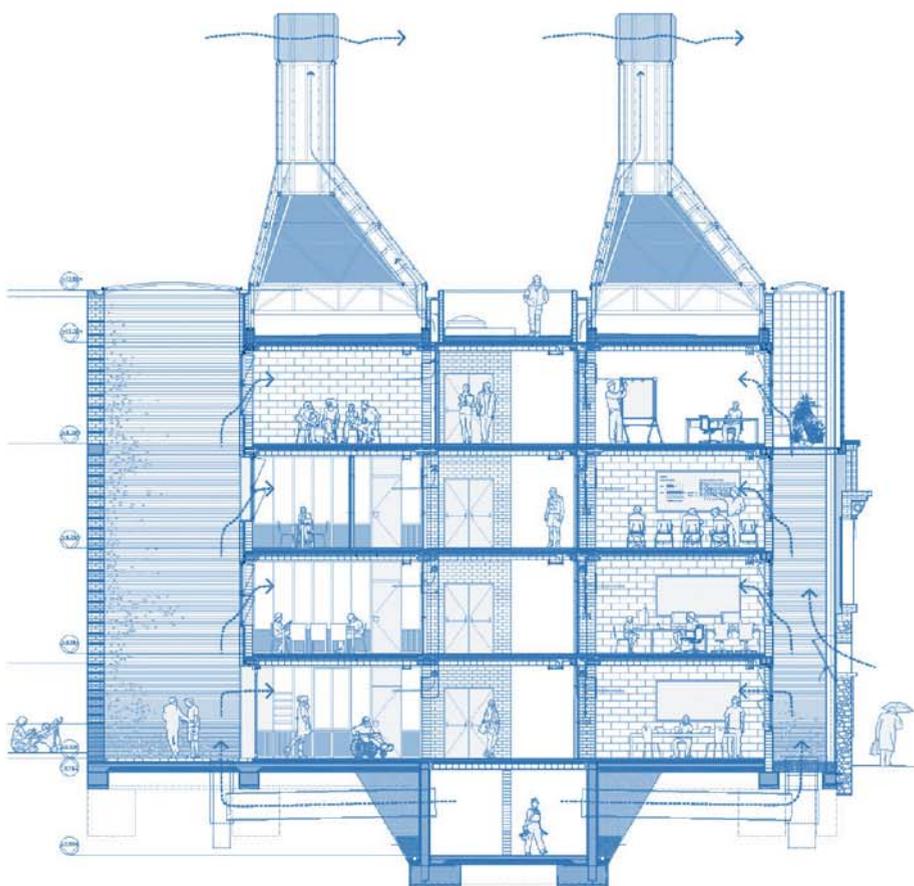


CALIDAD DEL AIRE, VENTILACIÓN Y ENERGÍA

La ventilación natural como
reto fundamental de la arquitectura

TOMO I



MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

CALIDAD DEL AIRE, VENTILACIÓN Y ENERGÍA

La ventilación natural como
reto fundamental de la arquitectura

TOMO I

CALIDAD DEL AIRE, VENTILACIÓN Y ENERGÍA

La ventilación natural como
reto fundamental de la arquitectura

TOMO I

 <p>GOBIERNO DE ESPAÑA</p>	<p>MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA</p>	<p>SECRETARÍA GENERAL DE AGENDA URBANA, VIVIENDA Y ARQUITECTURA</p> <p>DIRECCIÓN GENERAL DE AGENDA URBANA Y ARQUITECTURA</p>
---	---	--



ASOCIACIÓN
SOSTENIBILIDAD
Y ARQUITECTURA

RU Books

CALIDAD DEL AIRE, VENTILACIÓN Y ENERGÍA (TOMO I)

La ventilación natural como reto fundamental de la arquitectura

Edición:

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma)
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Coordinación:

Mariana Palumbo. Dra. Arquitecta

Autores:

Mariana Palumbo. Dra. Arquitecta	GICITED, UPC Barcelona Tech
Alfonso Godoy. Arquitecto	arqbag
Victor Moreno. Ingeniero de la edificación	Isolana Energética
Ana M. Lacasta. Dra. en Física	GICITED, UPC Barcelona Tech
Inmaculada Rodríguez. Dra. en Física	GICITED, UPC Barcelona Tech
Alberto Acín. Ingeniero Mecánico	Ingeenius

Portada:

Recolectores Urbanos. Imagen de portada "Sección Centro cívico Cristalerías Planell 1015. HArquitectes"

Diseño colección:

Recolectores Urbanos

Maquetación e Impresión:

Recolectores Urbanos - Ulzama

Los derechos sobre las imágenes publicadas son propiedad de sus respectivos autores.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento mecánico, incluyendo fotocopia o cualquier otro sistema de recuperación, salvo en los supuestos permitidos por la Ley.

© de esta edición: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

© de los textos: sus autores

© de los proyectos: sus autores

© de las imágenes: sus autores

Se han hecho todas las gestiones posibles para identificar a los propietarios de los derechos de autor de los textos y las imágenes. Cualquier error u omisión accidental, que tendrá que ser notificado por escrito al editor, será corregido en ediciones posteriores.

NIPO Papel: 796-23-023-2

NIPO Línea: 796-23-024-8

Depósito legal: M-9200-2023

ÍNDICE GENERAL

10	Prólogo
	Iñaqui Carnicero Alonso-Colmenares Secretario General de Agenda Urbana, Vivienda y Arquitectura Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
12	Ventilar es respirar
	Miguel Ángel Díaz Camacho Miembro del Comité Científico de ASA
15	Introducción
17	Resumen
	1. CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y SALUBRIDAD
23	1.1. Fundamentos
23	1.2. Definición de calidad del aire interior
25	1.3. Principales contaminantes y límites admisibles
30	1.4. Control de la Calidad del aire
32	1.5. Estrategias de control de calidad del aire
	2. DILUCIÓN DE CONTAMINANTES
37	2.1. Dilución y eficiencia energética
39	2.2. Principios y estrategias de ventilación
	3. SISTEMAS DE VENTILACIÓN
47	3.1. Ventilación natural
50	3.2. Ventilación mecánica
51	3.3. Ventilación híbrida
52	3.4. Sistemas de ventilación más habituales
54	3.5. Repercusión del usuario
56	3.6. Repercusión de las infiltraciones
	4. ESTRATEGIAS DE VENTILACIÓN NATURAL Y MÉTODOS DE CÁLCULO
61	4.1. Características específicas de la ventilación natural
64	4.2. Fuerzas naturales de la ventilación natural
83	4.3. Herramientas de cálculo de la Ventilación Natural

	5. CÁLCULO DE LA VENTILACIÓN NATURAL MEDIANTE MODELOS EMPÍRICOS
90	5.1. Ejemplo de aplicación de la guía “AM10 Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings”
90	5.2. Cálculo de la ventilación natural en espacios aislados
94	5.3. Cálculo de la ventilación natural en espacios simples
105	6. CONCLUSIONES
	ANEXOS
	Anexo A. Ejemplo de cálculo punto 5
111	AA.1. Cálculo de la ventilación natural en espacios aislados (5.2)
115	AA.2. Cálculo de la ventilación natural en espacios simples (5.3)
125	DEFINICIONES
131	BIBLIOGRAFÍA

Prólogo

La importancia de la calidad del aire que nos rodea, así como, su incidencia en nuestro día a día son cuestiones comúnmente aceptadas desde hace tiempo, sin embargo, la pandemia del Covid-19 y la crisis sanitaria mundial derivada de la misma han situado estas materias de salud básica en un primer plano de interés. La situación sanitaria vivida, también sirvió para recordarnos la importancia de disponer de una adecuada ventilación en los edificios, como instrumento imprescindible para la prevención y control de enfermedades, así como, para la protección de la salud pública.

Por otro lado, no podemos olvidar que, en este momento, la descarbonización de la economía es uno de los vectores fundamentales en el diseño de las políticas públicas. Los objetivos de descarbonización ya estaban en primera línea de la agenda política, como objetivos ineludibles en relación con la lucha contra el cambio climático, pero la crisis energética derivada de la guerra en Ucrania y su incidencia en el mercado de gas natural y por extensión en el conjunto del mercado energético han puesto aún más de manifiesto la necesidad de reducir nuestro consumo energético en general, y en particular, por supuesto, nuestro consumo de energías de origen fósil. La dependencia energética en la edificación se ha convertido, este último año, en tema de debate público y cada uno de nosotros nos hemos visto obligados a replantear nuestras costumbres, incluso en la esfera privada de nuestros propios hogares. Respecto a este objetivo de mejora de la eficiencia energética en la edificación, el sector de la ventilación no puede quedar al margen. Una buena estrategia de ventilación de un edificio puede ayudar a que el entorno exterior y el clima se conviertan en aliados para mejorar, no solo la calidad del aire interior, sino la eficiencia energética de los edificios.

El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, como administración encargada de la elaboración de la normativa técnica de la edificación, es consciente de la importancia de la ventilación, y así, el Código Técnico de la Edificación desarrolla la exigencia básica de calidad de aire interior en el Documento Básico de Salubridad. Esta exigencia es imprescindible para alcanzar los requisitos básicos de higiene y salud enunciados en la legislación estatal sobre edificación desde la Ley de Ordenación de la Edificación de 1999. Son estos requisitos, tan irrenunciables, que la Ley 9/2022, de 14 de junio, de Calidad de la Arquitectura ha establecido que la higiene, la salubridad y el confort son principios que definen la calidad de la arquitectura.

En una época en pleno cambio y transformación, como es la actual, se debe aprovechar tanto la capacidad que tienen los nuevos sistemas y tecnologías para mejorar esta calidad del aire como el conocimiento profesional de los sistemas pasivos que tradicionalmente han servido para conseguir renovar el aire en el interior de los edificios. Por ello, el Ministerio apoya las iniciativas que, partiendo

de los diferentes agentes que participan en el proceso constructivo, trabajan para enriquecer la calidad de las edificaciones y el conocimiento del sector. Trabajos como el que presenta en esta ocasión la Asociación Sostenibilidad y Arquitectura, donde se analizan y valoran los sistemas de ventilación y se ilustran con ejemplos notables de buenas prácticas, son necesarios y valiosos y dotan a los profesionales de un mayor abanico de herramientas para enfrentarse a la gestión del aire de las edificaciones.

Iñaqü Carnicero Alonso-Colmenares
Secretario General de Agenda Urbana, Vivienda y Arquitectura
Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

Ventilar es respirar

El proyecto de arquitectura constituye el primero y más importante de los sistemas pasivos. Las estrategias de diseño suponen un instrumento necesario para trabajar desde planteamientos bioclimáticos hacia edificios de consumo de energía casi nulo y más allá, hacia arquitecturas de energía positiva. En el umbral del horizonte 2020, nos encontramos en un momento decisivo e inaplazable a la hora de recuperar aquellos valores esenciales para la arquitectura, sumida demasiado tiempo en una crisis de identidad y de valores a nivel global. La disciplina arquitectónica -tal vez durante demasiado tiempo- ha permanecido distante, ensimismada, desligada en ocasiones de valores sociales, económicos o medioambientales, un modelo polarizado entre la banalidad cultural y el virtuosismo de autor que ha deslegitimado en ocasiones la verdadera vocación de servicio de la arquitectura frente a la sociedad.

En esta época de cambio, de transformación de los intereses colectivos y de los retos globales, las exigencias ambientales deben integrarse con naturalidad en la gramática proyectual de arquitectos y urbanistas. No será fácil, pues la lógica de los mercados abraza con mayor entusiasmo al diseñador de producto -en singular- frente al facilitador de sistemas integrados, orgánicos o metabólicos. Sin duda, trabajar en la reconsideración de esta tendencia constituye una de las misiones fundacionales de ASA. Por suerte el cambio se produce en muchas direcciones, numerosos frentes obligan a la transformación del sector: marco político; marco legal y normativo europeo y nacional; marco económico; tercera -dicen que cuarta- revolución industrial; marco tecnológico; usuarios informados y comprometidos, incluidos los jóvenes y los propios alumnos de arquitectura. A esta nueva disciplina, que produce edificios y ciudades sensibles con el Medio Ambiente, sistemas compatibles con una sociedad más justa y en armonía con la naturaleza de la que es parte indisoluble, tal vez no se vuelva a denominar arquitectura o urbanismo.

¿Entornos pasivos? Veremos.

La ventilación natural constituye un instrumento determinante en todo ello. En la gestión del aire interior de la edificación influyen las condiciones indisolubles de contorno, el paisaje urbano, la calidad del aire exterior o la presencia de arbolado, agua y vegetación que atempera el ambiente extrínseco a los edificios: el diseño y gestión del espacio público, en ocasiones su rehabilitación ambiental, serán claves para el establecimiento de la ventilación natural en arquitectura: la ciudad como hábitat. A partir de aquí, bien como estrategia combinada (mecánica – natural) o principal basada exclusivamente en la ventilación natural, la arquitectura presenta numerosos instrumentos para la mejora de las condiciones de habitabilidad desde la gestión del aire interior y su intercambio o renovación: la forma y posición del proyecto arquitectónico, los huecos y su plan de porosidades, los umbrales, los altos lucernarios, las galerías profundas, los patios frescos, las dobles envolventes, los

conductos enterrados, las chimeneas solares, los invernaderos o los aljibes... todo un repertorio de soluciones técnicas y culturales, globales y atemporales surgidas en torno a nuestra respiración: ventilar es respirar.

Desde estas líneas, la Asociación Sostenibilidad y Arquitectura agradece a la Dirección General de Agenda Urbana y Arquitectura del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) el encargo de esta guía técnica en torno a la ventilación natural como herramienta básica de ventilación. Del mismo modo, ASA agradece a sus socios Alfonso Godoy, Mariana Palumbo, Victor Moreno, Ana M. Lacasta, Inmaculada Rodríguez y Alberto Acín, ganadores del concurso convocado por ASA y autores de la presente guía bajo la dirección de Teresa Batllé y Juan Carlos Carmona, así como a los miembros de la actual Junta Directiva y Comité Científico de ASA. A todos, gracias.

Miguel Ángel Díaz Camacho
Miembro del Comité Científico de ASA

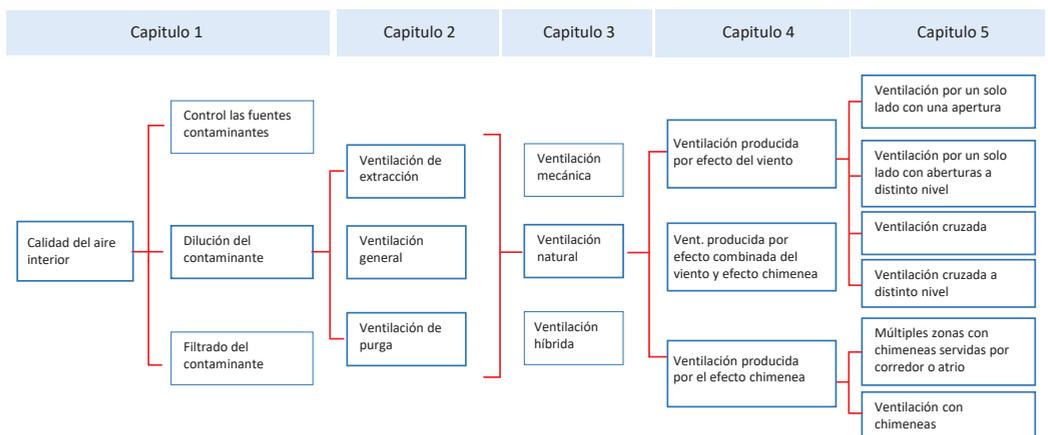


Figura 1: Esquema de la organización del trabajo

Introducción

Los nuevos estándares de edificación cada vez tienen objetivos de eficiencia energética más ambiciosos. Para ello, la estrategia de mejorar la estanqueidad de la envolvente de los edificios para reducir las pérdidas térmicas incontroladas debido a las infiltraciones ha demostrado dar resultados satisfactorios. Sin embargo, puede producir merma de la calidad del aire interior si no va acompañada de medidas preventivas.

