



# Guía de Calidad del Aire Interior



**Comunidad  
de Madrid**





# Guía de Calidad del Aire Interior





Esta Guía se puede descargar en formato pdf desde la sección de publicaciones de las páginas web:

[www.madrid.org](http://www.madrid.org)

(Consejería de Economía, Empleo y Hacienda, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas)

[www.fenercom.com](http://www.fenercom.com)

Si desea recibir ejemplares de esta publicación en formato papel puede contactar con:

**Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid**

[dgtecnico@madrid.org](mailto:dgtecnico@madrid.org)

**Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid**

[fundacion@fenercom.com](mailto:fundacion@fenercom.com)

Edita: Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid

Coordinación de la guía por Knauf GmbH y FENERCOM

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, respetuosa con la libertad intelectual de sus colaboradores, reproduce los originales que se le entregan, pero no se identifica necesariamente con las ideas y opiniones que en ellas se exponen y, por tanto, no asume responsabilidad alguna de la información contenida en esta publicación.

La Comunidad de Madrid y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, no se hacen responsables de las opiniones, imágenes, textos y trabajos de los autores de esta guía.

Imprime: Arias Montano Comunicación

[www.ariasmontano.com](http://www.ariasmontano.com)

Diseño y maquetación e imprime: Arias Montano Comunicación

[www.ariasmontano.com](http://www.ariasmontano.com)

Tirada: 1.000 ejemplares

Edición: 9/2016

Depósito Legal: M. 31964-2016

Impreso en España - *Printed in Spain*

# Autores



- Capítulo 1. **Introducción**  
Tomas Higuero  
*Consejero Delegado*  
AIRE LIMPIO
- Capítulo 2. **La calidad del ambiente interior y la salud: Un enfoque desde la biohabitabilidad**  
Elisabet Silvestre  
*Dra. en Biología. Experta en Biohabitabilidad*  
HÁBITAT SALUDABLE
- Capítulo 3. **El papel de los materiales de construcción en la calidad del aire interior**  
Pablo Maroto  
*Ingeniero de edificación*  
MARKETING MANAGER EN KNAUF GMBH
- Capítulo 4. **Contaminación microbiológica**  
María Figols  
*Vicepresidenta*  
INSTITUTO ESPAÑOL BAUBIOLOGIE
- Capítulo 5. **Cómo medir la calidad del aire interior**  
Laudelino Javier Sánchez de León Linares  
*Ingeniero de Instalaciones*  
Especialista en Eficiencia Energética en GREENOVATION 203
- Capítulo 6. **Sistemas de ventilación en viviendas. Medida de caudales y comportamiento energético.**  
Moises Odriozola Maritorea  
*ENEDI Research Group*  
UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO/EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA UPV/EHU
- Capítulo 7. **Capacidad de amortiguación de la humedad interior**  
Iñaki Gómez Arriaran  
*ENEDI Research Group*  
UNIVERSIDAD DEL PAÍS VASCO/EUSKAL HERRIKO UNIBERTSITATEA UPV/EHU
- Capítulo 8. **Normativa de calidad ambiental en interiores**  
Paulino Pastor  
*Director en Ambisalud*  
*Presidente del CT100 comité de climatización de AENOR.*  
*Coordinador del CT 171 SC3 calidad de aire en interiores. Auditoria e inspección. AENOR*  
*Experto representante español en el tcTC146 SC6 Indoor Air de ISO*
- Capítulo 9. **Calidad ambiental**  
Fernando Feldman  
*Director Técnico*  
AIRE LIMPIO



# Índice

PRESENTACIÓN	11
1. LA IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR	13
2. LA CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR Y LA SALUD: UN ENFOQUE DESDE LA BIOHABITABILIDAD	17
2.1. Introducción	17
2.2. Entorno	18
2.3. Actuar, prevenir, ante la evidencia	22
2.4. Diseñar edificios saludables	24
2.5. Nuevos retos en arquitectura	27
2.6. Bibliografía	27
3. EL PAPEL DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR	29
3.1. Introducción	29
3.2. Los materiales de construcción	29
3.3. La influencia de los materiales de construcción en la calidad aire interior	31
3.3.1. Contaminantes químicos	31
3.3.2. Contaminantes biológicos	33
3.4. Mejorar la calidad del aire interior. Materiales que purifican el aire	35
3.5. Regulación actual	36
3.6. CEN/TC 351. Evaluación de la liberación de sustancias peligrosas	39
3.7. Sellos y etiquetas	40
3.8. Conclusiones	42
3.9. Bibliografía	43
4. CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA	45
4.1. Introducción	45
4.2. Contaminación microbiológica: Cómo, dónde y cuándo	46
4.2.1. ¿Cómo se desarrollan los hongos?	46
4.2.2. El origen: Dónde y cuándo	47
4.2.3. Riesgos microbiológicos en los sistemas de ventilación/climatización	49







4.2.4.	Riesgos sanitarios	51
4.3.	Actuaciones de evaluación y saneamiento	55
4.4.	Protocolo de evaluación en bioconstrucción	57
4.5.	Conclusiones	61
4.6.	Bibliografía	62
5.	<b>CÓMO MEDIR LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR</b>	<b>65</b>
5.1.	Introducción	65
5.2.	¿Qué medir?	66
5.2.1.	Contaminantes. Qué hacer para determinar cuáles controlar	66
5.3.	Equipos para medir la calidad del aire interior	70
5.4.	Consideraciones a tener en cuenta sobre mediciones de calidad del aire interior	77
5.5.	Bibliografía	80
6.	<b>SISTEMAS DE VENTILACIÓN EN VIVIENDAS. MEDIDA DE CAUDALES Y COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO</b>	<b>83</b>
6.1.	Introducción	83
6.2.	Medida de los caudales de ventilación	84
6.3.	Principales problemas que se presentan en las viviendas	87
6.4.	Ejemplo de medida de caudales y solución de problemas	89
6.5.	Principales sistemas de ventilación que se instalan en el País Vasco. Comparativa energética	95
6.6.	Parámetros fundamentales a tener en cuenta en la selección de los sistemas de ventilación	109
7.	<b>CAPACIDAD DE AMORTIGUACIÓN DE LA HUMEDAD INTERIOR</b>	<b>111</b>
7.1.	Contexto: Edificios sostenibles	111
7.2.	Introducción: Amortiguación de las oscilaciones de humedad relativa	112
7.3.	Aplicaciones en edificios y espacios ocupados: Concepto de estructura transpirables y amortiguamiento de humedad	117
7.4.	Conceptos básicos sobre almacenamiento y transporte de humedad en materiales de construcción	121
7.4.1.	Almacenamiento de humedad	122
7.4.2.	Transporte de humedad	125
7.5.	Propiedades higroscópicas	130
7.6.	El equilibrio higroscópico en espacios interiores	133
7.7.	El Moisture Buffer Value (MBV)	136
7.7.1.	Determinación del MBV	137
7.8.	Impacto energético de la capacidad de amortiguamiento de humedad	140



7.8.1.	Inercia térmica e inercia higroscópica: inercia higrotérmica	142
7.8.2.	Ahorros de energía directos	143
7.8.3.	Ahorros de energía indirectos	146
7.9.	Materiales	148
7.10.	Conclusiones	151
<b>8.</b>	<b>NORMATIVA DE CALIDAD AMBIENTAL EN INTERIORES</b>	<b>153</b>
8.1.	Introducción	153
8.2.	Descripción de la normativa nacional	154
8.3.	Descripción de la normativa internacional	160
8.4.	Conclusión	166
8.5.	Bibliografía y fuentes consultadas	167
<b>9.</b>	<b>CALIDAD AMBIENTAL</b>	<b>169</b>
9.1.	Introducción	169
9.2.	Partículas en suspensión	169
9.3.	Dióxido de carbono	172
9.4.	Hongos ambientales	173
9.5.	Bacterias en el aire	174
9.6.	Gas radón	175
9.7.	Utilización de materiales amigos del medioambiente interior	175
9.8.	Confort térmico	176
9.9.	Ventilación y adecuada calidad de aire interior	177
9.10.	Olores	178
9.11.	Campos electromagnéticos	179
9.12.	Recomendaciones generales para mejorar la calidad ambiental en interiores	179



# P RESENTACIÓN

La calidad del aire que respiramos incide de manera significativa en nuestra calidad de vida, siendo la causante de muchas enfermedades respiratorias que afectan a nuestra salud y confort.

En algunas ocasiones, es dentro de nuestros hogares donde la contaminación del aire es superior, llegando a ser la calidad hasta 5 veces peor que en el exterior.

Muchos de los materiales utilizados en la construcción de viviendas, como las pinturas, los materiales sintéticos, las moquetas, etc., tienen un efecto en los humanos, hasta hace muy poco tampoco eran conocidos, haciendo que sea en el interior de nuestro hogares donde estamos más expuestos a estos agentes contaminantes. A lo anterior se une la tendencia en la edificación de una mayor estanqueidad de nuestros hogares, con el fin de ahorrar energía, que hace de multiplicador de la mala calidad del aire.

Como resultado de estos efectos nocivos, se ha ido produciendo un avance en los conocimientos relacionados con nuestra salud y, con ellos, el desarrollo de un sistema de prevención y sensibilización, con los consiguientes cambios legislativos y normativos en materia de calidad del aire interior. Así como una familiarización con muchos de estos aspectos, ganando en concienciación y en el uso de términos, antes totalmente desconocidos para el público en general.

La consejería de Economía, Empleo y Hacienda, a través de la Dirección General de Industria, Energía y Minas, junto con la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid y Knauf GmbH han llevado a cabo el desarrollo de esta guía en la que se analizan los principales contaminantes presentes en el aire y en los materiales constructivos, así como los elementos de medición, las posibles soluciones mediante sistemas de ventilación y otros aspectos normativos y legislativos.

## **D. Carlos López Jimeno**

Director General de Industria, Energía y Minas  
Consejería de Economía, Empleo y Hacienda  
Comunidad de Madrid





# 1

## LA IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

**Tomas Higuero**

*Consejero Delegado*

*Aire Limpio*



Muchas personas no son conscientes que el aire interior está de media entre 2 y 5 veces más contaminado que el aire exterior. Además pasamos más del 90% de nuestro tiempo en interiores bien en el trabajo o en nuestros hogares. Claramente nuestra exposición a los contaminantes ambientales no tiene lugar en la calle sino en los espacios interiores.

La EPA (*Environmental Protection Agency*) estima que las personas sufren el 72% de la exposición a químicos cuando están en interiores, lo cual paradójicamente significa que cuando se piensan que están a salvo en casa o en la oficina, es cuando realmente se exponen a un mayor riesgo.

Curiosamente la calidad del aire interior es un problema que tiene una solución más fácil, viable y económica que solventar la tremenda situación de calidad de aire exterior que sufren muchas de las grandes ciudades del mundo.

Durante la década de los 70 del siglo pasado y debido especialmente al incremento de los precios energéticos, los edificios pasaron a ser más estancos, mejor aislados, con la idea de preservar mejor la energía. Esto afectó tanto a los edificios residenciales como a los inmuebles comerciales y administrativos. Al mismo tiempo, el origen sintético de mobiliario, moquetas, recubrimientos interiores, pinturas, fue cada vez más frecuente, sin tener en cuenta (entonces se desconocían sus efectos para la salud) que emitían un gran número de compuestos al interior. El efecto no esperado es que este incremento de estanqueidad en los edificios trajo consigo una menor ventilación, al mismo tiempo que existía una mayor concentración de contaminantes de procedencia tanto interior (mobiliario, pinturas) como exterior (calidad de aire exterior mala en muchos casos) todo ello, desembocó en un deterioro de la habitabilidad de los edificios.



## Guía de calidad del aire interior

El resultado, por todos conocido, es que los inmuebles se convirtieron en una trampa para la salud y el confort de sus ocupantes. Sin exagerar un ápice, el exponencial incremento de las enfermedades respiratorias experimentado en la sociedad occidental en los últimos cuarenta años no se puede explicar sin que la calidad del aire interior ocupe el lugar principal en la lista de causas.

A lo largo de estos cuarenta años se ha ido construyendo, el esquema preventivo que las sociedades siempre levantamos para prever y/o solventar los problemas que nos afectan. En este sentido fruto del gran número de afectados (asmáticos, alérgicos -especialmente niños - enfermedades cancerígenas y cardiovasculares generadas por la contaminación) se ha elevado la sensibilización de la opinión pública por estos temas, acuñándose o resultándonos más familiares términos como síndrome de edificio enfermo, sensibilidad química múltiple, legionela, partículas 2.5, COV, etc. Todo esto vino acompañado de un mayor conocimiento en relación con los efectos de la contaminación en nuestra salud: exposición corta o prolongada y establecimiento de la relación causa-efecto de por qué los edificios pueden ser perjudiciales para nuestra salud.

De todo lo anterior, declinaron los posteriores cambios tanto legislativos como en el ámbito de la industria de la edificación.

A raíz del acceso al mencionado conocimiento se empezaron a establecer valores límites en cuanto a presencia de contaminantes en el interior de los edificios (*Threshold Limit Values* o *TLV*). Estableciendo, por primera vez, que la exposición de riesgo laboral a contaminantes no sólo estaba circunscrita a entornos manufactureros o similares, sino que se daba también en oficinas. En las oficinas los trabajadores están expuestos a un gran número de contaminantes de muy diversa procedencia y en bajas concentraciones. Era evidente que dicha exposición requería un tratamiento distinto. En este sentido, hay que destacar que fue la legislación de prevención de riesgos laborales la pionera, tanto en Europa como en EE. UU. en abordar este problema, emitiendo leyes, guías, concentraciones límites, etc.

Los legisladores en materia de edificación fueron en líneas generales más reactivos y es en el año 2008, con las modificaciones experimentadas tanto en el Código Técnico como en el RITE, cuando en España se empieza realmente a tener en cuenta todo lo relacionado a la calidad del aire en los edificios. Hay que tener presente que, desde siempre, por parte de la industria vinculada a la edificación se tra-

taron de minimizar los riesgos para la salud relacionados a una mala calidad del aire interior, asumiendo la, errónea, premisa que tratar este problema involucraba un encarecimiento muy intenso del proceso edificativo.

Afortunadamente aquellos tiempos quedaron atrás y tanto legisladores (internacionales y nacionales) así como asociaciones y los principales jugadores de la industria (promotores, constructores, diseñadores, fabricantes de mobiliario, etc.) son conscientes de la importancia de la calidad del aire interior y que esta calidad no es incompatible con la eficiencia energética en los inmuebles, sino que deben ir de la mano y que además su coste es razonable. Buena muestra es que recientemente, la que probablemente sea la asociación de ingeniería más prestigiosa del mundo: ASHRAE (*American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) emitió un postulado (position paper) en el que decía de manera categórica que su obligación principal es que los edificios fueran sanos y confortables para sus ocupantes, que el ahorro energético, importante como es, pasa a un segundo plano tras la mencionada prioridad.

Lógicamente el mercado reaccionó una vez establecido y constatado el conocimiento y tras la aprobación de los distintos cuerpos legales que regulan la construcción y estancia en edificios (códigos constructivos y normativas de prevención de riesgos laborales). Hay que decir que el desarrollo de dicho mercado, llamémosle de productos y servicios relacionados con la sostenibilidad en la edificación, está siendo óptimo, a pesar que se está aplicando principalmente en la nueva construcción (una gota en el océano) y que todo lo edificado está en condiciones por debajo de lo deseable.

No obstante lo anterior, construcción sostenible, edificación verde, vivienda bioclimática y términos similares están ya interiorizados por la opinión pública y son utilizados de manera muy intensa para diferenciar y comercializar un producto inmobiliario de otro, esa situación ya de por si es muy importante. Si a ubicación, servicios, calidad añadimos una serie de ventajas de tipo ambiental y/o energético para promocionar las casas u oficinas que se venden o alquilan, parece que se va por el buen camino.

Hace exactamente quince años muy pocas personas conocían lo que era una certificación sostenible en un edificio, hoy en día todos los profesionales vinculados al mundo de la edificación saben perfectamente lo que es LEED o BREEAM. Conocen que los inmuebles más







## Guía de calidad del aire interior

emblemáticos tienen todas las certificaciones de este tipo, las cuales les permiten alquilar o vender su edificio de una manera más rápida y con una mayor contraprestación económica. Al mismo tiempo las compañías que ocupan estos inmuebles notan que sus trabajadores son más productivos (el absentismo es menor), más saludables y dichos edificios les ayuda a expresar sus valores sostenibles y por tanto a proyectarse mejor a la sociedad.

Todo lo anterior, aplicado tanto en terciario como en residencial está gestando la aparición de nuevos operadores o la mutación de jugadores existentes para amoldarse al nuevo escenario.

Cumplir el Código Técnico o el RITE es ya un avance importante en la escala de sostenibilidad de un edificio y por tanto en su calidad de aire interior. Alrededor de esta realidad, las empresas están ofreciendo desde: innovadores diseños sostenibles (arquitectos e ingenieros), nuevos materiales de construcción de baja emisión, mobiliario y moquetas que no desprenden contaminantes, instalaciones con un menor consumo energético a la vez que filtran y ventilan mejor. Nuestro país está saliendo de algo más de un lustro de penurias económicas por lo que percibir este tipo de cosas a veces no es fácil, sin embargo es una corriente que no tiene punto de retorno y de la que España no quedará exenta, no en vano ocupamos el tercer lugar en Europa en número de edificios con certificación sostenible.

El parque ya construido, muy ineficiente también bajo el punto de vista energético, debe ser renovado y debería haber estímulos (p.e. fiscales) para que los propietarios acometieran estos proyectos, no sólo para la mejora energética de dichos inmuebles sino también desde el punto de vista de calidad de aire interior. Efectivamente, los ahorros derivados de un mejor aprovechamiento energético son muy importantes; sin embargo, lo anterior debe resaltar aún más que los ahorros a nuestro Sistema Nacional de Salud y al sistema productivo (Seguridad Social y empresas) inducidos por que respiremos un aire de mejor calidad en el trabajo y en casa son muy superiores a los energéticos.

La calidad del aire interior, no deja de ser una moneda con dos caras. Por lo que las oportunidades en mejora de salud, confort, calidad de vida, productividad laboral son inmensas también. Al mismo tiempo, la oferta de servicios y productos en relación con la sostenibilidad y la eficiencia energética vinculadas con la edificación, será, sin duda, en los años venideros fuente de inversión y por tanto generadora de empleo y valor para la sociedad en general.

# 2 LA CALIDAD DEL AMBIENTE INTERIOR Y LA SALUD: UN ENFOQUE DESDE LA BIOHABITABILIDAD

**Elisabet Silvestre**

*Dra. en Biología. Experta en Biohabitabilidad  
Hábitat Saludable*



## 2.1. INTRODUCCIÓN

Los hábitos de vida han cambiado de forma considerable en pocas décadas. La Organización Mundial de la Salud (OMS) afirma que en las ciudades se pasa del 80 al 90% de la jornada en espacios cerrados (oficinas, escuelas, hospitales, comercios, domicilio, espacios de ocio, etc.), y de la calidad de su ambiente interior depende en gran medida el bienestar y el confort de las personas.

Así, la misma OMS describe como Síndrome del Edificio Enfermo, los síntomas de disconfort y afecciones de salud que refieren los trabajadores usuarios habituales de los denominados edificios inteligentes, caracterizados por una mayor hermeticidad, mayor tecnificación y un uso más generalizado de materiales de construcción sintéticos. Es por ello, que dada la importancia que reviste en la sociedad actual, la investigación y el conocimiento acerca de la influencia de determinados factores ambientales presentes en el interior de los edificios en relación con la salud de las personas ha ido creciendo en las últimas décadas.

Un conjunto de normas, regulaciones, normativas, sellos y certificados, han ido incorporando indicadores de sostenibilidad, de bienestar y salud, si bien, se siguen dando casos de edificios acabados de estrenar en los que sus usuarios habituales refieren merma de bienestar, con síntomas y problemas de salud derivados de la calidad del ambiente interior.

En este artículo se presenta un nuevo abordaje de la construcción y la arquitectura, considerando la necesidad de disponer de parámetros e indicadores de salud ambiental desde la fase de diseño del edificio o de su rehabilitación, incluyendo una participación de profesionales multidisciplinar, y tomando como referencia los conocimientos y evidencias en el campo de la salud y la biología humana. El objetivo



es aportar opciones y soluciones constructivas que sean más biocompatibles con los sistemas biológicos, en el contexto de una disciplina que se ha definido como Biohabitabilidad, enfocada a diseñar, rehabilitar y construir espacios habitables considerando los parámetros de la biología humana, estableciendo pautas encaminadas a promover espacios más saludables.

## 2.2. ENTORNO Y SALUD

La salud depende en gran medida del ambiente en el que vivimos y trabajamos. Así lo constata la OMS, afirmando que la salud humana depende en última instancia de la capacidad de la sociedad para manejar la interacción entre las actividades humanas y el medio ambiente físico y biológico, y en relación a los edificios definió en 1982, el síndrome del edificio enfermo (SEE) como un conjunto de síntomas de salud derivados de factores presentes en el ambiente del edificio. Se cataloga a un edificio como enfermo si al menos un 20% de los ocupantes presentan síntomas adversos de salud, y la evolución se caracteriza por un alivio de los síntomas, o su desaparición, al abandonar el edificio, o a los pocos días o semanas de no tener relación con dicho edificio. La misma OMS indica que el 30% de los edificios actuales de nueva construcción o acabados de reformar, con un ambiente hermético, ventanas no practicables, ventilación mecánica, materiales sintéticos y muy tecnificados, presentarían este síndrome.

Cuando aparecen las quejas por parte de los usuarios del edificio se valora el realizar un análisis ambiental con la finalidad de determinar la causa y aportar medidas correctoras según establecen las normas y normativas en relación a la calidad del ambiente interior. Habitualmente, algunos de los hallazgos más comunes tras el estudio ambiental son unos niveles de humedad relativa baja, deficiencias en la ventilación, climatización o en el mantenimiento de las instalaciones. Determinar la causa suele requerir una compleja labor de valoración y de mediciones, y generalmente no suele haber un único factor incidente implicado, de modo que el estudio debe orientarse a analizar y medir más de un parámetro relacionado con la salud ambiental.

Los factores ambientales se pueden clasificar según su naturaleza en biológicos, químicos y físicos (Tabla 2.1). Mohos, bacterias, toxinas, virus, etc. Productos químicos derivados de materiales de construcción como aislamientos, pinturas, colas, plásticos, mobiliario, moquetas,



alfombras, productos de limpieza, biocidas, cosméticos, productos secundarios resultantes de la combinación de sustancias, una iluminación inadecuada, temperatura, humedad relativa baja o alta, ventilación deficiente, radiaciones naturales del subsuelo como el gas radón, o las artificiales derivadas de la instalación eléctrica o de los equipos eléctricos y electrónicos o las telecomunicaciones, etc., todos ellos –solos o en sinergia–, pueden asociarse con síntomas de salud adversos.

Los síntomas suelen ser bastante inespecíficos como dolor de cabeza, irritación o picor de ojos, nariz o garganta, sequedad de las mucosas, irritación y eczemas en la piel, cansancio, falta de concentración, fatiga, afecciones respiratorias o hipersensibilidad ambiental (Tabla 2.2).

**Tabla 2.1.** Algunos síntomas de salud relacionados con el ambiente interior.

FACTORES BIOLÓGICOS	FACTORES QUÍMICOS	FACTORES FÍSICOS
Moho	Monóxido de carbono	Temperatura
Bacterias	Compuestos orgánicos	Humedad relativa
Hongos	Volátiles (COVs)	Ventilación
Levaduras	Humos	Acústica
Ácaros	Gases	Iluminación
Virus	Olores	Gas radón
		Electricidad estática
		Campo eléctrico alterno
		Campo electromagnético

**Tabla 2.2.** Agentes que inciden en la calidad del ambiente interior.

Irritación ojos, nariz, garganta, piel	Cefaleas
Picor ojos, nariz, garganta, piel	Dificultad concentración
Sequedad ojos, piel	Fatiga
Rinitis	Irritabilidad
Congestión nasal	Bajo rendimiento
Resfriados	Falta de concentración
Tos	Alergias
Disnea	Hipersensibilidad ambiental
Problemas respiratorios	Lipoatrofia semicircular



## Guía de calidad del aire interior

Las molestias y el disconfort asociados al SEE no solo aparecen referenciados en los edificios de uso laboral, como las oficinas. Desde hace pocos años, en la bibliografía científica se ha introducido el término de «síndrome de la casa enferma» para referirse a las problemáticas de salud ambiental en relación al ambiente doméstico. Del mismo modo en que trabajadores que cambian del edificio en el que llevaban tiempo desarrollando su labor, a uno más tecnificado -o a uno recientemente rehabilitado- refieren problemas de salud, ocurre lo mismo con algún miembro de la familia cuando se mudan de casa o tras la realización de alguna reforma.

Compuestos orgánicos volátiles presentes en materiales de construcción y de acabados de interior y mobiliario (aislamientos, morteros, pinturas, barnices, contrachapados, moquetas, alfombras, etc.), campos eléctricos y electromagnéticos (de baja o de alta frecuencia), aparición de humedades y mohos, etc., suelen ser la causa de alergias, asma, eczemas, cefaleas, hipersensibilidad ambiental, entre otros síntomas.

Las evidencias muestran que se siguen construyendo y rehabilitando edificios y casas que acaban provocando problemas de salud a sus moradores, y la reflexión es que hay que dar un paso más, no solo velando para que se apliquen las normativas ya vigentes, también para ir un paso más allá, planteando y aportando nuevas medidas que los prevengan.

De hecho, algunos de los factores que ya se reconocen como tóxicos, todavía no se incluyen como de obligada consideración antes de realizar una obra. El caso del gas radón puede ser un buen ejemplo de ello, está demostrado que se asocia con el cáncer de pulmón; también está bien establecida la técnica para analizar los edificios o el terreno a edificar, realizando una medición de exhalación en el terreno si fuera necesario; cómo también se conocen las posibles soluciones, diseñando cámaras de aire ventiladas, como medidas eficientes de prevención. Y no solo la geología del terreno, algunos materiales de construcción y rehabilitación también pueden ser una fuente de introducción de radiación ionizante en el espacio interior de los edificios.

Y a pesar de ser una problemática bien conocida, todavía no se incluye en el código técnico de la edificación, una petición reiterada por parte de algunos profesionales sanitarios, especialmente en el área de Galicia, y que recientemente la OMS asegura que «los profesionales del sector de la construcción son agentes clave en la prevención

y mitigación del radón (...) y que son necesarias estrategias para formarlos y garantizar su competencia en ese ámbito».

Para algunos de los factores de riesgo como los de naturaleza física y química la evaluación se hace más complicada, ya que todavía no hay un consenso en la comunidad científica acerca de sus efectos en la salud, a pesar de que hay evidencias de que la exposición continuada a dosis bajas puede ser causa de numerosos problemas y desequilibrios de salud. De hecho, la dificultad del consenso científico estriba en que la exposición es el resultado de interacciones complejas entre la estructura del edificio, los sistemas constructivos, los materiales, el mobiliario, el ambiente exterior, la sensibilidad de los ocupantes habituales, la dosis, el tiempo de exposición, el efecto cóctel, las sinergias, el uso y las actividades que en el espacio se realicen.

Así pues, ¿es posible recuperar un edificio, haciéndolo de forma saludable?, ¿es posible diseñar un edificio que no genere este tipo de riesgos?

Para dar respuesta a esta evidencia y aportar soluciones más saludables promoviendo edificios con una calidad del ambiente interior más biótica se pueden aplicar los indicadores que nos ofrece la biohabitabilidad, en donde se contemplan todos los factores que pueden comprometer la salud desde el mismo momento del diseño y en el proceso de construcción o rehabilitación (Fig. 2.1).

El protocolo de actuación planteado por la biohabitabilidad, contempla el análisis de los factores ambientales de riesgo en el entorno, valorando la capacidad de inmisión al interior del edificio una vez construido, a fin de considerar el implementar soluciones constructivas y materiales de construcción que prevengan su posible entrada (gas radón, campos electromagnéticos, partículas aire, etc.); se valora el diseño de la construcción o de la rehabilitación, analizando la interacción entre materiales, sistemas constructivos, instalaciones y ejecución, considerando el implementar materiales que minimicen o eviten la incorporación de compuestos orgánicos volátiles, formaldehidos, algunos plastificantes, metales pesados, etc., que tengan un adecuado comportamiento con las cargas electrostáticas y con el electroclima, que no sean fuente de radiación ionizante.

También se proyecta una ejecución de las instalaciones eléctricas asegurando derivaciones a toma de tierra eficientes, de todas las





## Guía de calidad del aire interior

estructuras metálicas, trabajando con distancias de seguridad entre las fuentes y los lugares de permanencia de personas, usando cables apantallados en los casos necesarios, con la finalidad de conseguir un electroclima más biótico, algo que con los medios y materiales actuales es posible disponer de las prestaciones que ofrecen los avances tecnológicos, sin comprometer la salud.

La experiencia profesional de más de una década colaborando con arquitectos y profesionales de la salud, avala la eficacia y los resultados positivos del enfoque de la biohabitabilidad desde la fase de diseño del edificio.

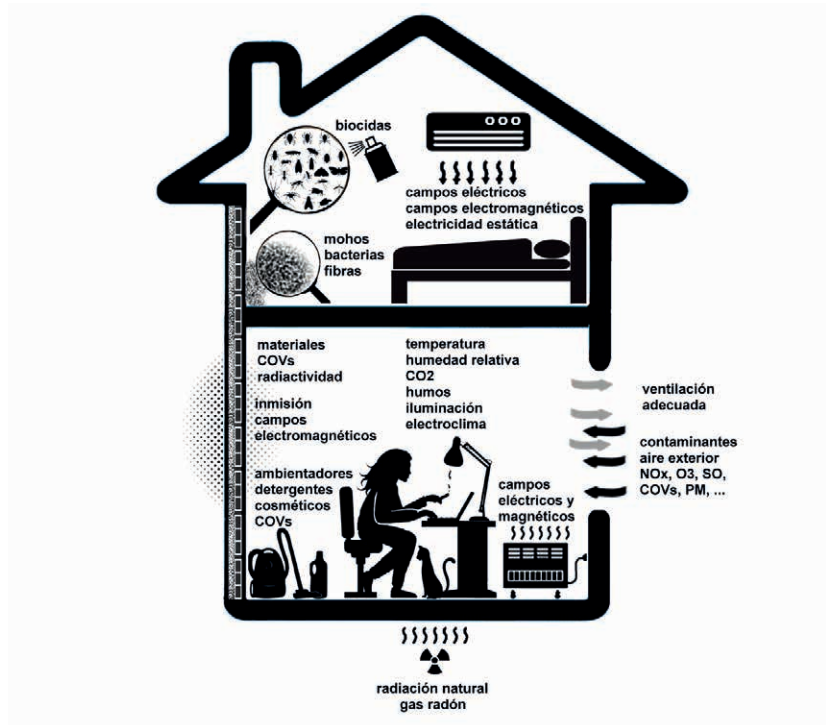


Figura 2.1. Factores ambientales a considerar en el entorno del hábitat.

### 2.3. ACTUAR, PREVENIR, ANTE LA EVIDENCIA

El caso de la lipomatosis semicircular es un buen ejemplo para ilustrar como se hace necesario incluir en la valoración y el estudio, factores ambientales que a priori no se consideraban relevantes por suponerse que las dosis más débiles no eran suficientes para generar problemas.

La lipoatrofia semicircular (LS) es una afección idiopática que se caracteriza por una atrofia de tejido graso subcutáneo a modo de depresión semicircular. Una humedad relativa baja asociada a un ambiente más tecnificado y materiales poco disipativos de los campos eléctricos son habituales en los espacios con personas afectadas de LS. La literatura científica referenciaba el artículo de Maes A, Curvers B, y Verschaeve, a cerca de 900 casos estudiados en la sede belga del KBC Bank & Insurance Group, y en el que los autores postulaban la hipótesis de relacionar las cargas electrostáticas con la aparición de LS en las zonas del cuerpo que está más cerca o en contacto con el mobiliario (piernas a una altura de 72 cm, brazos y abdomen, son las zonas más afectadas y principalmente afecta a mujeres).

La actuación en su corrección también es un ejemplo de cómo, a pesar de no conocerse la etiología, ni disponer de estudios concluyentes de los factores que la favorecen, se hace necesario valorar nuevas hipótesis, analizar y estar atentos a las evidencias.

En un primer momento se barajó como factor incidente la presión y fricción de las zonas del cuerpo afectadas con el mobiliario (las mesas de trabajo, por ejemplo), pero la corrección de este parámetro no resultó ser suficiente para resolver los casos de LS. Fue necesario ampliar la hipótesis de trabajo y al constatar que en muchos casos se medían campos eléctricos a la altura de la mesa y de las piernas más altos de lo esperado, se consideró incluir el análisis de los campos eléctricos y electromagnéticos derivados de las instalaciones, los ordenadores y otros equipos, sumándose a la hipótesis de trabajo.

En este contexto, la Generalitat de Catalunya publicó un protocolo de actuación que ha sido pionero en esta materia; y se han venido aplicando medidas de corrección, trabajando siempre bajo hipótesis y evidencias de mejora, mientras la investigación de cómo actúan sigue su curso. Está claro que en 2007 cuando aparecieron los primeros casos de LS no se podía esperar a conocer la etiología para actuar; por lo que el análisis, la creación de posibles hipótesis y la implementación de correcciones, se plantearon como la vía para ayudar a minimizar las afecciones. No fue hasta 2010, cuando un estudio mostró que la exposición habitual y continuada de un campo eléctrico o electromagnético débil de baja frecuencia puede actuar de cofactor para la aparición de LS, de modo que podrían producir cambios en las propiedades bioeléctricas de la piel, y se activarían los macrófagos con actividad lipofágica en la hipodermis.







El análisis de las interacciones y las exposiciones múltiples van revelando datos acerca de cómo los efectos en la salud están a menudo relacionados con exposiciones múltiples, también interacciones entre los agentes.

## 2.4. DISEÑAR EDIFICIOS SALUDABLES

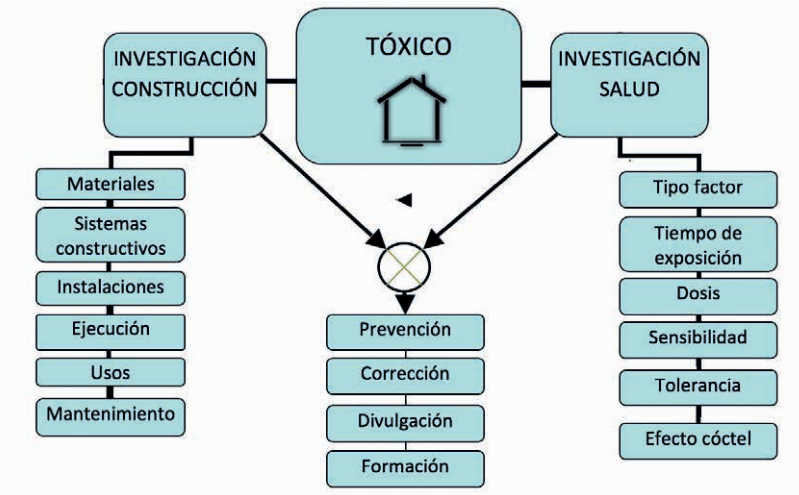
Actuar desde el momento inicial del diseño es la vía más eficiente para garantizar una calidad del ambiente interior más biótica y prevenir posibles situaciones de disconfort y problemas de salud derivados. De este modo, no solo se evitan quejas y afectaciones que puedan aparecer, también se reduce considerablemente el coste económico derivado de implementar actuaciones destinadas a resolverlo.

Desde la biohabitabilidad se aborda la valoración de los posibles agentes ambientales que pueden actuar como tóxicos para la salud en el entorno del hábitat desde un análisis multidisciplinar (Tabla 2.3); un enfoque que promueve:

- La actuación desde el diseño con un enfoque de equipos multidisciplinares en el que además de los profesionales del ámbito de la construcción participen profesionales del ámbito de la salud ambiental.
- La incorporación de los indicadores de salud ambiental como un eje transversal desde el diseño, la planificación, la ejecución, tanto de obras de nueva construcción como en rehabilitación, con el objetivo de garantizar edificios y ambientes interiores saludables.
- La implementación en todas las escalas de actuación, desde el ámbito del urbanismo, planificando considerando parámetros e indicadores de salud ambiental y de las personas, incluso en el ámbito residencial.
- El compromiso como nueva disciplina con la prevención, la formación y la divulgación de opciones más saludables para crear entornos más favorables para la salud y más respetuosos con el medio ambiente.
- El seguimiento de los estudios publicados en el ámbito de la investigación, tanto de las áreas que abordan las ciencias de la salud como las de las áreas de investigación en la construcción.
- La investigación y el estudio en el campo de la construcción y de la salud a fin de favorecer el avanzar en el conocimiento de cómo afecta realmente la exposición crónica a dosis bajas de determina-

dos factores a largo término, considerando el efecto cóctel, las sinergias y cofactores, la tolerancia y el efecto en los grupos de riesgo.

**Tabla 2.3.** Esquema de abordaje del análisis de los factores ambientales en el entorno del hábitat.



En este sentido, la biohabitabilidad está en la línea que desde hace unos años, y desde la Unión Europea se vienen aconsejando medidas de prevención aplicando el principio de precaución. En fecha de 4 de septiembre de 2008 el Parlamento Europeo emitió la Resolución sobre la revisión intermedia del Plan de Acción Europeo sobre Medio Ambiente y Salud 2004-2010, (planteando la necesidad de realizar acciones a fin de minimizar el impacto de las enfermedades ambientales. En dicha resolución se considera la necesidad de centrarse en los nuevos retos sanitarios y abordar los factores medioambientales que determinan la salud humana, como la calidad del aire exterior e interior de los edificios, las ondas electromagnéticas o las sustancias químicas muy peligrosas, de efecto carcinogénico, mutágenas o tóxicas para la reproducción, al comportarse como disruptores endocrinos.

Para ello se considera el establecer una serie de indicadores, desarrollar una vigilancia integral y evaluar datos pertinentes y multiplicar la investigación que permitan una mejor comprensión de las interacciones entre las fuentes de contaminación y los efectos sanitarios. En este plan se destaca el tener especial atención con la población infantil, reforzar las acciones para evitar la contaminación doméstica, teniendo muy presente que el ciudadano europeo pasa una media del 90% de su vida en el interior de edificios y viviendas, y la apari-





## Guía de calidad del aire interior

ción en los últimos años de nuevas enfermedades o síndromes como la hipersensibilidad química múltiple, el síndrome del edificio enfermo, la hipersensibilidad a los campos electromagnéticos o el déficit de atención con hiperactividad, los cuales se relacionan con factores etiológicos ambientales. Por ello, se considera que el principio de precaución (incluido en el Tratado europeo desde 1992) es fundamental en la política de protección de la Comunidad en el ámbito del medio ambiente y salud. Se plantea el promover la medicina o la salud del medio ambiente, fomentando la enseñanza universitaria a los profesionales de la salud.

En relación al ámbito doméstico destacan algunas recomendaciones que apoyan el planteamiento de apostar por casas más saludables. Se reitera el considerar implementar medidas concretas sobre la calidad del aire interior en relación a los materiales de construcción, la eficiencia energética de los edificios y la seguridad e inocuidad de los componentes químicos utilizados en la fabricación de equipos y mobiliario; todo ello para minimizar los posibles efectos nocivos de estos agentes en el medio ambiente y la salud. Recomienda a los estados miembros que incentiven y dispongan ayudas para mejorar la calidad del aire interior y reducir la exposición a la radiación electromagnética en edificios y oficinas. En definitiva, se recomienda establecer requisitos mínimos para velar por la calidad del aire interior en los edificios de nueva construcción.

