CÓMO MEJORAR LA HERMETICIDAD DE LA ENVOLVENTE EN VIVIENDAS.**

MASCARO, Lúcia R.. **ENERGIA NA EDIFICAÇÃO**. São Paulo: Projeto, 2º edição, 1991.

MERCHAN, Victoria. **HERMETICIDAD AL AIRE Y SALUD: ANÁLISIS Y SITUACIÓN ACTUAL DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA BIOCONSTRUCCIÓN**. Trabajo final de curso del Máster en Bioconstrucción.

OLGAY, Víctor. **ARQUITECTURA Y CLIMA. MANUAL DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO PARA ARQUITECTOS Y URBANISTAS**. Barcelona: Gustavo Gili, 2º edición, 2002.

SCHNEIDER, Anton. **AMBIENTE INTERIOR**. IED: Máster en Bioconstrucción.

SILVESTRE, Elisabet. **TU CASA SIN TÓXICOS**. Barcelona: RBA libros, 2017.

WASSOUF, Micheel. **DE LA CASA PASIVA AL ESTÁNDAR PASSIVHAUS. LA ARQUITECTURA PASIVA EN CLIMAS CÁLIDOS**. Barcelona: Gustavo Gili, 1º edición, 2017.

YARKE, Eduardo. **VENTILACIÓN NATURAL DE EDIFICIOS**. Buenos Aires, Nobuko, 2005.