La Directiva EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) estipula que se debe reducir de manera drástica el consumo energético de las edificaciones sin por ello poner en riesgo la calidad del aire interior, pero no revela ninguna clave de cómo hacerlo.

La trasposición de esta directiva a las normativas nacionales ha generado numerosas propuestas para lograr el equilibrio entre estos dos requerimientos encontrados. Algunas normativas europeas se mantienen neutrales respecto al sistema de ventilación que puede dar respuesta a este problema, mientras que otras, entre ellas la española, se decantan por unos sistemas determinados.

En general, la tendencia es confiar cada vez más en sistemas mecanizados que permiten el control de los caudales de ventilación. Estos sistemas, si bien alcanzan una alta eficiencia, presentan también algunos inconvenientes: como son: el ruido, el coste y la necesidad de mantenimiento. Además, hay una falta de costumbre en el uso de estos equipos por parte de los usuarios, lo que lleva a disfunciones que generan malestar e incomodidad. Los sistemas de ventilación natural continúan siendo los más extendidos, sobre todo en climas cálidos. Estos, a priori, son más difíciles de controlar, sin embargo, algunas experiencias han demostrado que con un diseño adecuado pueden responder a las exigencias actuales sin generar problemas de mal funcionamiento, como por ejemplo el incremento del consumo energético por sobre-ventilación.

El presente documento aborda la relación entre ventilación, salubridad y eficiencia energética, en el marco de la vivienda, analizando cuáles son las cuestiones a tener en cuenta a la hora de elegir una estrategia de ventilación y cuáles son las potencialidades y limitaciones de distintos sistemas de ventilación, prestando una especial atención a la ventilación natural. Para ello, se ha estructurado el documento siguiendo el esquema que se detalla en la Figura 1.

Resumen

El presente documento se divide en 5 capítulos. Estos capítulos tienen carácter bibliográfico y recogen: (1) la problemática de la calidad del aire, (2) la estrategia de dilución de los contaminantes para mantener la calidad del aire, (3) los sistemas de ventilación como mecanismos de dilución, (4) estrategias para mantener una adecuada calidad del aire con ventilación natural y (5) cálculo de ventilación natural mediante modelos empíricos. El documento tiene también un capítulo (6) donde se recogen las principales conclusiones, un anexo (A) donde se desarrollan los cálculos del capítulo 5 y un anexo (D) con definiciones.

En el primer capítulo, **Calidad del aire interior y salubridad**, se recogen fundamentos básicos, la definición de calidad del aire interior, los principales contaminantes y sus límites admisibles. Además, se introduce el concepto de Control de la Calidad del aire y sus estrategias

En el segundo capítulo, **Dilución de contaminantes**, se profundiza en los mecanismos para conseguir una correcta dilución de los contaminantes, así como en sus ventajas y desventajas. Se introduce la problemática entre ventilación y eficiencia energética. También se aportan diferentes puntos a seguir para el correcto diseño del sistema de ventilación, y se definen las tres estrategias principales de ventilación.

Los **Sistemas de ventilación** son abordados en el capítulo 3. Existen diferentes sistemas de ventilación, pudiéndose diferenciar por el origen de su fuerza motriz (natural o mecánica) y por su sistema de control.

En el capítulo 4, **Estrategias de ventilación natural y métodos de cálculo**, se profundiza en la ventilación natural como sistema de ventilación principal. Las principales ventajas, desventajas y limitaciones de la ventilación natural son abordadas en este punto. Algunas herramientas de cálculo son introducidas en este capítulo. Existe en la actualidad una amplia variedad de herramientas, desde sencillas hojas de cálculo hasta complejos programas de simulación de fenómenos físicos.

En el capítulo 5, **Cálculo de laventilación natural mediante modelos empíricos**, se realizan una serie de cálculos con la herramienta AM10 CalcToolv5, derivada de las reglas básicas presentes en el manual de CIBSE AM10. Se realizan cálculos de ejemplos de espacios aislados con ventilación a un solo lado y cruzada, así como de espacios simples con ventilación por efecto chimenea (efecto Stack).

El capítulo 6 recoge las principales conclusiones del presente documento, el cual se complementa con un Anexo con ejemplos de cálculo según lo visto en el capítulo 5 y con una sección de definiciones.

De manera global, el informe que se presenta pone de manifiesto las siguientes cuestiones:

- **No existe un consenso claro sobre qué contaminantes tener en cuenta para el control de una correcta CAI (Calidad de Aire Interior) en edificios residenciales.** Existe una preocupación creciente sobre la CAI. Distintos organismos internacionales presentan anualmente informes sobre los tipos de contaminantes que pueden estar presentes en el interior de los edificios y sus efectos sobre la salud. Sin embargo, en particular el caso de edificios residenciales no existe todavía un consenso claro de cuáles son los contaminantes más relevantes a tener en cuenta. En este sentido, existen tres aproximaciones distintas: (1) utilizar el CO₂ como indicador, (2) utilizar indicadores basados en la percepción del usuario y (3) controlar la fuente, por ejemplo, mediante el etiquetado de los materiales de construcción, la mejora de los equipos de combustión, etc.
- **El control de contaminantes puede realizarse a partir de una estrategia combinada de distintos tipos de ventilación.** Para controlar la calidad del aire interior se pueden utilizar de manera combinada la ventilación de extracción local, la ventilación general y la ventilación de purga. Estos sistemas pueden trabajar de manera unificada o independiente y pueden funcionar tanto de manera mecánica como natural.
- **La estrategia de ventilación natural es capaz de cubrir las ratios de ventilación para mantener una adecuada CAI.** La ventilación natural es una estrategia eficaz, económica y duradera, para asegurar una dilución suficiente de los contaminantes que puedan estar presentes en el aire interior y mantener una adecuada CAI.
- **La comprobación de la eficacia del diseño de sistemas de ventilación natural requiere la utilización de herramientas especializadas.** Estas herramientas permiten la justificación del cumplimiento de los valores de CAI establecidos en el marco normativo. Si bien es cierto que la implementación de las estrategias de ventilación natural requiere de un conocimiento detallado del entorno físico del edificio y de su comportamiento global, el desarrollo de la ciencia de la física de los edificios y de las herramientas de modelización numérica permiten realizar predicciones fiables de cuál será el funcionamiento de los sistemas de ventilación natural propuestos durante la fase de diseño. Estos modelos son suficientemente capaces como para permitir la justificación del cumplimiento de las normativas de carácter prestacional. Iniciativas como la implantación de límites flexibles de concentración de CO₂ que se propone en el DB HS3 son importantes avances en este sentido.
- **Es necesario contar con datos climáticos fiables a escala localizada para alcanzar una mejor predicción del rendimiento de estos sistemas y su control inteligente.** Actualmente, la mayor incertidumbre en la modelización de los sistemas de ventilación natural viene generada por la imprecisión de los datos

de partida, ya que no existe información suficiente sobre la velocidad y dirección del viento a escala local, de barrio o de manzana. Se recomienda, por tanto, la implementación de sistemas de recogida y organización de datos climáticos locales que permitan la creación de mapas de viento, ruido y contaminación. Esto permitiría no solo una mayor optimización en la fase de diseño, sino también un mejor control durante la fase de uso, mediante la incorporación de sistemas de control automáticos capaces de adaptarse a los cambios en las condiciones climáticas en tiempo real.

- **Es necesario ofrecer una guía de soluciones, tanto de diseño como de control de los sistemas de ventilación natural.** El uso de las herramientas de modelización podría complementarse con una guía de buenas prácticas en la que se pudieran ofrecer valores de referencia y sugerencias de soluciones constructivas que han demostrado ser eficaces en determinadas situaciones. Estas indicaciones podrían estar especificadas en función de la zona climática, el tipo de edificio, el régimen de viento del lugar, etc. La realización de esta guía podría dar continuidad y complementar el trabajo aquí presentado.



CALIDAD DEL
AIRE INTERIOR Y SALUBRIDAD

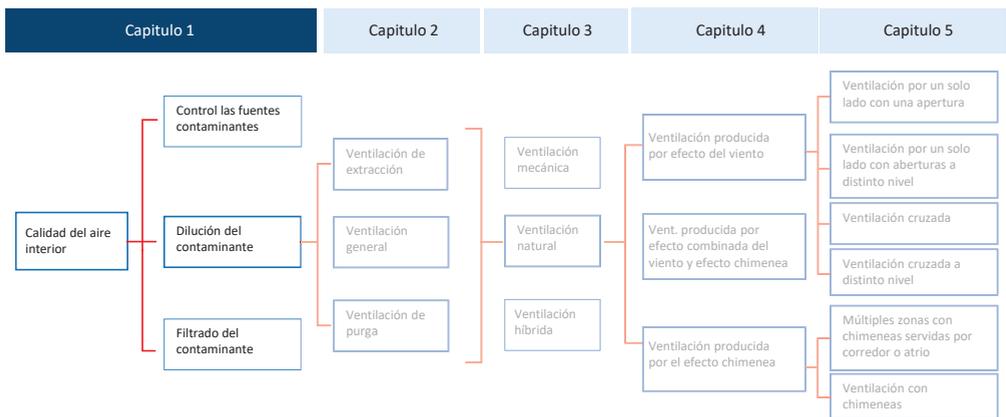


Figura 2: Esquema del capítulo 1

1. CALIDAD DEL AIRE INTERIOR Y SALUBRIDAD

1.1. Fundamentos

El aire está compuesto de oxígeno (21%) y nitrógeno (78%) y otros gases menos comunes, de los cuales el argón es el más abundante (0.93%). **Algunos de los gases que componen el aire pueden ser dañinos para los seres humanos, animales y plantas si se encuentran en el aire en concentraciones mayores a las normales.** Estos gases se denominan *contaminantes del aire*, e incluyen el O₃, el SO₂, el NO₂, el CO y una amplia gama de COVs (Componentes Orgánicos Volátiles).

Además de los gases, el aire contiene una gran variedad de partículas, sólidas y líquidas, cuyo tamaño varía desde unos cuantos nanómetros hasta 0.5 milímetros. Las partículas pequeñas (<2.5µm) permanecen en el aire por periodos largos y forman un aerosol moderadamente estable. Las partículas más grandes se eliminan más rápidamente debido a que su peso hace que se sedimenten más fácilmente. Estas partículas también pueden considerarse contaminantes del aire.

El estudio de la calidad del aire se centra, pues, en aquellos gases y partículas que han sido identificados como elementos que representan una amenaza para la salud humana [1]. La amenaza relativa para la salud que representan depende de su **concentración**, persistencia en el tiempo, así como de su combinación.

Mezclados con otras sustancias, los contaminantes pueden formar mezclas nocivas. Se entiende como *mezcla nociva* a un conjunto de contaminantes que, o bien está producido por una misma fuente de emisión (por ejemplo, los productos de la combustión de gasolina, o el humo del tabaco), o bien tiene efecto sobre un mismo órgano humano (por ejemplo, varios contaminantes que afecten al sistema respiratorio). Como veremos más adelante, **la presencia de mezclas nocivas es uno de los problemas en la detección y control de la calidad del aire en viviendas.**

1.2. Definición de calidad del aire interior

La calidad del aire interior (CAI o IAQ en sus siglas en inglés) se refiere a las características del aire del interior de los edificios que afectan a la salud de sus ocupantes. **Se determina por la concentración de determinados contaminantes en el aire que se ha demostrado que tienen un efecto negativo sobre la salud humana.** El origen de estos contaminantes puede ser exterior (por ejemplo, la combustión de los motores de los vehículos) o interior, pudiendo estar ligado o no a las actividades derivadas de la ocupación del edificio. Los contaminantes producidos por fuentes exteriores se introducen al edificio a través de la entrada de aire o de las partes de la envolvente en contacto con el terreno (es el caso de la contaminación por radón). Las fuentes interiores pueden ser los materiales de

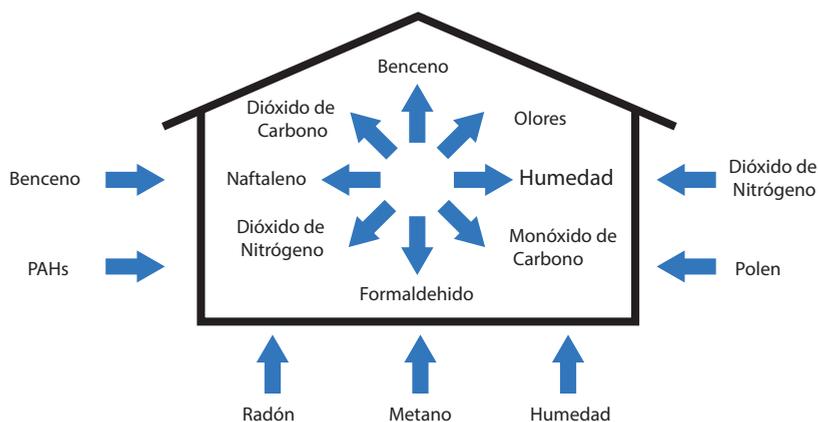


Figura 3. Contaminantes presentes en la edificación

construcción, en particular acabados y mobiliario; los equipos o instalaciones, como cocinas, aparatos de calefacción, fotocopiadoras, etc.; u otros productos como, por ejemplo, insecticidas o productos de limpieza [3]. El metabolismo de los ocupantes es otra fuente de contaminación interior importante. Genera principalmente vapor de agua, CO₂ y olores [4]. Es posible distinguir entre las fuentes de contaminantes interiores constantes (acabados, mobiliario) y las fuentes interiores intermitentes (equipos, personas) que sólo existen cuando el edificio está ocupado.

El mantenimiento de una correcta calidad del aire es importante no solo porque contribuye a unas condiciones de confort adecuadas en el edificio, sino también por su incidencia sobre la salud y la productividad de las personas que lo ocupan. Según la OMS [5], 99.000 de las muertes producidas en Europa durante el 2012 estuvieron relacionadas con la contaminación del aire interior. En efecto, estamos expuestos al aire interior entre el 60 y el 90% de nuestro tiempo y la contaminación del mismo puede llegar a ser entre 2 y 5 veces mayor a la del aire exterior [6]. Por ello, es necesario poder identificar los contaminantes, conocer cuáles son los límites de concentración admisibles y cuáles las ratios de ventilación necesarias para mantener la concentración de contaminantes bajo estos límites.

Existen varias dificultades a la hora de abordar la CAI. La primera es la inexistencia, hoy en día, de una lista completa de contaminantes relevantes [7]. Las guías que la OMS publica desde 1987 sobre calidad del aire interior incluyen aquellos contaminantes para los que se ha demostrado un daño directo sobre la salud humana y se recomiendan límites de exposición seguros. Además, se listan otros productos para los cuales existe sospecha, pero no evidencia suficiente sobre su efecto nocivo para la salud. Con todo, la lista no es exhaustiva y aún existen muchos contaminantes para los que se desconoce su efecto sobre la salud [8], [2], [9].

La segunda es la dificultad en el control de los contaminantes. Cuando se realizan actividades no industriales, se pueden encontrar cientos de sustancias químicas, pero a muy bajas concentraciones, a menudo mil veces menores que los límites de exposición recomendados. Aunque se lograra evaluar la concentración de cada

sustancia por separado, esto no sería suficiente para determinar la CAI, ya que por un lado proporcionaría resultados distorsionados (una CAI mayor a la real) y por el otro obviaría el efecto de las mezclas nocivas sobre la salud.

Por ello, muchos autores consideran que los sistemas utilizados tradicionalmente para la higiene industrial son insuficientes para definir el grado de calidad del aire en viviendas. **Una alternativa al análisis químico es utilizar a las personas como “equipos de medición” para cuantificar la contaminación del aire.**

El ser humano percibe el aire mediante dos sentidos: el del olfato, que es sensible a centenares de miles de sustancias odoríferas, y el sentido químico, que es sensible a un número similar de sustancias irritantes presentes en el aire. La respuesta conjunta de estos dos sentidos es la que determina cómo será percibido un aire y la que permite emitir un juicio sobre su aceptabilidad. A partir de este supuesto Fanger, en 1998, definió las bases para una mejor comprensión de muchos de los problemas de CAI e introdujo dos unidades nuevas, **el olf y el decipol**, útiles para cuantificar las fuentes contaminantes y los niveles de contaminación tal como los percibe el ser humano [10].