También la resolución la Asamblea Parlamentaria del Consejo de Europa de fecha de 27 de mayo de 2011 sobre los peligros potenciales de los campos electromagnéticos y sus efectos en el medio ambiente. Según la Organización Mundial de la Salud, los campos electromagnéticos en todas sus frecuencias constituyen uno de los factores ambientales más comunes y de crecimiento más rápido, con respecto a los cuales existe un gran desconocimiento, unido a situaciones de miedo o ansiedad y de especulación. Se parte de que actualmente, toda la población está expuesta a diversos niveles de campos electromagnéticos, niveles que seguirán aumentando a medida que avanzan las nuevas tecnologías. La resolución recomienda «aplicar el Principio de Precaución cuando la evaluación científica no permite determinar el riesgo con suficiente certeza, especialmente en el contexto de una creciente exposición de la población, incluidos en especial grupos vulnerables como la juventud y los niños-as, aspecto que podría generar costes humanos y económicos extremadamente elevados por no actuar haciendo caso omiso de las alertas tempranas».

También contempla medidas de diseño considerando distancias de seguridad de las fuentes a los espacios de uso habitual de las personas, aplicar el principio ALARA «tan bajo como sea razonablemente posible», tanto con respecto a los efectos térmicos como a los efectos atérmicos o biológicos de la radiación o emisiones electromagnéticas, prestar especial atención a las personas electrosensibles afectadas por un síndrome de intolerancia a los campos electromagnéticos, establecer umbrales de prevención para los niveles de exposición a largo plazo en todas las zonas interiores, planificación de las líneas eléctricas y de las estaciones base de antenas de telefonía móvil, establecer normas urbanísticas que requieran una distancia de seguridad entre las líneas de alta tensión y demás instalaciones eléctricas y las viviendas, o su apantallamiento eficiente en caso excesiva proximidad a espacios habitados.

## 2.5. NUEVOS RETOS EN ARQUITECTURA

Conseguir aunar sostenibilidad y eficiencia energética, con los edificios y las ciudades inteligentes, forma parte de los retos actuales en el campo del urbanismo, la arquitectura, la construcción, e incluso del interiorismo. Maximizar el aislamiento térmico y la estanqueidad, conseguir la ventilación más óptima, apostar por las nuevas tecnologías, no debe implicar una pérdida de la calidad del ambiente interior. La elección de los materiales de construcción, técnicas constructivas, instalaciones, acabados, etc., deben primar el conseguir un espacio interior que garantice el bienestar y una calidad ambiental óptima. Como reza el título de un artículo publicado en la revista *Thegnos* del Colegio de Ingenieros de Barcelona «la Biohabitabilidad es la revolución pendiente».

## 2.6. BIBLIOGRAFÍA

Silvestre, E y Bueno, M. (2009): «Casa saludable». Ed. Cúpula.

Silvestre, E. (2014): «Vivir sin tóxicos». Ed. RBA.

Aizawa, Y and Yoshiharu Aizawa Research Group. (2009): *Review of sick house syndrome. Life Environ*; 49: 9-13.

Manual de la OMS sobre el radón en interiores. (2015): Una perspectiva de salud pública. OMS.





## Guía de calidad del aire interior

Col·legi d'aparelladors, arquitectes tècnics i enginyers de l'edificació de Barcelona: Agenda de la construcció sostenible.

[http://www.csostenible.net/index.php/ca/casos\\_practics](http://www.csostenible.net/index.php/ca/casos_practics)

Maes A, Curvers B, Verschaeve L. (2003): *Lipoatrofia semicircularis: the electromagnetic hypothesis*. *Electromagnetic Biology and Medicine*; 22 (2).

Protocolo de lipoatrofia semicircular de la Generalitat de Catalunya. [http://www.gencat.cat/treball/doc/doc\\_34429608\\_2.pdf](http://www.gencat.cat/treball/doc/doc_34429608_2.pdf)

Úbeda Maeso A, Martínez Pascual M.A, Cid Torres M.A, Trillo Ruíz M.A, Paíno Belarrinaga C.L. (2011): Campos electromagnéticos débiles y lipoatrofia semicircular. *Seguridad y medio ambiente*. N° 123.

Plan de Acción Europeo sobre Medio Ambiente y Salud (2004-2010). <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:52004DC0416>

Resolución 1815 de 2011 de la Asamblea Parlamentaria de Europa. <http://www.europarl.europa.eu/>

Revista Theknos. Col·legi d'enginyers de Barcelona. N° 155. (2011). <https://www.enginyersbcn.cat/serveis-colegiats/biblioteca/273/theknos-155-juliol-agost-biohabitabilitat-la-revolucio-pendent>

# 3

## EL PAPEL DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

**Pablo Maroto Millán**

*Ingeniero de edificación*

*Marketing Manager en Knauf GmbH*



### 3.1. INTRODUCCIÓN

Un edificio sostenible tiene en cuenta multitud de criterios que lo hacen respetuoso con el medio ambiente, pero además debe tener en cuenta la salud y confort de los usuarios, lo que podríamos definir como la calidad ambiental que engloba confort térmico, lumínico, acústico y la calidad del aire que se respira en el interior del edificio.

Una de las fuentes más común de contaminación del aire interior, son los materiales de construcción que se utilizan en las obras nuevas o de rehabilitación, en forma de emisiones de COV (Compuestos Orgánicos Volátiles) y/o Radón, que pueden alcanzar mayores concentraciones debido a una falta de ventilación en los edificios. En este sentido debemos armonizar, por un lado, las diferentes directivas europeas en reducir la demanda energética en los edificios, y por otro lado, el entorno donde se permanece más del 80% de nuestro tiempo y que debería ser lo más saludable y confortable posible.

La sociedad debería ser consciente de lo que significa un edificio con criterios de sostenibilidad y saludable, y que sean ellos los principales impulsores de esta demanda, valorando las diferentes propuestas de los intervinientes en el proceso constructivo, por un compromiso con nuestro entorno y la propia salud de los usuarios.

### 3.2. LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Cuando se habla de materiales para la construcción su grado de sostenibilidad puede valorarse con diversos criterios; teniendo en cuenta los diferentes impactos ambientales, mantenimiento a lo largo de su vida útil, reciclable y/o reutilizable, etc., conceptos interesantes si pen-



## Guía de calidad del aire interior

samos que los materiales de construcción representan el 40% de las materias primas utilizadas en la Unión Europea.

La producción de materiales ha sufrido cambios importantes en los procesos productivos para aumentar su eficacia, pero sin dejar de ser una parte muy importante durante el ciclo de vida del edificio.



Figura 3.1. Etapas del ciclo de vida.

En general, los diferentes impactos que producen los materiales sobre el medioambiente se pueden resumir en; consumo de energía y recursos naturales, impactos en los ecosistemas, emisiones y residuos, además en general, los materiales responden a ciclos abiertos consumiendo de forma constante los recursos naturales.

El cierre del ciclo de los materiales reduce los principales impactos ambientales al basarse en el reciclado y reutilización, es por ello que la elección de los materiales también se podría realizar teniendo en cuenta el análisis de ciclo de vida, con un uso responsable de los recursos naturales y la mejora en los residuos finales.

El concepto de material sostenible puede ser muy amplio, criterios como contenido de reciclado, materiales rápidamente renovables, materiales regionales, durabilidad, etc., pueden variar la percepción de material sostenible. Quizás una definición más global y resumida puede ser; aquellos materiales que cumpliendo las mismas funciones consumen menos recursos y menos impactos ambientales y si se lleva a un nivel más amplio, se podría hablar de la influencia de los materiales de construcción en la salud.

Dentro de la contribución de los materiales a un hábitat saludable, se destaca el de la calidad del aire interior que respiramos.

### 3.3. LA INFLUENCIA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LA CALIDAD AIRE INTERIOR

La hermeticidad de los edificios en beneficio del ahorro energético, puede ser contraproducente para la salud de las personas. Esto puede suceder en casos en que se realicen medidas pasivas en la envolvente de los edificios, sin considerar que pueda haber un exceso de estanquidad en el recinto, lo que puede provocar, entre otros problemas, un empeoramiento de la calidad del aire si el usuario no ventila con cierta frecuencia; incluso pueden aparecer condensaciones superficiales si no prestamos cierta atención a los puentes térmicos.

Es muy habitual en oficinas donde no existe un sistema mecánico de intercambio de aire con el exterior, que no se ventilen en invierno debido a una falta de costumbre de los propios usuarios que lo deben hacer manualmente.

No se puede obviar que los materiales de construcción son realmente importantes a la hora de diseñar un edificio con criterios de sostenibilidad y desde el punto de vista de la calidad ambiental.



**Figura 3.2.** Hermeticidad en los edificios. Fuente: Knauf.

La calidad del aire interior puede estar influenciada por los materiales de construcción de dos formas básicas, por contaminantes químicos y biológicos. También pueden influir positivamente en los contaminantes físicos como el ruido, mejorando el confort acústico en los recintos, la humedad e iluminación.

#### 3.3.1. Contaminantes químicos

La contaminación del aire no es sólo debida a la industria, medios de transporte, etc., existen otros orígenes como los propios materiales de construcción utilizados en el interior de los espacios. Estos materiales pueden emitir diferentes compuestos orgánicos al aire que finalmente se respiran.

Los compuestos orgánicos volátiles COV son un grupo de compuestos pertenecientes a diferentes familias químicas (alcoholes, aldehídos, cetonas, éteres de glicol, terpenos, etc.) que tienen en común su base







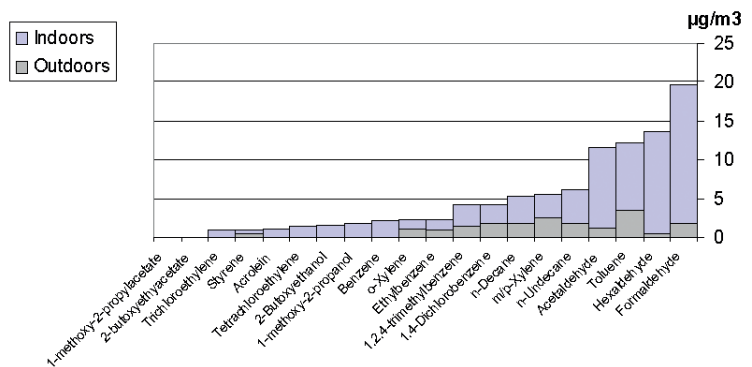
### Guía de calidad del aire interior

química de carbono y la particularidad de volatilizarse en el aire en estado gaseoso a temperatura ambiente, de forma más o menos rápida.

La OMS (1987) los clasifica por su punto de ebullición como:

- Volátiles entre 50 °C y 260 °C
- Muy volátiles, si el punto de ebullición es inferior
- Semivolátiles si es superior.

Los COV son emitidos por diversas fuentes tanto de origen biogénico (origen natural) o antropogénico (origen humano), estando presentes tanto en el ambiente exterior como en el interior (Fig. 3.3). En el ambiente interior, dichos compuestos son ampliamente utilizados en la fabricación de diversos productos, materiales decorativos y de construcción: pinturas, barnices, colas, limpiadores, madera, alfombras, telas, ambientadores, biocidas, etc. En general, en los países desarrollados se observan concentraciones superiores de COV en interiores que las existentes en el exterior.



**Figura 3.3.** Concentración media de COV en el aire interior y exterior. Fuente: French national survey 2006.

La EPA (Agencia medioambiental de Estados Unidos) realizó un estudio en el que se indica que hay un incremento considerable de contaminantes orgánicos en el interior de los edificios, que se derivan de productos de limpieza y mantenimiento de hasta 5 veces superior a los niveles existentes en el exterior e incluso, superior a zonas industriales que aún están más contaminadas.

En términos generales, no se sabe o no son del todo conocidos el efecto sobre la salud por una exposición a los COV emitidos por los

diversos materiales y productos que hay en un edificio, pero sí se sabe, o por lo menos se sospecha que muchos de ellos son problemáticos para la salud. El 80% de los COV que nos encontramos en el interior de un edificio son irritantes de membranas mucosas y ojos y que aproximadamente el 25% son sospechosos o comprobados cancerígenos. No obstante, aún se conoce muy poco cómo afecta a la salud, la exposición a largo plazo en cantidades pequeñas.

Con relación a los materiales de construcción, pueden existir diferentes tipos de emisiones:

- Los materiales húmedos en los que sus emisiones se derivan del secado o fraguado del material, aunque es posible que durante un periodo de tiempo después de su aplicación, puedan seguir emitiendo en cantidades más bajas.
- Los materiales que no necesitan transformación, como la madera, recubrimiento de suelo, etc., en este caso, el momento de mayor exposición es en el desembalaje. En general en función de la composición del material, resinas, adhesivos, aditivos en general, pueden tener emisiones que pueden llegar a perdurar durante años, o bien que sus emisiones se limitan a un tiempo corto.
- Los materiales que captan compuestos orgánicos volátiles del aire en una determinada condición y que cuando ésta varía, los vuelve a emitir al aire que respiramos. Ejemplo de ello es el papel o derivados de la madera y los textiles. Esto suele ocurrir especialmente cuando baja la temperatura sin mucha ventilación, fenómeno de captación, y cuando sube la temperatura, de emisión.

### 3.3.2. Contaminantes biológicos

Además de los contaminantes químicos existen los contaminantes biológicos que también se pueden encontrar en el aire que respiramos. Estos contaminantes pueden proceder de los sistemas de climatización, ventilación y aire acondicionado, falta de mantenimiento de las instalaciones, las propias personas, etc.

La proliferación de los contaminantes biológicos depende de las condiciones ambientales, como la temperatura, humedad relativa, luz y renovación de aire. Una temperatura baja y ambiente húmedo, puede favorecer el crecimiento de microorganismos como el moho, en





## Guía de calidad del aire interior

cambio una temperatura elevada puede favorecer el crecimiento de microorganismos como la *Legionella Pneumophila* facilitando el crecimiento en sistemas de agua.

Estos organismos necesitan nutrientes para vivir y proliferar, como la materia orgánica. Los materiales de construcción pueden servir como sustrato para los microorganismos.

En el mercado existen materiales tratados que evitan que proliferen los microorganismos en la superficie de éstos, de tal manera que pueden ser utilizados en zonas de control de infecciones como laboratorios y centros de salud. En general, para la elección de materiales o sistemas constructivos que se vayan a instalar en zonas de desinfección o salas blancas se deberían tener en cuenta:

- La clase de limpieza
- Resistencia a la abrasión
- Métodos de limpieza y desinfección
- Mantenimiento
- Proliferación de microorganismos.

En función de las características del material o sistema podrá ser más adecuado al tipo de sala ISO según la norma ISO 14644-1, que cubre la clasificación de la limpieza del aire en las salas limpias y otros entornos controlados.



**Figura 3.4.** Techo registrable *Knauf Danotile* testado para salas ISO 5.

### 3.4. MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR. MATERIALES QUE PURIFICAN EL AIRE

Anteriormente se ha visto la forma de reducir los compuestos orgánicos volátiles, desde el punto de vista de los materiales con bajas emisiones y una buena ventilación, procurando no desvirtuar la eficiencia energética del propio edificio, uso de filtros HEPA (*High Efficiency Particle Arresting*), el uso de plantas, etc.

A través de los materiales también es factible purificar el aire. A finales de los años 60 se empezó a estudiar la fotocatalisis para eliminar contaminantes. Este proceso radica en la oxidación de los COV mediante un catalizador ( $TiO_2$ ) que es activado por la luz con una longitud de onda específica. Esta luz puede provenir del sol o bien ser artificial.

Existen otras formas de purificar el aire mediante materiales constructivos y sin necesidad de la presencia de luz. Es el caso de la utilización de Zeolitas en las placas de yeso laminado o incluso otros aditivos que pueden hacer esa función.

Algunos materiales que tienen esta facultad de purificar el aire, pueden ser más efectivos para algún tipo de compuesto orgánico volátil, como el formaldehído (HCHO), o bien para un rango mayor COV.

Como ejemplo, a nivel europeo encontramos la tecnología *Cleaneo®* y *Cleaneo® C* incorporada en las placas de yeso laminado:

La tecnología básicamente está desarrollada para placas de yeso laminado perforadas, para darles, además de la prestación de acondicionamiento acústico y una visión estética al techo, la facultad de poder purificar el aire interior en un rango de COV muy amplio (Tabla 3.5).



**Tabla 3.5.** Resultado ensayo en sala fumadores con tecnología *Cleaneo*.  
Fuente: Knauf.

PRUEBA EN SALA DE FUMADORES CUBIERTA EN UN 80% DE PLACAS CLEANEO® PERFORADAS (0,27M2CLEANEO/M3 LOCAL), RECUBIERTAS CON UNA CAPA DE IMPRIMACIÓN Y UNA CAPA DE PINTURA.			
	Concentración antes de la instalación de Clea- neo®	Concentración 3 me- ses después del panel Cleaneo®	
Contaminantes	µg/m3	µg/m3	Disminución
TCOV	2027	752,7	62,9%

\*Los valores indicados en la tabla son los valores medios para períodos prolongados, lo que permite eliminar los picos debidos a la presencia de fumadores



**Figura 3.6.** Diferentes tipos de placas perforadas con efecto Cleaneo®.  
Fuente: Knauf.

La tecnología Cleaneo® C, está pensada para tabiques y trasdosados. Se basa en la incorporación de un ingrediente activo en el alma de yeso que actúa con el aire interior, a pesar de que las placas de yeso estén pintadas e independientemente de la temperatura ambiente y la iluminación. Este compuesto funciona muy bien en el caso de los Formaldehidos, convirtiéndolos en compuestos inertes (Fig. 3.7).



**Figura 3.7.** Efectividad de la tecnología Cleaneo® C en Formaldehidos.  
Fuente: Knauf.

### 3.5. REGULACIÓN ACTUAL

En general, los COV no están recogidos en las normativas de ventilación de espacios interiores; siendo muy recomendable el establecer límites de concentraciones en ellas.

Existe un marco normativo (UNE 171330) para poder certificar la Calidad del aire interior (CAI), elaborado por el Comité Técnico 171 de calidad de ambientes interiores de AENOR, con el que se puede certificar cualquier edificio a excepción de los industriales, y engloba un análisis de todos los contaminantes del aire, así como iluminación, ruido, campos electromagnéticos, eléctricos, electricidad estática, gas Radón y un largo etcétera.

Existen otras muchas regulaciones y notas técnicas referidas a las emisiones de COV, algunos ejemplos:

- RD 117/2003 sobre limitación de emisiones COV debidas al uso de disolventes en algunas actividades.
- RD 227/2006 sobre la limitación de emisiones COV en determinadas pinturas y barnices y en productos de renovación del acabado de vehículos.
- NTP 290 y 380 sobre «El síndrome del edificio enfermo».
- NTP 431 «Caracterización de la calidad del aire en ambiente interior» .
- NTP 607 «Guías de calidad de aire interior – Contaminantes químicos».

En general, se puede hablar de contenido de COV de un material o bien de emisiones de COV durante un periodo de tiempo:

### Contenido COV

- UNE EN ISO 11890-1/2 y ASTM D2369 para contenido de COV.
- COV >15% Método por diferencia.
- COV <15% Método cromatográfico.

Su aplicación podría ser para la ecoetiqueta Europea, legislación 2004/42/EC contenido máximo COV en pinturas y certificación de edificios LEED 2009 y V4, BREEAM, DGNB, VERDE, etc.

### Emisión de COV

- La más empleada es ISO 16000 Parte 6: Determinación de compuestos orgánicos volátiles en aire de interiores y de cámaras de ensayo.
- UNE EN 717-1-2006 emisión Formaldehido en tableros derivados de la madera.

Su aplicación podría ser en la legislación actual Francesa, Belga y alemana, etiquetas voluntarias y certificados de edificios LEED V4, BREEAM, DGNB, VERDE, etc.

Si se analiza la legislación en otros países, sobre las emisiones de COV en ambientes interiores, existen clasificaciones de obligado cumplimiento para los materiales de construcción como Francia, Bélgica y Alemania.





## Francia

Emissiones CMR<sup>1</sup> (French Decrees of 30/04/09 modified the 28/05/09):

Desde el 1 de Septiembre 2013, sólo se podrán vender en Francia materiales de construcción si van etiquetados con la clasificación de emisiones de COV. Valores límites (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) para clases de emisión<sup>2</sup> (A+, A, B o C) según tabla 3.8.

Tabla 3.8. Clasificación según emisiones COVs.

Classes	C	B	A	A+ (Best class)
<b>Formaldehyde</b>	>120	<120	<60	<10
<b>Acetaldehyde</b>	>400	<400	<300	<200
<b>Toluene</b>	>600	<600	<450	<300
<b>Tetrachloroethylene</b>	>500	<500	<350	<250
<b>Xylene</b>	>400	<400	<300	<200
<b>1,2,4-Trimethylbenzene</b>	>2000	<2000	<1500	<1000
<b>1,4-Dichlorobenzene</b>	>120	<120	<90	<60
<b>Ethylbenzene</b>	>1500	<1500	<1000	<750
<b>2-Butoxyethanol</b>	>2000	<2000	<1500	<1000
<b>Styrene</b>	>500	<500	<350	<250
<b>TCOV</b>	>2000	<2000	<1500	<1000

A pesar de que esta etiqueta sólo sea obligatoria en Francia, el hecho de querer vender en ese país un material de construcción, se debe clasificar y etiquetar según el decreto N° 2011-321.

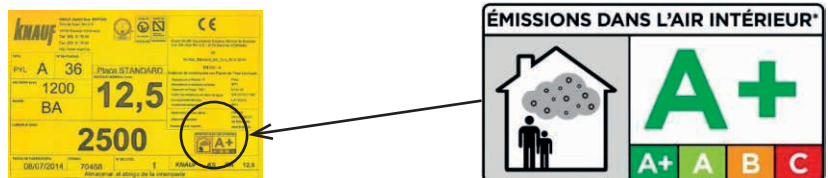


Figura 3.9. Etiqueta, identificación de producto. Fuente: Knauf GmbH (Sucursal en España).

## Alemania

AgBB Evaluation Scheme. German protocol (Productos para suelos):

En Alemania, los productos de construcción, en particular los revestimientos para el suelo deben cumplir con los requisitos establecidos

1 CRM: Sustancias Cancerígenas, Mutagénicas y tóxicas para la reproducción.  
2 Ensayado a 28 días con ISO 16000 y calculado por European Reference Room.



por el Comité Alemán para la salud relacionada con la evaluación de los productos de construcción (AgBB). Esta evaluación AgBB se denomina «Procedimiento de evaluación relacionado con la salud sobre las emisiones de COV y COSV de Productos de Construcción».

En 2004, el Instituto Alemán de Ingeniería Estructural (DIBt) tomó el esquema AgBB como base para el desarrollo de los «principios de aprobación para la salud-evaluación de los productos de construcción en interiores». Estos son significativamente relevantes para la obtención de *Ü Mark*.

### Bélgica

Bélgica es el tercer país de Europa en tener una regulación nacional sobre la emisión de COV de productos de la construcción.

Este *Royal Decree* es aplicable a todos los productos utilizados como suelo, incluyendo recubrimientos, barnices, morteros, etc., pero se está trabajando para extenderla a paredes y techos. Esto implica que desde el 1 de enero del 2015, estos materiales utilizados en suelos deberán demostrar este cumplimiento.

A continuación se comparan algunos de los límites de las regulaciones nacionales:

**Tabla 3.10.** Comparativo de valores límites de las tres regulaciones nacionales. Fuente: eco-institut.

PARAMETER 28 DAYS	LIMIT VALUE AGBB 2015	LIMIT VALUE BELG. VOC REGULATION 2014	LIMIT VALUE FRENCH A+ VOC REGULATION 2011
TVOC	≤ 1000 µg/m <sup>3</sup>	≤ 1000 µg/m <sup>3</sup>	≤ 1000 µg/m <sup>3</sup>
TSVOC	≤ 100 µg/m <sup>3</sup>	≤ 100 µg/m <sup>3</sup>	not defined
Tolouole	2900 µg/m <sup>3</sup> *	≤ 300 µg/m <sup>3</sup>	<300 µg/m <sup>3</sup>
Formaldehyde	100 µg/m <sup>3</sup> *	≤ 100 µg/m <sup>3</sup>	<10 µg/m <sup>3</sup>
Acetaldehyde	1200 µg/m <sup>3</sup> *	≤ 200 µg/m <sup>3</sup>	<200 µg/m <sup>3</sup>

\* LCI Lowest Concentrations of Interest

### 3.6. CEN/TC 351. EVALUACIÓN DE LA LIBERACIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS

En Europa la situación de la normalización de los productos es compleja. Las responsabilidades para la evaluación del riesgo de las emisiones





## Guía de calidad del aire interior

de sustancias peligrosas de los productos de construcción, depende de cada país, pudiendo elegir diferentes formas de evaluar dicho riesgo.

El CEN / TC 351 está desarrollando métodos de evaluación relativos a la emisión y/o el contenido de las sustancias peligrosas reguladas por la Directiva de Productos de Construcción (DPC), teniendo en cuenta las condiciones previstas de uso del producto.

Son varios los campos que se están desarrollando, concretamente el grupo de trabajo 2 es el que se centra en las emisiones en el aire interior.

- *WG 2 Emissions into indoor air*  
CEN TC 351 - CEN TS 16516 Método de ensayo armonizado basado en la ISO 16000-9 para la evaluación de las emisiones de COV para los productos de construcción.

Lo que se propone es evitar que cada país de la UE determine una clasificación nacional diferente que pueda dificultar la libre circulación de los materiales de construcción.

### 3.7. SELLOS Y ETIQUETAS

Las etiquetas o sellos voluntarios, a diferencia de las normas, por regla general, exigen unos requisitos mayores en lo referente a las emisiones de COV. En la mayoría de los casos son de ámbito nacional.

Existen numerosos sellos a nivel internacional. En el *Report N°24 «Harmonisation of indoor material emissions labelling systems in the EU»* hace un inventario de estos sellos en Europa y los compara, Tabla 3.11.

**Tabla 3.11.** *Report No 24 Harmonisation of indoor material emissions labelling systems in the EU.*

	CESAT	M1	ICL	LQAI scheme	Natureplus
<b>Origen</b>	Francia	Finlandia	Dinamarca	Portugal	Alemania
<b>Productos</b>	Algunos productos de construcción	Todo tipo de materiales de construcción	Para todos los productos en interiores	Algunos productos para interiores	Algunos productos de construcción
<b>Muestreo y prueba</b>	EN 13419-3	Similar a EN 13419-3	EN 13419-3	EN 13149-3	EN 13419-3

	Blue Angel	Austrian Ecolab	GUT	EMICODE	Scandinavian Trade Standards
<b>Origen</b>	Alemania	Austria	Alemania	Alemania	Suecia
<b>Productos</b>	Algunos productos para interiores	Algunos productos de construcción	Acabados textiles en suelos	Productos para acabados en suelos	Algunos productos de construcción
<b>Muestreo y prueba</b>	Basado en EN 13419-3	EN 13419-3	DIBt basado en EN 13419-3	Similar a EN 13419-3	Específico para el producto similar a EN 13419-3

Otras etiquetas que se pueden encontrar en Europa:

### Etiqueta excell+



La etiqueta Excell fue creada para los productos de construcción que se utilizan en recintos de almacenamiento del vino o en el proceso de producción de vinos. Se analizan contenidos de organoclorados (haloanillos halofenoles), plaguicidas y biocidas, residuos de disolventes y los ftalatos.

### The indoor climate label



Esta etiqueta danesa es una forma de identificar los productos respetuosos con la calidad del aire en interiores. Ofrece una mejor comprensión del impacto de los productos y materiales en la calidad del aire interior en los edificios.

### Sello ibr, institute für baubiologie rosenheim



Este sello tiene en cuenta varios factores que influyen en un hábitat saludable. El IBR proporcionado por el *Institut für Baubiologie Rosenheim* de Alemania, sólo es emitido a productos que cumplen unos requisitos mínimos, en los que se evalúa la radiactividad, el posible contenido de metales pesados, COV, biocidas y otros factores que tienen que ver con la biohabitabilidad.

Etiquetas fuera de la UE relacionadas con la calidad del aire interior:

- Korean label (Construction products, South Korea)
- Greenguard (USA)
- Chinese ecolabel
- Hong Kong Green Label Scheme





Figura 3.12. Etiquetas internacionales.

### 3.8. CONCLUSIONES

Las personas pueden llegar a encontrarse en un entorno poco confortable dentro de los edificios, y en general no disponen de información referente a los efectos nocivos que puede suponer un ambiente enrarecido o contaminado. Se puede ser consciente del problema que supone tener un aire contaminado en el exterior, concretamente en las ciudades o en zonas industriales, pero poco sabe el usuario de un edificio, sobre la contaminación del aire interior.

Muchas son las normas y sellos sobre la calidad del aire relacionados con los materiales de construcción y quizás esa dispersión puede favorecer el hecho de que los fabricantes no sepan cuál es el mejor sistema para identificar un material con respecto a la calidad del aire.

Es evidente que detrás de todos estos certificados, normas y sellos, existen expertos con diferentes estudios sobre los riesgos y problemas que supone los contaminantes del aire. Pero el problema principal, es ¿qué saben los participantes del sector de la construcción, sobre estos riesgos?, ¿y el consumidor? Para que exista una demanda de estos certificados y sellos, la comunicación, educación o digamos, transmisión a los usuarios de estos conceptos, de una manera fácil de entender es fundamental, de esta manera se puede crear esta demanda.

Cabe destacar que en muchas ocasiones se encuentran en el mercado materiales que son «verdes» basado en conceptos o atributos limitados sin prestar atención a otros aspectos ambientales que podrían ser importantes o bien la práctica del Greenwashing que se basa en presentar productos al mercado con connotaciones medioambientales o ecológicas, dándole un giro en su comunicación y aspecto pero que ciertamente detrás del mismo no existe tal compromiso. Esto puede ocurrir cuando se habla de un producto «totalmente natural», sin embargo el mercurio o el formaldehído son de origen natural y vene-

noso, por lo que esa afirmación no puede entenderse como «verde». Otro ejemplo puede ser una declaración de algo totalmente cierto desde el punto de vista medioambiental pero que carece de relevancia para el consumidor que busca un producto ecológico como puede ser «Libre de Amianto» es cierto puesto que está prohibido por ley y por tanto su cumplimiento es obligatorio.

### 3.9. BIBLIOGRAFÍA

Dirección General de Ordenación e Inspección. Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid. (2010): Calidad del aire interior en edificios de uso público.

Organización Mundial de la Salud: *Guidelines for air quality*.

NTP 607 Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos.

NTP 243 Ambientes cerrados: Calidad del aire.

CCRSM (comité científico de los Riesgos Sanitarios y Medioambientales de la Comisión Europea. (2007): *Opinion on risk assessment on indoor air quality*.

CEN/TC 351 - Construction Products - Assessment of release of dangerous substances.

New European VOC emissions testing method CEN/TS 16516. Reinhard Oppl. Eurofins Product Testing.

Norma técnica de medición en Baubiologie SBM (2008).

Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo. Fundación de la Energía Comunidad de Madrid.

Enciclopedia salud y seguridad en el trabajo. Capítulo 44 Calidad aire interior. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales Subdirección General de Publicaciones.

Harmonisation of indoor material emissions labelling systems in the EU Inventory of existing schemes. European Collaborative Action – Urban air, Indoor environment and human exposure.

WEB: [www.sinsofgreenwashing.com](http://www.sinsofgreenwashing.com)





# 4 CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

**María Figols**

*Vicepresidenta*

*Instituto Español Baubiologie*



## 4.1. INTRODUCCIÓN

La contaminación microbiológica en espacios interiores podría pasar inadvertida en las definiciones genéricas de calidad de aire interior, de no ser por su importante afección visual cuando la proliferación de hongos se hace palpable sobre las superficies interiores de paramentos, puentes térmicos, tejidos, mobiliario o alimentos, o por la preocupación creciente que sus afecciones a la salud genera, principalmente en edificios industriales con sistemas de ventilación indebidamente mantenidos. Sin embargo, esta proliferación visual de mohos no es más que la punta del iceberg de la contaminación microbiológica, ya que el moho visible sólo es uno de los problemas derivados; los hongos y otros agentes microbiológicos pueden desarrollarse inadvertidamente en nuestros espacios interiores, causando importantes deterioros en materiales, acabados o mobiliario, y por lo tanto en nuestra salud, sin ser todavía visibles en forma de manchas o pelusas. Además de que cada cierto tiempo, nos asaltan en las noticias personas enfermas por brotes de legionella, o incluso por aspergillus<sup>1</sup>.

Quizá entre estos agentes microbiológicos sea el moho el más conocido. Es en realidad un tipo de hongo, como lo son las levaduras. Hay entre 100.000 y 400.000 especies de hongos (las estimaciones varían continuamente), y de éstos, unos 200 o 300 se han identificado que crecen en el interior de las casas y que podrían desarrollarse en el interior de nuestros espacios habitables. Y de éstos, entre 10 y 20 especies se podrían considerar críticos para nuestros espacios interiores.

<sup>1</sup> En septiembre 2015 saltaba a los medios de comunicación la noticia de una persona fallecida en el recién inaugurado hospital de Vigo, afectada por Aspergillus.  
[http://politica.elpais.com/politica/2015/09/02/actualidad/1441225046\\_948734.html](http://politica.elpais.com/politica/2015/09/02/actualidad/1441225046_948734.html)



## Guía de calidad del aire interior

Los hongos juegan un importante papel como organismos descomponedores, ya que su funcionamiento se basa en su capacidad de reciclar una gran parte de los desechos orgánicos, transformando materia muerta y devolviendo al medio ambiente sustancias asimilables por otros seres vivos, como plantas o animales. Es decir, que son elementos importantes de la propia vida, y el objetivo desde la calidad del aire interior, vista desde la perspectiva microbiológica, no es el de procurar unas condiciones de vida estériles en los espacios interiores, libres de gérmenes o condiciones no naturales para el desarrollo de la vida, sino que se trata de evitar que esporas, venenos u otros metabolitos originados en fuentes interiores de las viviendas o entornos de trabajo afecten a la propia salud de sus ocupantes.

Otros agentes microbiológicos, como endotoxinas, bacterias o virus, se tratan a lo largo del presente texto.

## **4.2. CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA: CÓMO, DÓNDE Y CUÁNDO**

### **4.2.1. ¿Cómo se desarrollan los hongos?**

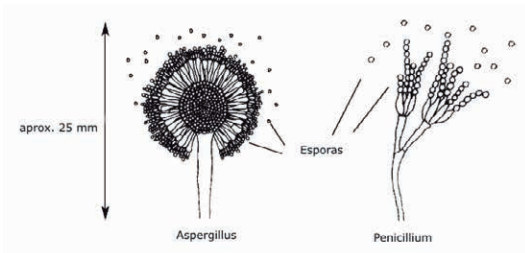
Se entiende entonces qué es un hongo y cómo se desarrolla primero, para comprender la importancia de la contaminación microbiológica en espacios interiores y su vital influencia en la calidad del aire interior.

Los hongos se originan a partir de esporas, pequeñas células que se podrían asemejar a las semillas en las plantas. Cuando las esporas encuentran las condiciones adecuadas de humedad, temperatura, luz y nutrientes básicos esenciales, germinan. En este proceso producen hifas o micelios, que son estructuras filamentosas que constituyen la unidad estructural fundamental de la mayoría de los hongos.

Las hifas se ramifican y forman una masa algodonosa llamada micelio, que se extiende sobre el medio o superficie (las paredes de nuestras casas, las juntas entre materiales, superficies de puentes térmicos, papeles pintados, polvo doméstico, filtros de sistemas de ventilación o climatización, etc.).

Los hongos pueden producir y emitir al aire millones de esporas por minuto. Y mientras que los hongos son delicados y se pueden eliminar de

manera relativamente fácil con productos de limpieza de superficies y de alfombras o depuradores del aire y desinfectantes especializados, las esporas, en cambio, sobreviven en condiciones muy extremas de sequedad y humedad, frío y calor, y se conservan durante años y décadas. De esta forma vuelan por el aire, se adhieren al polvo, a las alfombras y sobre las superficies, y cuando encuentran el caldo de cultivo adecuado (a menudo basta un poco de humedad), aparecen nuevos hongos y la producción de esporas vuelve a comenzar. Un clima cálido y húmedo favorece el desarrollo de las esporas, mientras que el polvo, el aire seco y un movimiento suave y constante del aire, favorecen su diseminación.



**Figura 4.1.** Hongos del moho. Fuente: MBC13 Agentes contaminantes y de los productos. Máster Bioconstrucción IBN - IEB.

#### 4.2.2. El origen: dónde y cuándo

Entonces, ¿cuál es la base para su desarrollo en nuestros edificios? Principalmente, una vez presentes las esporas y vista su capacidad de reproducción a lo largo del tiempo, se puede establecer, por un lado, que un soporte orgánico, un pH ácido y unas condiciones de humedad superiores al 70% en la superficie durante al menos 12-24 h, son el alimento perfecto para su desarrollo. Y, por otro, unas instalaciones de ventilación o climatización en malas condiciones higiénicas o con un déficit de mantenimiento, el entorno perfecto para su diseminación.

Se ve por tanto que la forma de construir y mantener los edificios puede propiciar un interesante caldo de cultivo para la contaminación microbiológica.

- Los materiales de construcción con una elevada resistencia a la difusión y una mala higroscopicidad favorecen la acumulación de humedad y el desarrollo de hongos, especialmente cuando hay presentes juntas al viento o al aire, defectuosas.







## Guía de calidad del aire interior

- Los materiales de obra nueva que no han secado suficientemente antes de su utilización, tienen un mayor riesgo de acumulación de humedad y por lo tanto, de desarrollo posterior de moho si se dan las condiciones.
- La humedad ascendente por capilaridad en cerramientos donde no se ha diseñado adecuadamente una barrera horizontal, favorece a su vez las condiciones para el desarrollo del moho.
- Las fugas de agua saneadas de manera superficial y poco profesional pueden ser la base para una infestación de moho.
- Los puentes térmicos con condensaciones superficiales, principalmente sobre materiales orgánicos, y unas condiciones deficientes de ventilación y temperatura, son otro entorno perfecto para que el moho se desarrolle frecuentemente en entornos domésticos.
- Cualquier condensación intersticial, generada por una no adecuada selección de las capas que componen un cerramiento puede quedar contenida en el interior del cerramiento y ser la fuente a partir de la cual el moho pueda desarrollarse.

Es decir, que los hongos pueden penetrar inadvertidamente en las estancias habitables del entorno doméstico, ya sea por un antiguo daño causado por humedad, con animales domésticos, humidificadores de aire contaminados, o también, claro está, por aparatos de ventilación y climatización indebidamente mantenidos, que supongan:

- Mala calidad de los filtros instalados, o una mala elección del mismo para las condiciones de uso y mantenimiento exigidas, ya que es en estos filtros donde queda retenida buena parte de las partículas que lleva el aire y al que pueden ir asociados microorganismos, y es un material que puede ser un buen medio para la proliferación de los mismos
- Mantenimiento y limpieza deficientes de los equipos de climatización, ventilación, humidificadores o torres de refrigeración
- Falta de estanqueidad y suciedad acumulada en los conductos de aire
- Disposición inadecuada de las bocas de extracción del aire exterior, en lugares donde prevalece una contaminación exterior especialmente particular desde el punto de vista microbiológico.

Los caldos de cultivo favorables son los materiales orgánicos, alimentos, residuos, heces, animales domésticos, plantas de interior,

polvo, tapicerías, alfombras, madera, barro, ladrillos, pinturas, incluso hormigón, y también algunos plásticos. Los mohos necesitan alimento orgánico para crecer y reproducirse y, además, suficiente humedad.

**Tabla 4.1.** Origen de microorganismos.

FUENTE	MICROORGANISMO
Materiales aislantes Pinturas de pared/techo Papel de pared/techo Revocos de pared/techo	Hongos
Alfombras y otros textiles	Bacterias Hongos
Sistemas de agua caliente	Legionella spp
Polvo doméstico	Algas Hongos
Seres humanos	Bacterias Hongos
Sistemas de aire acondicionado	Bacterias Endotoxinas Hongos Amebas
Humidificadores	Legionella spp Hongos
Filtros de agua	Levaduras Hongos Bacterias
Lavadoras, lavavajillas, secadoras, frigoríficos	Levaduras Hongos Bacterias

La cercanía a instalaciones de compostaje, vertederos de basura o empresas de reciclaje supone un riesgo de formación de hongos a causa de las concentraciones de esporas en el aire, dependiendo de la dirección del viento, y sería recomendable que los espacios de uso cotidiano como viviendas o espacios de trabajo mantuvieran una distancia de seguridad de al menos 10 metros a cualquier compostero doméstico y de al menos 2 km a plantas de compostaje o instalaciones industriales de mayor tamaño.