En edificios bien ventilados con fuentes de contaminación bajas (edificios sanos) la contaminación percibida del aire está por debajo de 1 decipol lo que implica un máximo del 15% de insatisfechos. Los espacios con poca renovación o con fuentes contaminantes de importancia, pueden llegar a una contaminación de 10 decipoles, lo que corresponde a un 60% de insatisfechos.

Existen dos limitaciones importantes de este sistema: por un lado, la evaluación de la ventilación necesaria es difícil de determinar; por el otro, no permite conocer qué tipos de contaminantes están presentes en el aire y, por tanto, no puede evaluarse el riesgo que representan sobre la salud humana.

1.3. Principales contaminantes y límites admisibles

Los contaminantes presentes en viviendas pueden dividirse en tres grandes grupos: (1) contaminantes químicos; (2) humedad y bio-contaminantes; y (3) olores

1.3.1 Contaminantes químicos

El mayor riesgo de los contaminantes químicos es que conforman una mezcla de sustancias a la que estamos expuestos a diario, no sólo en el interior de los edificios, sino también en el aire exterior, el agua, los alimentos, los productos de consumo, etc. y de la cual resulta bastante complejo conocer su composición, la dosis de exposición diaria o su interacción con el cuerpo humano y el medio ambiente. Por ello, resulta difícil valorar los riesgos para la salud (medición, nivel de tolerancia, tiempo de exposición, efectos...) en el ambiente interior, siendo muy importante la labor preventiva. En ambientes interiores los contaminantes químicos son resultado de la combustión (calderas, cocinas, braseros, etc ...), de los materiales de construcción y mobiliario y de la propia actividad humana (productos de limpieza y aseo personal) [11].

En la siguiente tabla se muestran algunos de los contaminantes químicos más comunes en viviendas, sus fuentes principales y los límites de exposición recomendados por la OMS.

CONTAMINANTES QUÍMICOS			
Contaminantes	Fuentes		Exposición
	Exteriores	Interiores	
Benceno	Vehículos; gasolineras; industria del carbón, gas natural y acero; industria química	Garajes adyacentes (v); tabaco (v); fotocopiadoras e impresoras (o); calefacciones o cocinas de combustibles fósiles, solventes; vinilos; PVC; suelos de goma; alfombras de nylon; tableros de madera; fibra de vidrio; adhesivos; pinturas	Inhalación No existe limitación, evitar exposición
Monóxido de carbono		Garajes adyacentes; tabaco; equipos de combustión en mal estado; calefacciones o cocinas de combustibles fósiles	7mg/m ³ - 24 h; 100 mg/ m ³ -15 min; 35 mg/ m ³ - 1h; 10 mg/ m ³ - 8h
Formaldehido		Productos de madera, aislantes, textiles, pinturas, papeles, colas; barnices; lacas; detergentes; desinfectantes; suavizantes; limpiadores de moqueta; productos per a zapatos; jabones líquidos; esmaltes de uñas; ordenadores; fotocopiadoras; insecticidas	Inhalación en interiores (98%); vía oral a través de alimentos; absorción cutánea 0.1 mg/m ³ - 30 min
Naftaleno		Boles de naftalina (h); queroseno; tabaco; solventes; lubricantes; herbicidas; combustibles per a encender el carbón; aerosoles para el pelo; materiales de caucho	Inhalación y absorción cutánea 0.01 mg/m ³ - 1 año
Dióxido de nitrógeno	Vehículos	Tabaco; combustión de madera; equipos de combustión en mal estado	Inhalación 0.2 mg/m ³ - 1h; 0.04 mg/m ³ - 1 año (exp. continua)
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs)	Vehículos; plantas de energía; incineradoras; quema de biomasa	Tabaco; combustión de combustibles fósiles; madera; incienso; velas y creosota (protección madera); alimentos (azúcar, cereales, aceites, grasas, frutos secos, agua)	Inhalación No existe limitación, evitar exposición
Radón	Terreno	Agua obtenida de manantiales o pozos. Materiales de construcción. (morteros y hormigones realizados con cementos de escorias radioactivas. Hormigones ligeros provenientes de esquistos aluminosos y pizarras arcillosas. Algunos tipos de ladrillos, clinker y cerámicas de pasta roja. Algún tipo de pizarra arcillosa. Algunas baldosas antiguas con el color característico en rojo cuyo colorante era el Uranio.)	Vía respiratoria; ingesta de agua contaminada OMS <100 Bq/m ³ - (exp. Continua) D. 2013/59/ EURATOM <300 Bq/m ³ CTE DB HS6 <300 Bq/m ³
Dióxido de carbono	Vehículos	Metabolismo humano; combustión no controlada	Inhalación (asfioxiante) 5.000 ppm - 8h; 15.000 ppm -15m

Dentro de los contaminantes químicos, los COV, sustancias químicas orgánicas cuya base es el carbono, son de especial relevancia, ya que entre 50 y 300 COV pueden estar presentes en ambientes interiores no industriales, siendo responsables en gran medida de los olores/malos olores percibidos por los ocupantes y de la sensación de disconfort.

1.3.2 Humedad y biocontaminantes

La humedad es el principal problema de contaminación del aire interior en viviendas. Se trata de un contaminante físico que, junto con la temperatura, determina las

condiciones de confort de los ambientes interiores [12]. Exposiciones prolongadas a ambientes con bajos porcentajes de humedad pueden generar problemas de piel seca, picor en los ojos e irritación de las vías respiratorias y mucosas. Por otro lado, **ambientes con altas concentraciones de humedad pueden ser dañinos para la salud, no por la humedad en sí misma, sino porque ésta es un factor determinante en el desarrollo y proliferación de microorganismos, además de potenciar el inicio de procesos químicos o de degradación biológica de los materiales, lo que también es un foco de contaminación.**

Para el control de la humedad y prevención de la condensación es necesario asegurar una ventilación adecuada. El hacinamiento y la falta de aportación de aire fresco son factores que favorecen la transmisión de agentes infecciosos [13]. También el tipo de sistema de ventilación o climatización juega un papel preponderante en el riesgo de proliferación microbiológica, en su dispersión en el ambiente y en su transmisión a las personas expuestas [14]

En viviendas con baja calidad constructiva, normalmente encontraremos altas tasas de infiltraciones y, por lo tanto, un mayor intercambio de aire con el exterior. Esto se traduce en una menor acumulación de vapor de agua. Sin embargo, estas viviendas tienden a perder más calor por su envolvente, lo que se traduce generalmente en una disminución de la temperatura del aire interior, sobre todo durante la noche. Al descender la temperatura, la capacidad del aire de contener vapor de agua disminuye, aumentando, por tanto, su humedad relativa y el riesgo de que se produzcan condensaciones tanto de manera superficial como intersticial. Este problema se incrementa con la existencia de puentes térmicos.

En viviendas con una buena calidad constructiva la tasa de infiltración tiende a ser mucho menor, por lo que la renovación de aire debe hacerse de manera voluntaria y controlada. En estos casos el problema de humedad se ve paliado por la capacidad de los espacios de mantener unas temperaturas del aire relativamente altas. Esto, junto con la ausencia de puentes térmicos, disminuye las posibilidades de que se produzcan condensaciones.

Las fuentes de humedad en viviendas están vinculadas a la actividad del usuario: respiración, cocción y ducha. En baños y cocinas (zonas húmedas) se generan grandes cantidades de vapor de agua que se puede dispersar por el resto de la vivienda, trasladando el problema a otras partes de la misma. Para mitigar este problema se suelen considerar las zonas húmedas como zonas especiales en las que se produce un ciclo regular de emisión y absorción.

La Figura 4 ilustra un ejemplo del efecto que puede tener una ducha en un baño relativamente cerrado sobre la humedad relativa de una vivienda.

Este fenómeno convierte a la humedad en el principal foco de contaminación en viviendas. El Building Research Technical Report 7/2005 [22] estudia la probabilidad de existencia de problemas relacionados con el crecimiento de moho en viviendas con varios ocupantes y baja tasa de infiltración.

HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA DE DISTRIBUCIÓN DURANTE LA DUCHA

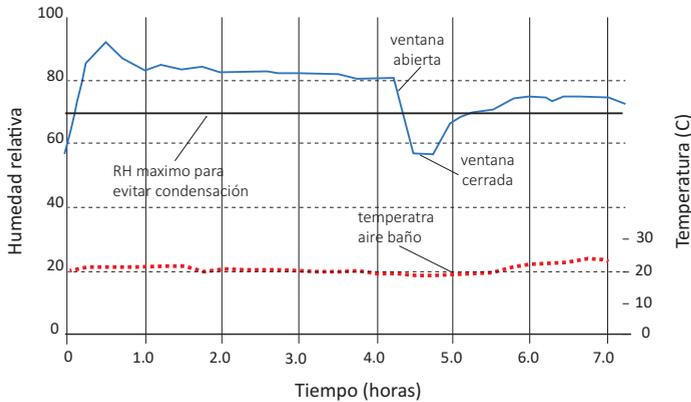


Figura 4. Evolución de la humedad relativa y temperatura durante una ducha y horas posteriores. Gráfico adaptado de Veetech Ltd.

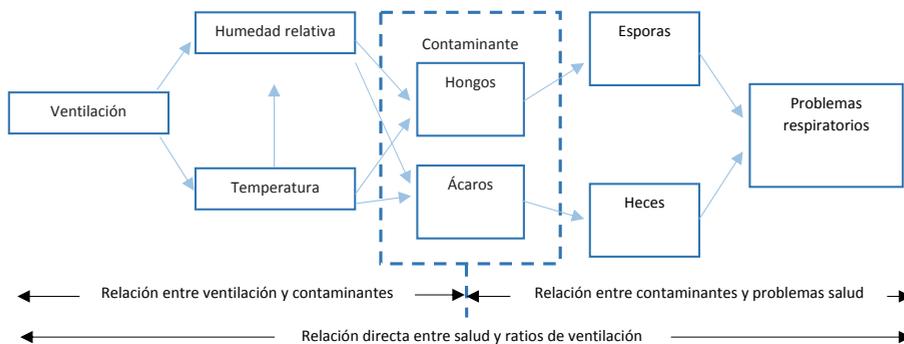


Figura 5. Esquema de relación de la ventilación, la concentración de hongos y ácaros y los problemas respiratorios. Figura adaptada [15].

En la literatura existente que aborda la relación entre ventilación, calidad del aire y salud, existe un consenso generalizado de que la ventilación tiene una influencia directa en la concentración de alérgenos peligrosos para la salud respiratoria como los ácaros. (Figura 5). También existen una gran cantidad de trabajos que relacionan estos alérgenos con los problemas de salud.

Además, en este estudio se analizan datos recogidos en viviendas de Reino Unido y se relacionan aspectos como el comportamiento energético de las viviendas a partir del “SAP rating” (Sistema de certificación en Reino Unido) y el tipo de ventilación, con la presencia de moho.

En la Figura 6 se puede apreciar como la presencia de moho se reduce considerablemente a medida que la calidad de la vivienda aumenta (SAP=100 es la mejora calificación). Entre otros aspectos, esta calificación considera las infiltraciones, siendo menores para un mejor SAP.

Otro aspecto analizado es la relación entre el crecimiento de moho y la ventilación en las viviendas monitorizadas. Para ello se distingue entre viviendas con una ventilación “correcta” y viviendas con una ventilación “incorrecta”. Los resultados muestran que las viviendas con una ventilación insuficiente tienen un 20% más de crecimiento de moho. (Figura 7).

Está ampliamente aceptado que existe una relación entre aspectos constructivos y de ventilación con la presencia de moho en las viviendas, así como el efecto de estos últimos sobre la salud. Sin embargo, no existen estudios suficientemente extensos que muestren cual es la relación directa entre la ventilación y la salud de sus ocupantes, lo que hace difícil establecer límites mínimos de ventilación.

Por lo tanto, la presencia y proliferación de agentes patógenos en el medio ambiente es atribuible, en la mayoría de los casos, al exceso de humedad y la falta de ventilación,

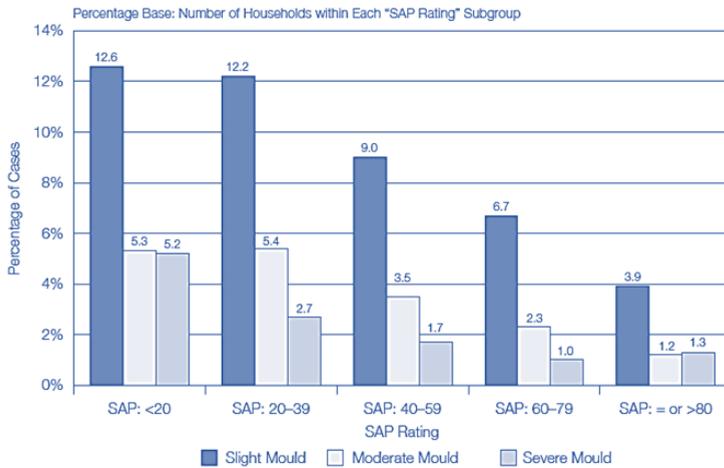


Figura 6. Relación entre el nivel SAP y la presencia de moho en las viviendas monitorizadas

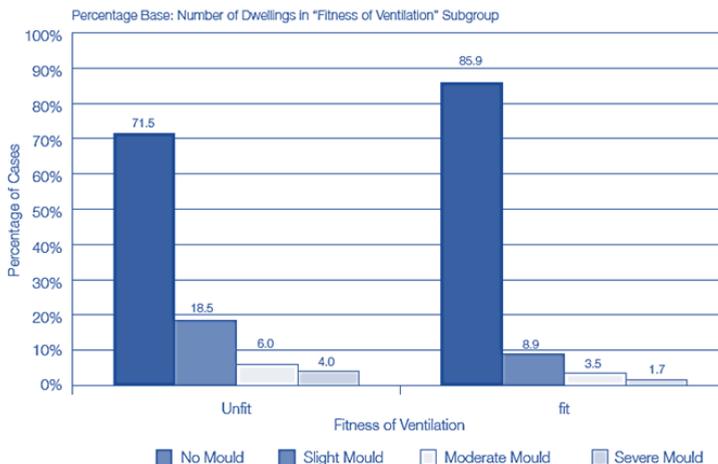


Figura 7. Relación entre la ventilación y la presencia de moho en las viviendas monitorizadas

por lo que el control de estos parámetros es prioritario, no siendo recomendable la monitorización de agentes específicos como bacterias, virus y parásitos, salvo que se presente una patología concreta en los usuarios y sea necesaria su investigación y control [16].

Según las premisas anteriores, la OMS [17] recomienda la vigilancia de los siguientes parámetros y agentes, con objeto de abordar medidas eficaces para el control de los riesgos para la salud causadas por agentes biológicos:

- Humedad y ventilación
- Alérgenos: Ácaros de polvo doméstico, alérgenos de animales domésticos y hongos y levaduras.

1.3.3 Olores

Los olores no son considerados como un tipo de contaminante en sí mismo, sin embargo, en los ambientes interiores una de las primeras sensaciones percibidas por los usuarios u ocupantes es el olor. El olor se define como la sensación resultante de la recepción de un estímulo por el sistema sensorial olfativo. Se trata de una cuestión subjetiva ya que, aunque se debe a las sustancias químicas disueltas en el aire, varios factores psicológicos pueden modificar su percepción. Por este motivo, aunque se podría encuadrar dentro de los contaminantes químicos, requiere una mención diferenciada.