#### 4.2.3. Riesgos microbiológicos en los sistemas de ventilación/climatización

La NTP 313 plantea que la mayoría de edificios industriales, comerciales y de oficinas, cualquiera que sea su tamaño, disponen de siste-





## Guía de calidad del aire interior

mas mecánicos de suministro de aire fresco, el cual puede ser filtrado, calentado o enfriado y en ocasiones humidificado, para garantizar las condiciones de uso adecuados. Y es en estos equipos y sistemas donde se pueden dar las condiciones idóneas para el crecimiento y dispersión de los microorganismos o agentes biológicos.

Los microorganismos pueden ser transportados por el agua destinada a la humidificación de los espacios interiores, además de por el aire exterior, el cual contiene polen, esporas fúngicas, bacterias, o por el aire recirculado del interior de los edificios.

La naturaleza del sistema de ventilación/climatización y la disposición de todos y cada uno de sus elementos jugará un papel preponderante en el riesgo de proliferación microbiológica, en su transferencia al ambiente y en su inhalación por parte de las personas expuestas. Motivo por el cual deben de tomarse medidas de prevención adecuadas.

Se debe tener en cuenta por lo tanto los siguientes factores, ya mencionados:

1. El aire exterior, que transporta polen, bacterias y hongos tanto sus formas vegetativas como sus formas resistentes (esporas). Las condiciones del aire exterior condicionarán también a su vez el desarrollo microbiológico del aire interior.
2. Los sistemas de filtración, y las partículas del aire en ellos retenidos, que pueden ser un buen medio de proliferación de mohos.
3. El sistema de refrigeración: durante la estación cálida el vapor de agua que contiene el aire condensa sobre los serpentines de refrigeración, de tal forma que el agua puede quedar estancada en el suelo del equipo donde, junto a la suciedad allí acumulada, se crean las condiciones adecuadas para el desarrollo de agentes biológicos. Otro foco desde este punto de vista lo constituyen las torres de refrigeración, donde las temperaturas que alcanza el agua no están lejos de las que favorecen el desarrollo de las bacterias causantes de la legionelosis, entre 35 °C y 45 °C y de otros microorganismos como algas, amebas y bacterias. De las torres de refrigeración, debido a su diseño y funcionamiento, se desprenden a la atmósfera aerosoles que pueden contener microorganismos, los cuales se suman a la conta-

minación exterior, pudiendo reintroducirse en el sistema de ventilación del mismo edificio o de los edificios situados en la proximidades, dependiendo de la dirección de los vientos predominantes en la zona así como de la ubicación de las tomas de aire.

4. Los humidificadores: especialmente aquellos en los que el agua es reciclada, pueden convertirse en reservorios y diseminadores de los microorganismos que se desarrollen en ellos.
5. Los materiales porosos: determinados materiales con capacidad para absorber el agua y el vapor de agua se localizan generalmente en los sistemas de ventilación/climatización, ya sea como aislantes acústicos o como material de construcción de los conductos, permitiendo con la combinación de suciedad acumulada y humedad absorbida la proliferación de microorganismos.
6. El aire del interior de los locales, si el aire interior es recirculado, ya que contará con la propia contaminación interior producida, como la propia contaminación de los ocupantes del edificio, portadores sintomáticos o asintomáticos de agentes biológicos.

#### 4.2.4. Riesgos sanitarios

Para generar una afección sanitaria, un agente biológico debe estar presente en el ambiente interior al que estemos expuestos, debe ser abundante y además pasar al aire en un estado infeccioso, de esta manera, en el momento en que se dan las condiciones óptimas para mantener los microorganismos tanto en sus formas vegetativas como resistentes (esporas), es decir, que haya suficientes nutrientes, una variación en la temperatura y/o en el pH del medio, tiene lugar la proliferación de los mismos.

Se considerará, por lo tanto, que un ambiente interior tiene cualquier síntoma de contaminación microbiológica si contiene bioaerosoles que pueden causar enfermedades, irritaciones, inflamaciones, alergias, o cualquier tipo de efecto adverso derivado, entendiendo por bioaerosol a cualquier partícula transmitida por el aire que contiene en su interior contaminantes biológicos. Desde bacterias, endotoxinas, hongos, micotoxinas o virus, tal y como se recogen en la siguiente tabla.





**Tabla 4.2.** Componentes biológicos de los aerosoles.

AGENTE	EJEMPLO	EFFECTOS SOBRE SALUD HUMANA	EFFECTOS AMBIENTALES
Bacterias	Legionella pneumophila Mycobacterium tuberculosis	Infecciones Alergias Irritaciones mucosas	Deterioro de materiales de construcción Problemas de olor
Endotoxinas	-	Tos Dolor de cabeza Fiebre Dolor muscular Nauseas Alteraciones respiratorias	-
Hongos	Alternaria spp. Trichophyton spp. Histoplasma capsulatum Aspergillus spp Mucor spp. Rhizopus spp.	Alergias Asma Infecciones Irritaciones mucosas	Deterioro de materiales de construcción Problemas de olores
Micotoxinas	-	Dolor de cabeza Alteraciones neurológicas Alteraciones respiratorias	-
Virus	Influenza (gripe) Rhinovirus	Infecciones	-
Otros	Polen y partículas	Asma y alergias	Acumulación polvo

Los riesgos de estos agentes microbiológicos radican por un lado en la afección y daño a los propios materiales de construcción (deterioro, descomposición, malos olores, etc.), así como a las instalaciones climatización o ventilación donde puedan diseminarse, sino principalmente porque suponen importantes afecciones a la salud. Las endotoxinas, por ejemplo, un componente de la pared celular de determinadas bacterias, moléculas tóxicas biológicamente activas, pueden estimular respuestas de inmunidad innata en el organismo humano, dando lugar a fiebre o alteraciones respiratorias de carácter grave. O el riesgo que puede suponer la producción de micotoxinas o productos químicos tóxicos de algunos hongos, como las aflotoxinas producidas por los *Aspergillus* y transferidas por vía aérea, carcinogénicas y hepatotóxicas, entre otras.

Las personas con un sistema inmunitario intacto son capaces de dominar las pequeñas cantidades de hongos (y sus productos tóxicos) ingeridas con los alimentos o procedentes del entorno, salvo en casos de inmunodeficiencia o en grupos de riesgo, como bebés y niños, personas enfermas y de edad avanzada, o profesiones en contacto con fuentes especialmente críticas de contaminación microbiológica (agricultores, ganadería, plantas de compostaje, palomas, heces de animales, etc.).

Es por esto, que los hongos pueden causar enfermedades fúngicas (micosis) y emitir olores o sustancias nocivas (los denominados MVOC – *microbial volatile organic compounds*) y peligrosos venenos (las mencionadas micotoxinas) a la atmósfera circundante. Las esporas figuran entre los principales alérgenos de los espacios interiores; se diseminan por el espacio interior y se asocian a los polvos finos, presentes en la atmósfera interior en forma de partículas en suspensión. De esta manera son inhalados por las personas que los ocupan y se introducen a través de las vías respiratorias en el organismo humano.

Desde el punto de vista de la toxicidad y en términos de concentración, algunas micotoxinas pueden llegar a tener un mayor alcance sobre nuestra salud que los metales pesados. Las micotoxinas también tienden a afectar más a los sistemas biológicos del cuerpo que algunos pesticidas, parcialmente porque los hongos tienen la capacidad de eludir al sistema inmunológico al mutar rápidamente, mientras que al mismo tiempo producen químicos que ataquen el sistema inmune propio de un organismo sano, además de ser neurotóxicas.

Los efectos de las esporas suspendidas en el aire sobre la salud dependen de los siguientes factores, entre otros:

- El número de esporas
- El tipo de moho que produce las esporas
- La disposición individual de la persona (grupo de riesgo y grado de exposición).

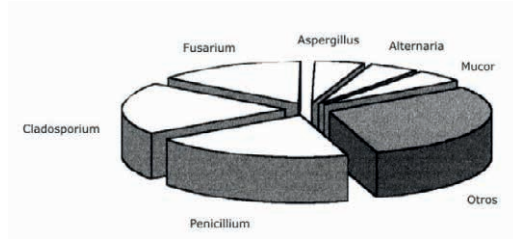
Entre los mohos más perjudiciales destacan particularmente las especies *Aspergillus versicolor*, *Penicillium* o *Stachybotrys*, que pueden formar micotoxinas y desencadenar alergias y micosis, especialmen-





## Guía de calidad del aire interior

te críticas para las personas inmunodeprimidas, y bebés y niños. Las fuentes existentes en los espacios interiores deben eliminarse inmediatamente para evitar peligros para la salud. Cuando se inhalan, las esporas de los hongos pueden provocar síntomas de alergia (por ejemplo, asma, resfriado, irritación de los ojos) en personas sensibles o, en las que tienen una predisposición a la alergia por cualquier factor ambiental previo.



**Figura 4.2.** Distribución típica de clases de moho en el entorno. Fuente: MBC13 Agentes contaminantes y de los productos. Máster Bioconstrucción IBN – IEB.

Esta clara distribución de tipologías de hongos se complementa con una valoración resumida de las clases de hongo más críticas que podemos encontrar en espacios interiores y que debe ser valoradas con especial detalle por los técnicos que estudien y evalúen la calidad del aire interior de nuestros espacios, como medida preventiva. En ellos:

**Tabla 4.3.** Hongos más críticos en espacios domésticos y profesionales.

Cladosporium: ubicuos. Son los tipos más frecuentes.

Penicillium: también muy frecuentes. Creador parcial de toxinas.

Aspergillus: muchos tipos críticos – A. Níger, A. fumigatus, A. flavus, A. ochraceus, A. versicolor), creadores de toxinas. Frecuentes con temperaturas corporales superiores a 37 °C.

Stachybotrys: muy crítico. Crece preferiblemente en celulosa como medio de cultivo, en combinación con mucha humedad, como puede ser papeles de pared o planchas de cartón yeso.

Acremonium, Alternaria, Chaetomium, Eurotium, Trichoderma, Wallemia.

Teniendo en cuenta por lo tanto las tipologías de hongos críticos y los grupos de riesgo, podemos evaluar los riesgos sanitarios por contaminación microbiológica. En este sentido, la NTP 313 establece fundamentalmente dos tipos de patología causada por agentes biológicos:

- Manifestaciones de tipo alérgico, que comprenden asma, rinitis, conjuntivitis, pneumonías hipersensitivas, fiebre de los humidificadores o fiebre del lunes. Se trata de afectaciones atribuidas a di-

versos microorganismos entre los que se pueden destacar las bacterias filamentosas (*Thermoactinomyces vulgaris*, *Micropolyspora faeni*); los bacilos Gram negativo (*Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Escherichia coli*); o los hongos (*Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*) y los protozoos (*Naegleria gruberi*, *Acanthamoeba*).

- Enfermedades infecciosas, siendo las más representativas la Enfermedad del Legionario y la Fiebre de Pontiac. El agente causal de ambas enfermedades es una bacteria (*Legionella pneumophila*) y su diferencia a grandes rasgos estriba en que la primera es una neumonopatía aguda y en ocasiones mortal mientras que la segunda, más benigna, se caracteriza por un síndrome pseudogripal. No se conoce por qué esta bacteria causa dos enfermedades con cuadros clínicos diferentes, aunque se especula con la teoría de que la fiebre de Pontiac es una reacción hipersensitiva a las amebas infectadas por *Legionella pneumophila*.

Y entre estas enfermedades podemos destacar la micosis, como una de las enfermedades ambientales a tener más en cuenta y que más riesgo supone para nuestros edificios y nuestra salud<sup>2</sup>.

Por otro lado, son cada vez más frecuentes las alergias derivadas de la exposición a contaminantes microbiológicos, y, además, según algunos autores, la causa más común del Síndrome del Edificio Enfermo (SEE). Entendiendo la alergia como una reacción de hipersensibilidad, se valoran como consecuencia de la exposición continuada a materiales del ambiente que actúan a modo de antígenos, que estimulan la producción de anticuerpos específicos, y por lo tanto la respuesta de hipersensibilidad.

### 4.3. ACTUACIONES DE EVALUACIÓN Y SANEAMIENTO

Los espacios interiores tanto a nivel doméstico como profesional cuentan cada vez con un mayor nivel de exposición a agentes contaminantes microbiológicos. Por un lado, espacios interiores cada vez de mayor tamaño se juntan con los altos niveles de hermeticidad exigidos por directrices energéticas, lo que dificulta la regulación natural del aire interior, y, en ausencia de adecuados sistemas de climatización y ventilación, pueden causar una mayor acumulación de vapor de agua interiormente. De esta forma éste puede condensar en las superficies de los paramentos interiores, creando unas condiciones idóneas para el crecimiento de microorganismos.



2 <http://www.neumosur.net/files/EB03-44%20mycobac%20hongos.pdf>





## Guía de calidad del aire interior

Es por ello que podemos especificar los siguientes factores como los principales influyentes de la calidad del aire interior desde el punto de vista microbiológico:

- El nivel y efectividad de la renovación de aire interior, ya que la entrada de aire exterior puede diluir la cantidad de bioaerosoles
- El nivel y eficiencia de los filtros de aire para la entrada de aire exterior
- La tipología de desinfección prevista; por ejemplo, un apoyo con luz ultravioleta puede ayudar a desactivar a los microorganismos
- El nivel de recirculación interno del aire, que afecta al transporte de microorganismos entre las distintas zonas del edificio
- La densidad de ocupación
- La temperatura y humedad del aire
- La presencia de hongos o sustancias tóxicas en condiciones naturales de utilización.

Las actuaciones de saneamiento para una superficie contaminada por agentes microbiológicos como el moho se basan principalmente en la eliminación de la fuente, eliminar y sanear los elementos afectados (materiales de construcción y decoración o elementos de las instalaciones), determinar el grado de infestación, si necesario, mediante análisis microbiológico de la superficie o del material en sí, y eliminar cualquier posible residuo para evitar contaminaciones secundarias posteriores.

Por lo tanto, un adecuado saneamiento de daños por hongos u otras afecciones microbiológicas pueden realizarse por medios mecánicos o térmicos. Un procedimiento mecánico supone la aspiración a fondo de las superficies en torno a las zonas dañadas con potentes aspiradoras industriales y dotadas de micro filtros, además de garantizar la limpieza y purificación del aire durante los trabajos de saneamiento con los pertinentes aparatos purificadores de aire. Mientras que un procedimiento térmico supone la utilización de un soplete o cañón de aire caliente directamente sobre la superficie o elemento afectado.

En determinados casos puede ser necesaria o al menos recomendable una desinfección previa, ya sea con peróxido de hidrógeno (10 – 30%) o alcohol de 70 °C<sup>3</sup>, y en superficies lisas (aunque no en materiales de construcción directamente), esencia de vinagre, o vinagre de limpieza.

<sup>3</sup>El alcohol en estado puro puede deshidratar excesivamente las estructuras de los microorganismos, formando una gruesa capa que impide el paso del producto. Si este se encuentra diluido al 70% puede penetrar más fácilmente en el interior de bacterias u hongos y destruirlas con mayor efectividad.

Desde el punto de vista de la baubiologie se rechaza la aplicación de fungicidas como única solución a problemas de contaminación microbiológica, que sólo traten de matar el hongo, pero no de eliminar la fuente causante de la proliferación del mismo, la eliminación de esporas o de tejidos micóticos.

Cualquiera de estos procedimientos de desinfección y saneamiento deben venir acompañados de unas adecuadas mediciones de temperatura y humedad, así como de la toma de muestras necesaria. Esto supone valorar:

- Temperatura ambiente interior y exterior
- Humedad relativa ambiente
- Temperatura superficial
- Humedad relativa superficial.

#### **4.4. PROTOCOLO DE EVALUACIÓN EN BIOCONSTRUCCIÓN – NORMA TÉCNICA DE MEDICIONES DE BIOCONSTRUCCIÓN SBM 2015**

La norma técnica de mediciones de bioconstrucción SBM 2015 presentó recientemente su 8ª Ed. Con la edición renovada de este año 2015. Se trata de una visión de conjunto de los factores de riesgo físico, químico y biológico, que son estudiados, medidos, interpretados y valorado de manera experta, principalmente en dormitorios, aunque también en otros espacios habitados, lugares de trabajo y terrenos.

Los diferentes apartados de la norma describen las influencias ambientales interiores biológicamente críticas. De esta forma, el objetivo de esta técnica de medición según los parámetros de la baubiologie<sup>4</sup> es la detección y la minimización de estas influencias y la prevención profesional en el marco de lo que es viable y realizable, apostando por crear un entorno vital lo menos contaminado y lo más natural posible con la consideración global y la posibilidad de diagnóstico de todos los apartados que la norma recoge. En el transcurso de las mediciones, las evaluaciones y la realización de medidas correctoras, la experiencia en baubiologie, la precaución y la viabilidad están en un primer plano, apoyados por conocimientos científicos, y buscando la reducción de cualquier tipo de riesgo.





## Guía de calidad del aire interior

De esta forma, con la reciente actualización a la norma SBM 2015, al igual que ya se reflejara en la versión de 2008 en lo que a contaminación microbiológica se refiere, el estándar establece claramente que no debe haber presencia de moho, ni directamente visible, ni a nivel microscópico, ni tampoco contaminación por esporas o sus metabolitos. Esto significa que el número de colonias de moho, así como el tipo de moho en la atmósfera interior, sobre las superficies, en el polvo, en los huecos, en los materiales, etc., debería ser inferior al del exterior, o al menos, al mismo nivel comparativo que las estancias interiores no afectadas. Y los hongos particularmente críticos, productores de toxinas alergénicas, o que prosperan a una temperatura corporal de 37 °C no deberían ser detectables en ambientes interiores.

De esta forma, la premisa básica está en evitar la humedad continuada de materiales de construcción y acabado, así como de la humedad del aire o las temperaturas superficiales frías, que pueden representar la base para el crecimiento de gran variedad de tipologías de hongos.

Se recogen en este estándar, recomendaciones<sup>5</sup> basadas en experiencias de medición y afecciones de contaminación microbiológica que incluyen el análisis visual de la afectación por hongos visible, medida en cm<sup>2</sup> o la afectación por hongos, visibles con microscopio. En cualquiera de estos casos no debe haber ninguna superficie afectada para que se considere un valor no significativo.

Igualmente se ofrecen valores indicativos para la medición total de mohos por m<sup>3</sup> de aire interior, en comparación a muestras de referencia exterior, y/o de estancias no contaminadas, considerándose no significativo si en número de hongos por m<sup>3</sup> de aire es inferior al exterior; débilmente significativo si en número de hongos sobrepasa en 100 de los contados al exterior; fuertemente significativo si el número de hongos interior cuenta con hasta 500 unidades más que al exterior, y fuertemente significativo para más de 500 hongos medidos en comparación. En el caso de tratarse de hongos especialmente críticos, los valores de 500 se reducen a 300.

A su vez se dan valores indicativos para la cantidad de mohos absolutos por m<sup>3</sup> de aire interior, para la cantidad de mohos por dm<sup>2</sup> de superficie o por gramo de polvo doméstico (número de esporas de hongos en el polvo doméstico de 7 días de antigüedad). De la misma manera se recoge la suma de MVOC (*Microbial volatile organic compounds*) en ng/m<sup>3</sup> de aire, el contenido de sustancias específicas, la actividad acuosa de un material o el % de humedad relativa del aire junto al material a analizar y valorar.

A continuación se recogen los valores recomendados someramente, según las condiciones marco de medición establecidas con el estándar SBM 2015:

**Tabla 4.4.** Valores aceptables para garantizar espacios sin contaminación microbiológica, conforme al estándar SBM 2015. Fuente: IBN - Estándar SBM2015.

Hongos	Ud.	No significativo	Débilmente significativo	Fuertemente significativo	Extremadamente significativo
Afectación por hongos visible - medidas en centímetros cuadrados	cm <sup>2</sup>	0	0-50	50-5000	> 5000
Afectación por hongos visibles con el microscopio - hifas, órganos de formación de esporas, esporas por centímetro cuadrado	/cm <sup>2</sup>	ninguna	alguna	muchas	masiva
Los hongos más críticos como el aspergillus, stachybotrys, etc., y/o proliferación profundas en los materiales deben examinarse con mayor cuidado					
Hongos de mohos relativos por metro cúbico de aire interior*	/m <sup>3</sup>	< exterior	hasta 100 más	hasta 500 más	> 500 más
Algunos tipos relativos por metro cúbico de aire interior*	/m <sup>3</sup>	< exterior	hasta 50 más	hasta 300 más	> 300 más





## Guía de calidad del aire interior

Hongos	Ud.	No significativo	Débilmente significativo	Fuertemente significativo	Extremadamente significativo
Cantidad total de hongos en la atmósfera interior en comparación a muestras de referencia y/o de estancias no contaminadas y cantidad de los distintos tipos de hongos, que se diferencian claramente de los del exterior y/o de estancias de referencia.					
Hongos de moho absolutos por metro cúbico de aire interior*	/m <sup>3</sup>	< 200	200-500	500-1.000	>1.000
Atmósfera interior para valores moderados del aire exterior por debajo 500/m <sup>3</sup> , dependiendo de las condiciones climáticas e higiénicas					
Hongos de moho por decímetro cuadrado de superficie*	/dm <sup>2</sup>	< 20	20 - 100	100 - 200	> 200
Hongos sedimentados, o esporas sobre superficies que se limpian a diario, de forma regular, no muy polvorientas.					
Hongos por gramo de polvo doméstico*	/g	< 500	500 – 2.000	2.000-10.000	> 10.000
Número de esporas de hongos en el polvo reunido de unos 7 días de antigüedad. Depositar el polvo directamente sobre un caldo de cultivo. Estudios comparativos respecto a otras estancias especialmente poco sospechosas.					
Suma de MVOC en nanogramos por metro cúbico de aire	ng/m <sup>3</sup>	< 200	200 – 1.000	1.000-10.000	> 10.000
Sustancias específicas	ng/m <sup>3</sup>	< 50	50 - 200	200 – 2.000	> 2.000
Compuestos orgánicos volátiles microbianos en la atmósfera, por lo menos 15 sustancias singulares con indicación de la suma.					

Hongos	Ud.	No significativo	Débilmente significativo	Fuertemente significativo	Extremadamente significativo
Actividad acuosa de un material	aw	< 0,65	0,65-0,75	0,75-0,85	> 0,85
Humedad relativa del aire junto al material en porcentaje	% hr	< 65	65 - 75	75 - 85	> 85



#### 4.5. CONCLUSIONES

Una valoración de los contaminantes microbiológicos en el aire interior de nuestros espacios es difícilmente valorable a través de límites numéricos estrictos, ya que el fondo natural existente resulta realmente variable según las zonas exteriores y entornos donde se localice cada edificio y cada posible fuente de contaminación. Es por ello que en cualquier toma de muestras es preciso realizar siempre una comparación entre el aire interior y el aire exterior, así como una comparación de la tipología encontrada, para así poder descartar fuentes contaminantes interiores.

Otros indicios de contaminación o de riesgo de contaminación interior pueden ser:

- La aparición de manchas de humedad en espacios interiores
- Una infestación de hongos visible
- Superficies o elementos con un mayor porcentaje de humedad superficial comparativa
- Temperaturas superficiales bajas
- Mayor porcentaje de humedad interior, en comparación con el entorno exterior
- Olores fuertes y llamativos
- Déficit en el mantenimiento de las instalaciones.



## Guía de calidad del aire interior

Es por tanto un trabajo multidisciplinar, que al margen de requerir estrictos niveles de control desde el punto de vista legislativo, como ya ocurre a un nivel más industrial para evitar la proliferación de bacterias o mohos en instalaciones, precisa de unas adecuadas condiciones de partida que eviten diseñar, construir y habitar edificios que puedan ser alimento base para estos microorganismos, por el tipo de materiales e instalaciones empleados, así como por las condiciones de uso del mismo. Tal y como se mencionaba inicialmente el objetivo desde la calidad del aire interior, no es el de procurar unas condiciones de vida estériles en los espacios interiores, libres de gérmenes, salvo en casos concretos y específicos de hospitales o laboratorios, evidentemente, sino que se trata de evitar que esporas, venenos u otros metabolitos originados en fuentes interiores de las viviendas y entornos de trabajo afecten a la propia salud de sus ocupantes.

Y esto supone, de nuevo, suministrar suficiente aire fresco y ausente de fuentes de gérmenes y agentes microbiológicos, evitar la acumulación de agua y suciedad estancada en materiales y sistemas de climatización, garantizando una humedad relativa del aire interior de entre el 40 y el 60%, (y siempre por debajo del 70%), un adecuado mantenimiento y limpieza de todo el sistema de ventilación y climatización, promover el uso de materiales de construcción y acabado que regulen adecuadamente las condiciones de humedad y vapor ambiental, rechazando entornos húmedos, estratos orgánicos y pH ácido en superficies. Y se debe, ante todo, llevar a cabo las acciones correctoras necesarias y urgentes en caso de detectar cualquier anomalía en los niveles de contaminación microbiológica analizados en los muestreos, o ante cualquier afección en la salud de los ocupantes de los espacios analizados.

## 4.6. BIBLIOGRAFÍA

ORTIZ, Ginés y CATALÁN, Vicente. «Calidad microbiológica en ambientes interiores». Applus+Medio Ambiente

HAUMANN, T. Módulo 13 – Contaminantes atmosféricos y de los productos». Máster de Bioconstrucción IBN – IEB.

HAUMANN, T. y MIERAU, M. Apuntes II Seminario Básico IEB – «Aire. Estándar de técnicas de medición en bioconstrucción».

INSHT, Ministerio de Trabajo y asuntos sociales, NTP313 – «Calidad del aire interior – riesgos microbiológicos en los sistemas de ventilación/climatización»

INSHT, Ministerio de Trabajo y asuntos sociales, NTP 299 – «método para el recuento de bacterias y hongos en el aire».

INSHT, Ministerio de Trabajo y asuntos sociales, NTP 288: «Síndrome del edificio enfermo: enfermedades relacionadas y papel de los bioaerosoles».

INSHT, Ministerio de Trabajo y asuntos sociales, NTP 335: «Calidad de aire interior: evaluación de la presencia de polen y espores fúngicas».

HERNÁNDEZ BORJE, J y GARCÍA HIDALGO, A. «Enfermedad por micobacterias ambientales. Micosis pulmonares. Aspergilosis.»







# 5

## CÓMO MEDIR LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

**Laudelino Javier Sánchez de León Linares**

*Ingeniero de Instalaciones*

*Especialista en Eficiencia Energética en GREENOVATION 203*



### 5.1. INTRODUCCIÓN

Antes de especificarse cómo medir la calidad del aire y los equipos que se pueden utilizar, cabría preguntarse si es o no necesario medir la misma.

Tal vez la mejor manera de definir la calidad del aire sea con su opuesto, es decir, que implica no tener calidad del aire y qué consecuencias tiene esta mala calidad del aire de forma que acotando este parámetro, se podrá saber lo que es tener una buena calidad del mismo. Básicamente, el no tener calidad del aire interior lleva a que se sufran enfermedades varias de todo tipo, las que son más evidentes y que antes se relacionan son las enfermedades respiratorias. Algunas de estas enfermedades pueden llegar a ser realmente graves e incluso mortales, tal es el caso del cáncer de pulmón originado por el Radón, siendo ésta la segunda causa de muerte en el mundo de este tipo de cáncer tan solo por detrás del tabaco.

La falta de calidad del aire puede generar enfermedades varias como asma, alergias, Sensibilidad Química Múltiple e incluso ictus o anginas de pecho.

Por lo indicado, es fundamental tener una buena calidad del aire pero el problema viene precisamente de ahí, al tener una buena calidad del aire no se presentan enfermedades, no se tienen problemas de ningún tipo a este respecto, todo parece estar correcto, es ahí donde se falla ya que lo que no se conoce, no se ve, no se palpa, se menosprecia y no se valora. Es fundamental medir la calidad del aire y saber la que se tiene para apreciarla y valorarla como realmente merece ya que afecta directamente a la salud. Se pretende por lo tanto indicar los equipos que se utilizan o se pueden utilizar para medir la misma con algún caso práctico.



## 5.2. ¿QUÉ MEDIR?

Ante esta pregunta hay que indicar que no es tan fácil de responder ya que antes de utilizar cualquier equipo de medida, previamente hay que saber qué se requiere medir. Se procede a definir lo que es un «contaminante».

### 5.2.1. Contaminantes. Qué hacer para determinar cuáles controlar

La Directiva 2008/50/CE del 11 de junio de 2008, define «contaminante» como toda sustancia presente en el aire ambiente que pueda tener efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto.

En base a esta definición, lo que se ha de buscar son los contaminantes en el interior de los edificios que puedan causar algún efecto nocivo sobre la salud.

Parece obvio que se buscan contaminantes que puedan afectar a la salud pero puede haber muchos y diversos, es por ello que se tienen algunas pistas de que contaminantes buscar si, previamente a la calidad del aire interior, se observa la calidad del aire exterior. Se indica esto ya que la calidad del aire interior viene en gran medida condicionada a la calidad del aire exterior ya que la ventilación, ya sea natural o forzada, toma el aire del espacio exterior, es por tanto importante verificar la calidad del aire exterior. La misma dará una idea rápida de que posibles contaminantes puede haber en un espacio interior.

Las grandes ciudades de España sí que disponen de sus propios medidores de la calidad atmosférica ambiente exterior. En las páginas web de los ayuntamientos de diversos municipios se puede consultar la calidad del aire exterior en la parte dedicada a medio ambiente. Esta calidad del aire exterior es lo que el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) denomina «ODA» (*Outdoor Air Damper* de sus siglas en inglés) que puede ser de 3 tipos, del 1 al 3, siendo el 1 el que indica la mejor calidad del aire exterior y el 3 la peor.

Esta calidad del aire exterior en grandes ciudades puede determinarse con relativa facilidad gracias a los medidores de la calidad del aire exterior existente en estas ciudades si bien fuera de ellas esto no ocurre. Aquí hay que pensar con sentido común ya que en poblaciones de menor envergadura y zonas rurales, es lógico pensar que la contaminación atmosférica no será tan acusada y que encontraremos una calidad del aire acorde al entorno, es decir, en zonas rurales uno de los mayores contaminantes será, en épocas de floración, el polen de diversas plantas.

Lo que se indica va dando una idea de que buscar en cada área en base a la calidad del aire exterior pero no hay que olvidarse de más elementos en el entorno que pueden afectar a cualquier tipo de zona, se citan algunos:

- Existencia de industrias a cierta distancia de la población (esto no implica que contaminen pero sí son una referencia a tener en cuenta).
- Instalaciones de climatización y calefacción que se utilizan en el edificio (si se utilizan por ejemplo torres de refrigeración abiertas antiguas, posibles focos de generación de legionella).
- Zonas graníticas en las que el edificio se encuentra ubicado (posible existencia de radón).

Se han indicado estos 3 posibles focos de contaminación pero no hay que olvidar algo más también muy importante y que es conocido gracias al cuerpo de bomberos de diversos ayuntamientos, la generación de CO<sub>2</sub> y de CO al existir focos (calderas generalmente) a patios interiores de relativo pequeño tamaño (de pequeña superficie). Esto se debe a que este tamaño y la altura del edificio, no permiten que el aire se renueve correctamente en un tiempo relativamente rápido. Se acumulan los contaminantes en las partes más bajas de estos patios interiores y penetran a los edificios a través de los huecos (acristalados o no), debido a la falta de estanqueidad de los muros.

Lo que se ha expuesto previamente son posibles indicadores que provienen del exterior que guíen para buscar los contaminantes y medir la calidad del aire interior en un edificio. A esto hay que sumar los focos de generación de contaminantes del interior del propio edificio y que, en muchos casos, se desconocen. Se citan seguidamente unos cuantos a modo de ejemplo:





## Guía de calidad del aire interior

- Mobiliario hecho de madera: COV, Compuestos Orgánicos Volátiles tipo formaldehídos (pueden generar cáncer).
- Pinturas: Los edificios antiguos, algunos se pintaban con pinturas al plomo, metal pesado muy contaminante y perjudicial. Igualmente pueden contener COV (regulado por la Directiva 2004/42/CE) salvo algunas pinturas ecológicas como las ecolabel que restringen aún más dicho contenido.
- Moquetas y tejidos: Como en el caso de la madera, generación de algunos tipos de COV.
- Ubicación del edificio y año de construcción: Esto que aparentemente no tiene relación con la calidad del aire la tiene y mucho. Es frecuente encontrar en diversas construcciones de la geografía nacional, materiales contaminantes que fueron ubicados durante la construcción inicial, algunos de ellos pueden entrar en los conductos de ventilación al desprenderse con relativa facilidad. Es el del amianto por ejemplo, que se utilizaba para ignifugación de edificios (sistemas pasivos de protección contra el fuego) y en diversos elementos de fibrocemento.
- Dióxido de Carbono y monóxido de carbono proveniente de diversas fuentes:
  - La propia respiración humana al no ventilarse bien el edificio (escasez de ventanas), ventilación artificial defectuosa
  - Rejillas de las cocinas en las que en edificaciones antiguas es frecuente encontrar calderas atmosféricas, es decir, que toman el aire para quemar el gas de la sala donde se encuentran. En este grupo se encuentran también las cocinas a gas. Las rejillas de ventilación se suelen tapar ya que «entra el frío» o «se escapa el calor», con el consiguiente riesgo para la salud humana.
- Animales de compañía ya que hay personas que pueden ser alérgicas a los mismos.
- Productos de limpieza, pueden llevar sustancias químicas asociadas capaces de producir una mala calidad del aire interior (muchas personas, por desconocimiento, especialmente en viviendas particulares, en ocasiones mezclan productos de limpieza que pueden acarrear consecuencias negativas sobre la salud).

Se han indicado posibles contaminantes a buscar para controlar y garantizar la calidad del aire interior pero hay que pensar qué otros parámetros pueden influir de manera no tan directa sobre la salud humana y que tienen que ver con el aire. En este caso hay que considerar la humedad relativa ambiente interior e incluso la temperatura. Tener una humedad relativa baja o alta al igual que ocurre con la temperatura, condiciona a sus moradores a la hora de habitar el edificio y puede potenciar el empeoramiento de enfermedades más relacionadas con la calidad del aire como es el caso de las alergias o el asma. Hay que buscar por lo tanto el confort humano también.

Básicamente, con las pistas previas que se han expuesto, lo que hay que controlar y parametrizar, a grandes rasgos son: Sustancias Químicas varias (COV tipo formaldehídos, dióxido de carbono y monóxido de carbono), partículas en suspensión y microorganismos (polvo, ácaros, bacterias), animales de compañía (partículas en suspensión, microorganismos), Pinturas (metales pesados, partículas en suspensión), conductos de ventilación o de aire acondicionado (sustancias químicas, microorganismos tipo bacterias u hongos), humedad relativa ambiente, humo de tabaco, radón en zonas inferiores de edificios por lo general, temperatura ambiente. Estos parámetros están directamente relacionados con otros, es decir, la calidad del aire puede tener relación directa con la energía o el confort acústico, citándose un ejemplo, al no tener cerramientos estancos al paso del aire, como es el perímetro de los huecos acristalados o el propio hueco acristalado, la energía que se suministra para calefacción y aire acondicionado se pierde por las infiltraciones al igual que el ruido exterior penetra más fácilmente si un hueco no presenta la estanqueidad adecuada a la zona donde se ubica.

Inspeccionar la calidad del aire tiene carácter obligatorio desde el año 2013 en España. En ese año se modificó el RITE en vigor y se aprobó el Real Decreto 238/2013 de 5 de Abril. Esta modificación incluye la necesidad de hacer una revisión anual a la red de conductos y revisión de la calidad ambiental para instalaciones térmicas en edificios de potencia útil igual o mayor a 70 kW (tanto en frío como en calor), es decir, viviendas individuales no alcanzarían esta obligatoriedad por lo general si bien el resto de edificios, en su inmensa mayoría, tienen esta obligación legal de hacerlo.

Las Normas de Referencia a las que alude el Real Decreto 238/2013 para las revisiones anuales son la Norma UNE 100012:2005 sobre Higienización de sistemas de climatización y la Norma UNE





171330-2:2014 sobre Calidad ambiental en interiores. Hay que tener en cuenta que se indica en la última de las dos normas citadas, «Calidad ambiental en interiores», es decir, no sólo se trata de verificar la calidad del aire, hay más parámetros a tener en cuenta como es la iluminación interior puesto que afecta a la salud de los seres humanos.

### 5.3. EQUIPOS PARA MEDIR LA CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

En función del contaminante, se expondrá qué equipos utilizar y brevemente se darán unas nociones de cómo hacerlo.

**Radón:** Para Radón (elemento radiactivo y cancerígeno por tanto) existen dos formas de medir, mediciones de corto plazo o mediciones de largo plazo. Las mediciones más certeras se realizarán mejor en otoño o invierno que en primavera y verano. Cuanto más larga sea la medición mayor será la exactitud de la misma.

En las zonas definidas como de riesgo según el mapa de radón realizado por el consejo de seguridad nuclear, lo ideal es disponer de monitores, ya sean domésticos o profesionales, que permitan conocer los niveles de radón durante al menos tres meses.



Figura 5.1. Monitor ramon 2.2. (monitor doméstico).



**Figura 5.2.** Monitor Canary con funcionamiento a pilas.



En cuanto a los valores máximos permitidos de Radón o Valor de Acción de este contaminante, hacemos alusión a la NTP 728, «Exposición laboral a la radiación natural» del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. En dicha NTP (Nota Técnica de Prevención) se indica que para la Unión Europea, valores máximos entre 200 y 600 Bq/m<sup>3</sup> para viviendas y de 1.000 Bq/m<sup>3</sup> para lugares de trabajo son ya valores de exclusión, es decir, no se deben alcanzar nunca. Sin embargo, la Organización Mundial de la Salud recomienda, para viviendas, que es necesario adoptar medidas para bajar los niveles cuando se alcancen valores de 100 Bq/m<sup>3</sup> mientras que acciones correctivas inmediatas cuando las concentraciones superen los 400 Bq/m<sup>3</sup>.

Por otro lado, basándose en el «estándar del Instituto Baubiologie» como referente, los niveles de radón quedan restringidos a 30 Bq/m<sup>3</sup>.

### **Dióxido de carbono CO<sub>2</sub> / Monóxido de Carbono CO / Temperatura y Humedad Relativa:**

El CO<sub>2</sub> es un buen indicador a nivel cualitativo de la calidad de aire en un interior. En función de la tasa de renovación de aire encontraremos «aires» con mayor o menor concentración de CO<sub>2</sub>.

Se puede medir en tasa porcentual o en ppm (partes por millón) y su nivel dependerá, en espacios interiores, de la cantidad de personas y de la renovación de aire.





### Guía de calidad del aire interior

Se considera que a partir de 800 a 1.200 ppm puede provocar molestias como dolores de cabeza, cansancio u otros problemas respiratorios. De hecho en las guías del INSHT para ambientes laborales se considera que por encima de 1.000 ppm de CO<sub>2</sub> la renovación de aire es insuficiente.