En un edificio, el aire contiene cientos de compuestos químicos a concentraciones muy bajas, por lo que resulta imposible abordar la identificación y control de todas ellas. Además, cuando ocurre un problema de aire cargado, irritante, molesto o de mal olor, no existe en general un único responsable, sino que se trata de un efecto combinado, por lo que se tiende a considerar a los olores en un interior como una clase única de contaminante.

En el caso concreto de los olores, los efectos adversos incluyen efectos somáticos difícilmente justificables por las concentraciones presentes en el aire. Entre los posibles se hallan náuseas, vómitos, dolor de cabeza, algunas reacciones aparentemente neurotóxicas, tales como comportamiento evasivo, pérdidas de memoria o problemas de concentración, interacciones con otros sistemas sensoriales o biológicos que provocan reacciones de hipersensibilidad y cambios en las pautas de respiración y estrés, especialmente frente a olores repetitivos o no identificados. Algunos de estos efectos dependen de la dosis y pueden aumentar con el tiempo.

De manera general el problema de los “malos olores” es un factor que afecta al confort de los usuarios, por lo que su abordaje se considera una medida prioritaria. Las unidades utilizadas de manera habitual para cuantificación y control de los olores son los olfs y los decipoles, cuyas ventajas y limitaciones se analizan en el capítulo 1.2.

En cuanto a las fuentes, la mayoría de los olores se generan en el interior del edificio, siendo la causa principal los propios ocupantes y las actividades que desarrollan. Se sabe que algunos olores son provocados por agentes químicos específicos, como el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el disulfuro de carbono (CS_2) y los mercaptanos. Se ha

comprobado que entre el 40% y el 100% de los compuestos presentes en un ambiente interior tienen olor [18].

1.4. Control de la Calidad del aire

Tal y como se ha comentado a lo largo de este capítulo, existe una gran variedad de contaminantes que pueden estar presentes en el aire interior y también una gran diversidad de fuentes que pueden originarlos. Esto dificulta el control de la calidad del aire y la implementación de medidas correctivas adecuadas.

Por ello, una vez conocidas cuáles son las sustancias que pueden suponer un mayor riesgo para la salud y sus posibles fuentes, es necesario determinar aquéllas que pueden estar presentes en un determinado espacio, así como su ratio de producción. Esto dependerá de diversos factores, como pueden ser la naturaleza de los materiales presentes en acabados y mobiliario o el perfil de uso. Estas sustancias pueden utilizarse como indicadoras de la calidad del aire, lo que evita el control del resto de contaminantes que puedan estar presentes en el aire interior.

Los contaminantes de mayor importancia variarán en función del tipo de construcción (por ejemplo: vivienda, oficina, fábrica), los usos (proceso industrial, tienda, cocina comercial), e incluso entre habitaciones dentro de un edificio (cocina, ducha, estar, sala de conferencias, sala de fotocopiadoras).

Los contaminantes comunes en una vivienda son (1) la humedad, (2) los productos de la combustión de algunos electrodomésticos (por ejemplo, cocinas de gas, aceite o combustible sólido), (3) las emisiones químicas de los productos de construcción y de consumo y (4) productos procedentes del metabolismo humano.

En un edificio de oficinas, el olor corporal (productos procedentes del metabolismo humano) es a menudo el contaminante clave, pero hay una serie de otras fuentes contaminantes, incluyendo el edificio en sí, muebles, impresoras y fotocopiadoras.

Otro aspecto a tener en cuenta es la capacidad de percibir el contaminante por parte de los usuarios. Un ejemplo claro es el olor, el cual es percibido por el usuario. Eso hace que en espacios donde el usuario tenga el control de la ventilación, éste pueda decidir aumentar los ratios de ventilación si siente malestar. En viviendas ésta es la manera más común de control del olor. Algo muy distinto ocurre con la humedad del aire, sobre todo en viviendas: sólo será percibida si se alcanzan valores muy extremos, siendo imperceptible en un amplio rango de humedad relativa. Esto puede ser especialmente problemático durante la noche, especialmente si la ventilación no se controla y se apaga la calefacción. Durante este periodo puede producirse un aumento importante de la humedad relativa del aire interior, sin que el usuario se dé cuenta.

Para tener un control de los contaminantes cuya principal fuente es la ocupación, la norma EN 15251 prevé el uso del CO₂ y la humedad como indicadores de la calidad del aire, previendo la inclusión de otros contaminantes (formaldehidos, VOCs, bioefluentes y partículas) sólo en caso de la aparición de malestar o de síntomas [19].

El uso de estos indicadores (CO_2 y humedad relativa) es conveniente porque ambos son relativamente sencillos de monitorizar y por el hecho de que, en ambos casos, las principales fuentes de emisión están relacionadas con la ocupación (cocción de alimentos, duchas, calefacción y el propio metabolismo de los ocupantes). Sin embargo, estos indicadores pueden no ser siempre reflejo de la calidad del aire, y aún menos cuando se considera uno solo de ellos.

La emisión de dióxido de carbono en la respiración humana está ligada a la de otros productos procedentes del metabolismo humano (agua, aerosoles biológicos, partículas, alcoholes, aldehídos, etc.) llamados bioefluentes y responsables de la carga de olor por ocupación humana de un local. Por ello, el nivel de concentración de dióxido de carbono en un ambiente interior puede tomarse, si no hay otras fuentes contaminantes, como indicador de la carga de olor existente debida a sus ocupantes.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), de aplicación en edificios terciarios, indica como valores límite de concentración de CO_2 entre 350 ppm (IDA 1: Hospitales, guarderías, ...) y 800 ppm (IDA 3: Publica concurrencia, hoteles, ...).

En viviendas, a diferencia de las oficinas, el CO_2 puede no ser un buen indicador, debido a la presencia de diversas fuentes que lo generan (calderas, cocinas de gas, etc.), y no solo el metabolismo humano [15]. Además, en determinados casos, otros contaminantes derivados de fuentes como los materiales de construcción, mobiliario, productos de limpieza o incluso fuentes exteriores pueden alcanzar concentraciones elevadas sin que por ello la concentración de CO_2 o la humedad se vean incrementadas. Por último, en viviendas pueden darse casos donde el CO_2 no sea el contaminante dominante, como por ejemplo cuando una persona toma una ducha, pasando en ese momento a ser la humedad el contaminante dominante.

El código técnico de la edificación, en su Documento Básico HS3, determina una concentración media máxima por local en viviendas de 900 ppm y un acumulado anual de CO_2 que exceda 1.600 ppm mejor de 500.000 ppm h.

1.5. Estrategias de control de calidad del aire

En los últimos años el esfuerzo en la mejora de la eficiencia energética de los edificios ha incrementado el riesgo de padecer problemas de baja calidad del aire interior. Una buena estanqueidad al paso del aire es clave para conseguir un edificio energéticamente eficiente, sin embargo, también elimina la renovación de aire debido a las infiltraciones y, con ello, la dilución de posibles contaminantes. En estos edificios, los diseñadores y técnicos deben prever otras estrategias que permitan una dilución suficiente de los contaminantes. Éstas pueden ser:

1. Actuar sobre las fuentes de emisión con el fin de reducir la generación de contaminantes
Si se puede identificar el foco de la contaminación, éste debe eliminarse. Si ello no es posible, se procurará sustituir el producto por otro que contamine menos. Esto significa evitar el uso de materiales que puedan liberar sustancias contaminantes,

que sean difíciles de mantener o que recojan polvo o moho. Para ello, se vienen desarrollando diversos sistemas de etiquetado de los materiales de construcción que, en algunos países como Francia, son obligatorios. Además de las fuentes interiores, la calidad del aire interior puede verse afectada por la contaminación del aire exterior. En este caso, será necesario depurar el aire previamente a su impulsión al interior.

2. Limpiar el aire de contaminantes

Se pueden realizar algunas operaciones concretas para eliminar el contaminante o reducir su concentración. Dentro de estas operaciones estaría el filtrado del aire o en casos excepcionales, el neutralizar con amoníaco la presencia de formaldehído en el ambiente...

3. Diluir o disipar los contaminantes a través de una correcta ventilación

Disminuir la concentración de los contaminantes presentes mediante su dilución en un volumen de aire considerablemente mayor es el método más habitual de control de la CAI, y la base de algunas normas sobre CAI como la ASHRAE 62. Sin embargo, ante la necesidad de mejorar la eficiencia energética de los edificios, es necesario encontrar un equilibrio entre la reducción de los niveles de ventilación orientada a la reducción de las pérdidas energéticas del edificio y el aumento de los niveles de ventilación para asegurar la dilución de los contaminantes producidos en el interior de las viviendas y mantener una CAI adecuada.

2

DILUCIÓN DE CONTAMINANTES

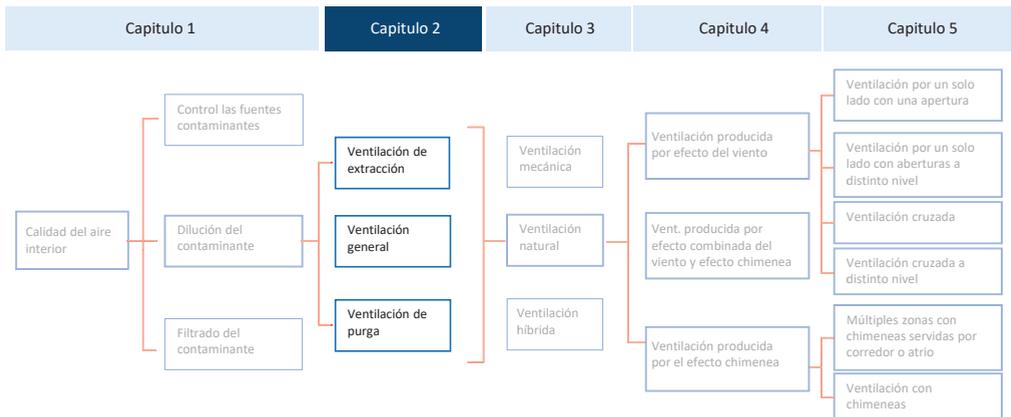


Figura 8: Esquema del capítulo 2

2. DILUCIÓN DE CONTAMINANTES

Como se trató en el capítulo anterior existen tres estrategias principales para asegurar el mantenimiento de una correcta calidad del aire: (1) actuar sobre las fuentes con el fin de reducir la generación de contaminantes, (2) limpiar el aire de éstos mediante filtros, y (3) diluir o disipar los contaminantes a través de una correcta ventilación.

La estrategia más extendida en entornos domésticos es la dilución. Para ello se usa básicamente el aire exterior. En los siguientes puntos se estudiarán algunos aspectos a tener en cuenta a la hora de definir los mecanismos que permitan la dilución de los contaminantes en entornos domésticos.

2.1. Dilución y eficiencia energética

Para controlar la calidad del aire interior mediante la dilución de contaminantes se introduce aire exterior a través de la ventilación. La ventilación, si está bien diseñada, puede cumplir funciones como:

- Dilución y eliminación de los contaminantes del aire, incluyendo los olores
- Control del exceso de humedad
- Provisión de aire para los equipos de combustión
- Disipar cargas durante la época cálida
- Refrescar la masa de los edificios durante la noche en verano

Se estima que en los países de la OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development en sus siglas en inglés), un alto porcentaje del consumo de los

edificios residenciales está asociados a la ventilación [20]. Esta energía se consume en la alimentación de los sistemas de ventilación mecánicos y en el tratamiento del aire de renovación. En viviendas, donde los caudales de ventilación son relativamente bajos, el consumo energético principal se invierte en calentar el aire que se introduce del exterior. Es posible reducir este consumo de manera significativa, sin embargo, hay que asegurarse de que este ahorro no sea en detrimento de la satisfacción de la necesidad de ventilación para asegurar una correcta calidad del aire. **Existe, pues, un equilibrio entre la necesidad de ventilar para mantener una correcta CAI y la necesidad de reducir la ventilación para controlar el consumo energético (Figura 9).**

Es decir, tan importante es asegurar una calidad aceptable del aire a partir de un flujo suficiente como evitar un flujo demasiado alto que genere pérdidas innecesarias de energía. La Directiva Europea de Eficiencia Energética en los Edificios solo aborda este problema de manera general, indicando que la reducción de la demanda energética *“debería tener en cuenta las condiciones ambientales interiores generales, para evitar posibles efectos negativos como una ventilación inadecuada”* (traducido del inglés de EPBD, 2010/31/EU [21]).

Las trasposiciones que cada país miembro ha hecho de esta directiva han generado, tal y como se muestra en el capítulo 4 del presente trabajo, un panorama heterogéneo en lo que respecta a cuáles son los requerimientos mínimos que aseguran una correcta ventilación. Respecto a esto, en España, el actual borrador del DBHE, considera por primera vez, el consumo de ventilación como parte del consumo energético de la vivienda. Define el consumo energético de la siguiente manera.

“Consumo (energético): energía que es necesario suministrar a los sistemas (existentes o supuestos) para atender los servicios de calefacción, refrigeración, ventilación, ACS, control de la humedad y, en edificios de uso distinto al residencial privado, de iluminación, del edificio, teniendo en cuenta la eficiencia de los sistemas empleados. Se expresa con unidades $kW \cdot h/m^2 \cdot año$, considerada la superficie útil del edificio o parte del edificio”.

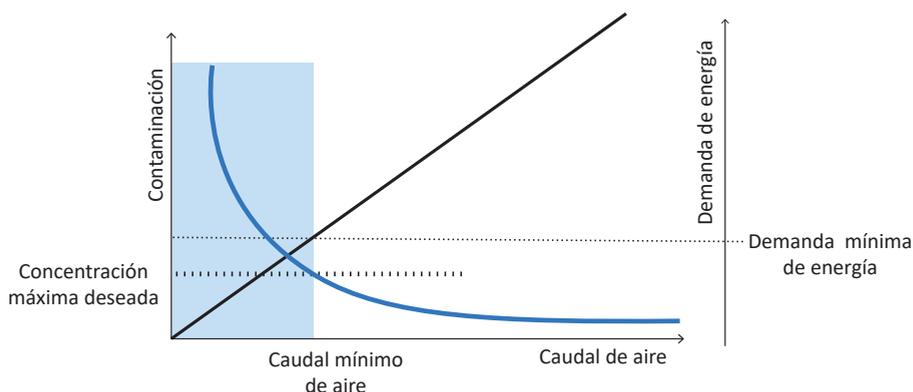


Figura 9. Relación entre la evolución del nivel de contaminantes y la demanda energética

La optimización de los sistemas de ventilación es esencial para conseguir combinar una demanda energética baja con una calidad del aire aceptable. Existe una amplia variedad de sistemas que pueden usarse para proveer ventilación en viviendas. Cada sistema tiene sus ventajas y desventajas. La aplicación de un sistema y otro dependerá de ciertas variables locales como el clima o la normativa [22][23] [24] [25].

Como se comentó en el capítulo anterior, el principal problema de la calidad del aire en viviendas lo encontramos en la humedad. Por lo tanto, independientemente del sistema de ventilación que se use, el **objetivo de la ventilación en viviendas es que, bajo condiciones normales, sea capaz de limitar la acumulación de humedad en el interior de las viviendas.**

2.2. Principios y estrategias de ventilación

2.2.1. Principios de ventilación

El diseño de un sistema de ventilación para el control de riesgos para la salud se basa en los siguientes principios generales [26]:

1. **Calcular el caudal de aire necesario** para conseguir una dilución suficiente del contaminante y mantener su concentración por debajo de un valor aceptable. El cálculo se basará en el tipo de contaminante, su nivel de generación y sus características físico-químicas.
2. **Ubicar las salidas de aire** de estancia cerca de los focos de contaminación, consiguiendo así un cierto efecto “extracción localizada” de ese foco, además de evitar que el agente se disperse totalmente dentro de la estancia. Se denomina ventilación de extracción localizada. En cuanto a las entradas, se procurará que arrastren el aire limpio a las zonas más contaminadas, creando un cierto efecto “ventilación por desplazamiento”.
3. **Considerar el recorrido previsible del aire**, de modo que, idealmente, la secuencia sea: (1) entrada, (2) zonas menos contaminadas, (3) zonas contaminadas, (4) salida. Pese que modelizar el movimiento de aire en una estancia no es en absoluto fácil, se debe estudiar la posible existencia de zonas muertas, corrientes en la estancia debido a puertas, ventanas, y movimientos naturales del aire como, por ejemplo, la tendencia ascensional del aire caliente.
4. **Prever la reposición del aire extraído**, contemplando todas las fuentes que constituyen una demanda de aire (como los sistemas de extracción localizada). Aquí pueden darse dos situaciones diferentes:

- Local a depresión o a presión negativa (con respecto a la atmosférica): se extrae más aire que el que entra. Esta situación puede ser conveniente cuando, además de la dilución de la contaminación del local, se pretende que esa contaminación no pase a otras áreas (por ejemplo, laboratorios, naves junto a oficinas, etc.). Sin

embargo, si no están previstos puntos de suministro de aire o el local es muy hermético, esto irá en perjuicio de la eficacia del sistema de ventilación, dado que, como no se puede hacer el vacío, el caudal de extracción se reduce.

- Local a sobrepresión o a presión positiva (con respecto a la atmosférica): entra en el local más aire del que se extrae. El aire sobrante se difundirá por las aberturas o resquicios que encuentre. Esta situación es la que se encuentra a menudo en algunos edificios, como por ejemplo los de oficinas, en los que además de ventilar se prepara el aire que se suministrará a los locales. En este caso no interesa la entrada incontrolada de aire del exterior sin tratar y a condiciones térmicas diferentes de las deseadas.

5. **Evitar que el aire extraído vuelva a introducirse** descargándolo a una altura suficiente por encima de la cubierta o asegurándose de que ninguna ventana, toma de aire exterior u otra abertura se encuentre situada cerca del punto de descarga.

2.2.2. Estrategias de ventilación

En España, como estrategia general el DB HS3 propone que las zonas húmedas se encuentren en depresión para evitar que la humedad en el aire se disipe por el resto de la casa. Esta es una estrategia generalizada a nivel internacional [27][28][29][30][31][32].

Aparte de la estrategia de extracción para zonas húmedas, debería existir una ventilación general para el resto de la vivienda. En el caso del DB HS3, la propuesta es que esa ventilación siempre se haga desde unas entradas de admisión situadas en los locales habitables hacia las zonas húmedas que se encuentran en depresión. Otra opción necesaria es tener la posibilidad de hacer una ventilación de “emergencia” ante situaciones **puntuales** como alta concentraciones de ocupación, comida quemada en la cocina, obras interiores, etc. Esto puede estar cubierto por huecos de ventana y se denomina **ventilación de purga**.

Considerando los puntos anteriores podríamos diferenciar tres estrategias de ventilación:

Ventilación de extracción localizada: pretende eliminar el contaminante interceptándolo lo más cerca posible de la fuente para evitar la contaminación del resto de espacios.

Ventilación general: Su utilización implica la aceptación de que el contaminante se distribuya en cierta medida por todo el espacio y pueda por tanto afectar a zonas u ocupantes que estén lejos de la fuente de contaminación. Permite eliminar aquellos contaminantes que la extracción localizada no llegó a eliminar, así como contaminantes que se originan en fuentes distribuidas.

- Ventilación por dilución o mezcla. Tiene por objeto mezclar al máximo el aire que se introduce mecánicamente con todo el aire ya existente, de modo que la concentración de un determinado contaminante sea lo más uniforme posible en todo el espacio.

- Ventilación por desplazamiento. debería ser, en teoría, la inyección de aire en un recinto de manera que el aire fresco desplace el aire anteriormente existente sin mezclarse con él. La ventilación por desplazamiento se consigue inyectando aire fresco lentamente y cerca del suelo y realizando la extracción de aire cerca del techo. El uso de este tipo de ventilación para controlar el ambiente térmico tiene la ventaja de que aprovecha el movimiento natural del aire generado por variaciones de densidad provocadas, a su vez, por diferencias de temperatura.

Ventilación de purga: El objetivo de la ventilación de purga es eliminar altas concentraciones de contaminantes y vapor de agua producto de actividades ocasionales como pintar, decorar o bricolaje. Esta ventilación también es necesaria previa primera ocupación de la vivienda o tras largos periodos de desocupación.

2.3. Ventilación continua-discontinua

Es posible ventilar los espacios de manera intermitente. Esto se puede realizar cuando (1) los contaminantes se produzcan solo cuando hay actividad, (2) cuando se dispone de un volumen de aire tal, que permita el retraso del uso del sistema de ventilación respecto al comienzo de la ocupación para conseguir ahorrar energía. El último caso permitiría no ventilar en los momentos en los que el aire exterior está más contaminado [6], o cuando la temperatura exterior sea más baja.

Cuando realizamos ventilación discontinua, durante el periodo de no ventilación, se utiliza el volumen de aire del propio espacio para diluir las sustancias contaminantes hasta alcanzar el nivel máximo permitido. **Utilizar la ventilación discontinua tiene mayores posibilidades cuanto mayor sea el volumen del espacio.** Para poder utilizar ventilación discontinua hay que comprobar que una vez se active la ventilación, esta será capaz de reducir la concentración de contaminantes en el interior de la estancia incluso sin reducir las fuentes interiores de producción de contaminantes.

Es necesario remarcar que según la norma UNE 13779 [33], que se aplica al diseño y ejecución de los sistemas de ventilación y de acondicionamiento de aire para edificios de uso no residencial con ocupación humana, excluyéndose las aplicaciones relacionadas con los procesos industriales, se permite el uso de la estrategia de ventilación intermitente en los casos donde se cumplan los siguientes requisitos:

- El espacio tiene alternancias de periodos de ocupación y desocupación.
- La producción de sustancias contaminantes está asociada únicamente a la actividad de los ocupantes.
- Las sustancias contaminantes son disipadas por ventilación natural durante los periodos de desocupación.

Por tanto, aunque esta norma no afecta a la ventilación natural puesto que se refiere a sistemas de acondicionamiento climático mecánicos (*HVAC-Heat, Ventilation and*

Air Conditioning) sí que es interesante remarcar que es esencial que la producción de sustancias contaminantes sólo sea debida a la presencia de personas en el recinto. En estos casos, el CO₂ resulta un buen indicador de la IAQ, ya que su producción puede calcularse de manera sencilla a partir del número de las personas que van a estar en la estancia.

Para utilizar la ventilación natural intermitente con otros contaminantes presentes se recomienda instalar medidores específicos de contaminantes, siempre y cuando la normativa permita recurrir a esta práctica. Si no se ventila una estancia donde existen fuentes de contaminación, la concentración de los contaminantes aumentará dependiendo del tiempo [6].

3

SISTEMAS DE VENTILACIÓN

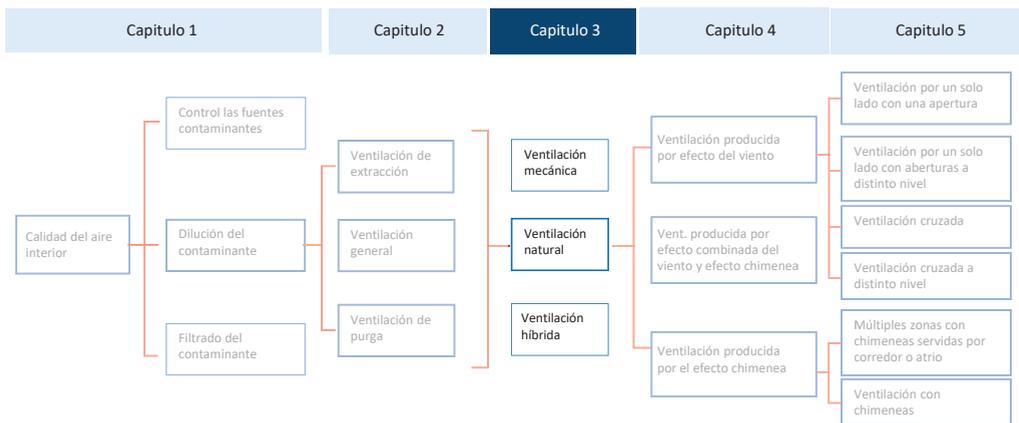


Figura 10: Esquema del capítulo 3

3. SISTEMAS DE VENTILACIÓN

Podemos agrupar los sistemas de ventilación en 3 grandes grupos dependiendo del origen de la fuerza convectiva: (1) ventilación natural, (2) ventilación mecánica y (3) ventilación híbrida.

Cada una de estos sistemas de ventilación permite variar los caudales de aire exterior a introducir. En los apartados siguientes se describe cada uno de ellos y se comentan sus ventajas e inconvenientes.

3.1. Ventilación natural

La ventilación natural se basa en dos fuerzas motrices: (1) el viento y (2) la diferencia de temperatura. Ambas fuerzas son variables en tiempo y espacio, lo que dificulta el control de las ratios de ventilación.

Al colisionar contra un edificio, el viento provoca una diferencia de presión (entre el interior y el exterior) positiva en algunas zonas del edificio y una diferencia de presión negativa en otras. El aire que circule a través del edificio lo hará desde las

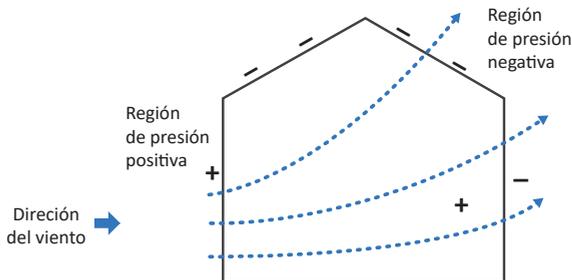


Figura 11. Esquema del flujo de aire a través del edificio debido al viento [20].

zonas de presión positiva hacia las áreas en presión negativa. (Figura 11)
El flujo de aire impulsado por el efecto tiro o chimenea (efecto Stack) utiliza la diferencia de temperatura entre el aire interior y el aire exterior. Típicamente el aire fluiría por el edificio desde zonas con presión negativa respecto a la presión exterior a zonas de presión positiva respecto a la presión exterior. (Figura 12) En algún momento, dentro del edificio, se alcanzará el nivel de presión neutra, cuya posición dependerá de la resistencia al flujo y la diferencia de temperatura.

Ambas fuerzas motrices pueden actuar conjuntamente, incrementando o

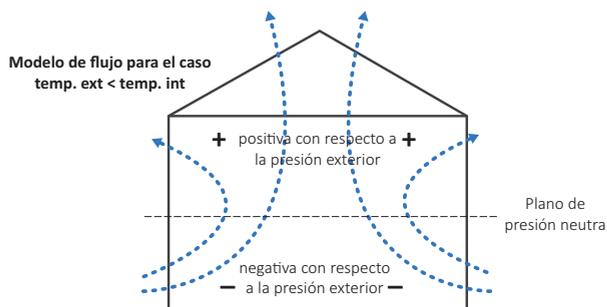


Figura 12. Esquema del flujo de aire a través del edificio debido al efecto tiro o efecto Stack [20]

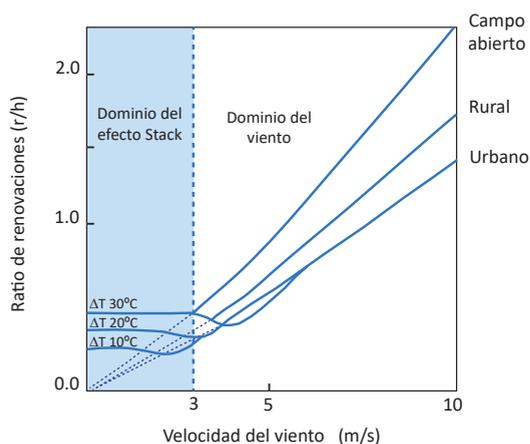


Figura 13. Dominio relativo entre el viento y el efecto chimenea (efecto Stack) en la ventilación en función de la velocidad del aire [20].

reduciendo los ratios de ventilación. El viento puede proporcionar fuerzas motrices relativamente altas en comparación con el efecto chimenea (efecto Stack). La Figura 13 muestra cómo, a partir de velocidades de viento superiores a 3 m/s, éste pasa a ser el motor dominante de los sistemas de ventilación natural [20].

Según la fuerza motriz utilizada y el tipo de control que se tenga sobre la ventilación, existen tres maneras principales de utilizar la ventilación natural: (1) ventilación general controlada, (2) ventilación de extracción por efecto chimenea o efecto Stack y (3) ventilación natural básica (no controlada).

3.1.1. Ventilación natural básica (no controlada)

Se trata de la manera más básica de utilizar la ventilación natural. En este caso, el motor convectivo principal es la diferencia de presión sobre diferentes fachadas, resultado de la acción del viento. **Se basa aprovechar las infiltraciones a través de fisuras y juntas de la envolvente del edificio para proporcionar ventilación.** También se usan ventanas practicables para ofrecer mayores ratios de ventilación cuando sea necesario.

Esto supone una solución simple, económica y de bajo coste para proporcionar

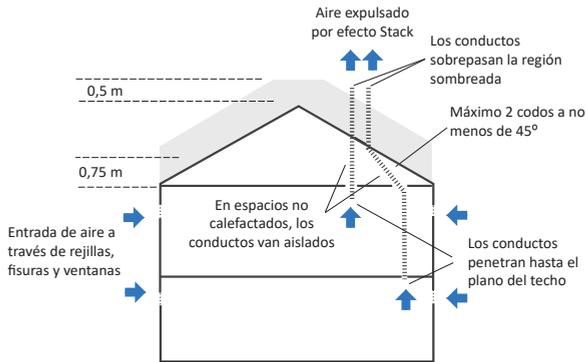


Figura 14. Configuración típica de un sistema de ventilación pasiva por efecto Stack [20].

la ventilación, pero ofrece un control deficiente [34] [35]. El exceso de ventilación a menudo se produce durante la temporada de invierno cuando los vientos y las diferencias de temperatura son altos, lo cual provoca un aumento del consumo de energía de calefacción y del malestar debido a corrientes de aire frío. Este tipo de sistema se utiliza muy poco para satisfacer las necesidades mínimas de ventilación en viviendas nuevas, pero un número significativo de viviendas existentes todavía dependen de ella.

3.1.2. Ventilación general controlada

Se trata de una evolución del punto anterior, donde se controlan los puntos de entrada del aire. **Este tipo de ventilación requiere de un diseño hermético de la envolvente que permita controlar la entrada de aire a través de aberturas de la fachada especialmente diseñadas para ello.** Estas aberturas pueden ser aireadores, rejillas o ventanas y se utilizan para proporcionar una ventilación general. La principal ventaja de este tipo de sistema es la reducción del exceso de ventilación durante la temporada de invierno. Sin embargo, el control del caudal de ventilación sigue siendo relativamente pobre debido a la variabilidad del viento.

3.1.3. Ventilación de extracción por efecto chimenea (efecto Stack)

En este caso, la entrada de aire sigue siendo por fachada, de manera controlada o no, pero la extracción se realiza utilizando el efecto Stack, reduciendo de esta manera la variabilidad en la ventilación respecto a los casos anteriores. Este tipo de ventilación pasiva se incorpora a la estructura del edificio para extraer el aire, por lo general, a través de las zonas húmedas de la vivienda (baños y cocinas). El aire fresco se suministra a través de aberturas tales como aireadores en el caso de entrada controlada y mediante infiltraciones cuando la entrada no es controlada. La extracción se realiza en la región de presión negativa generada por el viento por encima de la cubierta y el movimiento de aire se produce por la diferencia de presión entre un extremo y otro del conducto. El sistema permite satisfacer una demanda media de ventilación y, aunque permite un mayor control de las ratios de renovación, no permite una ventilación completamente uniforme en el tiempo.