**Figura 5.3.** Medidor CA1510 de Chauvin Arnoux. Mide también Temperatura y Humedad.

El monóxido de carbono reacciona de manera diferente al dióxido de carbono con los seres humanos. El CO<sub>2</sub> desplaza el aire, ahí su principal peligro, mientras que el monóxido de carbono, una vez entra al organismo a través de la respiración, entra al flujo sanguíneo y capta oxígeno que transporta la sangre por el organismo ya que trata de convertirse en CO<sub>2</sub>. La consecuencia inmediata es que, al robar oxígeno de la sangre, la falta del mismo ralentiza el movimiento, comienza la somnolencia y letargo, si el fenómeno persiste se produce la denominada «muerte dulce». Es por tanto una sustancia a tener muy en cuenta y que, por lo que se ha indicado, se hace necesario eliminar cuando se alcancen concentraciones inferiores a las de CO<sub>2</sub>, de ahí que en garajes aparcamientos se activen los detectores de CO a 50 ppm si bien, en función de la concentración, aumenta o disminuye el tiempo máximo de exposición recomendado para que no produzca daños. A mayores concentraciones, menor tiempo de exposición, generalmente para 90 ppm el tiempo máximo de exposición considerado admisible son 15 minutos.



Figura 5.4. Medidor CO-CO<sub>2</sub> testo 315-3.

Existen igualmente equipos capaces de medir diversos contaminantes, no solo el CO<sub>2</sub>, el CO, también el ozono terrestre, troposférico, que es el perjudicial, así como temperatura y humedad. Estos equipos incorporan sus propias sondas de medición. Tienen utilidad para ciudades grandes puesto que es donde se suelen encontrar más fácilmente contaminantes de este tipo.

**Formaldehído (Compuesto Orgánico Volátil, COV):** Este es seguramente, uno de los contaminantes más importantes cuando hablamos de aire interior y de su calidad ya que es un producto cancerígeno y que se puede encontrar en diversos productos, desde muebles, barnices, lacas, tejidos, espumas aislantes, desinfectantes, productos de limpieza, etc. Se encuentra regulado en algunos de los productos mencionados si bien se siguen encontrando edificios con niveles altos de formaldehído por diferentes causas. Para un interior el valor óptimo debería ser 0,0 ppm. Cualquier valor por encima declara que existe una fuente de emisión.

Para medirlo, las normas UNE-EN ISO 16000 especifican que el método aprobado es el de captador difusivo de cartucho con 2,4-dinitro-



## Guía de calidad del aire interior

phenylhydrazine (DNPH) y ácido fosfórico, con tiempos de muestreo de 24 a 72 horas.

Los valores que indica el Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo para LEP (Límite de Exposición Profesional) y VLA (Valor Límite Ambiental) en exposiciones de corta duración, 30 minutos, señalan un límite de 0,3 ppm (0,37 mg/m<sup>3</sup>).

Actualmente existen monitores en tiempo real con bastante fiabilidad y que permiten hacer mediciones puntuales con gran precisión al objeto de localizar posibles fuentes de emisión.



**Figura 5.5.** Medidor Haltec HFX 205.

El principal problema con este tipo de compuesto, formaldehído, es que no existe legislación que regule las exposiciones en largos periodos de tiempo y hay que indicar que la Sensibilidad Química Múltiple fue considerada por el estado español como enfermedad profesional en el año 2014. Esta enfermedad genera casos en ocasiones muy graves ya que las personas que la sufren se vuelven muy sensibles a casi cualquier producto químico, desde un simple jabón a productos de limpieza de los más elementales e incluso perfumes. Se considera que exposiciones muy bajas a contaminantes, por debajo de los valores límite permitidos pero por tiempo prolongado, desencadenan este tipo de hipersensibilidad a los productos químicos. Es la denominada «enfermedad ecológica»

**Material Particulado:** El material particulado es una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire. El material particulado forma parte de la contaminación del aire. Su composición es muy variada y podemos encontrar, entre sus principales componentes, sulfatos, nitratos, el amoníaco, el cloruro sódico, el carbón, el polvo de minerales, cenizas metálicas y agua. Dichas partículas además producen reacciones químicas en el aire.

Para ambiente exterior se cataloga en función de su tamaño y, en el ámbito de la calidad del aire hablamos de partículas PM 10, que serían las de mayor tamaño, cuyo diámetro aerodinámico teórico sería de 10  $\mu\text{m}$  (micrones de metro = millonésima parte del metro) y las partículas finas conocidas como PM 2.5 cuyo diámetro sería de 2.5  $\mu\text{m}$ . Para interiores se aconseja realizar las mediciones incluso en diámetros menores como por ejemplo 0,3  $\mu\text{m}$ , 2,5  $\mu\text{m}$  y 5  $\mu\text{m}$ . El motivo es porque los científicos han comenzado a centrar sus investigaciones en los efectos de las partículas ultra-finas puesto que consideran que su capacidad para penetrar e interactuar con células en mayor profundidad, células del pulmón, es mayor que las de tamaños superiores, es decir, al ser mas pequeñas se las considera potencialmente mas tóxicas y dañinas para la salud.

Para la medición de partículas en interior se utilizarán contadores de partículas portátiles de al menos tres canales



Imagen 5.6. Medidor de Partículas Fluke 985.



## Guía de calidad del aire interior

Respecto a los valores máximos de exposición o valores límite de este material particulado, hacemos referencia a una Guía de la Organización Mundial de la Salud puesto que es a nivel mundial si bien, lo obligatorio en España, viene indicado en las Normas UNE sobre Calidad ambiental e Higienización indicadas previamente (cuando algo no aparezca regulado en las mismas, es cuando se utilizan normas o guías de reconocido prestigio).

La Guía de la O.M.S. (Organización Mundial de la Salud) sobre calidad del aire, relativa al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre (actualización a nivel mundial del año 2005), establece los siguientes límites:

PM<sub>2.5</sub>: 10 µg/m<sup>3</sup>, media anual / 25 µg/m<sup>3</sup>, media de 24 horas

PM<sub>10</sub>: 20 µg/m<sup>3</sup>, media anual / 50 µg/m<sup>3</sup>, media de 24 horas

La diferencia entre un valor y otro estriba en la exposición a la que se vean sometidos los individuos, si es esporádica, se tomaría como valor límite el de 24 horas, en cambio si es continuada, se tomaría como valor restrictivo el anual

**Otros compuestos muestreos con bomba:** Para otros compuestos como metales, o HAP (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos) las técnicas de toma de muestras requieren el uso de bomba de muestreo. Hay que indicar que en estos casos, para calidad de aire interior, habría que basarse en la higiene industrial (salud laboral como se denominan en otros países) si bien los valores de exposición a considerar deberían ser muchos más bajos a los considerados para la higiene industrial puesto que no se trata de un proceso productivo en el que se usan contaminantes, sin embargo, es posible encontrar contaminantes de este tipo en edificaciones de cierta antigüedad.

Hay que tener en cuenta que las muestras obtenidas hay que analizarlas posteriormente en laboratorio.



Figura 5.7. Equipos de medición con bomba de muestreo (derecha).



Respecto al **número de muestreos**, es decir, número de mediciones a realizar para medir la calidad del aire interior en los diferentes casos planteados, la Norma 171330 estima un número representativo de un 15% de la superficie de la zona si bien esta norma es de aplicación, como se ha indicado previamente, para edificios de cierta envergadura, no lo es para viviendas unifamiliares donde no existe aun normativa específica que regule «inspecciones» de calidad del aire interior como tal. Este valor del 15% de la superficie para determinar el número de muestreos, no es un valor fijo ni determinante, es decir, lo que se intenta es que el número de mediciones den un valor representativo real de la zona que se mide. A modo de ejemplo, un edificio puede ser candidato a tener radón, en cuyo caso se tomarán muestras en plantas inferiores por lo general, no en plantas elevadas donde es casi imposible que el radón acceda a menos que los muros sean de granito.

#### 5.4. CONSIDERACIONES A TENER EN CUENTA SOBRE MEDICIONES DE CALIDAD DEL AIRE INTERIOR

Se considera necesario hacer alusión a algún tipo de ejemplo sobre cómo realizar las mediciones de calidad del aire interior si bien, al ser dispar los tipos de edificios en la geografía nacional así como es dependiente en parte la calidad del aire de la ubicación del edificio, por la contaminación exterior, de la climatología y diversos factores, se va a intentar recalcar algunos aspectos a tener en cuenta en base a las Normas UNE de aplicación que se han expuesto previamente mas que un ejemplo propiamente dicho.



## Guía de calidad del aire interior

Un aspecto que se considera fundamental para hacer este tipo de mediciones es la cualificación del personal que las realice. Aquí no sólo entran en juego las normas UNE de obligado cumplimiento que exige el RITE, hay que considerar que existen edificios diversos y que no a todos les afecta la prevención de riesgos laborales como es el caso de los bloques de viviendas. En el resto de edificaciones en las que las personas se encuentran en ellas trabajando, es donde aplicaría también la prevención de riesgos.

Se va a tratar de hacer brevemente un caso hipotético para que se vea cómo entran en juego diversos factores.

Caso hipotético de un edificio de oficinas en Madrid de 6 plantas, con instalaciones de generación de calor y de frío comunes en cubierta, recuperadores de calor igualmente en cubierta, con calidad del aire exterior ODA 2, edificio de los años 80.

Son, la Norma UNE 100012:2005 sobre Higienización de sistemas de climatización y la Norma UNE 171330-2:2014 sobre Calidad ambiental en interiores las que se siguen para hacer este tipo de operaciones.

En particular se tiene que hacer una limpieza de todo el sistema que entre en contacto con el aire exterior, es decir, desde las rejillas de aire exterior (toma de aire exterior de los recuperadores de calor) hasta los elementos interiores a los que se introdujera este aire exterior que pueden ser rejillas, difusores o toberas. Igualmente el aire exterior puede conducirse a unidades interiores de climatización. En este caso habría que limpiar todos estos equipos igualmente. Si son unidades interiores de conducto, todo el conducto asociado de climatización, las rejillas, difusores o toberas de impulsión así como el retorno. Importante por tanto los registros para poder acceder a hacer las limpiezas correspondientes y que son obligatorios según RITE.

Además de esto, se exige hacer un muestreo microbiológico, es decir, tomar muestras para llevar a laboratorio para su análisis

En lo que respecta a productos químicos hay que buscar los productos de limpieza y, si fuera necesario, se tienen que solicitar las fichas de seguridad química.

Se utilizarían, interiormente, equipos para medición de CO<sub>2</sub>, CO, Ozono, Temperatura y Humedad al menos (zona con ODA 2) y habría que acercarse a las zonas de huecos acristalados ya que la estanqueidad de los mismos, en base al año de construcción, no será probablemente elevada. Los equipos disponen de sus sondas para poder verificar los contaminantes pero aquí existe algo que se considera importante, el RITE actual y el previo, indican unos valores máximos permitidos de velocidades de aire en el interior de las oficinas, aproximadamente 0,15 m/s (el RITE actual exige unos cálculos para determinar esta velocidad). Basta con hacer un breve cuestionario con diversos trabajadores para poder determinar los que sienten disconfort (si existiera alguno). En ocasiones este disconfort viene generado por velocidades de salida de aire de climatización un tanto elevadas o porque el equipo emisor del aire acondicionado impulsa directamente sobre algún usuario. La medida correctora es la reubicación del puesto de trabajo si bien esto, para edificios de nueva construcción, no debería ocurrir o en menor número de ocasiones.

Para medir velocidades del aire, un anemómetro sería suficiente. Con termómetro e higrómetro, se puede medir temperatura y humedad siendo este último factor, la humedad ambiente, un valor determinante y que en gran medida es olvidado. El confort actual viene determinado por el RITE, valores entre el 30 y el 70% de Humedad Relativa ambiente interior se aceptan como legalmente válidos si bien, en zonas con ambiente continental, estos valores no son alcanzados en el interior de los edificios en ocasiones por lo que hace falta la humectación.

También en este espacio habría que medir material particulado, COV (formaldehídos) así como Radón en zonas inferiores si se sospechara de existencia de fuentes de emisión de contaminantes en esta zona (existencia de zonas graníticas o incluso edificio construido de muros de granito).

Una vez se ha expuesto esto de manera breve, se hace necesario indicar algo que no se tiene en cuenta, no todo está legislado o regulado pero sí que afecta directamente a los usuarios. En este caso concreto se hace alusión a la energía o la acústica, se cita un ejemplo:







**Figura 5.8.** Vaso de compensación en piscina climatizada

Se puede observar en la Fig. 5.8, un ejemplo típico de vaso de compensación en una piscina climatizada en cualquier punto de la geografía española con climatología continental, es decir, bastante frío en invierno y la piscina se climatiza entre 24 y 26 °C requiriéndose para ello una gran cantidad de energía.

El principal problema de este tipo de instalaciones radica en que ni el vaso de la piscina, ni el vaso de compensación, se encuentran aislados además de que la ventilación de esta zona puede ser incluso excesiva. Al no considerarse como zona habitable la misma, destinándose generalmente a mantenimiento con pasillo perimetral en sótano, no se exige aislamiento ni medida preventiva que evite que la energía se pueda «perder» por la ausencia de aislamiento, además de la ventilación natural con la que suelen contar estas áreas que favorece las pérdidas energéticas siendo necesaria la misma, siempre en su justa medida.

Las pérdidas energéticas en estas zonas vienen condicionadas en gran medida a si es un sótano o semi-sótano la parte inferior a las piscinas climatizadas, la ventilación de las mismas y el acceso a esta área (generalmente existe una rampa con portón, similar a un garaje, con puerta metálica, conductora y no estanca)

## 5.5 BIBLIOGRAFÍA

Versión Consolidada del Real Decreto 1027/2007, de 20 de Julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), de Septiembre de 2013 (incluye el Real Decreto 238/2013 de 5 de Abril). España.

Norma UNE 100012:2005 sobre Higienización de sistemas de climatización y Norma UNE 171330-2:2014 sobre Calidad ambiental en interiores (España).

Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de Mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.

Directiva 2004/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (2004) relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas pinturas y barnices y en los productos de renovación del acabado de vehículos, por la que se modifica la Directiva 1999/13/CE.

Mapa Predictivo de Exposición a Radón en España, Consejo de Seguridad Nuclear, Informe Técnico INT-04.31, año 2013. España.

NTP 728 (Nota Técnica de Prevención): «Exposición laboral a la radiación natural» (2006), publicada por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España).

Sainz-Fernandez C, Quindós-Poncela LS et al. (September 14-17, 2008), A brief history of radon measurements and remediation in Spain, Proceedings of the American Association of Radon Scientists and Technologists. International Symposium Las Vegas NV (España, USA).

Guías de calidad del aire relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación. Organización Mundial de la Salud.

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo emitida por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (desarrollo del Real Decreto 374/2001). España.

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos emitida por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo (desarrollo del Real Decreto 664/1997). España.

Relación de empresas y entidades consultadas sobre Calidad del Aire Interior y Energía, Mediciones y Equipos de medida:





#### Guía de calidad del aire interior

- Ecómetro <http://ecometro.org/>
- Fundación para la Salud Geoambiental: <http://www.saludgeoambiental.org/>
- Aire Limpio: <http://www.airelimpio.com/>
- Ambisalud: <http://www.ambisalud.es/>
- Optimiza Recursos: <http://optimizarecursos.com/>
- Instituto Español de Baubiologie: <http://www.baubiologie.es>

# 6

## SISTEMAS DE VENTILACIÓN EN VIVIENDAS. MEDIDA DE CAUDALES Y COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO

**Moises Odriozola Maritorea**

*ENEDI Research Group*

*Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU*



### 6.1. INTRODUCCIÓN

El Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico HS 3 establece unos caudales mínimos de ventilación para las viviendas de nueva construcción. Estos caudales se definen para cada local de la vivienda, y su valor depende del tipo de local y/o la ocupación.

La ventilación de las viviendas se debe a la necesidad de mantener una adecuada calidad del aire interior. No obstante, como contrapartida, se produce un incremento de la demanda energética en la misma.

Este capítulo se divide en varios apartados. En el primero, se definen diferentes técnicas para la medida de caudales de ventilación, indicando las ventajas y desventajas de cada uno. El segundo apartado trata de los principales problemas que se presentan en las viviendas y que provocan no alcanzar los caudales mínimos definidos por el DB HS 3, para continuar con el tercer apartado, que presenta un ejemplo de medición y corrección de los problemas detectados en una vivienda. El cuarto apartado describe los principales sistemas de ventilación que se instalan en el País Vasco, y presenta una comparativa energética entre los mismos en base a las limitaciones de demanda y consumo de energía primaria impuestos por el CTE en su DB HE. Finalmente, en el quinto apartado se analiza la influencia del consumo eléctrico del propio sistema mecánico de ventilación, para definir las condiciones de funcionamiento de los mismos. Además, se estudia el comportamiento energético de los sistemas de ventilación mecánica que trabajan bajo demanda con respecto a los sistemas de ventilación que se instalan habitualmente.

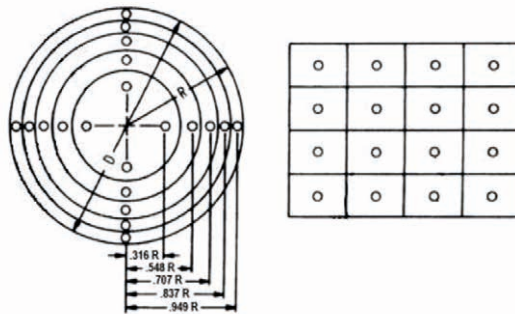


## 6.2. MEDIDA DE LOS CAUDALES DE VENTILACIÓN

Existen diferentes técnicas que permiten determinar el caudal de ventilación de cada estancia de la vivienda. La precisión de la medida varía entre las técnicas, así como la complejidad de la instrumentación y el procedimiento.

Una de las técnicas más sencillas es medir la velocidad del aire en bocas y conductos, de tal forma que se pueda relacionar ésta con el caudal de ventilación mediante el área de la sección de paso. La medida de la velocidad del aire se realiza habitualmente con termoanemómetros o anemómetros de álabes.

Cuando se mide la velocidad del aire en bocas y conductos, es importante tener en cuenta que ésta no es uniforme en toda la sección. Para reducir el error de la no uniformidad de la velocidad en la sección de paso, se recomienda dividirla en una serie de subsecciones. ASHRAE propone dividir las secciones rectangulares entre 16 y 64 subsecciones, y las secciones circulares en secciones anulares, ver Fig. 6.1. En el caso de las secciones circulares se recomienda medir la velocidad en dos direcciones ortogonales para tener en cuenta la posible asimetría del perfil de la velocidad.



**Figura 6.1.** División en subsecciones de los conductos y bocas de sección rectangular y circular.

Para tratar de resolver el problema debido a la no uniformidad del perfil de velocidad se pueden emplear campanas. Estos dispositivos capturan el aire que pasa a través de las bocas de admisión o extracción. En la garganta de la campana se mide la velocidad del aire, y ésta se relaciona con el caudal de ventilación mediante la sección de paso de la garganta, ver Fig. 6.2. Existen campanas de distintos tamaños y formas.



**Figura 6.2.** Campana para la medida de caudales en terminales de aire.

La medida del caudal de aire se puede alterar debido a las pérdidas de carga que se producen en la propia campana. Estas pérdidas de carga se compensan mediante la calibración del equipo o con la ayuda un pequeño ventilador.

Estas técnicas de medida sólo permiten la medida de caudales de ventilación en conductos y bocas. Cuando las entradas de aire no están perfectamente definidas, estas técnicas tienen importantes limitaciones, tal y como ocurre en el caso de que existan infiltraciones de aire o que la renovación de aire se realice mediante microventilación.

La técnica de los gases trazadores permite medir caudales de ventilación en locales ventilados por infiltraciones, ventilación natural y mecánica sin ningún tipo de limitación. Además, se pueden medir otros parámetros importantes que caracterizan la ventilación, estos parámetros se refieren a la eficiencia de la ventilación.

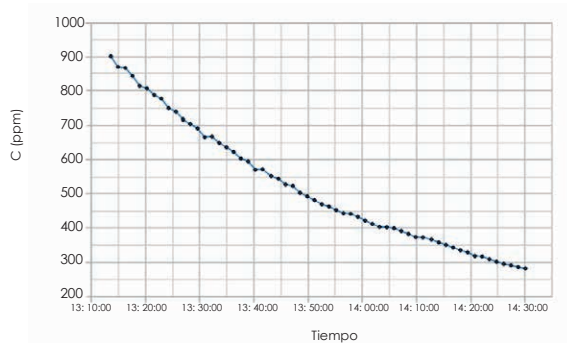
La técnica de los gases trazadores consiste en la emisión controlada de un gas no presente en el ambiente. La manera en la que se emite el gas define el método empleado. Son tres los métodos mediante gases trazadores que más se emplean: el método de la caída de la concentración, el método de la emisión constante y el método de la concentración constante. Los requisitos que son necesarios cumplir y el procedimiento de ensayo para la medida de caudales de ventilación mediante esta técnica se describen en la norma UNE – EN ISO 12569. La norma establece las características de la instrumentación en cuanto a su precisión y las comprobaciones a realizar antes, durante y después de cada ensayo. El cumplimiento de los requisitos de norma supone un error inferior al 10% con respecto al valor real.





## Guía de calidad del aire interior

El método de la caída de la concentración consiste en emitir el gas trazador en el local de ensayo hasta alcanzar una determinada concentración uniforme. Alcanzada la concentración definida, se detiene la emisión y se registra la evolución de la concentración del gas en el local, ver Fig. 6.3.



**Figura 6.3.** Evolución de la concentración durante el ensayo mediante el método de la caída de la concentración.

La evolución de la concentración del gas trazador se define mediante la Ecuación 4.1.

$$c(t) = c(t = 0) \cdot e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (\text{Ecuación 4.1.})$$

donde  $c$  indica la concentración del gas trazador,  $t$  el tiempo transcurrido,  $Q$  es el caudal de ventilación y  $V$  el volumen del local ensayado.

Se trata del método más sencillo de todos y el más utilizado, teniendo en cuenta tanto la instrumentación necesaria como la ejecución método.

El método de la emisión constante es el que menos se utiliza, esto se debe a la necesidad de consumir una gran cantidad de gas. Es un método sencillo de ejecutar, pero cuando el caudal de ventilación no es constante, el método subestima el valor del caudal. El gas se emite hasta alcanzar el equilibrio entre la cantidad de gas emitido y el que abandona el local por ventilación. La cantidad de gas emitida se fija mediante un caudalímetro.

El método de la concentración constante se basa en mantener invariable la concentración en el local. Para ello, es necesario controlar la emisión del gas inyectando la cantidad necesaria en cada instante, por lo que es imprescindible utilizar un sistema que controle la emisión del gas.

Mediante este método se pueden registrar variaciones del caudal de ventilación, y analizar el efecto de los ocupantes o de las condiciones climáticas cambiantes. Se trata de un método que se puede utilizar para calcular caudales de ventilación durante largos periodos de tiempo, sin que ello suponga un gran consumo de gas, ver Fig. 6.4.

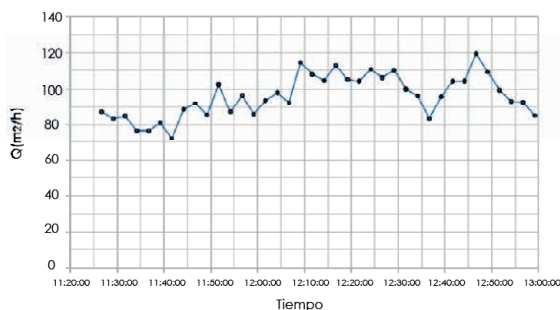


Figura 6.4. Evolución del caudal de ventilación durante el ensayo mediante el método de la concentración constante.

### 6.3. PRINCIPALES PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN LAS VIVIENDAS

El Grupo de Investigación de la Universidad del País Vasco ENEDI (Energética en la Edificación), a través del convenio con el Laboratorio de Control de la Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco, ha realizado mediciones de caudales de ventilación en 10 viviendas construidas bajo los requisitos definidos por el CTE DB HS 3. Las viviendas seleccionadas se incluyen en distintas promociones, tratando de analizar distintas configuraciones de vivienda y sistemas de ventilación. Teniendo en cuenta que las mediciones se han realizado por local, en total han sido 62 los locales ensayados. Debido al elevado número de locales ensayados, se considera que la muestra ensayada es representativa.

Las mediciones se han realizado mediante la técnica de los gases trazadores, y más concretamente, mediante el método de la caída de la concentración. Los caudales medidos se han comparado con los exigidos por el CTE DB HS 3. Se comprueba que el 57% de los locales ensayados no alcanzan los caudales mínimos exigidos, siendo la gran mayoría locales de admisión. El 60% de los locales que no alcanzan los valores exigidos lo hace con una desviación superior al 20% con respecto al valor esperado. Por lo que se puede concluir que se trata de un problema generalizado.







## Guía de calidad del aire interior

Los problemas se presentan por dos motivos principales: las infiltraciones de aire y la incorrecta instalación de los sistemas de ventilación.

Los sistemas de ventilación analizados han sido los de flujo simple. Este tipo de sistemas trabaja extrayendo aire de forma mecánica desde el interior de la vivienda a través de los locales de extracción. Esto genera un estado de depresión en el interior de la vivienda con respecto al exterior. El aire entra a la vivienda a través de las bocas de admisión dispuestas para tal efecto en los locales de admisión debido a la depresión generada. El aire atraviesa la vivienda desde los locales de admisión hasta los locales de extracción a través de los locales de paso.

Las viviendas ensayadas extraen la cantidad de aire indicada por el CTE. Esto significa que el aire necesario entra en la vivienda, el problema es que no lo hace por donde debe, el incumplimiento de los caudales mínimos en los locales de admisión lo demuestra. Esto supone que la renovación de aire penaliza energéticamente la vivienda, pero la calidad del aire no se ve beneficiada en los locales de admisión.

Las grietas en la envolvente del edificio generan infiltraciones de aire. Estas grietas se deben a defectos durante la ejecución de la obra. El aire que accede a la vivienda a través de las grietas no lo hace a través de las bocas de admisión dispuestas en los locales de admisión.

En las primeras viviendas construidas según las exigencias del CTE, una fuente muy importante de infiltraciones de aire es la cocina, y en particular el extractor de humos de la misma. A través de la misma se detectan importantes entradas de aire cuando ésta no está en funcionamiento. Este problema es corregido con la instalación de sistemas antirrevoco.

Reducir la permeabilidad de la envolvente permite mejorar el funcionamiento de los sistemas de ventilación. La normativa española no establece unos valores límite que permitan controlar la calidad de la envolvente para su comprobación *in situ*. El ensayo de comprobación de la permeabilidad de la envolvente se realiza mediante el dispositivo conocido como puerta – ventilador (*blower door*), y el ensayo se define mediante la norma UNE – EN 13829.

Por otra parte, en el País Vasco, se encuentra muy extendida la instalación de ventanas con microventilación. La apertura de microventilación sustituye las bocas de admisión a instalar en la fachada.

Por lo general, estas ventanas permiten cuatro posiciones de la hoja practicable: cierre estanco, posición de microventilación, posición de apertura y posición oscilovaciente. Es lógico pensar que no debería ser posible cerrar de forma estanca este tipo de ventanas, ya que esto anularía las admisiones de aire en los locales de admisión.

No han sido habituales los problemas en los locales de extracción. Cuando se han producido, han sido debido a problemas en la instalación del sistema de ventilación.

#### 6.4. EJEMPLO DE MEDIDA DE CAUDALES Y SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Mediante un ejemplo de medida se muestran los problemas habitualmente presentes y cómo resolverlos. La vivienda del ejemplo que se presenta se muestra en la Fig. 6.5, en esta vivienda se realizaron sucesivas mediciones y correcciones.

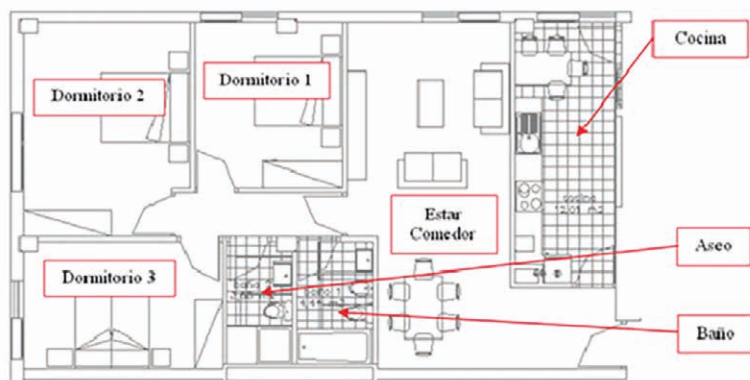


Figura 6.5. Configuración de la vivienda del caso analizado.

La vivienda está compuesta por 3 dormitorios, sala de estar – comedor, cocina, cuarto de baño, aseo y pasillo – distribuidor. Los dormitorios se consideran dobles en el proyecto, y en base a ello, se definen los caudales mínimos según el CTE DB HS 3, ver Tabla 6.1.



**Tabla 6.1.** Caudales mínimos exigidos por el CTE DB HS 3 en la vivienda del caso analizado.

Tipo de local	Ocupación [personas]	Superficie útil [m] <sup>2</sup>	Caudal mínimo [l/s]
Dormitorio 1	2	-	10
Dormitorio 2	2	-	10
Dormitorio 3	2	-	10
SdE - Comedor	6	-	18
Cocina	-	8,2	16,4
Cuarto de baño	-	-	15
Aseo	-	-	15

El sistema de ventilación instalado es un sistema de flujo simple con extracción continua. Por lo tanto, el caudal de ventilación en cada instante debe ser como mínimo el indicado en la Tabla 6.1. Las bocas de admisión se sitúan en los marcos de las ventanas de los locales de admisión. Siguiendo la metodología de ensayo definida por la norma UNE – EN ISO 12569, se mide el caudal de ventilación en cada local. El procedimiento es el siguiente:

1. Medir la concentración de fondo del gas trazador en cada local y comprobar que es nula.
2. Colocar en el local a analizar por lo menos dos muestreadores de gas, de tal forma que sea posible validar el requisito de la norma UNE – EN ISO 12569, esto es, concentración uniforme de gas trazador en el interior del local antes, durante y al terminar el ensayo.
3. Inyectar el gas trazador en el local hasta alcanzar la concentración definida y comprobar que se cumple la condición de concentración uniforme en la misma. Esta condición de uniformidad debe ser garantizada durante todo el ensayo, lo que se consigue mediante ventiladores que mezclan el aire en el interior del local.

4. Registrar la concentración del gas trazador con respecto al tiempo, de tal forma que se define la evolución de la concentración del gas en el interior del local.
5. Finalizado el ensayo, abrir puertas y ventanas para eliminar de la vivienda el gas trazador que pudiera quedar debido al ensayo realizado y conseguir que la concentración de fondo sea nula. Este hecho se comprueba midiendo la concentración de fondo del gas trazador en toda la vivienda.

La Fig. 6.6 muestra la disposición típica de la instrumentación durante la ejecución del ensayo mediante gas trazador.



**Figura 6.6.** Disposición de la instrumentación durante la medida de caudales de ventilación mediante gas trazador.

La vivienda debe estar terminada, y antes de empezar con el ensayo el instalador del sistema de ventilación comprueba que todo está en orden. Los resultados del primer ensayo se presentan en comparación con los caudales mínimos exigidos por el CTE DB HS 3, ver Tabla 6.2 y Fig. 6.7.

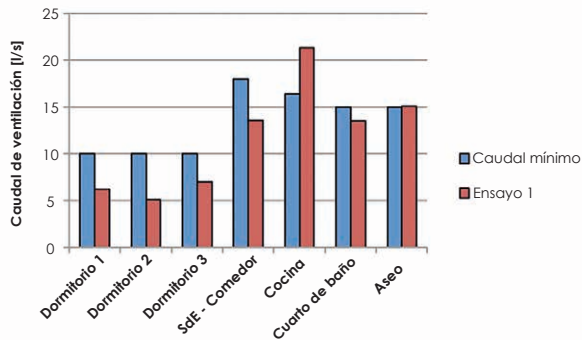
**Tabla 6.2.** Resultados de los caudales de ventilación del primer ensayo.

Tipo de local	Caudal mínimo [l/s]	Ensayo 1 [l/s]
Dormitorio 1	10	<b>6,2</b>
Dormitorio 2	10	<b>5,1</b>





Tipo de local	Caudal mínimo [l/s]	Ensayo 1 [l/s]
Dormitorio 3	10	<b>7</b>
SdE - Comedor	18	<b>13,6</b>
Cocina	16,4	<b>21,3</b>
Cuarto de baño	15	<b>13,5</b>
Aseo	15	<b>15,1</b>



**Figura 6.7.** Gráfica comparativa entre los caudales medidos y exigidos.

Los caudales de ventilación en los locales de admisión son claramente inferiores a los exigidos por el CTE DB HS 3. Además de eso, se comprueba que el cuarto de baño no extrae suficiente aire. Si se suman los caudales de ventilación medidos en los locales de admisión por un lado, y los de los locales de extracción por otro, deberían coincidir los resultados. En este caso la diferencia es de 18 l/s, siendo superior la suma de los caudales de extracción. Se puede concluir que, de la vivienda se extrae la cantidad de aire total definida por el CTE, pero la extracción no se distribuye en los locales de admisión. Por lo tanto, el caudal total extraído entra en la vivienda, pero no lo hace a través de las aberturas dispuestas para ello: existen infiltraciones de aire en los locales de extracción.

Gran parte de las infiltraciones se detectan en la cocina, siendo uno de los puntos calientes el conducto de extracción de humos. Cabe señalar, que aunque la actual versión del DB HS 3 exige incluir sistemas antirrevoco en estos conductos, en la versión original no era así. Además, se comprueba que aproximadamente el 50% de la sección

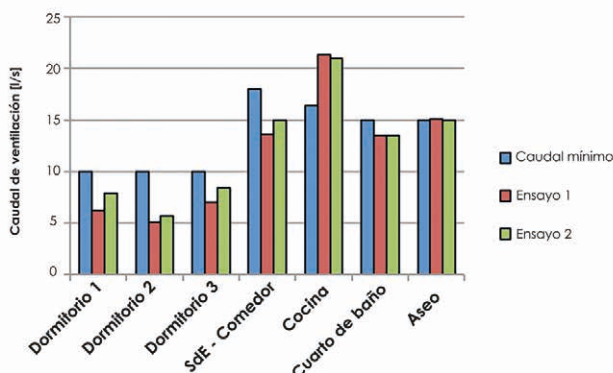
de las aperturas de admisión no es efectiva, esto es, el aire no entra a través de toda sección de las bocas de admisión.

La segunda ronda de mediciones se realiza sellando el conducto de extracción de humos. El objetivo es valorar el efecto de este elemento. El resto de la vivienda se mantiene tal y como se encontraba durante el primer ensayo. Los resultados del segundo ensayo se presentan en la Tabla 6.3 y Fig. 6.8.



**Tabla 6.3.** Resultados de los caudales de ventilación del segundo ensayo.

Tipo de local	Caudal mínimo [l/s]	Ensayo 1 [l/s]	Ensayo 2 [l/s]
Dormitorio 1	10	6,2	7,9
Dormitorio 2	10	5,1	5,7
Dormitorio 3	10	7	8,4
SdE - Comedor	18	13,6	15
Cocina	16,4	21,3	21
Cuarto de baño	15	13,5	13,5
Aseo	15	15,1	15



**Figura 6.8.** Gráfica comparativa entre los caudales medidos y exigidos.



## Guía de calidad del aire interior

Los locales de admisión no alcanzan los caudales mínimos de ventilación exigidos por el CTE DB HS 3, pero se produce un aumento significativo de los valores, sin que varíen los caudales de extracción. Si se calcula la diferencia entre la suma de los caudales de extracción y admisión, el resultado es 12,5 l/s, por lo que se reduce en 5,5 l/s con respecto al primer ensayo. La reducción representa aproximadamente la suma de los incrementos de los caudales de admisión. Por lo que la respuesta es directa.

Antes de realizar el tercer ensayo se comprueba que las aberturas de admisión no están correctamente dispuestas. Estas bocas disponen de láminas de plástico que limitan la entrada de aire. Esta lámina debía ser retirada para la colocación de las bocas en los locales de admisión de esta vivienda, y no fue así. Además, tanto en el primer ensayo como en el segundo, se comprueba que el caudal de extracción de la cocina es notablemente superior al mínimo exigido. Siendo la cocina una fuente importante de infiltraciones de aire a través de la fachada que da al exterior. En cambio, el cuarto de baño y el aseo no están directamente conectados al exterior, por lo que es de suponer que el aire debe entrar a estos locales desde el interior de la vivienda. Por lo que, se cambia la boca de extracción de la cocina por otra de menor capacidad, tratando de aumentar el caudal de extracción del cuarto de baño y aseo, reduciendo las infiltraciones de aire en la cocina. Los resultados del tercer ensayo se muestran en la Tabla 6.4 y Fig. 6.9.

**Tabla 6.4.** Resultados de los caudales de ventilación del tercer ensayo.

Tipo de local	Caudal mínimo [l/s]	Ensayo 1 [l/s]	Ensayo 2 [l/s]	Ensayo 3 [l/s]
Dormitorio 1	10	6,2	7,9	10
Dormitorio 2	10	5,1	5,7	9,2
Dormitorio 3	10	7	8,4	10,6
SdE - Comedor	18	13,6	15	15
Cocina	16,4	21,3	21	17,4
Cuarto de baño	15	13,5	13,5	15,8
Aseo	15	15,1	15	16,2

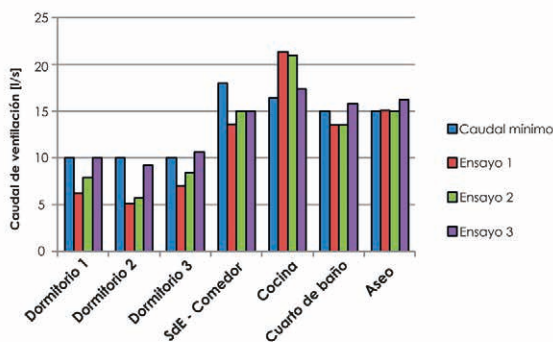


Figura 6.9. Gráfica comparativa entre los caudales medidos y exigidos.

Las medidas adoptadas suponen una mejora más que notable, tanto en los locales de admisión como en los de extracción. Se puede comprobar que la suma de los caudales en los locales de extracción permanece invariable.

Por lo tanto, para alcanzar los caudales mínimos exigidos es necesario reducir las infiltraciones de aire en la medida de lo posible. Además, se puede configurar el sistema de ventilación para hacer que la incidencia de las grietas en la envolvente influya lo menos posible.

## 6.5. PRINCIPALES SISTEMAS DE VENTILACIÓN QUE SE INSTALAN EN EL PAÍS VASCO. COMPARATIVA ENERGÉTICA

Las autoridades europeas se comprometieron a reducir el consumo de energía primaria en un 20% para el año 2020. El uso de la energía en los edificios residenciales y comerciales supone alrededor del 40%, el potencial de reducción del consumo de energía en este sector es del 30%. Este potencial de reducción supondría la reducción del consumo de energía en un 11% sobre el total en la UE.

En el caso del sector residencial, el consumo de energía debido a la ventilación supone alrededor del 50% del total. Este valor se incrementa a medida que la envolvente del edificio se aísla mejor térmicamente. Por lo tanto, instalando sistemas de ventilación eficientes permitiría reducir el consumo por renovación de aire, y en consecuencia, el consumo total de las viviendas.







## Guía de calidad del aire interior

En septiembre de 2013 se actualiza el DB HE del CTE, y se definen los valores límite de la demanda de calefacción y el consumo de energía primaria en calefacción y consumo de agua caliente sanitaria (ACS), ver Tablas 6.5 y 6.6, y las Ecuaciones 4.2 y 4.3.

**Tabla 6.5.** Valor base y factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción.

	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
$D_{cal,base}$	15	15	15	20	27	40
$F_{cal,sup}$	0	0	0	1.000	2.000	3.000

$$D_{cal,lím} = D_{cal,base} + \frac{F_{cal,sup}}{S} \left[ \frac{kWh}{m^2 \cdot año} \right] \quad (\text{Ecuación 4.2.})$$

**Tabla 6.6.** Valor base y factor corrector por superficie del consumo energético.

	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
$C_{cal,base}$	40	40	45	50	60	70
$F_{cal,sup}$	1.000	1.000	1.000	1.500	3.000	4.000

$$C_{ep,lím} = C_{ep,base} + \frac{F_{ep,sup}}{S} \left[ \frac{kWh}{m^2 \cdot año} \right] \quad (\text{Ecuación 4.3.})$$

El valor límite de la demanda y el consumo depende de la zona climática y la superficie de la vivienda. En las zonas más frías, a medida que aumenta la superficie de la vivienda los valores límite se reducen. Estos valores se definen para el edificio completo.

Es importante tener presente, que ventilar viviendas es una necesidad, y que el incremento del consumo energético asociado es una contrapartida. En base a criterios energéticos, la tendencia ha sido la de exigir edificios cada vez más estancos, dando como resultado la aparición de síntomas y enfermedades asociados a la mala calidad del aire interior.

La exigencia de ventilar viviendas, siendo nueva en la normativa española, es algo que se exige desde hace años en la mayoría de los países europeos. El camino seguido por estos países en la elección de los sistemas de ventilación ha sido distinto, siendo el condicionante más importante el clima. Dentro del proyecto HealthVent se incluyen los resultados de una encuesta que se realiza en varios países europeos. Mediante esta encuesta se pretende conocer qué tipo de sistemas de ventilación se instalan, y determinar la evolución de los tipos

instalados a lo largo de los años a medida que las exigencias de limitación energética son cada vez mayores. Se comprueba que se instalan varios tipos de sistemas distintos, aunque predominan los sistemas con recuperación de calor en el norte de Europa, los sistemas de flujo simple con extracción continua en climas moderados y los sistemas de ventilación natural en los países del sur.

Son tres los sistemas de ventilación que se instalan habitualmente en el País Vasco:

- Sistema de ventilación mecánico de flujo simple con extracción continúa.
- Sistema de ventilación mecánico de flujo simple higrorregulado.
- Sistema de ventilación mecánico de doble flujo con recuperación de calor.

El primero de los sistemas ya ha sido presentado anteriormente. Se trata de un tipo de sistema cuya instalación se encuentra muy extendida. Es el más simple y más barato entre los tres.

El sistema higrorregulado trabaja extrayendo aire del interior de la vivienda, de la misma forma que el sistema anterior. Pero en este caso, el caudal de extracción depende de la humedad relativa, que actúa como indicador de la presencia de ocupantes y las actividades que realizan. En los locales de admisión se instalan bocas que modifican su sección de paso en base a la humedad relativa, dejando pasar más o menos aire.

En cuanto a los sistemas de doble flujo con recuperación, estos sistemas impulsan aire a los locales de admisión y lo extraen en los locales de extracción. Para ello es necesario instalar equipos mecánicos tanto en la admisión como en la extracción, lo que hace que aumente el consumo por la operación del sistema de ventilación. Estos sistemas permiten la incorporación de recuperadores de calor. Estos elementos permiten aprovechar la energía del aire que se extrae del interior de la vivienda para atemperar el aire frío que llega desde el exterior. El comportamiento energético del recuperador se define mediante su eficiencia, (ver Ecuación 4.4).

$$\varepsilon = \frac{T_{Rec} - T_{Ext}}{T_{Int} - T_{Ext}} \quad (\text{Ecuación 4.4.})$$

Los sistemas de recuperación de calor disponen de sistema de Bypass para reducir el sobrecalentamiento de la vivienda en verano. El Bypass





Guía de calidad del aire interior

hace que el aire que llega desde el exterior no se precaliente intercambiando calor con el aire del interior de la vivienda, ver Fig. 6.10.

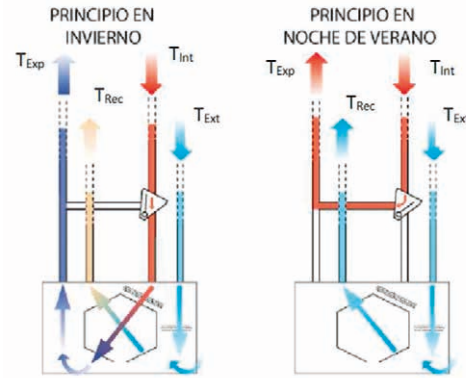


Figura 6.10. Esquema del sistema de Bypass del sistema de recuperación de calor.

El Bypass se activa en función de la temperatura del aire extraído de la vivienda y la del aire exterior. En la Fig. 6.11 se presenta un ejemplo de configuración del sistema de Bypass.

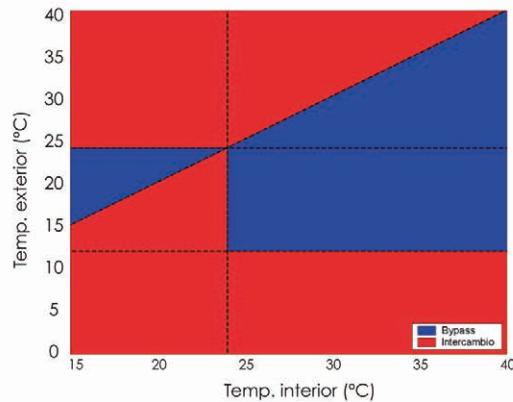


Figura 6.11. Configuración del sistema de Bypass del sistema de recuperación de calor.

Para analizar el comportamiento de cada uno de los sistemas, se define una vivienda y se comparan los resultados obtenidos con cada sistema. La comparación se realiza tomando como referencia una vivienda tipo, compuesta por 3 dormitorios, sala de estar, cocina, cuarto de baño, aseo y pasillo – distribuidor, ver Fig. 6.12. Se consideran las dos orientaciones indicadas en la Figura. Las dimensiones de los locales se presentan en la Tabla 6.7.

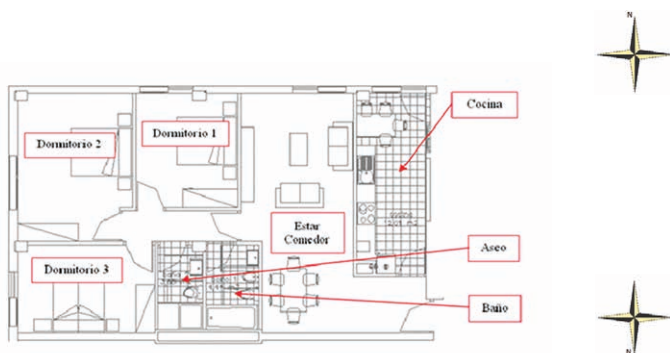


Figura 6.12. Vivienda utilizada para el análisis energético.

Tabla 6.7. Volúmenes internos y superficies de cada una de las estancias de la vivienda.

TIPO DE LOCAL	VOLUMEN [M <sup>3</sup> ]	SUPERFICIE [M <sup>2</sup> ]
Dormitorio 1	29,71	11,36
Dormitorio 2	41,1	16,21
Dormitorio 3	29,92	11,46
SdE - Comedor	71,67	28,02
Cocina	25,89	11,97
Cuarto de baño	9,93	4,45
Aseo	8,31	3,79
Pasillo	8,53	3,27

Las características térmicas de los cerramientos opacos se definen en la Tabla 6.8. Los marcos de la ventana se consideran de aluminio con rotura de puente térmico y vidrio aislante, ver Tabla 6.9. Las paredes que separan la vivienda con las contiguas se consideran adiabáticas, así como los forjados. Se consideran las orientaciones norte y sur para obtener el valor promedio, y que la vivienda se sitúa en Vitoria – Gasteiz, Bilbao y Donostia.



**Tabla 6.8.** Características térmicas del muro exterior de la vivienda.

Capa	Componentes	Espesor [mm]	$\lambda$ [W/(m·K)]	RT [(m <sup>2</sup> ·K)/W]
1	Yeso	15	0,30	0,05
2	Lad. gran formato	70	0,48	0,146
3	Cámara de aire	20	-	0,17
4	XPS	40	0,036	1,11
5	Raseo hidrófugo	10	1,0	0,01
6	1/2 asta lad. caravista	115	0,75	0,153

**Tabla 6.9.** Características térmicas de los cerramientos semitransparentes.

U [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Factor solar [-]	Porcentaje huecos
2,70	0,755	23,70%

La simulación energética se realiza definiendo las cargas térmicas en la vivienda, y el rendimiento del sistema de calefacción igual a 92% siendo la temperatura de consigna 20 °C.

El CTE no considera el consumo de los ventiladores de los sistemas de ventilación. Estos trabajan consumiendo energía eléctrica, para las simulaciones se considera que el consumo específico de los ventilación es igual a 0,15 W/(m<sup>3</sup>/h) por ventilador.

La limitación del consumo de energía primaria del CTE DB HE también incluye el consumo de ACS. Su valor se ha calculado suponiendo que el agua se calienta hasta los 60 °C y que el consumo por persona y día es 28 l. En base a lo indicado por el CTE DB HE, la contribución solar mínima en la ciudades consideradas es del 30%. La Tabla 6.10 presenta el consumo de energía en servicio de ACS para las tres ciudades consideradas.

**Tabla 6.10.** Consumo anual de energía primaria en ACS por persona.

Ciudad	Consumo ACS [(kWh)/ (persona·año)]
Vitoria- Gasteiz	501,5
Bilbao	491,6
Donostia	471,7

El sistema de ventilación higrorregulado trabaja en función de la humedad relativa, por lo que para simular este tipo de sistemas de ventilación es necesario definir la presencia de vapor de agua en la vivienda. El vapor aparece en la vivienda por la actividad metabólica de los ocupantes, debido a las actividades domésticas (aseo personal, cocinado, etc.) realizadas y por el contenido del aire de ventilación. Además, tanto la actividad metabólica como la doméstica se realizan en determinadas horas del día y en determinados locales. Por este motivo es necesario definir estas rutinas para el correcto estudio del sistema higrorregulado. La definición de las rutinas se ha realizado en base a las Encuestas de Empleo del Tiempo realizadas por el Instituto Nacional de Estadística.

Los caudales de ventilación considerados se presentan en la Tabla 6.11. Para su cálculo se ha considerado la ocupación media de la vivienda española definida por el Instituto Nacional de Estadística, 4 personas; 3 adultos y un menor de edad. El equilibrado del sistema de ventilación se realiza a través de la sala de estar.

**Tabla 6.11.** Caudales mínimos exigidos por el CTE DB HS 3 en la vivienda de referencia.

TIPO DE LOCAL	OCUPACIÓN [PERSONAS]	SUPERFICIE ÚTIL [M <sup>2</sup> ]	CAUDAL MÍNIMO [L/S]
Dormitorio 1	1	-	5
Dormitorio 2	2	-	10
Dormitorio 3	1	-	5
SdE - Comedor	4	-	12
Cocina	-	8,2	16,4
Cuarto de baño	-	-	15
Aseo	-	-	15





## Guía de calidad del aire interior

Los límites para la demanda de calefacción definidos por el CTE DB HE 1, y los límites de consumo de energía primaria en calefacción y servicio de ACS para la vivienda se definen en la Tabla 6.12.

**Tabla 6.12.** Valores límite para la demanda y el consumo de energía primaria para la vivienda analizada.

Localización	Límite demanda [(kWh)/ (m <sup>2</sup> ·año)]	Límite consumo [(kWh)/ (m <sup>2</sup> ·año)]
Vitoria - Gasteiz	49,1	93,1
Bilbao	31,1	66,6
Donostia	49,1	93,1

La Tabla 6.13 muestra la demanda de calefacción de la vivienda para cada uno de los sistemas de ventilación para las orientaciones norte y sur. La reducción de la demanda se define utilizando los valores promedio de las orientaciones y tomando como referencia el sistema de flujo simple.

**Tabla 6.13.** Demanda de calefacción para cada sistema de ventilación, localización y orientación.

Ciudad	Sistema de ventilación	Demanda de calefacción [(kWh)/(m <sup>2</sup> ·año)]		Reducción de la demanda [%]
		Norte	Sur	
Vitoria - Gasteiz	FS	52,8	31,0	-
	Higro	44,4	23,1	19,4%
	DF	16,5	4,7	74,7%
Bilbao	FS	31,1	16,6	-
	Higro	27,4	13,1	15,2%
	DF	7,9	2,0	79,3%
Donostia	FS	22,4	10,8	-
	Higro	20,2	8,7	13,3%
		4,7	1,0	83,0%



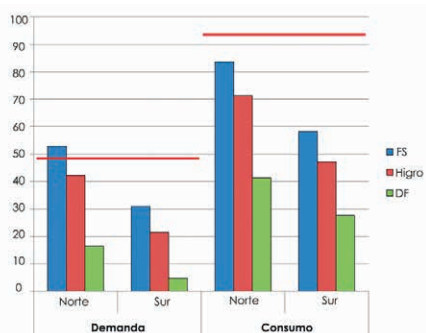
La Tabla 6.14 muestra el consumo de energía primaria en calefacción y servicio de ACS de la vivienda para cada uno de los sistemas de ventilación para las orientaciones norte y sur. La reducción del consumo se define utilizando los valores promedio de las orientaciones y tomando como referencia el sistema de flujo simple.

**Tabla 6.14.** Consumo de energía primaria en calefacción y servicio de ACS para cada sistema de ventilación, localización y orientación.

Ciudad	Sistema de ventilación	Demanda de calefacción [(kWh)/ (m <sup>2</sup> ·año)]		Reducción de la demanda [%]
		Norte	Sur	
Vitoria - Gasteiz	FS	52,8	31,0	-
	Higro	44,4	23,1	19,4%
	DF	16,5	4,7	74,7%
Bilbao	FS	31,1	16,6	-
	Higro	27,4	13,1	15,2%
	DF	7,9	2,0	79,3%
Donostia	FS	22,4	10,8	-
	Higro	20,2	8,7	13,3%
	DF	4,7	1,0	83,0%

Los ahorros que presentan los sistemas higrorregulado y, sobre todo, de doble flujo con recuperación de calor frente al sistema de referencia son significativos.

La Fig. 6.13 muestra gráficamente la comparación entre los valores límite y los resultados obtenidos a partir de la simulación energética de la vivienda orientada hacia el norte y hacia el sur situada en Vitoria – Gasteiz.



**Figura 6.13.** Demanda y consumo de energía primaria en la vivienda situada en Vitoria – Gasteiz.





Cabe repetir que el CTE define los valores límite para la demanda y el consumo para edificios completos, pero a modo orientativo los resultados demuestran la importancia del sistema de ventilación en cuanto al cumplimiento de la exigencia.

## **6.6. PARÁMETROS FUNDAMENTALES A TENER EN CUENTA EN LA SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN**

Los resultados del apartado anterior muestran la importancia del sistema de ventilación en la demanda de la vivienda y, como consecuencia, en el consumo de energía primaria en calefacción y servicio de ACS.

Siendo esto así, asociado al funcionamiento de los sistemas mecánicos de ventilación, es necesario tener en cuenta también el consumo de energía eléctrica de los ventiladores. Este consumo depende del sistema de ventilación instalado y de la eficiencia de estos ventiladores, lo que se define mediante el factor SFP (*Specific Fan Power*). Este factor define la potencia consumida por el ventilador por cada unidad de caudal de aire que lo atraviesa.

El sistema de ventilación de flujo simple trabaja de forma continua, extrayendo un caudal constante de aire desde interior de la vivienda. En cambio, el sistema de ventilación higrorregulado actúa de tal forma que en base a las necesidades de la vivienda es capaz de variar el caudal de extracción. Por último, el sistema de ventilación de doble flujo con recuperación de calor debe impulsar aire al interior de la vivienda y extraerlo, por lo que es necesario instalar ventiladores de impulsión además de los de extracción. A esto hay que añadir las pérdidas de carga adicionales que suponen la instalación del recuperador de calor y los filtros.

Para analizar la influencia del consumo de los ventiladores, se han considerado 3 valores del factor SFP, ver Tabla 6.15. En los resultados presentados en las Tablas 6.13 y 6.14 no se ha considerado el consumo de los ventiladores.



Tabla 6.15. Niveles del factor SFP considerados en el análisis.

Nivel	SFP [(W·h)/m <sup>3</sup> ]
SFP 1	0,15
SFP 2	0,30
SFP 3	0,45

En la Fig. 6.14 se presentan los resultados relativos a la suma de los consumos de energía primaria en calefacción, servicio de ACS y de los ventiladores para los 3 niveles de SFP definidos.

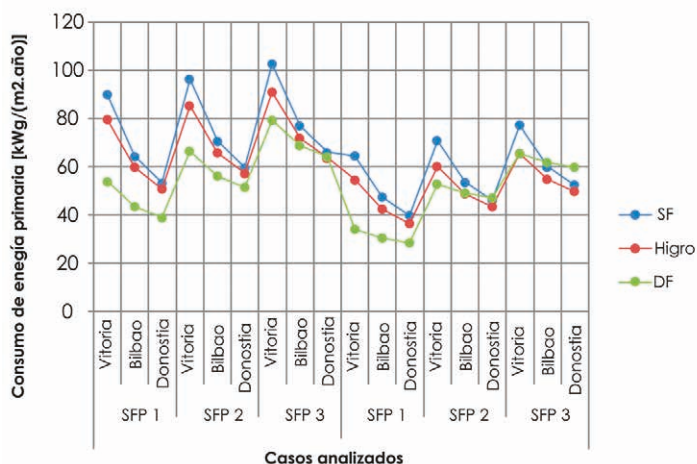


Figura 6.14. Consumo de energía primaria en calefacción, servicio de ACS y operación de los ventiladores en los casos analizados.

A medida que aumenta el factor SFP, esto es, se instalan ventiladores menos eficientes, el ahorro del sistema de doble flujo con recuperación de calor se reduce, hasta llegar al punto en el que su consumo es superior al de los otros sistemas. Es posible definir el valor límite SFP para el que se igualan los consumos de energía primaria, ver Tabla 6.16.

Tabla 6.16. Valores límite del factor SFP para cada localización y orientación.

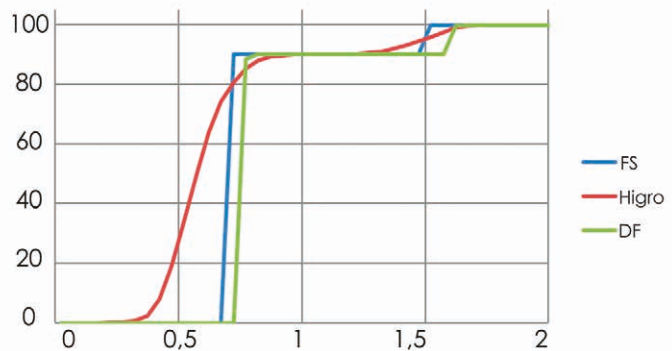
Localización	Flujo simple [(W·h)/m <sup>3</sup> ]		Higrorregulado [(W·h)/m <sup>3</sup> ]	
	Norte	Sur	Norte	Sur
Vitoria - Gasteiz	1,00	0,73	0,70	0,45
Bilbao	0,64	0,40	0,52	0,29
Donostia	0,49	0,27	0,44	0,21



## Guía de calidad del aire interior

Por lo tanto, si el sistema de ventilación instalado es de doble flujo con recuperación de calor, para el consumo de energía primaria sea inferior en comparación con el resto de los sistemas, los valores deben ser menores a los indicados en la Tabla 6.14. Se comprueba que a medida que las condiciones son menos severas el valor límite es más exigente.

Los valores límite del factor SFP son inferiores si la comparación se realiza entre el sistema de doble flujo y el sistema higrorregulado. Esto se debe a que este sistema actúa bajo demanda, utilizando como indicador la humedad relativa del ambiente. Esto hace que el caudal de ventilación sea variable y en general inferior en comparación con el resto de sistemas a lo largo del año, ver Fig. 6.15. Siendo el caudal inferior, la cantidad de energía necesaria para acondicionar térmicamente el aire renovado será inferior y también la energía consumida por el ventilador.



**Figura 6.15.** Frecuencia acumulada de la renovación de aire en la vivienda para los 3 sistemas de ventilación analizados. Orientación norte para la vivienda situada en Vitoria – Gasteiz.

La figura muestra que la renovación de aire en el caso del sistema higrorregulado es inferior al de los sistemas de flujo simple y doble flujo durante alrededor del 80% del año. El escalón que se puede observar se debe a la entrada en funcionamiento del extractor de humos de la cocina. De todas formas, el funcionamiento del sistema higrorregulado se ve afectado por la orientación y el clima. La Fig. 6.16 muestra la frecuencia acumulada de la renovación de aire para Vitoria – Gasteiz para las orientaciones norte y sur, y la Fig. 6.17 las frecuencias acumuladas para las tres ciudades consideradas con la vivienda orientada al norte.

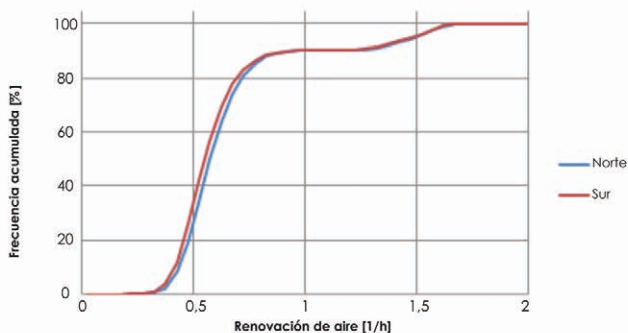


Figura 6.16. Frecuencia acumulada de la renovación de aire en la situada en Vitoria – Gasteiz. Orientaciones norte y sur.

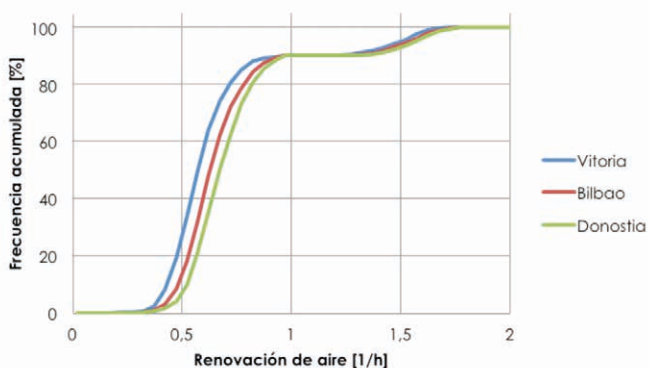


Figura 6.17. Frecuencia acumulada de la renovación de aire en la vivienda orientada al norte. Vitoria – Gasteiz, Bilbao y Donostia.

La humedad relativa no sólo se ve afectada por la emisión de vapor de agua en el interior de la vivienda, el clima y la temperatura del aire en el interior de la vivienda también influyen sobre este indicador. Se puede comprobar que definiendo la misma emisión de vapor de agua en el interior de la vivienda, cambiando la orientación de la vivienda y su localización el caudal varía. Esto debe afectar a la calidad del aire interior de la vivienda, pero el análisis de la calidad del aire interior no es objeto de este estudio.



## Guía de calidad del aire interior

Existen otros parámetros que se pueden utilizar como indicadores de la calidad del aire interior. Los parámetros que más habitualmente se utilizan como indicador en los sistemas que trabajan bajo demanda son la concentración de dióxido de carbono, la presencia y la humedad relativa. Los sistemas considerados para comparar el comportamiento energético de la vivienda son los siguientes:

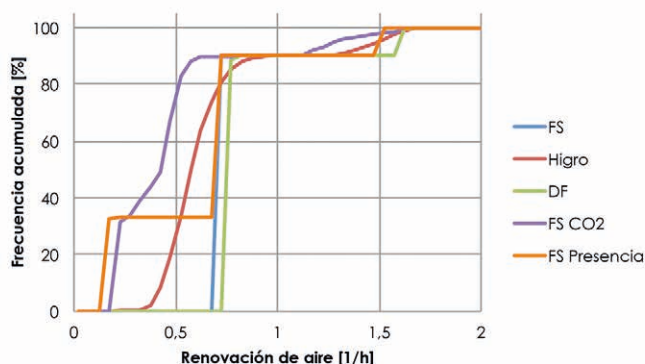
- Flujo simple con extracción continua.
- Flujo simple higrorregulado.
- Doble flujo con recuperación de calor.
- Flujo simple regulado por la presencia.
- Flujo simple regulado por CO<sub>2</sub>.

La Tabla 6.17 muestra los resultados de la demanda de calefacción, de la suma del consumo de energía primaria en calefacción y servicio de ACS, y de la suma total del consumo de energía primaria (calefacción, ACS y operación de los ventiladores).

Sistema de ventilación	Demanda de calef. [(kWh)/(m <sup>2</sup> ·año)]	Consumo de calef.+ ACS [(kWh)/(m <sup>2</sup> ·año)]	Operación [(kWh)/(m <sup>2</sup> ·año)]	Consumo total [(kWh)/(m <sup>2</sup> ·año)]	Ahorro [%]
FS	52,8	83,6	6,3	89,9	-
Higro	44,4	73,8	5,7	79,5	11,5%
DF	16,5	41,3	12,6	54,0	40,0%
CO2	36,3	64,4	3,7	68,1	24,3%
Presencia	44,3	73,7	4,9	78,6	12,5%

**Tabla 6.17.** Demanda y consumo de energía primaria para los sistemas analizados. Vivienda situada en Vitoria – Gasteiz y orientada al norte.

En el caso de estos sistemas, los elevados ahorros frente al sistema de flujo simple en la demanda y el consumo de energía primaria se deben a que la renovación de aire es inferior durante gran parte del año. Esto hace que se reduzca la cantidad de aire que es necesario acondicionar y reduce también el consumo de los ventiladores. En la Fig. 6.18 se muestra la frecuencia acumulada de la renovación de aire para estos sistemas en comparación con los sistemas de ventilación convencionales.



**Figura 6.18.** Frecuencia acumulada de la renovación de aire en la vivienda situada en Vitoria – Gasteiz y orientada al norte.

El sistema de ventilación regulado por CO<sub>2</sub> permite reducir de forma notable la cantidad de aire cambiado en el interior de la vivienda. Esto permite grandes ahorros controlando que la concentración de dióxido de carbono se mantenga en niveles óptimos. Siendo esto así, sería necesario un análisis más amplio de la calidad de aire interior para comprobar, que la reducción del nivel de la renovación de aire no implica el aumento de los contaminantes que se deben a fuentes internas.

## 6.6. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados de las mediciones in situ de los caudales de ventilación, es necesario medir y controlar la evolución del cumplimiento de la tabla de los caudales mínimos de ventilación definidos por el CTE DB HS 3. Renovar el aire del interior de las viviendas es una necesidad que como contrapartida produce un aumento de la demanda energética. Los caudales mínimos de ventilación, habitualmente, no se alcanzan en los locales de admisión, y sí en los de extracción. Por lo tanto, la cantidad de aire que tiene que entrar en la vivienda no lo hace a través de los locales de admisión, quedando estos locales subventilados, y como consecuencia, la calidad del aire interior es peor a la esperada. Esto supone que los ocupantes de estas viviendas tienen que soportar toda la penalización energética que supone la renovación del aire, pero no disfrutan de los beneficios de una correcta ventilación.





## Guía de calidad del aire interior

La comparativa energética de los sistemas de ventilación que se instalan habitualmente en el País Vasco presenta ahorros muy importantes en el caso del sistema que incorpora recuperación de calor, tanto en demanda como en consumo de energía primaria. Siendo esto así, el DB HE no considera el consumo del propio sistema mecánico de ventilación. En el caso del sistema de ventilación que incorpora recuperación de calor, es necesario instalar ventiladores de impulsión y extracción, lo que supone un incremento del consumo eléctrico del sistema mecánico de ventilación. En el caso de estos sistemas, la instalación de ventiladores poco eficientes puede suponer que la reducción del consumo de energía en calefacción se vea superada por el aumento del consumo de los ventiladores. Para que esto no sea así, se definen los valores límite del factor SFP para el sistema con recuperación de calor, que define el consumo de los ventiladores, en relación al sistema de flujo simple y el sistema higrorregulado.

Finalmente, se presenta el ahorro que es posible alcanzar con el empleo de sistemas de ventilación mecánica que trabajan bajo demanda. Estos sistemas ventilan en base a un indicador (presencia, concentración de  $\text{CO}_2$ , etc.), de tal forma que se ventila cuando y cuanto es necesario. Por lo que se reduce tanto el consumo en calefacción como en el funcionamiento de los ventiladores.

# 7

## CAPACIDAD DE AMORTIGUACIÓN DE LA HUMEDAD INTERIOR

Iñaki Gómez Arriaran

ENEDI Research Group

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU



### 7.1. CONTEXTO: EDIFICIOS SOSTENIBLES

Los edificios son el centro de nuestras actividades y el sector de la construcción es un consumidor de recursos energéticos clave en la sociedad moderna. Una construcción responsable con el medio ambiente implica introducir nuevos materiales, tecnologías y normativas en el sector.

Las legislaciones se han centrado principalmente en cuestiones energéticas, estableciendo una cultura de la eficiencia energética en el sector de la edificación centrada en los aspectos térmicos. Incluso en climas templados los esfuerzos se han concentrado en realizar una construcción con altas prestaciones térmicas tanto de la envolvente como de las instalaciones, y a minimizar la permeabilidad al aire para aumentar la eficiencia del sistema de ventilación. Este hecho provoca un aumento de los niveles de humedad relativa interior en los edificios. La humedad del aire en el interior de los edificios es un factor esencial en la percepción de la calidad del aire interior así como en el confort y la salud respiratoria y epidérmica de los ocupantes. Pero también es un aspecto muy importante desde el punto de vista del deterioro y durabilidad de los materiales de construcción y del riesgo de germinación y florecimiento de mohos y demás problemas derivados de las condensaciones.

El nivel de humedad interior depende de muchos factores: el clima, la ventilación, la tasa de producción de humedad de los ocupantes y por último, el comportamiento higroscópico de los materiales que conforman la envolvente y el mobiliario y les permiten intercambiar humedad con el aire interior.





La introducción de sistemas de climatización y ventilación mecánica para el mantenimiento de unas condiciones de humedad deseables no es siempre la mejor solución debido a los niveles de consumos de energía requeridos, el ruido generado, el mantenimiento necesario y la dependencia del suministro de energía. Una estrategia prometedora en este sentido consiste en el uso de materiales higroscópicos para amortiguar las oscilaciones de humedad interior. Efectivamente, los materiales porosos son capaces de moderar los niveles de humedad interior y por lo tanto de mejorar el confort y la calidad del aire en los edificios, a la vez que implican un bajo consumo de energía.

Este documento se centrará en la transferencia de humedad entre el aire interior y la envolvente del edificio, en la capacidad de amortiguación de las oscilaciones bruscas de humedad relativa interior (fenómeno también conocido como *Moisture Buffering*) y en el potencial que presenta dicha interacción como sistema pasivo de regulación de la humedad relativa del aire interior.

### **7.2. INTRODUCCIÓN: AMORTIGUACIÓN DE LAS OSCILACIONES DE HUMEDAD RELATIVA**

Con el fin de ilustrar el impacto potencial de los materiales higroscópicos en el aire interior, el siguiente ejemplo es muy ilustrativo. En un supuesto, un recipiente sellado en donde el aire está inicialmente a 60% de humedad relativa y 20 °C se coloca algodón previamente llevado al equilibrio con esas mismas condiciones de 60% de humedad relativa y 20 °C.

Si la temperatura aumentase en el recipiente, el algodón sería capaz de mantener la humedad relativa del aire casi constante mientras que habría disminuido en la ausencia de cualquier material higroscópico. El algodón actúa como depósito tampón o buffer de humedad. El proceso se explica de la siguiente manera: mientras que la temperatura del aire comienza a subir junto con su presión de saturación, la humedad relativa en el aire tiende hacia valores más bajos. Casi al instante, el algodón reacciona según su isoterma de desorción (más adelante se explica esta propiedad) y libera vapor de agua. Debido a que el material higroscópico almacena un contenido volumétrico de agua mucho mayor que el aire, el agua perdida por el algodón apenas afecta a su contenido de humedad en equilibrio mientras que afecta en gran medida la presión de vapor del aire. En consecuencia, la caída de humedad relativa

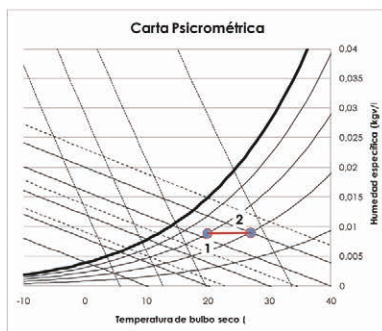
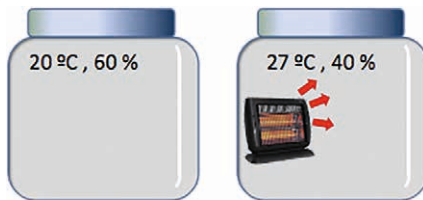
causada por la modificación de la temperatura del aire es compensada por el vapor de agua que sale del material. En definitiva, hay una capacidad reguladora del material que impide cualquier variación abrupta de la humedad relativa del recipiente, amortiguándola. Sin embargo, en un recipiente mucho más grande, la misma muestra de algodón podría no ser capaz de «luchar» contra la caída de humedad relativa del aire.



En la Fig. 7.1 se muestra el recipiente sin algodón y el correspondiente calentamiento sensible del aire del recipiente, es decir, el caso en el que no existiese material higroscópico, pasando de 20 °C a 27 °C y su correspondiente disminución de la humedad relativa, pasando del 60% al 40%. Se muestra también la representación del proceso termodinámico en la carta psicrométrica.

En la Fig. 7.2, se muestra el calentamiento total, incluido el latente, correspondiente al aporte de vapor de agua que proporciona el algodón, es decir, el material higroscópico, de manera que la humedad relativa del aire del recipiente permanece constante.

En la Fig. 7.3 se muestran ambas evoluciones de humedad relativa y temperatura para el caso de recipiente con y sin algodón, es decir, con y sin capacidad de amortiguación de humedad.



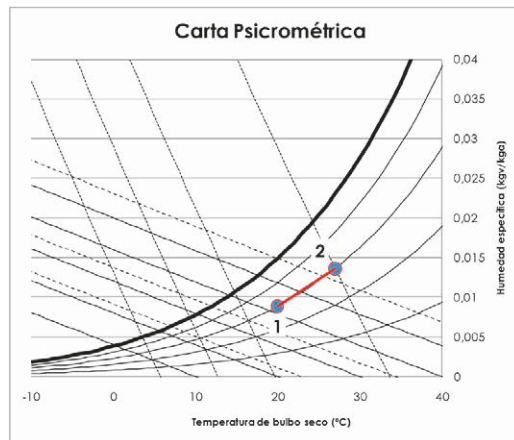
**Figura 7.1.** Evolución del estado psicrométrico del aire durante el calentamiento sensible. Fuente: Gomez-Arriaran, Tesis Doctoral.



## Guía de calidad del aire interior

De manera análoga, se puede considerar el caso de refrigeración con y sin algodón, es decir, con y sin material higroscópico. Al bajar la temperatura, la humedad relativa aumentaría en ausencia de material higroscópico, mientras que se podría mantener constante si se viese compensado dicho enfriamiento por la adsorción de vapor de agua del material higroscópico, amortiguando de ese modo la disminución de humedad relativa.

En las figuras 7.4, 7.5 y 7.6 se muestran ambas evoluciones de humedad relativa y temperatura para el caso de enfriamiento en recipiente con y sin algodón, es decir, con y sin capacidad de buffering de humedad.



**Figura 7.2.** Evolución del estado psicrométrico del aire durante el calentamiento latente.

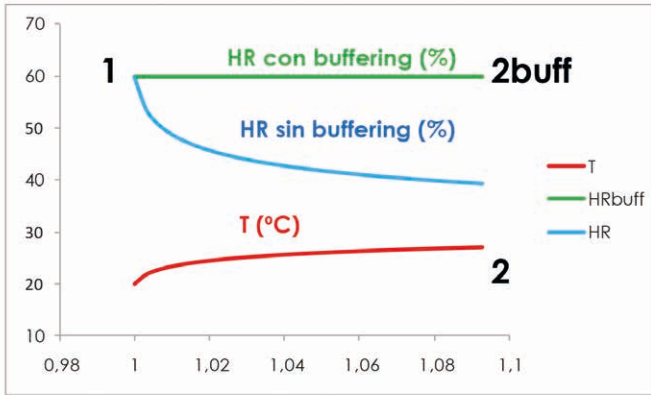


Figura 7.3. Evolución de la humedad y temperatura del aire interior durante los procesos de enfriamiento. Fuente: Gomez-Arriaran, Tesis Doctoral.

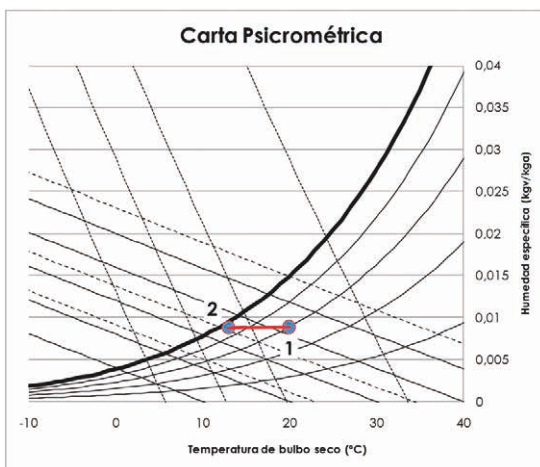
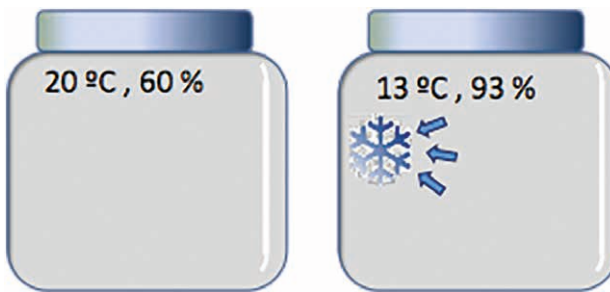


Figura 7.4. Evolución del estado psicrométrico del aire durante el enfriamiento sensible Fuente: Gomez-Arriaran, Tesis Doctoral.

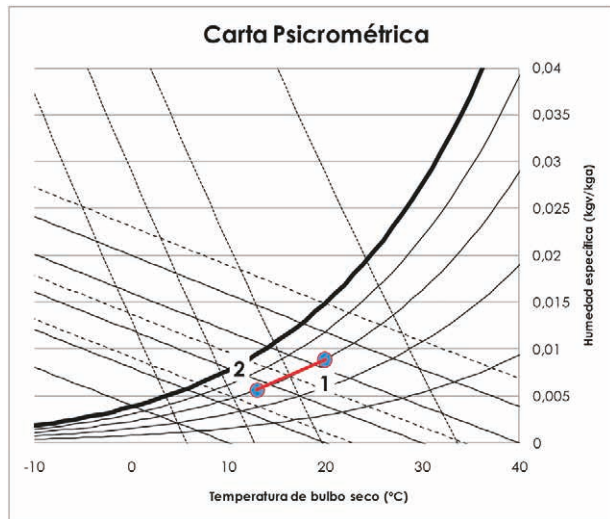


Figura 7.5. Evolución del estado psicrométrico del aire durante el enfriamiento latente.

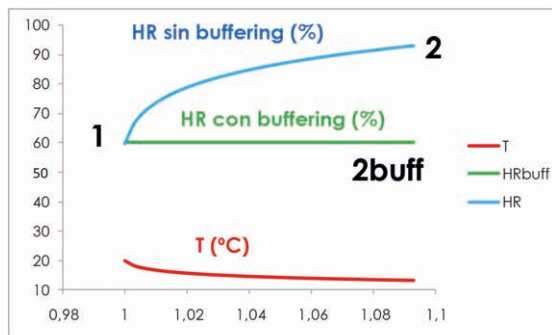


Figura 7.6. Evolución de la humedad y temperatura del aire interior durante los procesos de enfriamiento. Fuente: Gomez-Arriaran, Tesis Doctoral.

### 7.3. APLICACIONES EN EDIFICIOS Y ESPACIOS OCUPADOS: CONCEPTO DE ESTRUCTURA TRANSPIRABLE Y AMORTIGUAMIENTO DE HUMEDAD

En un edificio real, la capacidad de amortiguar las variaciones de humedad relativa del aire interior viene dada por los materiales de los muebles y elementos interiores o enseres como alfombras, colchas, edredones, almohadas, libros, etc., así como por las capas superficiales interiores de la envolvente del edificio.