Como las fuerzas motrices implicadas son menores que en los puntos anteriores, es necesario garantizar que existe el menor número posible de obstáculos al paso del aire. Las buenas prácticas de diseño indican que se requieren elementos de extracción separados para cada local del que se extrae el aire. Los diámetros típicos de los conductos de extracción son entre 100 y 150 mm y no deben tener más de dos curvas de, como máximo, 45°. (Figura 14)

3.2. Ventilación mecánica

Los sistemas mecánicos de ventilación ofrecen un mejor control de la ventilación que los sistemas de ventilación natural. Sin embargo, requieren de un aporte de energía adicional para transportar el aire a lo largo de todo el sistema [34]. Según la estrategia utilizada para mover el aire, esta se diferencia en: (1) ventilación mecánica de extracción, (2) ventilación mecánica de impulsión, y (3) ventilación mecánica equilibrada.

3.2.1. Ventilación mecánica de extracción

La ventilación mecánica de extracción puede ser local o centralizada. La local se utiliza a menudo en habitaciones con mucha humedad o producción de olor (habitualmente cocinas y baños) como un medio de purga rápida. La centralizada se utiliza como ventilación general. El movimiento del aire se provoca mediante ventiladores que crean una depresión en el interior de la vivienda que favorece la entrada de aire por infiltraciones o a través de aberturas específicamente diseñadas para ello (Figura 15). Durante el diseño es necesario controlar que los sistemas de extracción no creen una depresión excesiva. Esto podría acarrear problemas de contaminación del aire ya que los contaminantes procedentes del subsuelo o de los aparatos de combustión se verían succionados hacia el local, penetrando por las

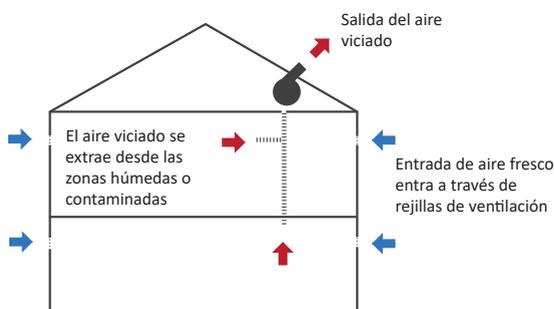


Figura 15. Configuración típica de un sistema de ventilación mecánica de extracción [20]

fisuras y/o huecos de la envolvente.

3.2.2. Ventilación mecánica de impulsión

Los sistemas de ventilación mecánica de impulsión son similares a los de extracción mecánica centralizada. El aire se impulsa con la ayuda de un ventilador causando

una presión positiva dentro del edificio. Esto obliga al aire viciado a salir del edificio a través de las fisuras o aberturas dedicadas. Este tipo de sistema ofrece la ventaja de permitir el filtrado y precalentamiento del aire antes de introducirlo en la vivienda. De hecho, es una práctica común en viviendas unifamiliares, donde el aire a menudo se toma precalentado de la buhardilla o de cualquier otro espacio intermedio. Sin embargo, no se recomienda el uso de este sistema en plurifamiliares, ya que favorece la penetración de la humedad en la estructura del edificio, lo que puede causar problemas de durabilidad.

3.2.3. Ventilación mecánica equilibrada

Un sistema de ventilación equilibrada consiste en un sistema independiente de suministro y extracción. El sistema de alimentación proporciona aire fresco a los locales habitables mientras que el sistema de extracción elimina el aire viciado a través de los cuartos húmedos. Estos sistemas a menudo funcionan de manera continua y permiten aumentar el caudal de extracción puntualmente para permitir la ventilación de purga. (Figura 16)

La capacidad del sistema de alimentación es normalmente entre el 90% y el 95% de la de extracción, con el fin de producir una leve despresurización de la vivienda. Esta ligera despresurización impide que la humedad penetre en la estructura del edificio y pueda causar lesiones. Se suele incorporar un intercambiador de calor para la recuperación de calor y así precalentar el aire de impulsión con el calor residual del aire que se expulsa. El rendimiento de estos equipos puede ser de cerca del 70%, aunque dependerá mucho del nivel de hermeticidad del edificio.

Las ventajas de los sistemas de ventilación mecánica equilibrada incluyen la eliminación de la humedad en la fuente, la posibilidad de filtrado previa impulsión y de recuperar el calor del aire expulsado. Las desventajas incluyen unos elevados costes de instalación y operación, la generación de ruido y el alto nivel de mantenimiento que requieren.

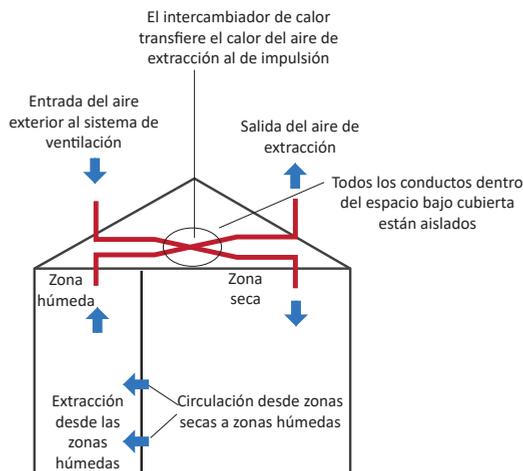


Figura 16. Configuración típica de un sistema de ventilación mecánica equilibrada con recuperación de calor [20]

3.3. Ventilación híbrida

La variabilidad de las fuerzas motrices de la ventilación natural dificulta el diseño de sistemas de ventilación capaces a la vez de reducir al mínimo las pérdidas energéticas y asegurar una correcta calidad del aire. **Los sistemas híbridos ofrecen un mayor control de la ventilación a un coste menor que los sistemas mecánicos.** El principio consiste en prever la instalación de un ventilador en la extracción o, alternativamente en la impulsión, que sirva de apoyo a la ventilación natural en los momentos en que las condiciones climáticas no permitan alcanzar unos niveles mínimos de renovación del aire.

3.4. Sistemas de ventilación más habituales

En un estudio realizado por IEA (*International Energy Agency –ECBCS*) [36] en 1995, se observó que el sistema de ventilación más habitual en los países de la OECD es la ventilación general natural. En muchas ocasiones, esta suele estar apoyada por uno o más ventiladores de alcance local (extracción localizada) configurando en este caso un sencillo sistema de ventilación mecánica de extracción. Este estudio no recoge la situación de España, sin embargo, atendiendo a tipología y tradición constructiva, se podría afirmar que en 1995 la mayoría de viviendas en España disponían únicamente de ventilación natural.

[20]Este estudio reflejaba una tendencia que aún hoy se mantiene, donde en los países con climas fríos, el uso de los sistemas mecánicos es mayor. En las viviendas unifamiliares, el sistema más habitual es la ventilación natural apoyada con ventiladores de extracción en zonas húmedas. En plurifamiliares, el sistema más habitual es la extracción mecánica centralizada.

Hoy en día, en viviendas, los edificios de nueva construcción se observa una tendencia hacia aquellos sistemas que permiten un mayor control de las ratios de ventilación como son los sistemas mecánicos o híbridos. Si bien la mayoría son sistemas de extracción mecánica, en algunos países como Suecia existe una tendencia hacia el uso de sistemas mecánicos equilibrados o de doble flujo. Algunos países de climas moderados también están siguiendo esta tendencia, aunque la ventilación natural es todavía el sistema utilizado de manera más habitual. Para mejorar el control de este sistema de ventilación se suelen instalar ventiladores de extracción locales en los locales húmedos y entradas de aire dedicadas.

La elección de la estrategia de ventilación está influenciada por el clima del lugar. En climas que requieran una demanda de calefacción elevada, se tiende a la fórmula Passivhaus: edificios con un nivel de estanqueidad alto y un sistema de ventilación mecánico que ofrezca un control pormenorizado de los caudales de renovación e incluso la posibilidad de utilizar recuperadores de calor.

En climas moderados se favorecen sistemas que ofrecen un menor control, generalmente sistemas de ventilación natural o híbrida, y se suele ser menos estricto

en lo que a infiltraciones se refiere. En estos climas, la demanda de calefacción no es tan severa y en cambio pueden producirse problemas importantes de malestar debido al sobrecalentamiento en verano. La ventilación natural ofrece una solución menos costosa que la mecánica, capaz de resolver tanto la ventilación por salubridad como la de refrigeración en verano. Sin embargo, con el fin de mejorar la eficiencia energética, actualmente existe una tendencia también hacia edificios más herméticos con sistemas mecánicos de ventilación.

3.5. Repercusión del usuario

Dado que la percepción de la calidad del aire es subjetiva, el uso de la ventilación puede variar de un usuario a otro. Los motivos que pueden motivar modificaciones en la ventilación por parte de los usuarios son:

- (1) Aumento de las ratios de ventilación para:
 - Introducir aire fresco en dormitorios y salas de estar
 - Eliminar olores
 - Extraer el aire viciado y la condensación
 - “Airear” la vivienda durante las actividades residenciales
 - Eliminar el humo del tabaco

- (2) Reducción de las ratios de ventilación para:
 - Evitar corrientes de aire
 - Mantener la temperatura interior
 - Protegerse contra el frío y la lluvia
 - Mantener la privacidad y la seguridad
 - Reducir el ruido y la contaminación externa

En viviendas con ventilación mecánica los usuarios tienden a modificar los caudales de ventilación. Washita G. y Akasaka [37] pudieron cuantificar el efecto del comportamiento de los ocupantes en la ratio de ventilación. En su estudio, realizado en Japón, investigaron la relación entre el comportamiento de los ocupantes y el consumo de energía utilizada para el aire acondicionado, mediante mediciones con gas trazador y encuestas, llegando a la conclusión de que **en el 87% de los casos, el caudal de ventilación se veía afectado por la acción del usuario**. En climas fríos, esta variación puede causar una ventilación deficiente. Otro estudio, esta vez realizado en viviendas suecas por F.W. Gids de, P. Wouters, mostró que, en promedio, las ratios de ventilación efectivas son inferiores a 0,5 r/h en más del 80% de todas las casas unifamiliares y más del 50% de todas las casas plurifamiliares. Es decir, menos de la mitad de las viviendas alcanzaron ratios de superiores a 10 l/s·pers. [20] os de la mitad de las viviendas alcanzaron ratios de superiores a 10 l/s·pers [25].

Se han realizado diferentes estudios para determinar si los hábitos de ventilación podrían mejorarse mediante la formación de los ocupantes para operar los controles de ventilación de manera más eficiente. Para lograr esto, un conjunto específico de instrucciones de ventilación fue desarrollado para controlar la ventilación en

Tabla 4. Sistema de ventilación utilizado. Vivienda plurifamiliar de nueva construcción

un edificio de estudio. El uso de estas instrucciones mostró cierta reducción del uso de la ventilación innecesaria (principalmente apertura de la ventana). En otros estudios similares se ha llegado a conclusiones comunes:

- Los diseñadores y los gestores deben proporcionar al ocupante los medios para ajustar el clima interior y satisfacer sus necesidades individuales. Se necesita más control sobre las aberturas de ventilación (por ejemplo, mediante el uso de pequeñas ventanas y rejillas para la ventilación en invierno).
- Se necesitan campañas de información para explicar cómo utilizar los huecos de ventilación y para evitar la contaminación del aire interior. Es especialmente importante explicar el funcionamiento de los sistemas mecánicos.
- Los administradores deben entender la importancia de la ventilación, especialmente en relación con la salud.
- Es importante, por lo tanto, especificar el objetivo de la ventilación.

El Centro de Infiltración de aire y Ventilación (AIVC) en su Nota Técnica 57[20]”, extrae unos puntos de las lecciones aprendidas de los estudios de comportamiento realizados. Los principales puntos extraídos se reproducen en las siguientes tres tablas (Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4):

Si hay preocupación acerca de la calidad del aire interior, los ocupantes deben emprender las siguientes acciones
• Verificar la calidad del aire exterior
• Comprobar el suministro de aire a través del sistema de ventilación para identificar la posible ubicación de los contaminantes relacionados (por ejemplo, polvo, moho, etc. en los conductos de ventilación)
• Localizar y eliminar o delimitar todas las fuentes de contaminantes internas
• Comprobar el olor o la concentración de CO2, si estos picos coinciden con el aumento de la densidad de ocupación, entonces la fuente contaminante principal es probablemente debido a la ocupación. Elevar las tasas de ventilación en todas las zonas ocupadas por lo menos 8-10 l/s de aire exterior por cada ocupante
• Evitar fumar
• Evitar el secado de ropa en el interior a menos que la zona esté ventilada

Tabla 3. Comprobaciones a realizar para detectar el problema cuando el usuario tiene dudas sobre la calidad del aire

• Asegurar que todas las zonas húmedas tienen ventilación de extracción efectiva
Sistema Mecánico para toda la Vivienda
• Entender el sistema y su propósito
• No sellar u obstruir las rejillas de aire, o desconecte el sistema
• Aplicar un refuerzo para satisfacer las cargas de alta humedad, etc.
• Evitar la apertura excesiva de ventanas durante los períodos de invierno (o enfriamiento mecánico)
• Asegurar que el sistema esté regularmente limpio y mantenido

Tabla 4. Recomendaciones a seguir cuando los usuarios son los encargados de gestionar el Sistema de ventilación. Sistemas mecánicos

<ul style="list-style-type: none"> • Asegurar que todas las zonas húmedas tienen ventilación de extracción efectiva
Ventilación Natural Dedicada con rejillas, efecto tiro Stacks o extracción localizada, etc.
<ul style="list-style-type: none"> • Mantener la ventilación de fondo en todas las habitaciones cada día, asegurando que las rejillas de ventilación, etc., se mantienen abiertas
<ul style="list-style-type: none"> • Airear habitaciones y salas de estar diariamente por apertura de las ventanas durante 10-20 minutos (por ejemplo, durante la limpieza)
<ul style="list-style-type: none"> • Operar ventiladores de extracción, establecer los sistemas de extracción pasivos al máximo o abrir una ventana mientras se cocina. Mantener la máxima aireación durante 10-20 minutos después de la cocción
<ul style="list-style-type: none"> • Operar ventiladores de extracción, ventanas, etc., durante y después de la ducha. Los respiraderos deben dejarse abiertos durante algunas horas

Tabla 5. Recomendaciones a seguir cuando los usuarios son los encargados de gestionar el Sistema de ventilación. Ventilación natural

<ul style="list-style-type: none"> • No permitir que la temperatura interior caiga por debajo de 16°C ya que la capacidad del aire para absorber la humedad se reduce drásticamente, lo que aumenta el riesgo de condensación
--

3.6. Repercusión de las infiltraciones

Los métodos comunes de construcción que se utilizan para los edificios residenciales son porosos en cierta medida. Además, allí donde haya juntas entre los componentes del edificio o entre los componentes de construcción y de servicios, existen posibles vías de fuga de aire.

La infiltración de aire es el flujo incontrolado de aire en un espacio a través de huecos y grietas accidentales o no intencionales en la estructura del edificio. La tasa de infiltración depende de la estanqueidad al aire del edificio y de las fuerzas impulsoras aplicadas a través de la envolvente del edificio. La infiltración de aire no sólo se suma a la cantidad de aire que entra en un edificio, sino que también puede distorsionar el patrón de flujo de aire en detrimento de la calidad del aire interior y la comodidad [22] [38] [39] [40] [41] [42].

3.6.1 Influencia de las infiltraciones

Como se ha mencionado anteriormente, la infiltración puede tener un efecto perjudicial sobre la eficacia de la ventilación y por lo tanto la calidad del aire interior y la comodidad.

Edificios con alta permeabilidad pueden dar lugar a ratios altos de infiltración durante la temporada de invierno, cuando las diferencias de temperatura en el interior-exterior y velocidades del viento tienden a ser altos. Esto aumentaría la energía de calefacción perdida por el espacio a través de la ventilación y también puede generar corrientes de aire que dan una mayor sensación de frío.

Cuando la ventilación de extracción mecánica se utiliza en un edificio excesivamente permeable la ratio de infiltración será alta, con resultados finales similares a un sistema con ventilación natural.