**Figura 7.7.** Elementos con capacidad de amortiguación de las oscilaciones de humedad relativa del aire interior: **1-2**, superficies interiores de la envolvente. **3-4-5** Mobiliario y enseres. (Fotografía: <http://www.motherearthnews.com>).

Un material higroscópico se llama así si puede absorber una cantidad apreciable de la humedad del aire circundante. Si colocamos una muestra de material seco en una cámara climática en la que se aumenta la humedad relativa de forma isotérmica, la muestra tenderá a ganar masa con una amplitud que depende de la naturaleza de la muestra y de la magnitud de la variación de la humedad relativa. El aumento en la masa corresponde a la adhesión de moléculas de agua a la matriz porosa por fenómenos de adsorción y condensación





## Guía de calidad del aire interior

capilar, como veremos más adelante. A la inversa, si la humedad relativa disminuye en el aire circundante, la muestra tenderá a perder agua.

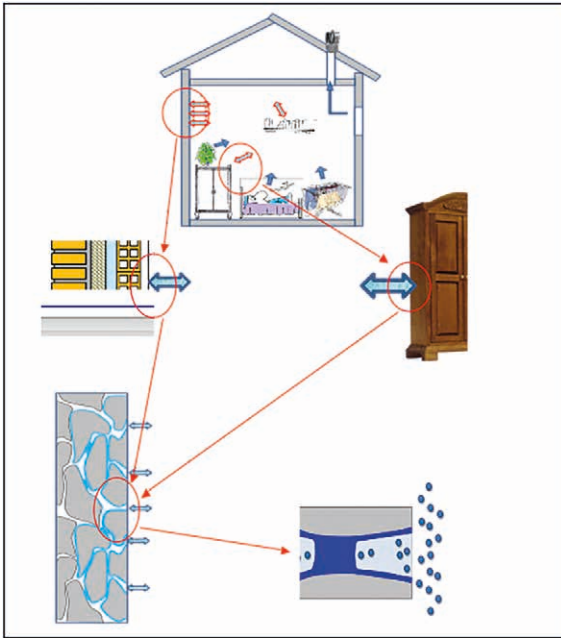
Este efecto puede contribuir a modificar las condiciones del interior de la vivienda. De hecho, la capacidad de amortiguar los picos de humedad interior se presenta a menudo como un beneficio intrínseco de los materiales higroscópicos.

El término *estructura transpirable* en general se utiliza para representar la capacidad de la envolvente de un edificio para interactuar con el aire interior a través de la humedad y los contaminantes volátiles.

También es frecuente expresar específicamente el intercambio de humedad entre el aire interior y la envolvente del edificio como *efecto amortiguador de humedad*.

Ya hemos explicado que este efecto amortiguador de las oscilaciones de humedad en el interior de un edificio es proporcionado por los materiales higroscópicos que componen tanto el mobiliario de los espacios interiores como las capas de la envolvente expuestas al ambiente interior, y proviene de su capacidad para absorber o liberar la humedad dependiendo de las condiciones de contorno sobre sus superficies (ver Fig. 7.8).

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 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. En el fenómeno intervienen mecanismos de almacenamiento y de transporte de humedad.



**Figura 7.8.** Esquema del fenómeno de *moisture buffering* desde el macro hasta el micro-nivel. Fuente: Gomez-Arriaran, Tesis Doctoral.

El intercambio de humedad descrito está acoplado de forma directa con la transferencia de calor a través del calor latente involucrado en el proceso de cambio de fase. Cuando las moléculas de agua en suspensión en el aire interior penetran en los materiales higroscópicos de la envolvente y son adsorbidos en su matriz porosa, se libera algo de calor debido al fenómeno de adsorción. Es importante tener en cuenta que la energía liberada cuando una molécula es adsorbida es del mismo orden de magnitud que el calor latente de condensación a presión atmosférica. Inversamente, se absorbe calor de la pared cuando esta última devuelve el agua a la habitación mediante la desorción.

Como consecuencia de todos estos factores, el efecto amortiguador de humedad puede tener un impacto directo en la eficiencia energética de un edificio, a través de los efectos del calor latente que puede afectar al balance de energía y por tanto a la demanda de calefacción y refrigeración, a través de la modificación de las necesidades de ventilación para garantizar el confort y salubridad interior, y a través de la modificación de la transmitancia de la envolvente con el contenido de humedad.





## Guía de calidad del aire interior

Se está haciendo cada vez mayor uso de materiales higrotérmicos para la regulación pasiva de la humedad relativa interior, para reducir/eliminar los problemas asociados a las condensaciones y/o degradación de materiales y muebles, y para aumentar la calidad del aire interior, y no sólo en edificios de viviendas, sino también, por ejemplo, en edificios de oficinas con relativamente altas cargas de humedad durante el día, en los que la inercia higrotérmica (concepto que desarrollaremos más adelante) del edificio puede ser aprovechada enfriándose y secándose durante la noche a través de estrategias de refrigeración nocturna.

Esta forma de regulación pasiva de la humedad puede ser especialmente apropiada para los museos, archivos documentales, galerías de arte, bibliotecas, y también para el patrimonio arquitectónico (por ejemplo, edificios históricos que permitan acceso de los visitantes), donde los elementos que se exhiben o almacenan son sensibles a la humedad y pueden estar sometidos a variaciones periódicas en las cargas de humedad. El uso de los sistemas mecánicos de climatización en estos ambientes puede resultar a menudo inapropiado, especialmente en antiguos edificios históricos, y la necesidad de un sistema de control de humedad pasivo fiable es vital para la preservación de objetos de museo o medios sensibles como tela, lienzo y papel.



**Figura 7.9.** Esquema del fenómeno de *moisture buffering* desde el macro hasta el micro-nivel.

La capacidad de los materiales superficiales de amortiguar las oscilaciones diurnas de humedad del aire interior depende de su espesor, permeabilidad al vapor de agua y su capacidad de almacenamiento de humedad, que varían significativamente para diferentes materiales de construcción en función de su estructura microporosa. Efectivamente, la estructura porosa de los materiales higroscópicos muestra propiedades físicas y químicas que hacen que el agua pase

a adherirse a la matriz sólida por debajo del nivel de saturación del vapor en el aire, aumentando la capacidad del material para almacenar humedad. Además, se producen fenómenos de transporte de agua en estado líquido y gaseoso cuya dirección y cuantificación de los flujos siguen las leyes termodinámicas.

Para comprender cómo interactúan los materiales superficiales de la envolvente de un edificio con el aire interior a través de su potencial de amortiguamiento de las fluctuaciones de humedad relativa, es necesario en primer lugar sentar los fundamentos de la física existente detrás de los fenómenos de almacenamiento y transporte de humedad en materiales porosos de construcción.

### **7.4. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE HUMEDAD EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

En este apartado se describen sucintamente los mecanismos de almacenamiento y transporte de humedad en medios porosos, para facilitar la comprensión del resto del capítulo. Para cada mecanismo analizado, se definen las propiedades del material poroso que lo cuantifican así como las ecuaciones que cuantifican la densidad de flujo de humedad. Trataremos de explicar lo que hace que un material presente mayor o menor capacidad de amortiguamiento de las variaciones de humedad relativa del aire interior.

Al contacto con aire húmedo, los materiales de construcción 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 flujo de materia a través de un material sólo se puede producir en un material de poro abierto. El término abierto hace referencia a que el espacio del poro sea accesible a las moléculas de materia fluida. El sistema de poros es, por regla general, complicado y presenta una mayor o menor tortuosidad.

En la edificación, los fluidos suelen ser casi siempre agua líquida y aire húmedo (mezcla de vapor de agua y aire seco), y en ocasiones aparece también  $\text{CO}_2$  junto con  $\text{SO}_2$ . El agua puede llevar sales en disolución





y también puede aparecer en estado sólido, en forma de hielo. Todo esto significa que el medio poroso debe ser considerado como un medio multifase, con una fuerte interacción entre los diferentes constituyentes.

#### 7.4.1. Almacenamiento de humedad

En los materiales de porosidad abierta, cuando se verifica una diferencia de presión parcial del vapor de agua entre el aire ambiente y el aire que ocupa los poros, se produce la difusión de las moléculas de vapor de agua desde el ambiente hacia los poros, dónde se adhieren a sus paredes hasta alcanzar un contenido de humedad en equilibrio con las condiciones ambientales. A dicho proceso se le denomina **adsorción**. En el caso inverso de que el material ceda humedad al ambiente, desprendiéndose las moléculas de agua desde las paredes de los poros, se le denomina **desorción**. A este tipo de humedad se le denomina higroscópica. Se dice que un material es higroscópico cuando presenta una alta capacidad de acumular agua adherida a sus paredes. En un material ideal no higroscópico, no se producirá adsorción/desorción a nivel microscópico, y por lo tanto no se reflejará a nivel macroscópico en una variación del contenido de humedad del material.

El proceso de sorción se debe a dos fenómenos microscópicos:

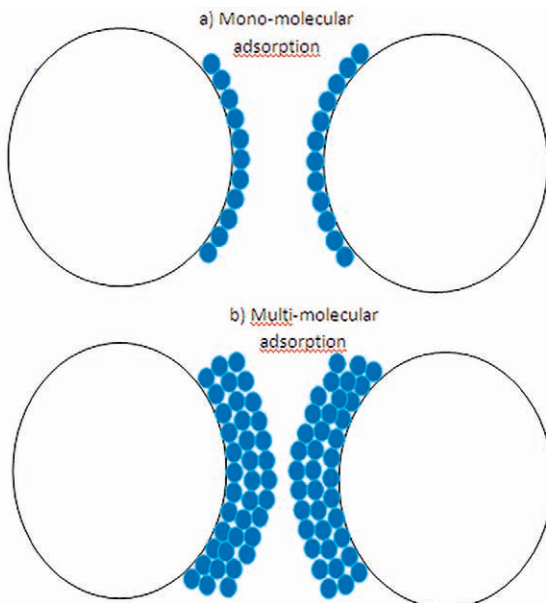
- **Adsorción molecular** superficial, en el rango de bajas humedades relativas

Se produce cuando las paredes de los poros retienen las moléculas de agua en su superficie. La adsorción molecular puede dividirse, a su vez, en dos fases. En una primera fase, las moléculas de agua son adsorbidas y se forma una capa mono-molecular de moléculas de agua en las paredes de los poros, resultando en un incremento del contenido de humedad del material. Esta capa está fuertemente unida a la superficie del poro, debido a las fuerzas de adhesión entre moléculas y la superficie sólida, lo que explica por qué es difícil de eliminar. La capa se completa a una humedad relativa de entorno al 20%. A humedades relativas superiores al 20%, la capa de agua adsorbida aumenta de grosor ya que otras capas de moléculas de agua tienden a adherirse a la primera capa, y el proceso continúa mediante la denominada adsorción multicapa o multi-molecular.

- **Condensación capilar**, en el rango de humedades relativas superiores al 40%.

Por encima del 40% de humedad relativa, en los poros más finos las capas multimoleculares de agua adherida a las paredes del poro colapsan, pasando a crear meniscos de agua líquida, dando lugar a «islas» de agua líquida.

A este fenómeno se le denomina «condensación capilar». Si los poros son lo suficientemente grandes, la capa adsorbida puede alcanzar un espesor de hasta 5 moléculas para una humedad del 95% antes de que se produzca el colapso. El hecho de que en los poros más finos la condensación capilar aparezca ya por debajo del 100% de humedad relativa se debe a la disminución de la presión de saturación del vapor causado por fenómenos de tensión superficial del agua en los poros más finos, de modo que cuanto más pequeño es el radio de poro, menor es el valor de humedad relativa para el que ya puede verificar la condensación capilar en el poro.



**Figura 7.10.** Mecanismos de almacenamiento de humedad:

**a)** Adsorción mono-molecular **b)** Adsorción multimolecular

Fuente: Characterization of wet granular avalanches in controlled relative humidity conditions

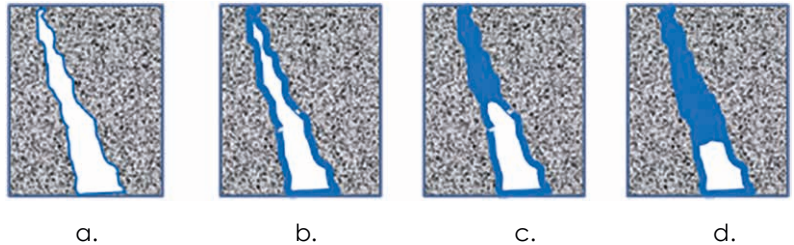
Iñaki Gómez-Arriaran, et al. Powder Technology.



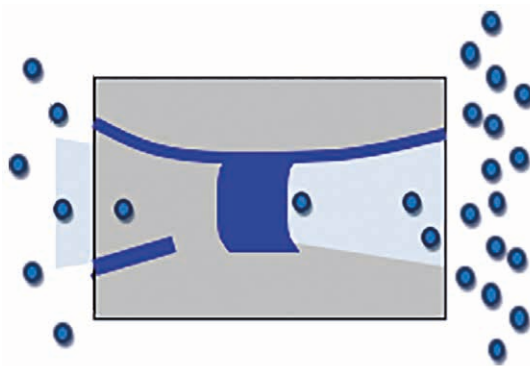


## Guía de calidad del aire interior

El nivel de humedad relativa donde la condensación capilar comienza a tener un impacto significativo en el almacenamiento de humedad depende también de la estructura porosa del material. Si se compone principalmente de poros gruesos, los fenómenos de superficie serán dominantes hasta valores de humedad relativa elevados, retrasándose la condensación capilar, mientras que en los poros más finos ya se verificará la formación del menisco en humedades relativas muy bajas.



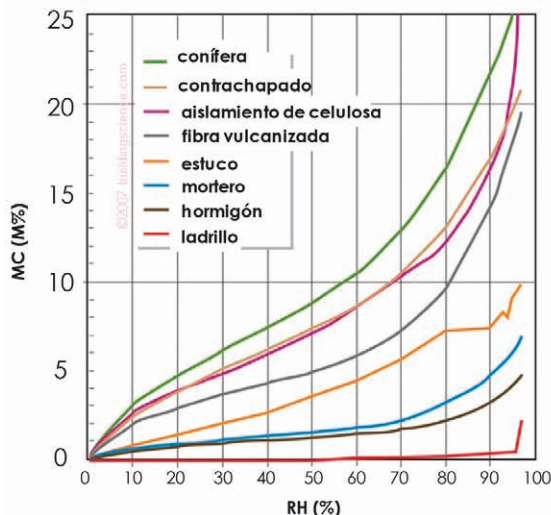
**Figura 7.11.** Mecanismos de almacenamiento de humedad: **a)** Adsorción molecular **b)** Adsorción multimolecular **c)** y **d)** Condensación capilar. Fuente: Gomez-Arriaran, Tesis Doctoral.



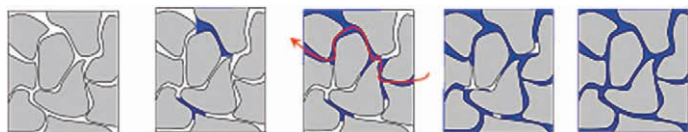
**Figura 7.12.** Mecanismos de almacenamiento de humedad: Adsorción molecular y condensación capilar. Fuente: Gomez-Arriaran, Tesis Doctoral.

Estos dos mecanismos de almacenamiento de humedad en los materiales porosos son dependientes de la humedad relativa ambiental, y en menor medida de la temperatura ambiente. Por ello, el almacenamiento de humedad higroscópica se describe mediante las curvas denominadas **isotermas de sorción** del material. La isoterma de adsorción/desorción se utiliza para cuantificar la capacidad de un material para adsorber/desorber agua a una cierta temperatura, habitualmente 23 °C. En general, presenta una forma como la que se

muestra en la Fig 7.13, con una pendiente pronunciada al acercarse al 100% de humedad relativa debido a la amplificación del fenómeno de la condensación capilar en los poros capilarmente más activos.



a.



b.

**Figura 7.13. a)** Isoterma de sorción (Fuente: buildingscience.com) **b)** contenidos de humedad característicos en todo el rango higroscópico. Fuente: Iñaki Gómez Arriaran, Documentación para el Máster Ingeniería Térmica en la Edificación de la UPV-EHU.

### 7.4.2. Transporte de humedad

Cuando un material poroso está en contacto con aire o con agua, la humedad y el aire se desplazan a través de los poros del material. La humedad se desplaza en fase vapor y líquida a través de los poros.

El vapor de agua se desplaza por difusión y por convección del aire, aunque este último caso es despreciable puesto que el gradiente de presión de aire a través de un material poroso en edificación suele ser despreciable.





## Guía de calidad del aire interior

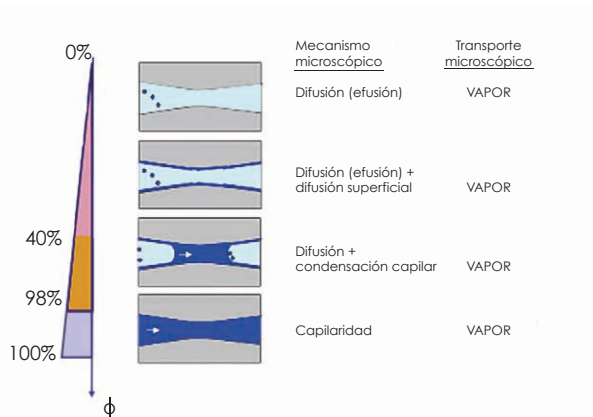
El agua líquida y el agua en condensación capilar se desplazan por el gradiente de presión de agua en el poro originado por la presión capilar. Además, las capas de agua adsorbida pueden deslizarse sobre la superficie de los poros, dando lugar a la denominada difusión superficial.

Por otra parte, es importante constatar que la mayoría de los materiales porosos de construcción consisten en finos poros, en los que el principal causante de la diferencia de presión necesaria para el transporte de la humedad líquida es la capilaridad. En un poro de radio del orden de  $1\ \mu\text{m}$  se obtienen presiones capilares del orden de  $15\ \text{MPa}$ , lo que justifica el hecho de que se desprecien los efectos gravitacionales.

Con estas simplificaciones, se puede decir que el proceso de transporte de humedad se realiza principalmente de dos maneras en un medio de poro abierto:

- Por difusión de vapor
- Por capilaridad.

Cada uno de estos mecanismos es dominante en una zona del rango higroscópico desde 0 a 100%, si bien en la zona de transición correspondiente normalmente al 40% de humedad relativa se dan ambos mecanismos de forma solapada.



**Figura 7.14.** Mecanismos de transporte de humedad en medio poroso. Fuente: Iñaki Gómez Arriaran, Documentación para el Máster Ingeniería Térmica en la Edificación de la UPV-EHU.

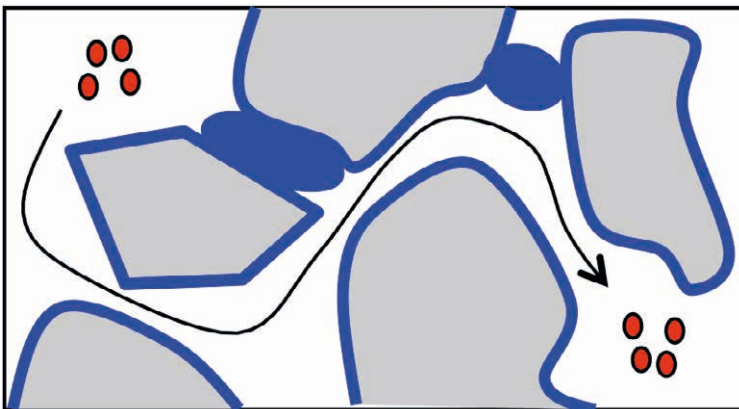


### 7.4.2.1. Transferencia de vapor por difusión

Todo proceso molecular de transferencia de masa en el que las moléculas de gas se desplacen bajo el efecto de un gradiente de concentración o de presión parcial, se denomina proceso de difusión. Esta definición excluye la presencia de un gradiente de presión total que implique transferencia bruta de masa.

El proceso de difusión de gas en un volumen infinito está gobernado por la Ley de *Fick*. En un material poroso, como consecuencia de la diferencia de concentración o de presión parcial del vapor de agua, las moléculas de vapor de agua se desplazan por difusión en el seno de la mezcla de gas (vapor y aire seco) que llena los poros no inundados.

La ley de *Fick* es válida para difusión libre o pura, cuando el proceso está únicamente gobernado por la interacción entre las moléculas de gas. Pero en en los materiales de construcción, consistentes en una compleja estructura de poros, también influyen otros factores en la transferencia de masa por difusión. Así, para el proceso de difusión de gas en la estructura porosa de un material, debe considerarse también la interacción entre las moléculas de gas y las paredes de los poros, con impactos en los que se intercambia cantidad de movimiento y en los que interviene su tortuosidad, su compleja geometría porosa, el grado de saturación líquida, y otra serie de factores.



**Figura 7.15.** Difusión de vapor a través de medio poroso tortuoso y parcialmente saturado de humedad. Fuente: Iñaki Gómez Arriaran, Tesis Doctoral.







## Guía de calidad del aire interior

Todos estos factores, junto con el grado de porosidad del material, se tienen en cuenta aplicando un coeficiente corrector en la Ley de Fick. Dicho coeficiente se denomina factor de resistencia a la difusión del vapor de agua,  $\mu$ :

$$\mu = \mu \left( \frac{\tau \cdot S_l}{D_{va} \cdot \phi} \right)$$

Mediante este factor adimensional, se puede determinar la permeabilidad al vapor de agua de un material respecto a la permeabilidad al vapor que presenta el aire,  $\mu = \frac{\delta_v}{\delta}$ , y aplicar la Ley de Fick modificada para medio poroso, que proporcionará la densidad de flujo de vapor por difusión a través de dicho medio:

$$\mathbf{g}_v = - \delta_v \nabla P_v$$

siendo,

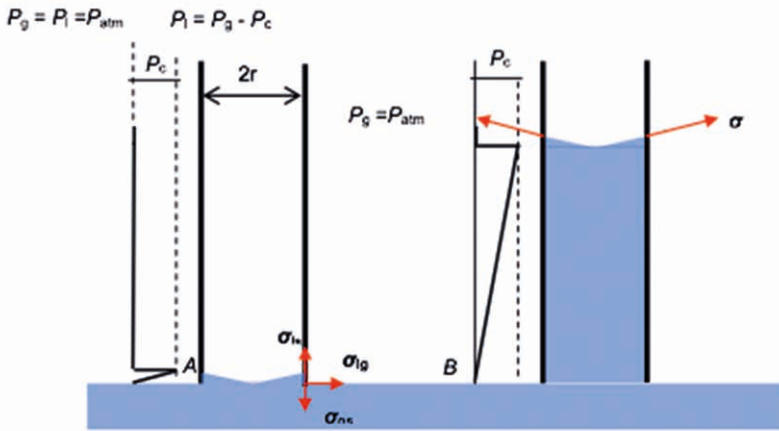
$g_v$  : densidad de flujo de vapor [kg/(sm<sup>2</sup>)]

$\delta_v$  : permeabilidad al vapor de agua [kg/(smPa)]

$P_v$  : presión parcial del vapor [Pa]

### 7.4.2.2. Transferencia de agua por capilaridad

Bajo condiciones de humedad capilar en el material, como puede ser el caso de agua de lluvia o el contacto con un plano de agua, se produce un menisco cóncavo en la interfaz líquido-gas como consecuencia de la tensión superficial y se establece una diferencia de presión entre el gas y el líquido, denominada presión capilar. Esta diferencia de presión da origen a un gradiente de presión en el líquido que actúa como fuerza motriz para el transporte capilar del agua a través del poro. Dicha presión capilar es considerablemente grande, de manera que como ya se señaló anteriormente, se pueden despreciar los efectos gravitacionales en ausencia de grietas o macro-poros. La fuerza motriz en este tipo de mecanismo es la presión capilar resultante de la tensión superficial en el menisco formado.



**Figura 7.16.** Transporte por capilaridad. Fuente: Iñaki Gómez Arriaran, Documentación para el Máster Ingeniería Térmica en la Edificación de la UPV-EHU.

Como hemos señalado, el transporte de humedad puede realizarse por difusión y por capilaridad, pero existen zonas del rango higroscópico en que predomina una forma sobre otra. A bajas humedades relativas tan solo se produce difusión del vapor de agua, si se desprecia la convección de aire. A medida que la humedad relativa aumenta, se va creando la capa multimolecular sobre las paredes de los poros y se produce la difusión superficial. A mayores humedades surgen zonas aisladas en las que se crea la condensación capilar con lo que se reduce el transporte de vapor de agua y se enfatiza el transporte en fase líquida, resultando en un aparente aumento del transporte macroscópico de vapor. Estas zonas aisladas, donde se verifica la condensación capilar, interactúan a través de la evaporación/condensación y de la adsorción/desorción.

En el seno del material es posible que se verifique el transporte de agua por capilaridad en fase líquida en aquellos poros de tamaño inferior al radio crítico para la humedad relativa correspondiente; pero no obstante, es necesario subrayar que en ausencia de una fuente de agua líquida, la humedad entrará o saldrá desde/hacia la superficie del material por difusión de vapor previa condensación/evaporación de esa fase líquida.



La densidad de flujo de agua líquida se obtiene a partir de la ley de Hagen-Poiseuille:

$$\mathbf{g}_l = -K_l \nabla P_c$$

siendo,

$g_l$  : densidad de flujo de agua líquida [kg/(sm<sup>2</sup>)]

$K_l$  : permeabilidad al agua líquida [kg/(smPa)]

$P_c$  : presión capilar [Pa]

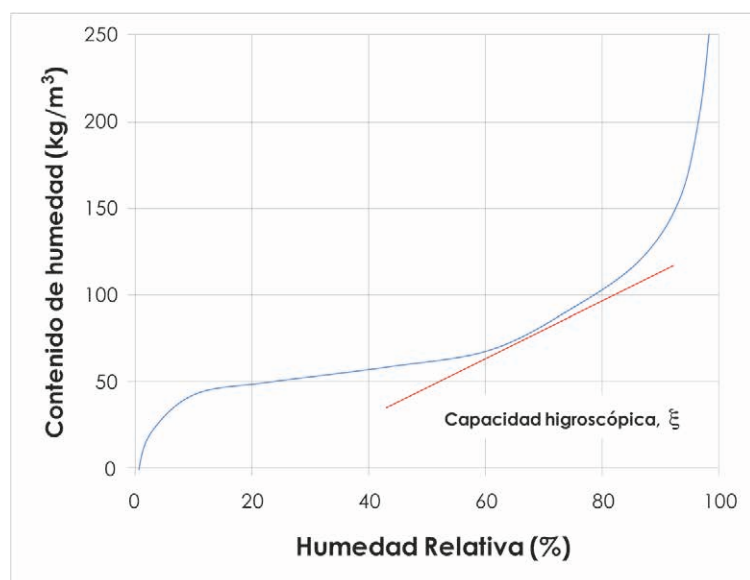
## 7.5. PROPIEDADES HIGROSCÓPICAS

Una vez expuestos los mecanismos de almacenamiento y de transporte de humedad en medios porosos, se pueden identificar las propiedades que determinarán su capacidad de amortiguación de humedad.

Puesto que en dicho amortiguamiento intervienen los mecanismos de almacenamiento por sorción y condensación capilar, y de transporte por difusión de vapor, las propiedades de los materiales de construcción que afectarán a su capacidad de amortiguación de las oscilaciones de humedad relativa ambiental serán:

- **La capacidad de humedad**,  $\xi = \left[ \frac{kg}{m^3 \%RH} \right]$  es la pendiente de la curva de sorción (Fig. 7.17). Ya hemos visto que la curva de sorción proporciona la relación en equilibrio entre el contenido de humedad (kg/m<sup>3</sup>) higroscópicamente adsorbida y la humedad relativa ambiente (HR) (%). La capacidad de humedad representa la cantidad de humedad que debe ser adsorbida/desorbida por el material desde un estado de equilibrio para alcanzar un nuevo equilibrio tras un cambio de humedad relativa del ambiente, y queda determinada por la derivada de la isoterma de sorción:

$$\xi = \frac{\partial w(\varphi)}{\partial \varphi}$$



**Figura 7.17.** Capacidad higroscópica. Fuente: Iñaki Gómez Arriaran, Documentación para el Máster Ingeniería Térmica en la Edificación de la UPV-EHU.

- **La permeabilidad al vapor de agua**,  $\delta_v \left[ \frac{\text{kg}}{\text{msPa}} \right]$  Expresa la cantidad de vapor que fluye por difusión a través del material, por unidad de sección transversal, cuando se somete a un gradiente de presión parcial de vapor.
- **La difusividad a la humedad**,  $D_w \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$  Es una propiedad que combina la capacidad de almacenamiento con la capacidad de transporte, y describe la rapidez de propagación de las variaciones en el contenido de humedad a través del medio poroso.

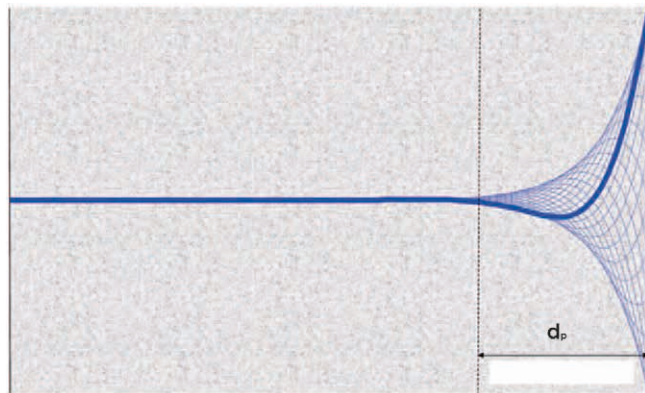
Ante oscilaciones de temperatura superficial de una pared, se produce una variación mayor o menor del gradiente de temperaturas a través de dicha pared, en función de su «masa térmica» o inercia térmica, y para una tasa de flujo de calor constante, el tiempo de respuesta del material para distribuir el calor en toda su masa viene dado por su difusividad térmica, la difusividad a la humedad establece el tiempo de respuesta del material para distribuir el flujo de humedad que se produce cuando se verifica una variación superficial del contenido de humedad. Así, de la misma manera que la inercia térmica se puede utilizar para estabilizar la temperatura de las zonas ocupadas, los materiales



higroscópicos tienen también una capacidad o inercia higroscópica, que puede ser utilizada para amortiguar las fluctuaciones de humedad relativa.

- **La profundidad de penetración de humedad,  $d_p$  [m]** Representa la profundidad hasta la que penetra en el material la propagación de las variaciones cíclicas de humedad relativa que se producen en su superficie, y por lo tanto proporciona el espesor de la capa de material activa que interactuará con el contenido de humedad del aire interior. Es un parámetro que combina el periodo del ciclo de exposición a diferentes humedades relativas del aire interior, la permeabilidad al vapor, la presión de saturación (y por lo tanto la temperatura) y la capacidad de humedad del material.

El concepto de la profundidad de penetración se ilustra en la Fig. 7.18.



**Figura 7.18.** Ilustración de penetración cíclica de un perfil de humedad desde la superficie del lado derecho en un material higroscópico.

Fuente: C. Rode & K. Grau.

- **Efusividad a la humedad,  $b_m$   $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \text{Pa} \cdot \text{s}^{1/2}} \right]$**

La efusividad representa la capacidad del material para intercambiar humedad con el aire adyacente, y evidentemente es de particular interés para la noción de amortiguamiento de las oscilaciones de humedad del aire interior; así como en la transferencia de calor, la variable característica para indicar la tasa de flujo de calor en una material con su entorno después de un cambio en su temperatura superficial es la efusividad térmica, de manera análoga la efusividad a la humedad permite determinar la tasa de la humedad que se intercambia con el aire en el límite del material cuando se somete a un cambio en su humedad relativa superficial.

## 7.6. EL EQUILIBRIO HIGROSCÓPICO EN ESPACIOS INTERIORES

Las condiciones de humedad de un espacio interior están determinadas por una combinación de varios factores tales como las condiciones climáticas externas, las fuentes de humedad internas, la tasa de ventilación y movimiento de aire, la posible condensación en las superficies frías, la capacidad de amortiguamiento de los materiales superficiales tanto de la envolvente como del mobiliario y, finalmente, la variación de estos parámetros con el tiempo. La escala de tiempo en la que se producen oscilaciones en el equilibrio de la humedad de una habitación puede variar desde la escala estacional, como consecuencia de las fluctuaciones anuales del clima exterior, hasta la escala diurna, donde la escala de tiempo se extiende desde horas hasta días, en las que el equilibrio se ve afectado principalmente por las actividades de los ocupantes.

Es en esta escala dónde se puede aprovechar la capacidad de amortiguamiento de humedad de los materiales de construcción que constituyen la superficie interior de la envolvente.

La capacidad de amortiguamiento de humedad, o *Moisture Buffering*, es la capacidad que presentan los materiales superficiales para, a través de la adsorción y la desorción de humedad con el ambiente, amortiguar las variaciones de humedad del aire interior.

Tanto las superficies interiores de la envolvente del edificio - techos, suelos y paredes - como el mobiliario y otros elementos interiores, intercambiarán humedad con el aire interior en busca de la condición de equilibrio higroscópico, y por lo tanto tendrán un impacto en las condiciones de humedad en la habitación. Naturalmente, no sólo la humedad relativa del aire interior se ve afectada sino también las condiciones de humedad en los materiales que actúan como amortiguadores de la humedad.

El exceso de humedad puede ser provocado por actividades como bañarse, lavar y secar la ropa y de la propia transpiración de los ocupantes, mientras que la baja humedad relativa se asocia con espacios climatizados en los meses de invierno. Por lo tanto, el *moisture buffering* es una propiedad deseable de los materiales para absorber vapor de agua del aire, cuando la humedad relativa es alta, y





para liberar el agua en forma de vapor cuando la humedad relativa cae. Sin embargo, este efecto es a menudo ignorado en el diseño y concepción de los edificios por parte de ingenieros y arquitectos, cuando en la práctica su efecto puede ser importante no sólo en el mantenimiento de las condiciones de confort y calidad del aire interior, sino también en el consumo energético del edificio, como veremos más adelante.

Supongamos un espacio interior de un edificio, con sus diferentes intercambios de humedad con los elementos interiores y la envolvente:



**Fig. 7.19.** Componentes del equilibrio higroscópico de una habitación en una vivienda: producción interna de humedad, la ventilación, el clima interior y exterior y el *buffering* en los materiales superficiales de la envolvente y mobiliario. Fuente: Iñaki Gómez Arriaran, Tesis Doctoral.

Aplicando la condición de equilibrio higroscópico, se obtiene el balance higroscópico del espacio interior, en el que se recoge la contribución de todos estos factores a la evolución del contenido de humedad en el espacio interior:

$$\frac{V}{v_i} \cdot \frac{\partial P_{vi}}{\partial t} = -\frac{nV}{v_i} \cdot (P_{ve} - P_{vi}) + \dot{G}_v - \sum^k A_{sj} \cdot g_{mbj}$$

siendo,

$V$  : volumen de la habitación ( $m^3$ )

$T_i$  : temperatura interior (K)

$P_{vi}$ : presión parcial de vapor del aire interior (Pa )

$n$  : número de renovaciones hora (h(-1) )

$P_{ve}$  : presión parcial de vapor del aire exterior (Pa )

$G_v$ : producción interna de humedad (kg/s)

$A_{sj}$ : área superficial del elemento  $j$  disponible para amortiguamiento higroscópico(m<sup>2</sup>)

$g_{mbj}$ : capacidad de amortiguamiento de humedad del elemento  $j$  (kg/(sm<sup>2</sup> ))

El término de la izquierda del balance hace referencia a la evolución temporal del contenido de humedad de la habitación, expresado en términos de la presión parcial del vapor del aire interior.

En el lado de la derecha del balance, aparecen los términos correspondientes a los diferentes factores ya mencionados:

**La producción interna de humedad,  $\dot{G}_v$  ( $\frac{kg}{s}$ )**, se compone de dos partes; una parte relativamente constante, correspondiente a la aportada por las plantas, la presencia de los ocupantes y los animales domésticos, y una segunda parte correspondiente a pulsos cortos de producción de humedad que vienen de procesos de preparación de alimentos, lavandería, duchas, baños, y otras actividades que se llevan a cabo durante períodos más cortos del día.

**La ventilación** es determinante en las condiciones de humedad del aire interior. El propósito principal de la ventilación es suministrar al edificio y sus ocupantes suficiente cantidad de aire fresco, extraer las emisiones provenientes de las actividades, personas y materiales, y eliminar el exceso de humedad, olores y sustancias peligrosas del aire interior. El impacto de la ventilación en la humedad relativa de una habitación, depende de la tasa de ventilación y del contenido de vapor del aire interior y del aire exterior introducido. Si la tasa de ventilación es alta, su impacto en el equilibrio higroscópico y por lo tanto en la humedad relativa del aire interior será alto; si por el contrario, la tasa de ventilación es baja, el impacto de la capacidad de amortiguamiento de humedad de los materiales superficiales será más grande.







**La capacidad de las superficies interiores para amortiguar** las variaciones de humedad del aire interior se describe mediante  $G_{mb} \left( \frac{kg}{sm^2} \right)$  y se debe a la adsorción/desorción de humedad de los diferentes materiales superficiales en contacto con el aire interior en un momento dado. Estas superficies corresponden normalmente a la del lado interior de la envolvente y a la del mobiliario. La propiedad que cuantifica este potencial es el denominado *Moisture Buffering*, y se expresa mediante el *Moisture Buffer Value* (MBV).

## 7.7. EL MOISTURE BUFFER VALUE (MBV)

La necesidad de una cantidad estandarizada para caracterizar la capacidad de amortiguación de humedad de los materiales llevó a definir el *Moisture Buffer Value* (MBV) (capacidad de amortiguamiento de humedad) y proponer un método experimental para la clasificación práctica de los materiales según ese criterio.

El MBV es la propiedad que determina el potencial de un material para amortiguar las variaciones bruscas de humedad relativa del ambiente al que está expuesto. Es un parámetro que puede ser utilizado para indicar la cantidad de humedad que un material de construcción intercambiará con su entorno cuando su humedad relativa varíe.

Para la clasificación de los materiales en relación a su potencial de amortiguamiento de humedad, el MBV debe expresarse de forma normalizada, para unas condiciones de ensayo determinadas y bajo unas condiciones de contorno específicas.

La declaración de un valor de MBV implica un perfil de tiempos de exposición que corresponda al de la exposición típica en la práctica (habitualmente una variación diurna). Asimismo, debe ser representativo para el espesor del material, las condiciones superficiales de transferencia de masa y los recubrimientos superficiales utilizados normalmente en la práctica. Cuando el intercambio de humedad durante el período se expresa por área de superficie expuesta y por % de variación de humedad relativa, el resultado es el MBV. La exposición estándar es de 8 h a 75% de HR, y 16 h a 33% de HR. La unidad para MBV es **kg/(m<sup>2</sup>%HR)**.

Considerando todo ello, la definición estándar del valor de amortiguamiento de la humedad o *Moisture Buffer Value* (MBV) podría ser la siguiente: El MBV es el parámetro que indica la cantidad de agua que

se transporta desde/hacia un material por área de superficie expuesta, durante un período determinado de tiempo, cuando se somete a variaciones específicas en la humedad relativa del aire circundante con una velocidad específica.

Este valor depende en parte de las propiedades del material. Asimismo, el coeficiente de transferencia de masa en la capa límite juega un papel en el proceso, y por lo tanto, el MBV será en realidad una verdadera propiedad del material sólo en el límite cuando el coeficiente de transferencia convectiva de masa tienda a infinito. Sin embargo, para muchos materiales la resistencia interior al transporte de humedad por difusión es considerablemente mayor que la resistencia superficial convectiva. Además, el valor del potencial de amortiguamiento de humedad sólo será representativo del material de base si la muestra utilizada para la prueba tiene un espesor igual o superior a la profundidad de penetración de humedad del material para la exposición cíclica de humedad relativa a la que está sometida.

También se puede determinar el MBV para los sistemas que forman parte de combinaciones de diferentes capas de material o para los materiales con un recubrimiento superficial.

### 7.7.1. Determinación del MBV

El MBV puede ser determinado experimentalmente o calculado a partir de las propiedades higroscópicas del material.

Al evaluar el MBV se debe diferenciar entre el valor correspondiente al material en función exclusivamente de sus propiedades higroscópicas, y el valor correspondiente al material aplicado en toda la superficie expuesta al aire interior con las correspondientes condiciones de contorno. En base a ello, se diferencia un valor de MBV teórico y un valor de MBV experimental.

El primero se obtiene por cálculo a partir de las propiedades higroscópicas del material, en las que se consideran incluidos los efectos superficiales del transporte de masa en la capa límite y por lo tanto sólo requiere conocer previamente la caracterización higroscópica completa del mismo. A partir de las propiedades de almacenamiento y transporte de humedad del material, se puede calcular su efusividad a la humedad, en analogía a la





## Guía de calidad del aire interior

efusividad térmica, que como ya se explicó representa la tasa de flujo de humedad en un material después de un cambio en su humedad superficial.

A partir de la efusividad a la humedad se puede calcular el valor del amortiguamiento de humedad ideal o MBV ideal, que representa un valor teórico máximo del MBV:

$$MBV_{ideal} \approx \frac{G(t)}{\Delta RH} = 0,00568 \cdot p_s \cdot b_m \cdot \sqrt{t_p}$$

Donde  $b_m$  es la efusividad de humedad, que es análoga a la efusividad térmica descrita anteriormente, y se calcula por:

$$b_m = \sqrt{\frac{\delta_v \cdot \rho \cdot \frac{\partial u}{\partial \varphi}}{P_s}}$$

Donde,  $\delta_v$  [kg/(m·s·Pa)] es la permeabilidad al vapor de agua,  $\rho$  [kg/m³] es la densidad aparente o bruta del material,  $u$  [kg/kg] es el contenido de humedad,  $\varphi$  [-] es la humedad relativa y  $P_s$  [Pa] la presión de saturación del vapor de agua.

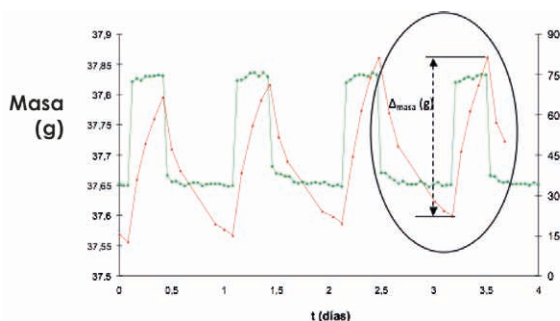
Sin embargo, la mayoría de los métodos experimentales para determinar las propiedades relacionadas con la humedad se realizan bajo condiciones estacionarias y por lo tanto lejos de la dinámica de las variaciones diurnas de humedad observadas en los edificios.

Para subsanar esto, hay varios métodos experimentales para medir el valor del potencial de amortiguamiento de humedad real, es decir, en condiciones de ensayo dinámicas, con el que se obtiene el denominado  $MBV_{práctico}$ .

En estos ensayos la muestra se expone a cambios cíclicos de humedad relativa entre alta (75%) y baja (33%) durante 8 y 16 horas respectivamente, con lo que el intervalo de humedad relativa será entonces del 42%. Las muestras son selladas en todas menos en la superficie expuesta, sobre la que la velocidad del aire deberá ser de 0,10 m/s  $\pm$  0,05. Este ciclo se repite durante al menos tres días y hasta que el cambio de masa entre los ciclos sea inferior al 5%.

El valor del potencial de amortiguamiento de humedad se calcula como la amplitud del incremento en masa por unidad de superficie expuesta y por unidad de diferencia de humedad relativa durante la fase de 8 horas de absorción al final del experimento.

En la Fig. 7.20 se muestra la determinación del MBV a partir de la amplitud en el cambio de masa tras varios ciclos sucesivos de humedad relativa.



**Figura 7.20.** Determinación de MBV a partir de mediciones dinámicas.  
Fuente: Gómez-Arriaran, et al. Moisture buffering performance of a new pozzolanic ceramic material: Influence of the film layer resistance, Energy and Buildings.

### Ejemplo práctico

Como ejemplo de aplicación muy simple, teniendo en cuenta que en realidad el análisis del balance higroscópico de los espacios interiores requiere de un mucho más complejo estudio en régimen dinámico, se plantea el siguiente caso:

Un dormitorio tiene un volumen de 25 m<sup>3</sup>. Durante las 8 horas de ocupación nocturna, dos personas duermen con una tasa de producción de humedad de 70 g/h. Las paredes verticales de la habitación, con una superficie de 20 m<sup>2</sup>, están revestidas con paneles de tablero de abeto. El resto de superficies de la habitación se supone que son impermeables al vapor. La profundidad de penetración de humedad del abeto para ciclos diarios es del orden de 7 mm y por lo tanto los tableros de abeto son más gruesos que la profundidad de penetración de humedad, por lo que se aprovechará toda su capacidad de amortiguamiento de humedad. Inicialmente la habitación se encuentra a una humedad del 43%. Se considera despreciable la capacidad





## Guía de calidad del aire interior

de almacenamiento de humedad del aire de la habitación frente a la de los materiales del cerramiento. La temperatura exterior es de 8 °C y la humedad relativa exterior del 75% ¿Cuál deberá ser el valor de la capacidad de amortiguamiento de la humedad de los tableros de abeto para que la humedad al cabo de las 8 horas de ocupación no sea superior al 65%? ¿Cuál sería la humedad relativa final si se empleara el valor de la Tabla 7.1 para el MBV del tablero de abeto?

Aplicando y resolviendo el balance higroscópico de forma simplificada:

$$\frac{V}{R_v T_i} \cdot \frac{\partial P_{vi}}{\partial t} = \frac{nV}{3600 R_v T_i} \cdot (P_{ve} - P_{vi}) + \dot{G}_v - \sum_{j=1}^k A_{sj} \cdot g_{mbj}$$

$$0 = \frac{0,5 \cdot 25}{462 \cdot 293} \cdot (0,0101 - 0,00805) \cdot 10^2 + 70 - 20 \cdot \frac{MBV}{8} \cdot (65 - 43)$$

$$MBV = 0,94 \frac{g}{m^2\%}$$

Si se empleara el MBV de la Tabla 7.1:

$$0 = \frac{0,5 \cdot 25}{462 \cdot 293} \cdot (0,0101 - 0,00805) \cdot 10^2 + 70 - 20 \cdot \frac{1,16}{8} \cdot \Delta\phi$$

$$\Delta\phi = 17,6 \%$$

Con lo que la humedad relativa final sería:

$$\phi_2 = \phi_1 + \Delta\phi = 43 + 17,6 = \mathbf{60,6\%}$$

Este es un ejemplo ilustrativo sencillo, para su resolución analítica, en el que se ha despreciado la capacidad de almacenamiento de humedad del aire. Para un resultado más realista habría que resolver el balance higroscópico mediante cálculo numérico considerando la variación del contenido de humedad del aire interior a lo largo del periodo.

## 7.8. IMPACTO ENERGÉTICO DE LA CAPACIDAD DE AMORTIGUAMIENTO DE HUMEDAD

En esta apartado trataremos de abordar la cuestión de si la aplicación de materiales higroscópicos puede reducir la energía necesaria para calentar, enfriar y ventilar los edificios. Aunque existen multitud

de estudios sobre el potencial de los materiales higroscópicos para mejorar el confort y la calidad del aire de los espacios interiores, su impacto en el consumo de energía del edificio no ha sido estudiado en el mismo grado.

Debe diferenciarse entre el impacto energético en la demanda de calefacción y en la demanda de refrigeración, así como el impacto durante sólo los periodos de ocupación o durante todo el tiempo.

Aprovechando adecuadamente el potencial de amortiguamiento de humedad de las paredes, la demanda de calefacción puede reducirse durante los periodos de ocupación; durante los periodos desocupados la demanda aumenta puesto que se necesita energía para secar las paredes. Por ello, se requiere un control adecuado del sistema para conseguir un ahorro global.

La demanda de refrigeración podría reducirse debido a la disminución de la entalpía del aire interior que conlleva una menor humedad del aire interior cuando se emplean materiales higroscópicos en la superficie interior del cerramiento.

Por otra parte, existen estudios que reflejan que los materiales higroscópicos pueden llegar a reducir los picos de humedad relativa en un dormitorio hasta en un 30% cuando la tasa de ventilación es de  $0,5 \text{ h}^{-1}$ . Para dicha tasa de ventilación, estas reducciones de los picos de humedad relativa suponen una reducción del 10-20% en el porcentaje de insatisfechos con el confort respiratorio y una reducción del 20-30% en el porcentaje de insatisfechos con la calidad del aire percibido.

Esto significa que con materiales con alto potencial de amortiguamiento de humedad, la calidad del aire interior sería superior y por lo tanto, se podrían conseguir las mismas calidades de aire y condiciones de confort con temperaturas interiores superiores durante el verano, y menores temperaturas interiores en invierno así como con menores tasas de ventilación, con los correspondientes ahorros complementarios en la demanda de energía que ello conllevaría.





### 7.8.1. Inercia térmica e inercia higroscópica: inercia higrorotérmica

La capacidad de amortiguamiento de humedad está íntimamente relacionada con la capacidad de amortiguamiento térmico, que sería el efecto combinado de absorber, almacenar y emitir energía térmica desde/hacia los alrededores en respuesta a los cambios en las condiciones térmicas ambientales, es decir, la inercia térmica.

En edificios adecuadamente diseñados, con un favorable factor de utilización, la masa térmica puede reducir la demanda global de energía, y mejorar el confort térmico. Del mismo modo, el uso de materiales de construcción higroscópicos permite regular la humedad relativa del interior de un edificio. Los picos de humedad relativa en el aire interior se reducen al ser absorbidas las cargas de humedad por la envolvente del edificio, para ser restituidas como ganancias latentes favorables durante los períodos de baja humedad.

Este control pasivo de la humedad tiene el potencial de reducir la energía necesaria para los sistemas activos de acondicionamiento del aire; por un lado, el control eficaz de la entalpía del aire, mediante el control del contenido de humedad, puede reducir significativamente las cargas térmicas latentes de calefacción y refrigeración (también se debe tener presente que las propiedades del material, tales como la conductividad térmica, la densidad y el calor específico pueden variar significativamente (y de forma no lineal) con el contenido de humedad, afectando todo ello al factor de utilización de la inercia térmica).

Por otro lado, a través de la mejora de la calidad percibida del aire interior, el confort térmico de los ocupantes del edificio puede lograrse con menores tasas de ventilación con la consiguiente reducción en la demanda energética.

Por lo tanto, una consideración más precisa del comportamiento de la masa térmica, y el diseño de las soluciones basadas en su aprovechamiento, requerirá la incorporación del concepto de inercia higroscópica, utilizando un enfoque combinado de **inercia higrorotérmica** del edificio.

### 7.8.2. Ahorros de energía directos

La principal intención de este apartado es identificar la magnitud de los posibles ahorros por el uso de materiales higroscópicos con alto poder de amortiguamiento de las oscilaciones de humedad. Para ello, como ejemplo se presentan los resultados de las simulaciones de *Simonson et al.*, obtenidos para un caso de estudio consistente en un dormitorio con superficie construida de 12 m<sup>2</sup> y superficie de las paredes de 60 m<sup>2</sup>, ocupado por dos adultos durante 9 h cada noche (22:00-7:00 h), en un edificio de madera, en cuatro ciudades diferentes (Helsinki, en Finlandia; Santos Hubert, en Bélgica; Holzkirchen, en Alemania y Trapani, en Italia).

La producción total de humedad fue de 60 g/h durante la ocupación y la tasa de ventilación era constante e igual a 0.5 h<sup>-1</sup>. En el estudio, la demanda de calefacción se calcula para mantener el dormitorio entre 20 y 21 °C durante la temporada de calefacción, que se establece del 1/9 al 31/5 en Finlandia y del 1/10 al 30/4 en Bélgica y Alemania. La temperatura interior media se fija en 20,7 °C en Finlandia y 20,5 °C en Bélgica y Alemania. Se consideran dos tipos de materiales de construcción de la habitación:

- a. 'Higroscópicos: Los materiales superficiales en las paredes son fibra de madera porosa y papel pintado. Todas las superficies internas son permeables (5·10E9 kg/(m<sup>2</sup>sPa)) a excepción del suelo.
- b. No higroscópicos: todas las superficies internas son impermeables (5·10E12 kg/(m<sup>2</sup>sPa)).

Las extrapolaciones de los resultados obtenidos para este caso de estudio se deben utilizar con precaución debido a que las cargas, tasa de ventilación y otros factores varían significativamente en diferentes edificios según su tipología y climatología.

Los ahorros potenciales se dividen en ahorros de energía directos y ahorros de energía 'indirectos'. Ahorros directos son el ahorro en la demanda de calefacción y de refrigeración en un edificio, mientras los indirectos son los posibles ahorros que podrían resultar de una menor tasa de ventilación, una temperatura interior más baja en el invierno o una mayor temperatura interior en el verano.



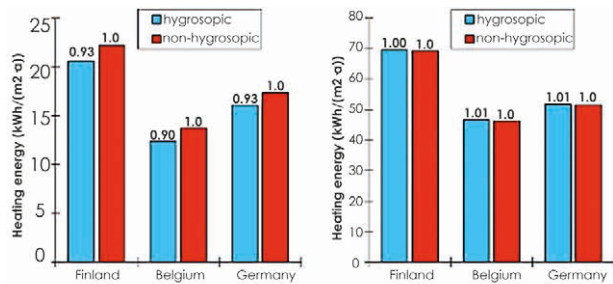




### 7.8.2.1. Calefacción

En la temporada de calefacción, el ahorro de energía se debe a que la adsorción de humedad en los materiales higroscópicos libera cerca de 2,5 kJ/kg de calor, lo que disminuirá la demanda de calefacción. Esta adsorción de humedad se producirá fundamentalmente durante la ocupación.

En la Fig. 7.21 se presenta el consumo de energía en calefacción para el caso de paredes higroscópicas y no higroscópicas.



**Figura 7.21.** El calor generado durante la acumulación de humedad en materiales de construcción higroscópicos (a) disminuye el consumo de energía de calefacción durante la ocupación (22:00-7:00 h), pero (b) tiene un pequeño efecto en el consumo total de energía durante toda la temporada de calefacción. Fuente: Olalekan F. et al.

Se observa en la Fig. 7.21(a) que el consumo de energía durante la ocupación es de aproximadamente 10% inferior en el caso higroscópico respecto al caso no higroscópico, lo que significa que la acumulación de humedad en los materiales del edificio durante la ocupación puede disminuir la energía necesaria para el calentamiento.

Por otro lado, se necesita energía para secar esta humedad desde los materiales durante los períodos desocupados y el resultado neto es que el consumo total de energía durante la temporada de calefacción es casi igual para ambos casos (Fig. 7.21 (b)). El total ligeramente superior del consumo de energía de calentamiento en el caso higroscópico es probablemente debido a una conductividad térmica ligeramente más alta, debido al mayor contenido de humedad de los materiales en el caso higroscópico.

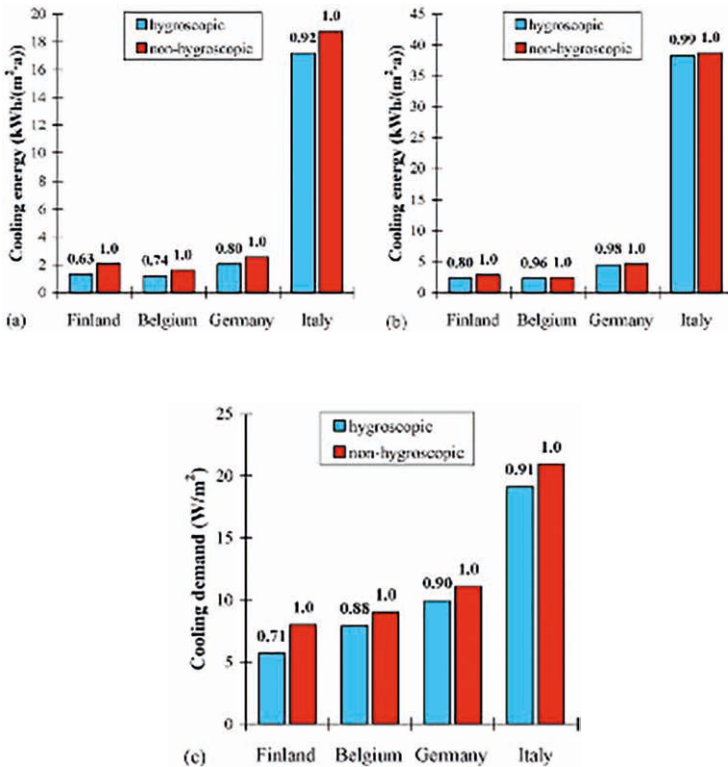
Los resultados en la Fig. 7.21 muestran que es posible ahorrar energía de calefacción con materiales higroscópicos, pero se requiere una estrategia de control a lo largo de toda la temporada de ca-



lefacción para realizar estos ahorros. Tales estrategias de control podrían ser la temperatura de consigna y la tasa de ventilación durante períodos desocupados.

### 7.8.2.2. Refrigeración

Durante la temporada de verano, los materiales higroscópicos son capaces de reducir la humedad en el interior y en consecuencia reducir la entalpía del aire interior. La disminución de la entalpía del aire disminuye la energía necesaria para enfriar el edificio y también mejora la calidad del aire interior. La demanda y el consumo de energía requerida para enfriar la habitación objeto de estudio hasta una entalpía deseada de 47 kJ/kg<sub>a</sub> (24 °C y 50% de humedad relativa) se presentan en la Fig. 7.22.



**Figura 7.22.** Demanda de refrigeración para reducir la entalpía del aire interior de la habitación hasta 47 kJ/kg<sub>a</sub> (24 °C and 50% HR) durante (a) las horas de ocupación (b) todas las horas (c) demanda pico. Fuente: Olalekan F. et al.



## Guía de calidad del aire interior

Como se aprecia en la Fig. 7.22(a), la energía de refrigeración requerida es bastante baja para el dormitorio porque las únicas cargas térmicas internas son 100 W de iluminación durante 1 hora y dos personas durante 9 h. Sin embargo, la energía de refrigeración requerida durante esas 9 h de ocupación es considerablemente inferior (de 10% en Italia a 35% en Finlandia) con materiales higroscópicos respecto a los materiales no higroscópicos.

La Fig. 7.22(c) muestra que la demanda pico de enfriamiento también es menor (10% en Italia y 30% en Finlandia), con materiales higroscópicos respecto a los materiales no higroscópicos. Del mismo modo que en el caso de calefacción, se requiere una estrategia de control para lograr estos ahorros, ya que representan el consumo de energía y la demanda durante las horas de ocupación, y como muestra la Fig. 7.22(b) los ahorros durante todo el año son inferiores a los obtenidos durante los periodos de ocupación.

### 7.8.3. Ahorro energético indirecto

Como ya hemos señalado, puesto que los materiales higroscópicos pueden mejorar las condiciones de humedad interior y con ello las condiciones de confort respiratorio y calidad del aire interior, es posible alterar la temperatura y la tasa de ventilación de edificios que utilizan materiales higroscópicos y proporcionar todavía un confort y una calidad del aire similar.

#### 7.8.3.1. Reducción de la tasa de renovaciones de aire

Diversas investigaciones han cuantificado el efecto de la humedad sobre la calidad del aire percibida y el confort respiratorio, concluyendo que la calidad del aire interior percibida es moderadamente mejor con una tasa de ventilación menor y una entalpía del aire interior también menor.

Por lo tanto, la calidad del aire interior percibida será similar si la ventilación se reduce junto con la entalpía del aire interior. Dado que esto último se consigue con el empleo de materiales con alto potencial de amortiguación de humedad (como término medio la entalpía media del aire interior es cerca de 2 kJ/kg<sub>a</sub> más baja durante la ocupación en el caso de materiales higroscópicos que en el caso de no higroscó-

picos), la tasa de ventilación en edificios con materiales higroscópicos podría posiblemente reducirse en un 15% y todavía proporcionar una calidad del aire interior comparable.

Otros estudios estiman que las reducciones de ventilación pueden ser aún mayores, desde 20% a 90% en función de los criterios seleccionados. En cualquier caso, se necesita estudiar cada caso y profundizar las investigaciones antes de implementar las reducciones en la ventilación de forma segura.

### **7.8.3.2. La reducción de la temperatura interior en el invierno**

Dado que la humedad específica en el aire interior durante la ocupación es inferior cuando se aplican materiales higroscópicos, la temperatura interior puede reducirse y todavía resultar en la misma humedad relativa interior.

Aunque la humedad relativa no es un parámetro importante de confort térmico a bajas temperaturas, si tiene un fuerte efecto sobre el riesgo de condensación y el crecimiento de moho durante la temporada de calefacción.

Algunos estudios estiman que la temperatura interior, cuando se emplean materiales higroscópicos, se puede reducir en un promedio de 1,5 °C, manteniendo la misma humedad relativa interior durante las horas ocupadas de la temporada de calefacción. Para una diferencia de temperatura promedio entre el interior y el aire exterior durante el invierno de 20 °C, el ahorro de energía de calefacción debido a la reducción de la temperatura puede representar el 2% de la energía total de calefacción (7-9% de la calefacción durante la ocupación).

### **7.8.3.3. El aumento de la temperatura interior en el verano**

En el verano, la calidad percibida del aire interior y el confort respiratorio durante la ocupación pueden ser significativamente más bajos en un edificio con materiales no higroscópicos que en uno con materiales higroscópicos. En consecuencia, se puede permitir que la temperatura interior en un edificio con materiales higroscópicos sea mayor que en un edificio con materiales no higroscópicos y todavía





tengan una calidad del aire y una humedad relativa interior comparables. Algunos resultados muestran que un edificio higroscópico puede tener hasta 2 °C más de temperatura interior que uno no higroscópico y todavía mantener los mismos niveles de calidad de aire interior percibida. El aumento de las temperaturas interiores reducirá la demanda de refrigeración.

## 7.9. MATERIALES

La elección de los materiales es un aspecto crucial en el equilibrio higroscópico de los espacios interiores. Los diversos materiales utilizados en la construcción de edificios (hormigón celular, ladrillos, madera y materiales a base de madera y aislamiento de celulosa) o en mobiliario y enseres (textiles, madera y papel) interactúan dinámicamente con el aire interior al que se exponen, lo que ayuda a mejorar el clima interior en términos de las condiciones de higiene, confort y calidad del aire, contribuyendo también a reducir el consumo de energía para calefacción y refrigeración.

Tradicionalmente las razones por las que se estudia el poder de amortiguamiento de humedad de los materiales superficiales en el ambiente interior han sido los aspectos relacionados con la salud, especialmente en el caso de los dormitorios, donde el amortiguamiento de humedad en camas, colchas, edredones, almohadas y demás enseres habituales 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. El poder de amortiguamiento de humedad también juega un papel importante en la comprensión de los riesgos para otro tipo de crecimientos biológicos en los materiales superficiales en el interior de los edificios, como por ejemplo, el crecimiento de moho en las paredes.

Pero aparte de los aspectos de salud, también es importante tener en cuenta la capacidad de amortiguación de humedad de los materiales en los cálculos higrotérmicos, por su influencia en el balance higroscópico de los espacios interiores, así como para el cálculo de la demanda de energía y el diseño de los sistemas de climatización.

Todo esto implica la necesidad de desarrollo de materiales de construcción que incluyan las prestaciones necesarias para aprovechar

de forma óptima la capacidad de amortiguamiento de humedad y el conocimiento de una gran cantidad de datos vinculados a su desempeño higroscópico en comparación con las soluciones tradicionales.

Con este enfoque, los materiales pueden ser clasificados en una de cinco categorías sobre la base de su capacidad para contribuir al control de la humedad en una habitación, como se muestra en la Fig. 7.24.

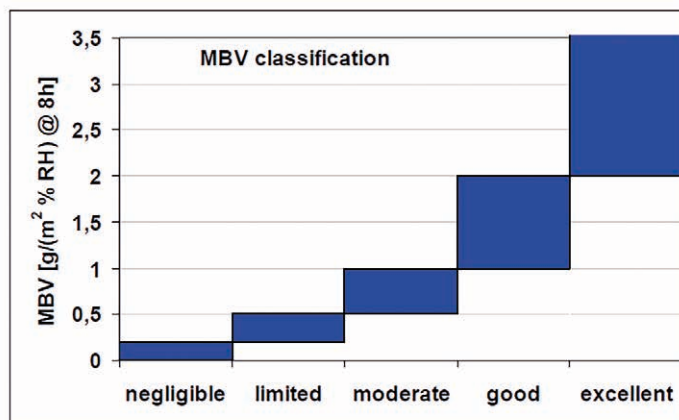


Figura 7.24. Clasificación de materiales según su potencial de amortiguamiento de humedad. Fuente: Nordtest Project.

En la Tabla 7.1 se presentan los valores del potencial de amortiguamiento de humedad diversos materiales superficiales.

Tabla 7.1. Valores de MBV de diversos materiales de construcción. Fuente: elaborada por Isa Sellens a partir de literatura científica internacional.

MATERIAL	AHR (%)	CICLOS	MBV [G/(M <sup>2</sup> %RH)]
Poliacrilato de sodio	33-75	8-16h	8,97
Celulosa	33-75	8-16h	3,07
Enlucido de yeso (sin pintar)	65-75	12-12h	1,61
Enlucido de cemento (sin pintar)	65-75	12-12h	2,7



## Guía de calidad del aire interior

MATERIAL	AHR (%)	CICLOS	MBV [G/(M <sup>2</sup> %RH)]
Ceámica puzolánica autoclavada	33-75	8-16h	1,34
Enlucido de yeso	65-75	12-12h	1,30
Placa de yeso laminado	65-85	12-12h	1,25
Tablero de abeto	33-75	8-16h	1,16
Enlucido de yeso	65-85	12-12h	1,13
Yeso	33-75	8-16h	1,06
Hormigón celular	33-75	8-16h	1,04
Madera de abedul	33-75	8-16h	0,85
Enlucido de cemento (pintura común 1)	65-85	12-12h	0,815
Enlucido de cemento (pintura común 2)	65-85	12-12h	0,765
Hormigón de áridos ligeros estucado	33-75	8-16h	0,75
Madera contrachapada	33-75	8-16h	0,73
Ladrillo	33-75	8-16h	0,48
Madera laminada barnizada	33-75	8-16h	0,46
Hormigón	33-75	8-16h	0,38
Perlita	33-75	8-16h	0,08

Actualmente se desarrollan materiales inteligentes con muy alta capacidad de aislamiento térmico y de amortiguación de humedad, que permiten auto-regular mejor las condiciones de humedad relativa ambiental interior sin el uso de sistemas de aire acondicionado.

Se estudian materiales que incorporan desecantes de sílice y zeolitas, así como materiales con poliacrilato de sodio, con un MBV de 8,97 g/m<sup>2</sup>%, y materiales con celulosa con un MBV de 3,07 g/m<sup>2</sup>%.

Las líneas de investigación están orientadas a cómo controlar las propiedades de los materiales de tal manera que pueda preverse su respirabilidad y su aporte en el balance higroscópico de los espacios

interiores, adaptándolas al diseño del edificio. El resultado potencial futuro podrían ser edificios que se regulen por sí mismos de manera que sólo hiciera falta una pequeña intervención de los sistemas activos de acondicionamiento.

### 7.10. CONCLUSIONES

La capacidad de almacenamiento de humedad que presentan los materiales higroscópicos durante los cambios transitorios en la humedad relativa del aire interior (capacidad amortiguadora de humedad) es un parámetro importante que requiere mayor atención en los balances higrotérmicos de los edificios.

La humedad del aire interior en un edificio depende de una combinación de factores tales como las fuentes de humedad, ventilación, movimiento de aire, aislamiento, condiciones externas, ocupación así como de las propiedades higroscópicas de los materiales de construcción. Entre estas propiedades, el efecto amortiguador de las oscilaciones de humedad del aire interior en un edificio es un importante factor; muchos materiales de construcción y mobiliario y enseres del interior son higroscópicos, por lo que actúan como amortiguadores para la humedad interior.

Como consecuencia de ello, hay un interés general en el aprovechamiento de esa capacidad de amortiguación de la humedad interior que presentan los materiales de construcción, para regular las condiciones higrotérmicas en el interior de los edificios.

A fin de poder considerar el efecto de amortiguación de humedad de los materiales en el comportamiento real de un edificio, se necesitan datos científicos que demuestren la capacidad de tales materiales para mantener sus propiedades de sorción. Ello requiere la caracterización higroscópica dinámica de los materiales altamente absorbentes que pertenecen tanto al sector de la edificación como al sector industrial, puesto que los muebles y enseres también intervienen en el equilibrio higroscópico del interior de los edificios a través de su capacidad de amortiguación de la humedad interior. La posibilidad de utilizar materiales con alta capacidad de amortiguar las variaciones de humedad relativa del interior mejoraría la eficiencia energética del edificio.







### Guía de calidad del aire interior

Los revestimientos de acabado tienen una influencia relevante en la capacidad de amortiguamiento de humedad de los elementos de construcción. En general, las principales ventajas de utilizar materiales higroscópicos en la cara interior de la envolvente de los edificios incluyen:

- mayor confort
- mayor calidad del aire interior percibida
- menor ventilación y refrigeración en verano
- menor riesgo de condensaciones superficiales
- menos presencia de poblaciones de ácaros de polvo
- menor riesgo de degradación estructural de los materiales debido a la humedad.

El empleo de sistemas pasivos para el control de la humedad relativa de los ambientes interiores puede suponer una importante reducción del consumo energético de los edificios, motivo por el cual el desarrollo de estrategias orientadas a optimizar estos sistemas pasivos debe jugar un papel fundamental en la consecución de unas condiciones climáticas interiores adecuadas, bajo criterios de sostenibilidad. Para ello, es necesario un completo y detallado conocimiento del comportamiento higroscópico de los materiales de construcción empleados en los edificios, y en particular, en el caso que nos ocupa, en los materiales de construcción empleados en los revestimientos interiores.

# 8

## NORMATIVA DE CALIDAD AMBIENTAL EN INTERIORES

**Paulino Pastor**

*Director en Ambisalud*

*Presidente del CT100 comité de climatización de AENOR.*

*Coordinador del CT 171 SC3 calidad de aire en interiores.*

*Auditoría e inspección. AENOR*

*Experto representante español en el tCTC146 SC6 Indoor Air de ISO*



### 8.1. INTRODUCCION

La modificación del Reglamento de Instalaciones Térmicas de la Edificación publicada en el BOE el 5 abril de 2013 RITE (R.D. 238/2013 de 5 de Abril de 2013), en la IT 3.3 que describe los Programas de mantenimiento que han de implantarse en las instalaciones sujetas a RITE (>70 kW, independientemente de su fecha de puesta en marcha) incluye dos operaciones de mantenimiento relativas a calidad de aire interiores:

- 38. Revisión de la red de conductos según criterio de la norma UNE 100012: t.
- 39. Revisión de la calidad ambiental según criterios de la norma UNE 171330: t.

Se trata de llevar a cabo por tanto dos tipos de revisiones que permiten, por una parte asegurar que los sistemas de climatización se encuentran en correctas condiciones higiénicas según Norma UNE 100012 y por otra que la calidad del aire que respiran los usuarios es satisfactoria de acuerdo a los requisitos de la Norma UNE 171330.

En el año 2004 se creó en AENOR un comité de trabajo específico de Calidad Ambiental en Interiores CT171, en ese aspecto nuestro país ha sido pionero en Europa. En los últimos años el comité ha desarrollado una serie de normas, que tratan sobre todo del establecimiento de valores límite y las operaciones de mantenimiento preventivo.

Estas normas han permitido homogeneizar bastantes aspectos de las inspecciones de calidad ambiental en interiores En concreto la norma UNE 171330 una de las citadas en el RITE fue elaborada por este comité y la otra UNE 100012 que afecta más directamente a los siste-



mas de climatización fue desarrollada por el Comité Técnico 100 de Climatización.

En definitiva, afortunadamente se ha avanzado enormemente en normalización de los diversos aspectos de la calidad ambiental en interiores y esto está teniendo un efecto positivo en cuanto a la llegada de acciones concretas que empiezan a repercutir positivamente en la salud y el confort de los usuarios finales de los edificios

## 8.2. DESCRIPCION DE LA NORMATIVA NACIONAL

*Serie de Normas UNE 171330*

El Comité Técnico 171 tiene los siguientes objetivos de normalización:

- Las definiciones, los requisitos y las directrices para la adecuada calidad ambiental en interiores, así como todos los aspectos relacionados con su auditoría.
- Normalización de los métodos de muestreo de los contaminantes en interiores y de los métodos de inspección y control, incluyendo la valorización de los niveles de los contaminantes en interiores
- Normalización de las buenas prácticas, abarcando el mantenimiento, uso, limpieza e higienización de los sistemas en los diversos aspectos que condicionan la calidad ambiental en interiores.
- Normalización del diseño de edificios de nueva construcción y de su desmontaje, en lo concerniente a la calidad ambiental en interiores.

Con exclusión de:

Los aspectos medioambientales, de limpieza, mantenimiento y diseño competencia de otros comités de normalización ya constituidos por AENOR.

El comité a su vez esta constituido por los siguientes subcomités:

SC1 Terminología

SC2 Buenas prácticas, higienización y mantenimiento

SC3 Análisis, valoración y auditoria

SC4 Bioseguridad

El SC1 sobre Terminología no ha tenido hasta la fecha actividad efectiva y no ha generado ninguna norma, pero el resto de comités ha sido muy activo en la generación de normas tanto proyectos originales nacionales como traducción de normas provenientes del comité espejo de ISO que es el TC 146 SC 6 (*Indoor Air*).

El Subcomité 2 tiene por objetivo generar las normas que establezcan el conjunto de acciones preventivas o correctivas encaminadas a mantener una elevada calidad ambiental en interiores o a evitar que las diversas actividades que se realizan en los edificios puedan tener un impacto negativo, hasta el momento ha elaborado la siguiente norma:

UNE 171210\_2008  
Calidad ambiental en interiores. Buenas prácticas en los planes de Desinsectación y Desratización.  
Estado Vigente

**Figura 8.1.** Norma UNE 171210:2008.

El comité más activo en la elaboración de proyectos propios ha sido el SC3 que ha generado las siguientes normas

UNE 171330-1:2008  
Calidad ambiental en interiores. Parte 1 Diagnóstico de calidad ambiental interior.  
Estado: Vigente

UNE 171330-2:2014  
Calidad ambiental en interiores. Parte 2: Procedimientos de inspección de calidad ambiental interior.  
Estado: Vigente

UNE 171330-3:2010  
Calidad ambiental en interiores. Parte 3: Sistema de gestión de los ambientes interiores.  
Estado: Vigente

UNE 171340:2012  
Validación y cualificación de salas de ambiente controlado en hospitales.  
Estado Vigente

UNE 171370-1:2014  
Amianto. Parte 1: Cualificación de empresas que trabajan con materiales con amianto.  
Estado: Vigente

**Figura 8.2.** Norma UNE sobre calidad del aire.

Dedicaremos este documento a la descripción más exhaustiva de la serie de normas UNE 171330.





## Guía de calidad del aire interior

Como se indica en la tabla anterior La serie está compuesta de las siguientes tres normas:

- Norma UNE 171330 Parte 1 Diagnostico de la Calidad ambiental en interiores.
- Tiene como objetivo ofrecer una metodología específica que permita identificar la situación de partida de un edificio en cuanto a calidad ambiental en interiores.
- Norma UNE 171330 Parte 2 Inspección de Calidad ambiental en interiores.
- Describe las metodologías de ensayo de los diversos parámetros que se deben analizar en un edificio y los criterios de valoración aplicables.
- Norma UNE 171330 Parte 3 Sistema de gestión de la Calidad ambiental en interiores
- Incluye los requisitos exigibles para implantar un sistema de gestión enfocado en el control de calidad ambiental en los edificios.

La primera parte de la norma permite identificar todos los aspectos ambientales que pudieran tener una incidencia en la calidad del aire interior del edificio, determinar aquellos que son significativos (es decir que puedan incidir de forma relevante) y en base a esa información definir qué parámetros de calidad de aire se deberían medir en el edificio. La Fig. 8.3 muestra el esquema general de la metodología.

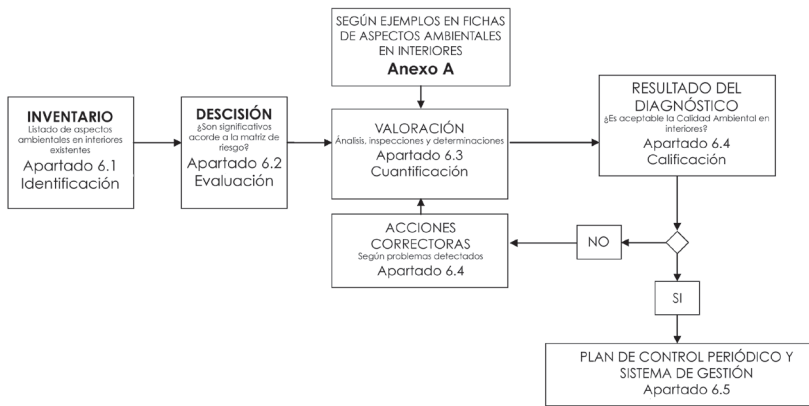
El proceso se inicia con el inventario de aspectos ambientales del edificio, la propia norma da una lista de aspectos más comunes:

- Ubicación del edificio
- Usos, actividades y distribución del edificio
- Materiales de construcción
- Instalaciones del edificio:
  - Instalaciones de acondicionamiento de aire
  - Instalaciones de agua
  - Instalaciones de salubridad
  - Depósitos de combustibles



- Instalaciones de transporte vertical y comunicación entre plantas
  - Instalaciones de electricidad y de telecomunicación
  - Zonas de aparcamiento
  - Almacenes y salas de usos especiales
- Mantenimiento del edificio
- Remodelación del edificio

Además de esto se debe tener en consideración la opinión de los usuarios del edificio, quejas o molestias que pudieran declarar.



**Figura 8.3.** Esquema general de la metodología de inspección y mejora de la calidad ambiental en interiores en los edificios.

A cada uno de los aspectos identificados en el edificio se le ha de aplicar la matriz de riesgo, ver Tabla 8.1, para decidir qué tipo de actuación posterior se ha de llevar a cabo:

**Tabla 8.1.** Matriz de Riesgo.

PROBABILIDAD / EFECTOS	BAJA	MEDIA	ALTA	MUY ALTA
Ligeros	No significativo	Re-evaluar periódicamente	Re-evaluar periódicamente	Valorar
Considerables	Re-evaluar periódicamente	Re-evaluar periódicamente	Valorar	Valorar
Graves	Valorar	Valorar	Valorar	Valorar

Cuando la matriz de riesgo indique que un aspecto concreto debe ser valorado, se debe entonces identificar el tipo de parámetros que son indicadores de la contaminación que puede generar dicho aspecto.



## Guía de calidad del aire interior

Por ejemplo, Tabla 8.2, si en un edificio existe un garaje subterráneo comunicado a través ascensores o escaleras con las áreas ocupadas del edificio la norma nos indica que se ha de valorar mediante los siguientes indicadores:

**Tabla 8.2.**

PARÁMETROS	JUSTIFICACIÓN
Monóxido de carbono	Los diversos contaminantes emitidos por los escapes de los automóviles pueden acceder al interior del edificio si el garaje está interconectado
Partículas	
Compuestos Orgánicos Volátiles	
Migraciones horizontales o verticales de contaminantes u olores	El principal riesgo ambiental en interiores asociado a este tipo de instalaciones es la posibilidad de que los contaminantes generados en su interior pasen al edificio (se puede valorar con humo trazador)

Una vez realizado el proceso para todos los aspectos ambientales en interiores relevantes en el edificio se dispondrá del conjunto de parámetros a analizar.