Por otro lado, en edificios muy estancos con sistemas de extracción mecánica se pueden desarrollar altas presiones de succión. Esto puede conducir a: (1) un exceso de potencia demandada por el ventilador, (2) la succión de los contaminantes de los equipos de combustión o del suelo y (3) una ventilación deficiente.

Los sistemas equilibrados de ventilación, cuando se instalan en edificios con infiltraciones, pueden sufrir una reducción en el rendimiento en los momentos en los cuales las condiciones ambientales sean propicias para generar potentes fuerzas de convención. Estas fuerzas pueden llegar a superar el control que ofrecen los sistemas equilibrados. El rendimiento de los dispositivos de recuperación de calor incluidos en sistemas equilibrados es muy sensible a la infiltración. El aire introducido por las infiltraciones se salta la unidad de recuperación de calor y conlleva grandes pérdidas de calor al tiempo que exige la existencia de un ventilador adicional para superar la resistencia del intercambiador de calor en el sistema de ventilación.

3.6.2. Relación entre infiltraciones y Sistema de ventilación

Cualquier método de ventilación funcionará más eficazmente si la envolvente del edificio se construye con unas condiciones de estanqueidad adecuadas. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, diferentes cualidades de estanqueidad afectan de manera diferente a distintos métodos de ventilación.

La Figura 17 ilustra los valores de permeabilidad al aire sugeridos y presentados por Liddament y Wilson [43] para varios sistemas de ventilación. Hay que aclarar que, aunque no hay ninguna ventaja en tener un edificio muy permeable, ya que

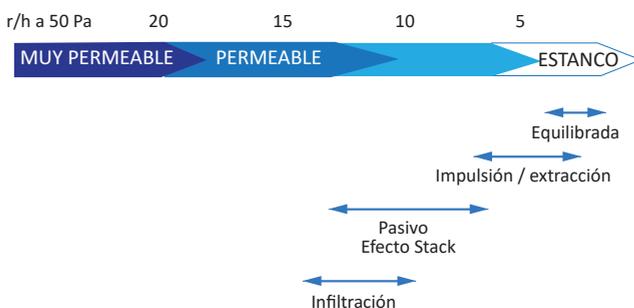


Figura 17. Sistema de ventilación sugerido según permeabilidad del edificio

esto casi siempre conduce a corrientes de aire frío y ventilación no controlada, la sensibilidad en la eficiencia final varía según el sistema utilizado, pudiendo ser recomendable un determinado sistema en función de la permeabilidad del edificio.

4

ESTRATEGIAS DE VENTILACIÓN NATURAL Y MÉTODOS DE CÁLCULO

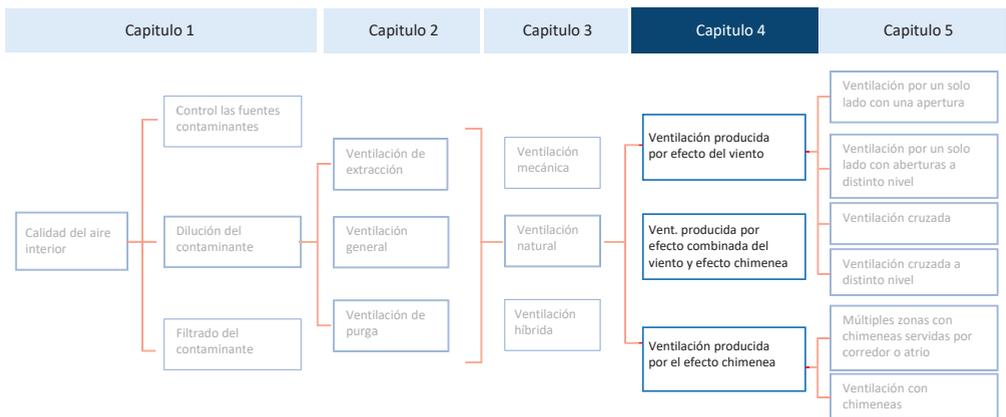


Figura 18: Esquema del capítulo 4

4. ESTRATEGIAS DE VENTILACIÓN NATURAL Y MÉTODOS DE CÁLCULO

4.1. Características específicas de la ventilación natural

La ventilación natural es una solución de ventilación muy atractiva, ya que, si se diseña correctamente, permite por un lado asegurar una buena CAI y por otro, alcanzar altos niveles de confort higrotérmico en una amplia variedad de regiones climáticas, aprovechando para ello los recursos que brinda la naturaleza y sin necesidad de un aporte energético extra.

Tal y como se muestra en la Figura 19 en la mayoría de los casos los caudales

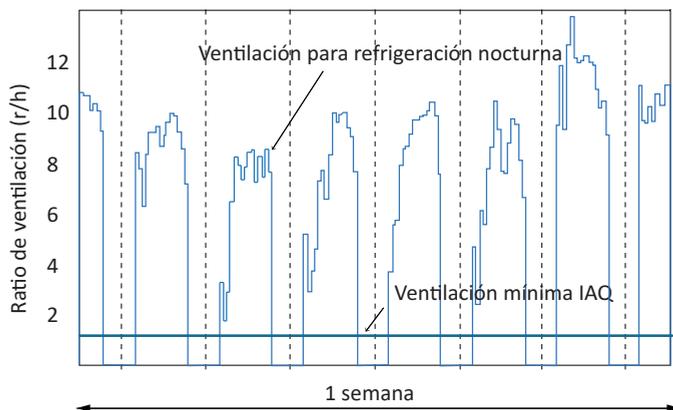


Figura 19. Comparación entre las tasas de flujo ventilación para CAI y para refrigeración nocturna

necesarios para mantener una adecuada calidad del aire interior son fácilmente alcanzables, en comparación con la ventilación para control higrotérmico, utilizando la ventilación natural [44].

En la gráfica anterior se observa que mientras para el control higrotérmico en periodos cálidos son necesarias ratios de renovación por encima de 8 r/h, para mantener una buena calidad del aire interior la ratio se sitúa por debajo de 2 r/h.

4.1.1. Ventajas e inconvenientes de la ventilación natural

Como se comentó en el apartado 3.1, la principal ventaja, pero también el principal inconveniente de la ventilación natural es su dependencia a los factores climáticos (viento y temperatura).

La ventilación natural no requiere de un aporte de energía extra para generar el movimiento de aire, no se generan molestias por los ruidos de los equipos ni sobrecostes de instalación y mantenimiento. **La ventilación natural es capaz de ofrecer altos grados de confort con una relación coste-beneficio muy buena, considerando la inversión, mantenimiento y coste operacional de los sistemas mecánicos. Además, suele ser el sistema de ventilación preferido por los ocupantes, un aspecto que también hay que tener en cuenta a la hora de valorar el sistema de ventilación más adecuado en un edificio concreto.**

Cuando se trata de ventilación para mantener la calidad del aire interior, las ratios de ventilación dependen de la fuente y concentración del contaminante. Como se trató en el capítulo 1, en espacios domésticos no suele haber un contaminante principal, dependiendo la calidad del aire de la mezcla de diferentes contaminantes. En estos escenarios la percepción y acción del usuario es fundamental por lo que el uso de sistemas de ventilación natural fácilmente controlables por el usuario permite una óptima capacidad de control de la calidad del aire.

Como principales desventajas está el comportamiento altamente variable y difícil de pronosticar, lo que conlleva una dificultad añadida en los procesos de diseño y optimización de los sistemas de ventilación y complica los modelos numéricos que se utilizan para la predicción de su funcionamiento. (Tabla 5)

Más allá de las ventajas y desventajas propias del sistema de ventilación existen otros factores que influirán en la elección de una estrategia de ventilación adecuada (Figura 20). Una correcta ventilación natural necesita un alto grado de permeabilidad del edificio. **Esto puede llegar a comprometer la seguridad o generar un conflicto con las normas existentes de seguridad e incendios.**

Aspectos como la iluminación, radiación solar y aislamiento son temas que también

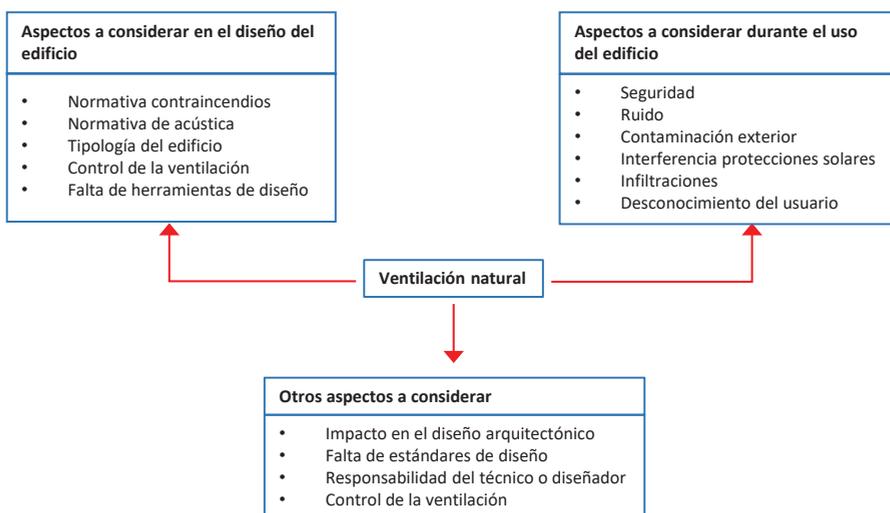


Figura 20. Aspectos a considerar en el diseño de la ventilación natural.

hay que considerar a la hora de utilizar la ventilación natural como sistema principal. Por lo tanto, es fundamental una concepción transversal en el diseño y regulación de la ventilación natural [45].

En algunos entornos urbanos puede darse el caso de que el ambiente exterior presente niveles altos de contaminantes o de ruido, cosa que puede desaconsejar el uso de la ventilación natural a ciertas horas o en ciertas situaciones y entornos. En muchas ocasiones estas circunstancias se producen de manera puntual en una zona y en un momento del día. Las condiciones exteriores pueden cambiar rápidamente y en ocasiones se aplican medidas drásticas y costosas para cubrir un pequeño periodo de tiempo. De igual manera existen también mecanismos que permiten mitigar estos problemas sin renunciar a la ventilación natural, como por ejemplo la incorporación de conductos u otros sistemas constructivos que moderen la relación directa entre el exterior y el interior y a través de los cuales se produzca la renovación de aire interior.

En definitiva, el uso de la ventilación natural es muy atractivo, ya que permite el aprovechamiento de recursos naturales gratuitos. Sin embargo, un buen diseño de ventilación natural requiere la comprensión y consideración de una gran cantidad de fenómenos y criterios que no son sencillos de manejar.

En función, justamente, de los recursos naturales en los que se base, se distingue entre ventilación conducida por el viento, ventilación conducida por el efecto chimenea (efecto Stack) o ventilación conducida por efecto combinado del viento y del efecto chimenea. En los siguientes apartados se comentan los aspectos básicos que caracterizan estos tres tipos de ventilación natural.

4.1.2. La ventilación natural para la dilución de contaminantes

La ventilación natural como estrategia para alcanzar niveles óptimos de calidad del aire interior está esencialmente basada en la estrategia de dilución de la concentración de contaminantes, para lo que es necesario asegurar una cantidad mínima de aire fresco.

Como se definió en el punto 2.2, existen tres estrategias de ventilación básicas que permiten asegurar los caudales de renovación mínimos para mantener una correcta CAI: ventilación de extracción localizada, ventilación general y ventilación de emergencia o purga. Cuando estas estrategias se resuelven con ventilación natural, existen esquemas de diseño y consideraciones específicas a tener en cuenta:

- **Ventilación de extracción localizada.** Este esquema de ventilación, basado en el efecto chimenea, permite cubrir los caudales necesarios para mantener una correcta CAI durante un amplio porcentaje del tiempo. Los conductos de extracción suelen ser de mayor diámetro que en el caso de la ventilación mecánica. **La eficacia del sistema se ve mermada cuando la temperatura exterior es mayor que la interior, es decir, en los periodos cálidos o de inversión térmica.**
- **Ventilación general.** Puede diseñarse en combinación con la ventilación de extracción o de manera independiente. En el primer caso, su funcionamiento

se basa en el efecto chimenea y presenta los mismos inconvenientes que la ventilación de extracción. En el segundo caso, su funcionamiento se basa en la diferencia de presión entre fachadas, la cual genera ventilación cruzada. **La eficacia de este sistema dependerá de los obstáculos presentes en el interior de la vivienda y de la variabilidad del viento.**

- **Ventilación de emergencia o “purga”.** Este es el esquema que se utiliza más comúnmente para la ventilación natural. Permite grandes caudales de renovación a través de ventanas practicables. Los elementos diseñados para este esquema pueden utilizarse también para una **ventilación de refrigeración nocturna en verano.**

4.2. Fuerzas naturales de la ventilación natural

4.2.1. Ventilación conducida por el Viento

Sobre el efecto del viento sobre un edificio influye directamente su forma y la proximidad de otras construcciones. Cuando el viento incide sobre un edificio, se produce una perturbación que desvía el aire por encima y alrededor del mismo. Esto genera diferencias de presión entre las partes de la envolvente del edificio. En términos generales, las presiones son más altas (zona de presión positiva) en la fachada en la que incide el viento, es decir, barlovento, y más bajas (zona de presión negativa o zona de succión) en el lado de sotavento y en la cubierta. **Estas diferencias de presión permiten generar un flujo de aire dentro del edificio** que se desplaza desde las aberturas a barlovento hacia las que están a sotavento. Para cuantificar la presión inducida por el viento (P_v) sobre una abertura, se utiliza la expresión general:

$$P_v = 0.5 C_p \rho U^2 \quad \text{Ec. (1)}$$

C_p es el coeficiente de presión (adimensional),

ρ es la densidad del aire (Kg/m³)

U es la velocidad del viento (m/s) a la altura de referencia, usualmente la altura del edificio o de la abertura.

El valor del coeficiente C_p depende de la dirección y velocidad del viento, que varían en el tiempo. Se puede determinar experimentalmente utilizando túneles de viento o mediante modelos computacionales de dinámica de fluidos (CFD), aunque, en entornos urbanos, donde existen numerosos obstáculos y niveles de turbulencia altos o en casos de geometrías complejas, la estimación de este valor es más complicada.

Jessop West. Sheffield. Reino Unido. Sauerbruch Hutton. 2008

La fachada fue construida con una piel de acero inoxidable y vidrio (transparente, coloreado y serigrafiado). Los paneles de acero inoxidable se perforan y actúan a modo de aireador. El aire antes de ser introducido en el interior puede ser calentado por el efecto invernadero producido en la cámara de aire existente entre ambas hojas de vidrio. La doble fachada integra una chimenea solar que facilita la extracción de aire interior.

Descripción de la estrategia

- Ventilación a través de rejillas integradas en las carpinterías para la infiltración de aire inducida por la presión del viento, diferencias de temperatura o sistemas mecánicos. Son elementos habituales en climas fríos en donde es necesario reducir al mínimo la renovación del aire, para evitar pérdidas energéticas excesivas provocadas por la apertura de ventanas. Existen múltiples tipos estandarizados que van desde los modelos más sencillos con rejillas graduables o caudales constantes, hasta modelos que incluyen cierres motorizados, ventiladores o sensores de contaminación, temperatura o humedad. Cabe reseñar que este tipo de sistemas no han sido concebidos para aportar grandes caudales por lo que deben dimensionarse de forma muy generosa si pretenden ser utilizados como mecanismo de refrigeración: un aireador tipo de 90 mm renueva un caudal de 50 m³/h por metro lineal; una ventilación cruzada aporta como mínimo entre 10 y 15 renovaciones por hora.