La norma UNE 171330 Parte 2 Inspección de Calidad Ambiental en Interiores, nos indicaría la metodología para valorar cada uno de los parámetros.

En concreto la norma describe los siguientes puntos:

1. Los parámetros mínimos que han de valorarse, independientemente de los aspectos.
  - Evaluación higiénica de los sistemas de climatización
  - Temperatura y humedad relativa
  - Dióxido de carbono: determinación de la tasa de ventilación
  - Monóxido de carbono
  - Partículas en suspensión por gravimetría (PM<sub>2,5</sub>)
  - Conteo de partículas en suspensión (0,5 y 5 mm)
  - Bacterias en suspensión
  - Hongos en suspensión.

El resto de parámetros depende del tipo de aspectos identificados.

2. El número mínimo de puntos a muestrear que depende de la superficie objeto de estudio, y se calcula según la fórmula:

$$P = 0,15 \times \sqrt{S}$$

donde,

P: N° de puntos

S: Superficie

La norma asimismo especifica requisitos de selección de los puntos de muestreo, que dependen de la tipología de los sistemas de climatización (todo-aire, agua-aire, VRV, etc.) y por otra parte define donde medir, altura respecto al suelo, puntos singulares a evitar, etc.

Por último, la norma define las metodologías de ensayo aceptables y los criterios de valoración de los resultados que se presentan en la Tabla 8.3:

**Tabla 8.3.**

PARÁMETRO	CRITERIO DE VALORACIÓN	
	CRITERIO CONFORT SE ACEPTA HASTA UN 25% DE SUPERACIONES	CRITERIO VALOR LÍMITE MÁXIMO
Evaluación higiénica de los sistemas de climatización	UTAs: Ausencia de suciedad visible	No aplica
	Conductos: Según norma UNE 100012	No aplica
Temperatura y humedad relativa	Temperatura Primavera-Verano: 23-25 °C 30-70% Otoño-Invierno: 21-23 °C 30-70%	Valores límites máximos solo para temperatura (todo el año) 17-27 °C
Dióxido de carbono	Interior-externo < 500 ppm	Valor límite máximo: 2.500 ppm
Monóxido de carbono	< 5 ppm	Valor límite máximo: 9 ppm
Partículas en suspensión (PM 2,5)	< 20 µg/m³	Valor límite máximo: 1.000 µg/m³
Conteo de partículas	Clase ISO 9 <35.200.000 part de 0,5 micras/m³ <293.000 part de 5 micras/m³	No aplica
Bacterias y hongos en suspensión	Bacterias < 600 ufc/m³ Hongos < 200 ufc/m³	No aplica







## Guía de calidad del aire interior

La norma UNE 171330 Parte 3 describe los requisitos para la implantación de un Sistema de Gestión de la Calidad Ambiental en Interiores, se trata de una norma compatible con otros tipos de sistemas de gestión como podría ser un Sistema de Gestión de la Energía (ISO 50001) o un sistema de Gestión Medioambiental (ISO 14001).

Este es un desarrollo pionero que España ha presentado al Comité Internacional ISO y ha sido aceptado como proyecto de norma a desarrollar. Actualmente el proyecto se encuentra en fase de desarrollo, se ha creado un grupo de trabajo conjunto con el ISO/TC 205 - *Building Environment Design* que está trabajando en esta idea.

### *Norma UNE 100012*

La segunda de las normas incluidas en el RITE, norma UNE 100012 cuyo objetivo es definir una metodología para valorar la higiene de los sistemas de climatización.

Básicamente lo que prescribe la norma es que se han de realizar los siguientes tipos de ensayos:

Análisis gravimétrico mediante tira adhesiva pre-pesada.

Análisis de aspiración mediante un casete pre-pesado dotado de un filtro que retiene el polvo.

Análisis de contaminación microbiológica en las superficies, mediante placas RODAC específicas para bacterias y hongos.

Estos ensayos se realizan sobre la base del conducto una vez practicado un acceso para inspección.

Asimismo la norma indica que se ha de analizar el estado higiénico de las unidades de tratamiento de aire mediante inspección visual y con placas microbiológicas de contacto para determinar la presencia de hongos y bacterias en las superficies mas críticas como las baterías de intercambio térmico.

### **8.3. DESCRIPCION DE LA NORMATIVA INTERNACIONAL**

Los países pioneros en el estudio y estandarización de la Calidad Ambiental en Interiores han sido Estados Unidos y Reino Unido.

En EEUU la Asociación de Ingenieros de Climatización ASHRAE publica guías y normas que sin ser legalmente de obligado cumplimiento, en la práctica son utilizadas por los técnicos y consideradas como referencia con validez legal en caso de litigios en este país.

*Indoor Air Quality Guide: Best Practices for Design, Construction and Commissioning* - Guía de calidad de aire. Buenas prácticas para el diseño, construcción y commissioning (seguimiento).

*Standard 62.1-2013 - Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* (Ventilación para una aceptable calidad de aire).

Incluye información relativa a requisitos de ventilación según diferentes usos y situaciones, valores guía de contaminantes, etc.

*Standard 55-2013 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (Condiciones térmicas ambientales para la ocupación humana).

Establece los rangos de temperatura, humedad relativa, velocidad de aire o temperatura radiante que se han de mantener para que un porcentaje significativo de los ocupantes se encuentre satisfecho. Acepta, igual que la norma UNE EN ISO 7730 Confort Térmico, que siempre puede haber un porcentaje de personas que se sientan incómodas en unas condiciones de temperatura y humedad determinadas, dada la subjetividad de este parámetro.

En Reino Unido se hacen referencias a la Calidad del Aire en la normativa específica de eficiencia energética y la ventilación (Reglamento de Construcción). La Parte L del Reglamento da orientación sobre la estanqueidad de la envolvente, la parte F de la ventilación y la especificación de las normas de calidad del aire interior para un número limitado de sustancias, y la Parte C incluye radón.

En Canada se han publicado guías: *Indoor Air Quality in Buildings: A Technical Guide*, con consejos generales sobre el tema.

En Europa, Portugal fue un país pionero que estableció la obligatoriedad de medir la calidad del aire interior conjuntamente con la certificación energética, con criterios parecidos a los requisitos de algunas partes de las normas españolas.





## Guía de calidad del aire interior

En Francia hay un organismo *Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieure* (Observatorio de la Calidad del Aire Interior) dependiente del Ministerio de la Salud que publica documentos y guías.

En Alemania la Asociación de Ingenieros VDI ha publicado diversas normas que tocan aspectos relativos a calidad de aire interior:

*VDI-Standard: VDI 6022 Blatt 1.3 Ventilation and indoor-air quality - Hygiene requirements for ventilation and air-conditioning systems and units - Cleanliness of ventilation systems (VDI Ventilation Code of Practice) - Ventilación y Calidad de Aire Interior. Requisitos de higiene de sistemas.*

En los países nórdicos europeos hay una importante tradición de estudio de la calidad ambiental en interiores, quizá porque su clima les obliga a hermetizar las construcciones y a pasar mucho tiempo en interiores. Disponen de diversas guías y reglamentaciones:

*Sweden (Ventilation Code of Practice) (Normativa sobre ventilación)*

*Norway (Recommended Guidelines for Indoor Air Quality). (Guía de buenas prácticas)*

*Finnish Society of Indoor Air Quality and Climate, Classification of Indoor Climate. Target Values, Design Guidance and Product Requirements. Método de clasificación y valores guía.*

En algunos países asiáticos y en Australia hay gran preocupación sobre Calidad de Aire Interior, hay normas sobre el tema en China, Singapur, Japón, Corea del Sur, etc.

*Indoor Air Quality guideline Australia (Interim National Indoor Air Quality Goals), Japón (Law of Maintenance of Sanitation in Building) Ley de higiene y salubridad de mantenimiento.*

*Corea del Sur (Public Sanitary Law) Ley de salud pública.*

*Singapore (Guidelines for Good Indoor Air Quality in Office Premises/building). Guías de calidad de aire.*

En China se publicó un Código de calidad ambiental en interiores para edificios y una norma higiénica *Code for Indoor Environmental*

*Pollution Control of Civil Building Engineering and Hygienic Norm for Indoor Air Quality*. Los aspectos que se han legislado son similares a los que se han desarrollado en España.

En la ciudad de Hong Kong disponen de un programa auspiciado por la EPD (Departamento de Protección Ambiental de Hong Kong) que permite obtener un certificado de calidad de aire expedido por la agencia tras la realización de un estudio exhaustivo por parte de un Inspector autorizado.

A nivel internacional, la OMS (Organización Mundial de la Salud) considera desde hace muchos años la CAI como una de las preocupaciones emergentes en salud pública y ha generado diversos documentos que establecen valores guía de diversos compuestos típicamente presentes en los espacios cerrados. (*Selected pollutants: WHO guideline for indoor air quality*).

No existe legislación europea dedicada al aire interior. Para los edificios públicos, por ejemplo, escuelas, existe una legislación respecto de la ventilación y concentración de CO<sub>2</sub>. También hay consenso y legislaciones diversas en los países miembros respecto a la prohibición del humo del tabaco en edificios públicos, tiendas, restaurantes y bares.

La Directiva de eficiencia energética se refiere a la necesidad de reducir el uso de combustibles fósiles y las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas pero actualmente la calidad ambiental en los edificios no se tiene en cuenta de forma significativa en la EPBD, no obstante, se prevé que en futuras revisiones se considere la importancia de asegurar que los edificios además de ser energéticamente eficientes sean sanos, especialmente en relación con los requisitos de edificios de consumo casi cero de energía en los que se primara la hermeticidad de los edificios. En este sentido el RITE se ha adelantado a estas exigencias.

La Unión Europea ha desarrollado numerosos proyectos de investigación sobre Calidad ambiental en interiores en los últimos años que están sirviendo para aportar conocimiento que eventualmente podría ser empleado para elaborar directivas específicas, algunos de los más relevantes.

*EnVIE — European Co-ordination Action on Indoor Air Quality and Health Effects (2003–2008)*.





## Guía de calidad del aire interior

*THADE — Towards Healthy Indoor Air in Dwellings in Europe (2002–2004).*

*INDEX — Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU (2003–2005).*

*(Scientific Committee on Health and Environmental Risks — Opinion on risk assessment on indoor air quality (2007).*

*INDEX-UPRIC - Review of the INDEX health based exposure guidelines for indoor high priority chemicals (2009–2010).*

*HEALTH-VENT — Health based ventilation guidelines (2010–2012).*

*AIRLOG/BLUE INDOOR Plataforma de gestión de inspecciones de calidad de aire interior.*

Una de las acciones clásicas de la UE en este campo fue la denominada *European concerted action indoor air quality & its impact on man* (Acción concertada europea. Calidad de aire interior y su impacto en el hombre) que generó un conjunto de dosieres que aunque son relativamente antiguos incluyen información muy relevante, a continuación se incluye una lista con sus títulos originales en inglés:

- *Report No. 26: Impact of Ozone-Initiated Terpene Chemistry on Indoor Air Quality and Human Health, EUR 23052 EN, 2007*
- *Report No. 25: Strategies to Determine and Control the Contributions of Indoor Air Pollution to Total Inhalation Exposure (STRATEX), EUR 22503 EN, 2006*
- *Report No. 24: Harmonisation of Indoor Material Emissions Labelling Systems in the EU, Inventory of Existing Schemes, EUR 21891 EN, 2005*
- *Report No. 23: Ventilation, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy, EUR 20741 EN, 2003*
- *Report No. 22: Risk Assessment in Relation to Indoor Air Quality, EUR 19529 EN, 2000*
- *Report No. 21: European Interlaboratory Comparison of VOCs emitted from Building Materials and Products, EUR 18698 EN, 1999*
- *Report No. 20: Sensory Evaluation of Indoor Air Quality, EUR 18676 EN, 1999*
- *Report No. 19: Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations, EUR 17675 EN, 1997*
- *Report No. 18: Evaluation of VOC Emissions from Building Products - Solid Flooring Materials, EUR 17334 EN, 1997*

- Report No. 17: *Indoor Air Quality and the Use of Energy in Buildings*, EUR 16367 EN, 1996
- Report No. 16: *Determination of VOCs Emitted from Indoor Materials and Products: Second Interlaboratory Comparison of Small Chamber Measurements*, EUR 16284 EN, 1995
- Report No. 15: *Radon in Indoor Air*, EUR 16123, EN 1995
- Report No. 14: *Sampling Strategies for Volatile Organic Compounds (VOCs) in Indoor Air* EUR 16051 EN, 1994
- Report No. 13: *Determination of VOCs Emitted from Indoor Materials and Products. Interlaboratory Comparison of Small Chamber Measurements*, EUR 15054 EN 1993
- Report No. 12: *Biological Particles in Indoor Environments*, EUR 14988 EN, 1993.
- Report No. 11: *Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings*, EUR 14449 EN, 1992
- Report No. 10: *Effects of Indoor Air Pollution on Human Health*, EUR 14086 EN, 1991
- Report No. 9: *Project Inventory - 2nd Updated Edition*, EUR 13838 EN, 1991
- Report No. 8: *Guideline for the Characterization of Volatile Organic Compounds, Emitted from Indoor Materials and Products Using Small Test Chambers*, EUR 13593 EN, 1991
- Report No. 7: *Indoor Air Pollution by Formaldehyde in European Countries*, EUR 13216 EN, 1990
- Report No. 6: *Strategy for sampling Chemical Substances in Indoor Air*, EUR 12617 EN, 1989
- Report No. 5: *Project Inventory*
- Report No. 4: *Sick Building Syndrome - A Practical Guide*, EUR 12294 EN, 1989
- Report No. 3: *Indoor Pollution by NO<sub>2</sub> in European Countries*, EUR 12219 EN, 1989
- Report No. 2: *Formaldehyde Emission from Wood-Based Materials: Guidelines for the Determination of Steady State Concentrations in Test Chambers*, EUR 12196 EN, 1989
- Report No. 1: *Radon in Indoor Air*, EUR 11917 EN, 1988





## 8.4. CONCLUSION

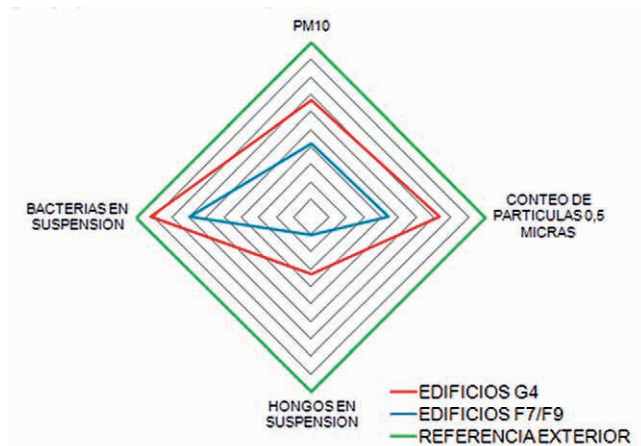
La calidad ambiental en interiores es un campo de estudio que existe desde hace más de 30 años, pero aun sigue sin ser una materia de conocimiento generalizado en la sociedad.

España ha sido pionera al incluir desde el año 2013 una de las legislaciones más avanzadas en cuanto a calidad del aire en interiores e higiene de sistemas de climatización.

En el congreso de climatización FORO CLIMA 2015 se presentó un estudio comparado de los resultados de calidad de aire en edificios que cumplen los requisitos del RITE y edificios más antiguos que no satisfacen estos requisitos en los aspectos que tienen que ver con la calidad de los ambientes interiores.

La Fig. 8.4 ilustra de forma muy gráfica y sencilla el impacto positivo del RITE en los edificios. La concentración de dióxido de carbono se observa en promedio más alta que los edificios previos al RITE indicando un mejor control de las infiltraciones pero los indicadores de contaminación como partículas, hongos y bacterias mejoraban considerablemente.

Figura 8.4.



El RITE cumple su objetivo de mejorar la calidad de aire y simultáneamente ayudar al ahorro energético

EDIFICIOS G4 (previos al RITE)

EDIFICIOS F7/F9 (cumplen RITE 2013)

## 8.5. BIBLIOGRAFIA Y FUENTES CONSULTADAS

JOHN D. SPENGLER (2000): «Indoor Air Quality Handbook». Mc Graw Hill.

NORM G. MILLER. University of San Diego (2009): Green Building and Productivity.

PASTOR PÉREZ, P. (2006): DTIE 2.02: Calidad de aire interior. Atecyr.

Indoor air quality related standards in china Z Bai, C Ji , T Zhu and J Zhang.

<http://www.aenor.es>

<http://www.iso.org>

<https://www.ashrae.org/>

<https://www.vdi.de> (Verein Deutscher Ingenieure)

<http://www.aivc.org/resources/collection-publications/european-co-laborative-action-urban-air-indoor-environment-and>

[http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/indoorair\\_quality/air\\_indoorair.html](http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/indoorair_quality/air_indoorair.html)

<http://www.oqai.fr> (Observatoire de la Qualite de l'Air Interieure)

<https://www.bre.co.uk> (Building Research Establishment. Reino Unido)

<http://www.iaq-airlog.eu/> BLUEINDOOR/AIRLOG







# 9

## CALIDAD AMBIENTAL

**Fernando Feldman**

*Director Técnico  
Aire Limpio*



### 9.1. INTRODUCCION

El ser humano ha evolucionado de ser un cazador – recolector que de vez en cuando ocupaba cuevas a un ser, especialmente los europeos y norteamericanos, que consume el 90% de su tiempo en el interior de los edificios. Para muchos de nosotros los ambientes de interiores es nuestro entorno natural.

La calidad ambiental de interiores engloba, tanto calidad de aire interior (los contaminantes del aire) así como otras consideraciones de salud, confort, estéticas, ergonómicas, acústicas, iluminación y campos electromagnéticos.

Las prácticas en calidad ambiental de interiores (IEQ o *Indoor Environmental Quality*) se pueden tener en cuenta durante la gestación del edificio o bien introducirse como mejoras en inmuebles en explotación.

A continuación se describen algunos aspectos relacionados con los contaminantes más comunes en los ambientes cerrados.

### 9.2. PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN

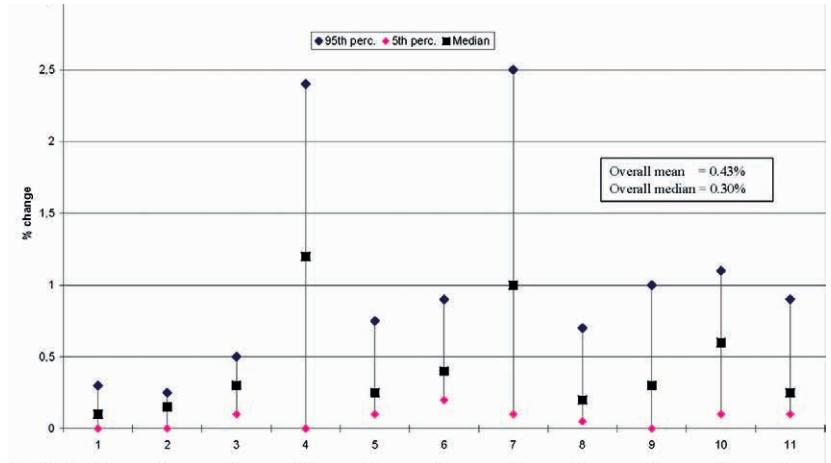
La presencia de partículas en suspensión, especialmente las más finas y las de origen artificial, en el aire es un factor que se asocia a diversos problemas de salud entre las personas expuestas.

Hay una relación clara entre la concentración de partículas en suspensión ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y la tasa de mortalidad, especialmente por enfermedades cardiovasculares o de tipo pulmonar.



## Guía de calidad del aire interior

La Fig. 9.1 representa los resultados de diversos estudios realizados por diferentes tipos de especialistas (1 a 4 epidemiólogos, 5 a 7 toxicólogos, 8 a 11 médicos)



**Figura 9.1.** Nombre de la figura. Fuente: *Concentration Response Functions for Ultrafine Particles and All-Cause Mortality and Hospital Admissions: Results of a European Expert Panel Elicitation. Gerard Hoek et Al.*

Los resultados de los estudios indican que en promedio la reducción de 1.000 partículas/cm<sup>3</sup> (partículas ultrafinas) en ambiente supone una reducción de la mortalidad del 0,43%.

Es importante considerar que las concentraciones de este tipo de partículas se cuentan por centenas de miles llegando incluso a millones en los espacios más contaminados, por lo que 1.000 partículas es una cifra relativamente pequeña.

Esta circunstancia ha sido valorada en términos económicos por el Observatorio de la Calidad del Aire Interior dependiente del Ministerio de la Salud de la República Francesa (*Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur*), la Tabla 9.1 indica impacto sobre la salud de diferentes contaminantes (no solo partículas) aplicable a la población francesa, lógicamente, pero los resultados no serían muy diferentes en su aplicación a la realidad española. Es interesante resaltar como la presencia de partículas en el ambiente se relaciona con unas tasas muy elevadas de cánceres de pulmón, enfermedades cardiovasculares y Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC).

Tabla 9.1. Fuente: *Bulletin de l'OQAI*, Junio 2014

CONTAMINANTE	BENCENO	TCE	RADON	MONÓXIDO DE CARBONO	PARTICULAS			HUMO DE TABACO			
	Patología	Leucemia	Cancer de riñón	Cancer de pulmón	Asfíxia	Cancer de pulmón	Enfermedades cardio-vasculares	EPOC	Cancer de pulmón	Infarto	AVC
Edad de la muerte	65	65	69	33	69	77	79	69	77	80	79
Esperanza de sobrevivencia	15	2	2	-	2	13	12	2	13	11	12
Número de años de vida perdida	15	15	11	47	11	3	1	11	3	-	1
Años de pensión perdida	15	15	11	20	11	3	1	11	3	-	1
Índice de morbilidad	385	54	2.388	-	2.388	10.006	10.390	175	1.331	1.180	150
Número de muertes	342	20	2.074	98	2.074	10.006	4.156	152	510	392	60
Años de vida perdidos	5.125	300	22.814	4.606	22.814	30.018	4.156	1.672	1.530	-	60

EPOC: Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica  
 AVC: Accidente Cardiovascular  
 TCE: Tricloroetileno

El mismo estudio del citado Observatorio de la CAI, valora en términos económicos el impacto de estos efectos sobre la salud de la población, los resultados se resumen en la Tabla 9.2.

**Tabla 9.2.** Fuente: *Bulletin de l'OQAI*. Junio 2014.

	COSTES SOCIOECONÓMICOS DE LA CONTAMINACIÓN						
	BENCENO	TCE	RADON	CO	PARTÍCULAS	HUMO DE TABÁCO	TOTAL
<b>NÚMERO DE MUERTES</b>	342	20	2.074	98	16.236	1.114	19.884
<b>COSTE EXTERNO</b>							
Coste de la mortalidad	-436	-26	-2.089	-237	-5.760	-322	-8.871
Coste de merma en calidad de vida	-369	-7	-309	-	-7.350	-837	-8.872
Coste de producción	-36	-2	-282	-72	-1.102	-85	-1.579
<b>TOTAL DE COSTES EXTERNOS</b>	<b>-842</b>	<b>-35</b>	<b>-2.680</b>	<b>-309</b>	<b>-14.212</b>	<b>-1.244</b>	<b>-19.322</b>
<b>IMPACTO EN FINANZAS PÚBLICAS</b>							
Coste de los cuidados sanitarios	-18	-4	-61	-3	-236	-37	-359
Costes de investigación	-	-	-	-	-	-	-11
Jubilaciones no pagadas por fallecimiento	10	0,61	49	4	137	8	208
<b>TOTAL FINANZAS PÚBLICAS</b>	<b>-7,8</b>	<b>-3,4</b>	<b>-12,0</b>	<b>-1,0</b>	<b>-99,5</b>	<b>-29,0</b>	<b>-151</b>
<b>Efecto sobre el PIB</b>	<b>-9</b>	<b>-4</b>	<b>-14</b>	<b>1</b>	<b>-119</b>	<b>-35</b>	<b>-181</b>
<b>Variación sobre el PIB</b>	<b>-851</b>	<b>-39</b>	<b>-2,694</b>	<b>-308</b>	<b>-14.331</b>	<b>-1.279</b>	<b>-19.502</b>
CIFRAS EN MILLONES DE EUROS							

Se observa un impacto global sobre la economía francesa de más de 19.000 millones de euros, haciendo la equivalencia sobre la economía española podríamos estar en un entorno de entre 10 y 15.000 millones de euros.

Hay que resaltar que las partículas suponen más del 75% del impacto de la contaminación general sobre la salud.

### 9.3. DIÓXIDO DE CARBONO

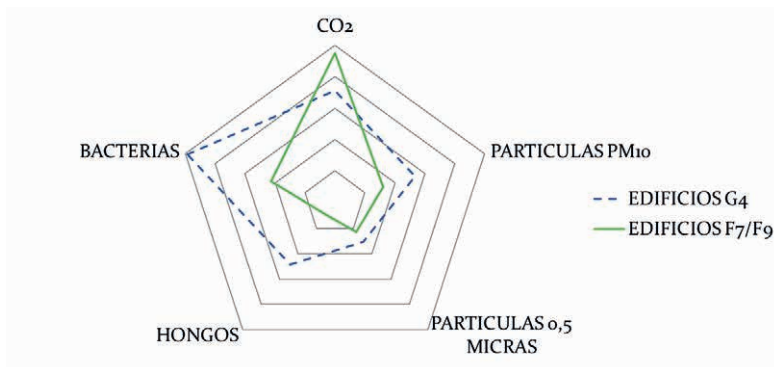
Las personas inhalamos el oxígeno de la atmósfera y exhalamos dióxido de carbono debido a la actividad metabólica. Este fenómeno unido al hecho de que el dióxido de carbono se encuentra en concentraciones muy estables en la atmósfera exterior (alrededor de 350 a 400 ppm) nos permite utilizar este compuesto como un excelente indicador de la calidad de la ventilación de los espacios cerrados.

El dióxido de carbono en sí mismo es totalmente inocuo, de hecho en el aire de exhalación la concentración alcanza los 40.000 ppm, por

eso no tiene mucho sentido utilizar este compuesto como un indicador exclusivo de la calidad del aire.

Un espacio cerrado en el que, mediante otros medios como pueden ser la filtración o purificación del aire recirculado, se mantienen bajo control otros contaminantes más peligrosos como las partículas, los COV o los contaminantes microbianos podría tener mejor calidad que uno con menos dióxido de carbono.

Como ejemplo, un estudio comparativo realizado por Ambisalud en 2014 mostró que la calidad del aire en edificios que cumplen el nuevo RITE de 2013 (EDIFICIOS F7/F9) tenía en promedio menores concentraciones de partículas y microorganismos, aunque los edificios más antiguos (EDIFICIOS G4) que no cumplían los requisitos del nuevo RITE tenían menos concentración de dióxido de carbono. Ver Fig. 9.2.



**Figura 9.2.** Fuente: Estudio comparativo RITE Ambisalud 2014.

#### 9.4. HONGOS AMBIENTALES

La prevención de contaminación microbiológica tiene mucho que ver con la instalación de aire acondicionado, su diseño, mantenimiento y limpieza. El sistema debe ser capaz de controlar la humedad del edificio. El edificio debe estar lo suficientemente bien aislado para prevenir el acceso del agua, vapor e infiltración de aire.

Por otra parte, como parte del mantenimiento es preciso incluir rutinas de inspección de daños por agua en puntos críticos (plenum donde existan unidades tipo fancoil con bandejas de condensados, salas de maquinas que actúan como plenum, etc.).





## Guía de calidad del aire interior

En general, el origen de los hongos es natural, estos se encuentran de forma ubicua en la atmósfera y a través de puertas, ventanas y tomas de aire exterior acceden al interior de los edificios. En el exterior, los hongos se controlan de forma natural y solo crecen en entornos húmedos y sombríos, pero en los edificios gracias a las condensaciones o a los derrames de agua los hongos pueden desarrollarse acabando por formar esporas que pasan al ambiente creando posibles problemas de tipo alérgico, rinitis, o incluso afecciones dérmicas.

La primera barrera para evitar estos fenómenos es disponer de una adecuada filtración del aire, los hongos son partículas que pueden ser retenidas muy eficazmente en los sistemas de filtros de los edificios, siempre y cuando éstos sean de una buena calidad tal como estipulan los reglamentos en vigor. Por otra parte los hongos requieren materia orgánica para satisfacer sus necesidades de nutrientes y agua, por tanto la higiene y el control de la humedad serán también clave para prevenir crecimientos fúngicos en nuestros edificios. Esto es especialmente relevante en el interior de los sistemas de conductos. El RITE por ello obliga a la inspección anual del interior de los mismos con muestreos microbiológicos.

### 9.5. BACTERIAS EN EL AIRE

La principal fuente de contaminación por bacterias en los espacios cerrados son las propias personas. Aproximadamente 1 kilo del peso total de una persona adulta está formado por la microbiota que nos acompaña, por eso nuestra simple presencia a través de la respiración o de la emisión de células de piel, etc., genera fuertes cantidades de bacterias que quedan durante un tiempo en suspensión. Una acumulación excesiva de bacterias es un problema higiénico que puede afectar a la salud de los usuarios, generalmente la ventilación y la correcta filtración, especialmente del aire recirculado, ayudan a mantener concentración de bacterias inocuas.

El empleo de radiación ultravioleta en diversos puntos de la red de tratamiento y distribución de aire puede asimismo ayudar a mejorar los niveles de concentración de este contaminante. La radiación ultravioleta inactiva el ADN nuclear de las bacterias impidiendo su reproducción.

## 9.6. GAS RADÓN

El gas radón, es una característica geológica del suelo donde se implanta el edificio, por tanto en zonas donde el gas radón sea geológicamente prevalente, se deben hacer ensayos de radón. Este tipo de ensayo debe realizarse a largo plazo (habitualmente hasta 3 meses) para obtener la máxima representatividad del resultado.

En otros países los códigos técnicos de la construcción tienen en cuenta la calidad geológica del suelo y en base a ese dato obligan a disponer de medidas preventivas para evitar la contaminación del interior de las viviendas.

Las medidas que se suelen emplear son la disposición de barreras físicas en los elementos constructivos en contacto directo con el suelo (por ejemplo láminas de polietileno) o la colocación de dobles cámaras ventiladas, en este caso se recomienda que la ventilación sea con impulsión y extracción para evitar presiones negativas en las cámaras ya que si así fuera podría incrementarse la entrada del gas desde el subsuelo.

## 9.7. UTILIZACIÓN DE MATERIALES AMIGOS DEL MEDIOAMBIENTE INTERIOR

Muchos materiales de construcción y decoración incorporan en su formulación compuestos derivados del petróleo, éstos en condiciones atmosféricas normales emiten ligeras cantidades de COV tales como el benceno, tolueno, xileno, y muchos otros hasta varios cientos o incluso miles de compuestos diferentes.

Cada vez es más común que se disponga de etiquetas informativas al respecto, por ello la selección correcta de materiales cada vez es más fácil y permite por tanto mejorar la calidad del aire interior atacando directamente a la fuente emisora de los contaminantes.

Algunas típicas recomendaciones relativas al uso de materiales y productos:

- Limitar la utilización de materiales que puedan emitir COV
- Evitar objetos que emitan formaldehído (moquetas, panelados, etc.)







## Guía de calidad del aire interior

- No utilizar material que pueda contener o producir amianto
- Seguir recomendaciones pertinentes cuando se tenga que retirar plomo en alguna rehabilitación
- Almacenar los productos químicos en lugares adecuados
- Cerciorarse que el equipo de oficina utilizado no emite olores o contaminantes.

## 9.8. CONFORT TÉRMICO

La falta de confort térmico es una de las quejas más comunes en los edificios, hasta un 30% del total de las quejas asociadas a aspectos ambientales.

Una de las principales razones es que es imposible asegurar confort para el 100% de los usuarios porque el confort es un aspecto subjetivo que depende de las características físicas de cada persona, pero también de su grado de actividad y el tipo de vestimenta.

Por ello las normativas, asumen que el confort térmico solo se puede valorar en términos de porcentaje de personas satisfechas.

Las normas europeas al respecto asumen, que un edificio es de categoría A (máxima) cuando el porcentaje de satisfechos alcanza el 94%, pero esto indica que puede haber hasta 6 de cada 100 personas que sientan excesivo frío o calor en esas condiciones ambientales.

Algunas recomendaciones que pueden ayudar en este sentido:

- Cumplir con la reglamentación en vigor para el confort térmico, tanto por las necesidades de los usuarios como por el ahorro energético, siempre buscando un punto de equilibrio
- Evaluar la posibilidad de utilizar ventilación por desplazamiento para una mayor flexibilidad, control personal y ahorro energético
- Analizar bien los parámetros de humedad en el entorno como clave en la selección de los materiales de la envolvente y cubierta
- Evaluar el beneficio de especificar ventanas de alto rendimiento (alta estanqueidad y aislamiento)
- Considerar el impacto de las condiciones exteriores.

## 9.9. VENTILACIÓN Y ADECUADA CALIDAD DE AIRE INTERIOR

Introducir aire limpio en cantidad y calidad suficiente es una de las claves para conseguir una buena calidad del aire en el interior de los espacios cerrados. Sin embargo, la calidad del aire exterior (ODA) en nuestras ciudades no siempre cumple los requisitos de calidad necesarios, y no es solo una cuestión de contaminación artificial, el aire exterior está contaminado normalmente con elementos naturales que pueden crear problemas al entrar en los edificios, siempre hay polen, esporas de hongos o bacterias y materia particulada natural de los suelos o sales marinas en zonas costeras.

El RITE por ello contempla la necesidad de conocer la calidad del aire exterior en la zona y disponer de filtros adecuados teniendo también en cuenta el uso previsto del edificio (Calidad del Aire Interior - IDA). Ver Tabla 9.3.

**Tabla 9.3.**

CALIDAD DEL AIRE EXTERIOR	CALIDAD DEL AIRE INTERIOR			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	F5
ODA 2	F7 + F9	F6 + F8	F5 + F7	F5 + F6
ODA 3	F7+GF+F9a	F7+GF+F9a	F5 + F7	F5 + F6

GF = Filtro de gas, (filtro de carbono) o filtro químico o físico-químico (fotocatalítico) y solo serán necesarios en casa de que la ODA 3 se alcance por exceso de gases.

Algunas recomendaciones generales en este sentido:

- Diseño del sistema de acuerdo con la reglamentación local. En España, cumplimiento del RITE de 2013. Llegar al adecuado equilibrio entre aire exterior introducido y la eficiencia energética
- Implementar un programa de gestión durante la construcción que asegure que los principales componentes están protegidos de la contaminación durante la construcción
- Los filtros del aire a instalar deben cumplir como mínimo la reglamentación local. En España RITE 2013
- No instalar los filtros finales (más eficientes) de las UTAS hasta que la construcción haya terminado, para evitar su contaminación.





## Guía de calidad del aire interior

- Hacer un *commissioning* de las instalaciones para validarlas, documentando su rendimiento, previamente a la ocupación inicial del edificio. Mediciones anuales de calidad de aire son recomendables, y en España obligatorias en base a RITE 2013, para asegurarnos de un aire libre de contaminantes y con los caudales de ventilación (CO<sub>2</sub>) necesarios
- Las tomas de aire deben estar alejadas de muelles de carga, garajes, extracciones y otras posibles fuentes de contaminación
- Tener en cuenta si el inmueble está ubicado cerca de autopistas o carreteras con mucho tráfico, estudiar alternativas para reducir el acceso de las emisiones de los vehículos al interior del edificio
- Investigar la posibilidad de utilizar un sistema permanente de monitorización de CO<sub>2</sub> para gestionar adecuadamente la ventilación, evitando situaciones de infra ventilación como sobre ventilación. El impacto económico por el ahorro de energía y la mejora de la calidad del aire con este tipo de soluciones son muy significativos (el ahorro de energía por ventilación puede llegar a ser en casos extremos de hasta el 70%)
- Durante la explotación del inmueble, asegurar el correcto mantenimiento de todas las instalaciones.

### 9.10. OLORES

La presencia de olores desagradables es un factor de disconfort muy importante en los espacios cerrados, las causas más habituales son olores procedentes de los sistemas de saneamiento del edificio o la presencia de restaurantes en el entorno cercano. Estas circunstancias requieren soluciones de tipo arquitectónico o de instalaciones, moviendo la fuente o el punto de captación de aire exterior si es el caso. Sin embargo en ocasiones los olores no tienen un origen muy claro y es preciso realizar investigaciones, un análisis genérico de compuestos volátiles orgánicos, una vez analizada la tipología de los componentes nos puede dar indicaciones, por ejemplo, la fuerte presencia de naftaleno se vio asociada a la descomposición de la capa asfáltica impermeable en un edificio sito en Madrid, siendo finalmente la única solución viable la retirada completa de la cubierta.

Algunas recomendaciones genéricas:

- Minimizar los olores mediante el control de las fuentes y el aislamiento o eliminación de estas

- Asegurarse que el mantenimiento e higiene son los adecuados
- Prohibir fumar en el edificio.

### 9.11. CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS

Los campos electro-magnéticos son generados por fuerzas asociadas con la corriente eléctrica, así como microondas, ondas de radio y transformadores. No existen estándares ni códigos que regulen este tema, sin embargo los ingenieros y facility managers deben tener estos asuntos en cuenta.

Una de las manifestaciones más claras en este aspecto son los casos de Lipoatofia semicircular que se han producido en numerosos edificios españoles en los últimos años.

### 9.12. RECOMENDACIONES GENERALES PARA MEJORAR LA CALIDAD AMBIENTAL EN INTERIORES

- Introducir una buena calidad ambiental de interiores en la fase de diseño, bien ejecutada durante la construcción del edificio y por supuesto mantenida durante la vida del inmueble
- Valorar temas estéticos como la importancia de las vistas y la integración de elementos naturales y otros hechos por el hombre
- Suministrar confort térmico con el mayor grado de control posible por parte de los ocupantes
- Dar las herramientas adecuadas para conseguir los adecuados niveles de ventilación y de filtración para disponer de un aire interior adecuado
- Prever el crecimiento y dispersión de bacterias, hongos, radón así como otros contaminantes en el interior del inmueble, mediante el diseño y adecuada operación del sistema necesario de climatización y que además controle la humedad
- Utilizar materiales de baja o nula emisión de subproductos
- Asegurar los niveles acústicos adecuados mediante la utilización de adsorbentes de sonidos y equipo de aislamiento
- Controlar y eliminar los olores molestos





### Guía de calidad del aire interior

- Crear la adecuada iluminación mediante una cuidadosa integración de luz natural y luz artificial
- Disponer de agua potable de calidad
- Una adecuada calidad ambiental de interiores es frecuentemente más fácil de obtener si nos centramos en eliminar las fuentes de contaminación. Por ejemplo, pinturas o mobiliario que no emita COV (compuestos volátiles orgánicos), accesos que no permitan la entrada de contaminantes del aire exterior
- Cumplir los códigos en vigor como base legislativa y basarse en las mejores prácticas de ASHRAE y REHVA
- Los responsables de la gestión de los inmuebles pueden reducir la posibilidad de problemas de IEQ durante la vida del mismo, manteniendo unas precauciones y observando una serie de directrices, como evitar productos de limpieza que emitan contaminantes, realizar mediciones de Calidad de Aire Interior periódicamente, mantener las instalaciones de acuerdo para lo que fueron diseñadas.

### Decisiones estéticas

- Tener en cuenta la importancia de las ventanas en espacios ocupados (vista y ventilación natural). Aportan confort y productividad laboral. Asegurarse que las ventanas tienen la adecuada protección a la irradiación solar
- Diseñar los espacios de trabajo teniendo en cuenta las necesidades de los ocupantes y sus preferencias.













Fundación de la Energía de  
la Comunidad de Madrid  
[www.fenercom.com](http://www.fenercom.com)

**KNAUF**



**Comunidad  
de Madrid**