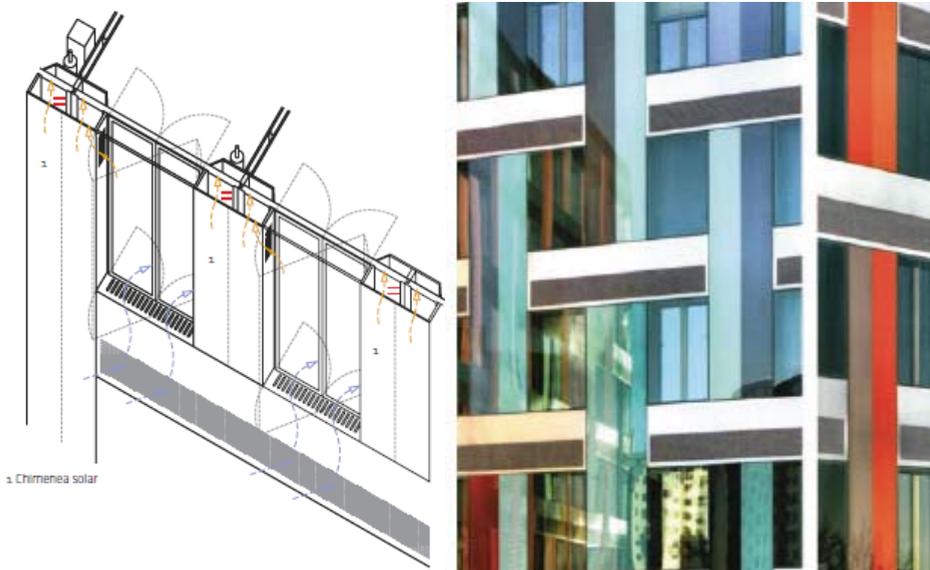


Figura 21. Detalle e imagen de la fachada con la chimenea solar. Jessop West.

La casa que crece. Berlín, Alemania. Martin Wagner. 1932

Tipología compacta de proporción cuadrada en donde los espacios se sitúan en las esquinas, abiertos a dos fachadas. El vacío central es ocupado por la sala de estar y el comedor abierto a sus cuatro fachadas. De esta forma la casa contiene un pasaje abierto y sombreado comunicado con el exterior por medio de grandes ventanales que canalizan el viento. En invierno el corazón de la vivienda queda protegido del frío por las demás estancias. Obsérvense las claras diferencias entre los modelos expuestos. El primero diseñado para clima moderado de alta radiación solar y el segundo diseñado para un clima frío y de baja radiación.

Descripción de la estrategia

- Propuesta arquitectónica en la que la propia distribución o fragmentación de la volumetría del edificio fomenta el establecimiento de las corrientes que lo atraviesan. Esta es una estrategia especialmente interesante en clima cálido húmedo, en donde el movimiento del aire representa la principal estrategia de refrigeración. El volumen construido debe repartirse selectivamente con el objetivo de captar los vientos frescos y cerrarse a la vez a las direcciones de viento cálido. El viento incidente fomentará sobre las fachadas un campo de presiones irregular que potenciará el establecimiento de dichas corrientes de aire. Otra posible estrategia de implantación es la de generar "embudos" que conduzcan el viento exterior al interior del edificio. Las corrientes captadas aumentarán su velocidad al atravesar el corazón del edificio y disminuir la sección de paso. Es imprescindible la apertura de generosas salidas de aire sin las cuales no será efectiva la captación de las corrientes.
- En climas fríos son recomendables tipologías más cerradas que compatibilicen la protección frente a los vientos fríos con la refrigeración en verano.

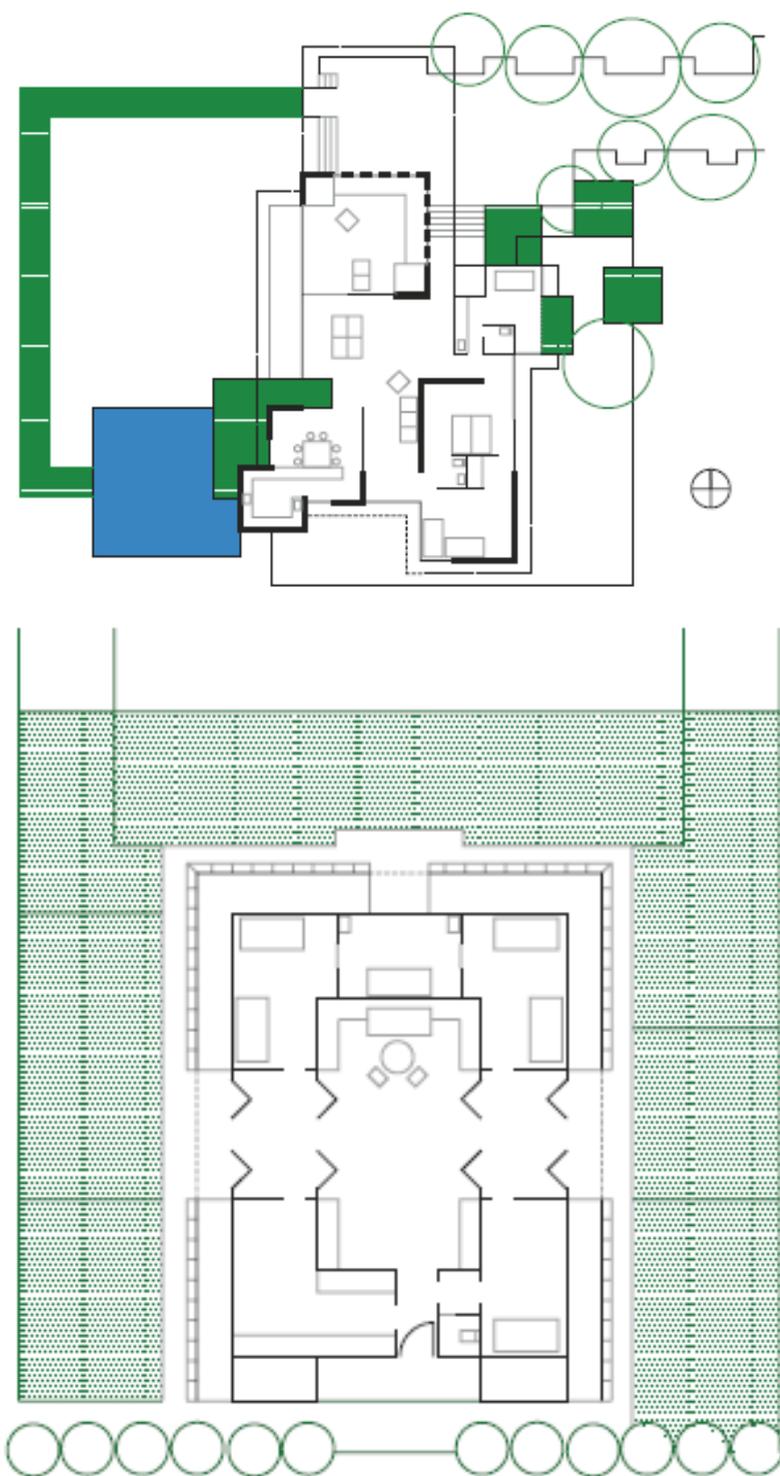


Figura 22. Imagen de la planta del proyecto. La casa que crece.

Rascacielos en la Postdamer Platz. Berlín. Hans Kollhoff. 2000

El rascacielos de Hans Kollhoff destaca en su entorno por su sistema tradicional de cerramientos murarios. Su perfil escalonado aprovecha el llamado efecto pirámide, al ofrecer poca resistencia al viento y dispersarlo en todas direcciones. Las aberturas están formadas por cajones prefabricados de madera dotados de dos hojas de carpintería separadas 22 cm entre ellas. La cámara de aire cuenta con una persiana de lamas plegables que intercepta los rayos solares calentando el aire contenido en ella.

La ventilación se produce a través de una rendija longitudinal de 6 cm practicada en la hoja exterior por la que accede el aire y otra abertura manipulable por el ocupante en la parte superior de la hoja interior. En invierno, para un mejor aprovechamiento del efecto invernadero, un motor gradúa la sección de la abertura exterior. En verano una o ambas hojas pueden abrirse.

Descripción de la estrategia

- Fachadas desarrolladas para permitir la ventilación natural controlada de edificios de gran altura en donde la fuerte presión del viento dificulta o impide la apertura de ventanas.
- La ventilación se produce gracias a la reducción de presión dinámica del viento y/o a la corriente ascendente generada por el calentamiento del aire en el interior de la cámara.
- La hoja exterior protege de las altas presiones de viento dejando pasar el aire por aberturas dimensionadas en función de la velocidad de los vientos dominantes y de la posición relativa de la fachada en el edificio (altura y orientación).
- La cámara entre las dos hojas de vidrio puede envolver por completo el edificio, estar únicamente conectada en columnas verticales que actúan a modo de chimeneas o estar construida por módulos independientes (boxwindows).
- En invierno la doble fachada puede aprovechar el calentamiento que se produce en el interior de la cámara al incidir los rayos solares sobre la protección solar o los antepechos para el precalentamiento del aire de renovación. En verano la protección solar evita la entrada de radiación mientras que el aire caliente es evacuado por la parte superior de la cámara de aire o por las rendijas practicadas en la hoja exterior.
- La hoja interior es normalmente manipulable por el usuario. El tipo de abertura interior y la existencia o no de aberturas para la salida del aire condicionarán la distribución de los flujos interiores.

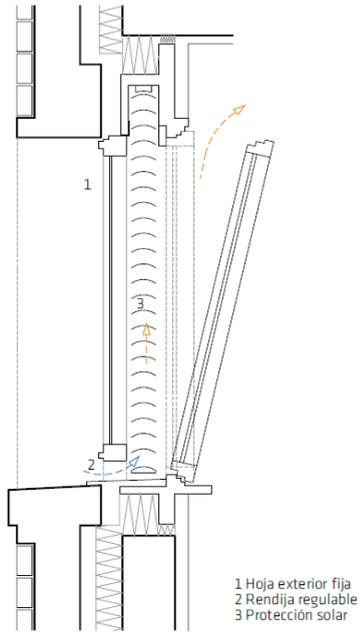


Figura 23. Sección de la ventana e imagen exterior del edificio. Rascacielos en la Postdamer Platz.

Casa NA. Sou Fugimoto. Tokio, Japón. 2009

Casa para dos personas construida en un denso distrito residencial de la capital japonesa. El radical planteamiento funcional rompe con la estructura clásica de cajas cerradas superpuestas en pisos, proponiendo una asociación libre en planta y en sección comunicadas por cortos tramos de escalera, eliminando el concepto de estancia cerrada e independiente. Unas losas delgadas, con estructura metálica de vigas de acero de 65 mm de canto, flotan libremente sobre pequeños pilares metálicos de 55 mm de lado. Apenas existen cerramientos interiores, de esta forma, los pequeños espacios se expanden debido a su continuidad con los espacios adyacentes y el aire circula libremente en planta y sección.

Descripción de la estrategia

Circulación del aire a través del espacio interior facilitada por la no compartimentación del espacio o la permeabilidad de los paramentos divisorios.

- Cuando se pretende el establecimiento de ventilaciones cruzadas, es muy importante el diseño de las aberturas previstas para el paso del aire entre los distintos recintos. Si estas son de reducidas dimensiones en comparación con las aberturas de fachada actuarán a modo de cuello de botella, siendo la de menor tamaño la que determina el flujo a través de todo el local.
- La posición de los muebles o los tabiques pueden ser determinantes. Si se sitúan de forma perpendicular a la dirección del flujo, por ejemplo, reducen en gran medida el movimiento de aire interior.
- En verano, la partición de espacios por medio de paneles móviles puede permitir direccionar el flujo en función de necesidades específicas. En este sentido, las cortinas pueden emplearse de una forma efectiva para sectorizar el espacio a climatizar. Si bien las pérdidas de calor debidas al escaso aislamiento que aportan y las fugas que se producen en su perímetro reducen su efectividad, la capacidad de limitar el bucle convectivo las convierte en un componente interesante para reducir el volumen de aire a calefactar o refrigerar.
- Debe tenerse en cuenta que implicar la sección en el barrido de las corrientes de aire es igualmente importante. Con ello es posible evitar estratificaciones a la vez que se evita que el área ventilada se limite al canal que se establece entre las aberturas de acceso y de salida.

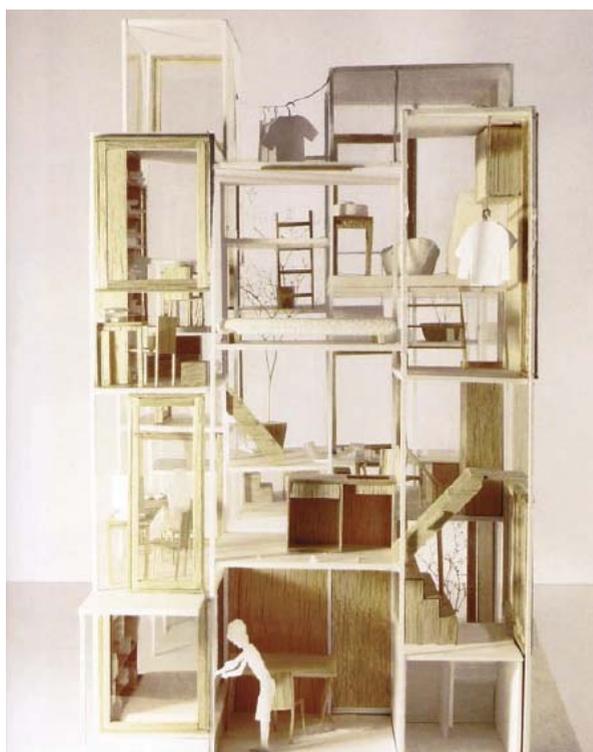
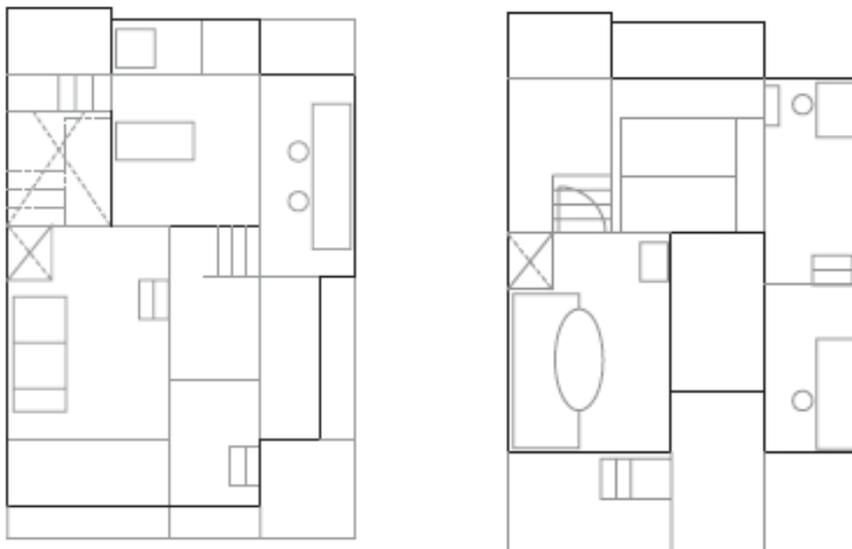


Figura 24. Plantas y sección de la vivienda. Casa NA.

4.2.2. Ventilación conducida por el efecto chimenea

En el caso del efecto chimenea (efecto stack en inglés), la ventilación natural se produce gracias a la energía térmica (procedente de la radiación solar incidente sobre la construcción o de las cargas internas) que causa las diferencias de densidad en el aire y, por consiguiente, las diferencias de presión. En otras palabras, **las diferencias de temperatura entre el interior y exterior de un edificio y entre los diferentes espacios dentro del edificio producen las fuerzas motoras que inducen el flujo de aire.**

La tendencia natural del aire caliente a ascender y acumularse hacia la parte superior de un ambiente lleva a una estratificación estable, lo que tiene una gran influencia en los patrones de flujo dentro de un espacio. Esta estratificación puede dar lugar a muy diferentes configuraciones de flujo. Lo que determina la estratificación vertical

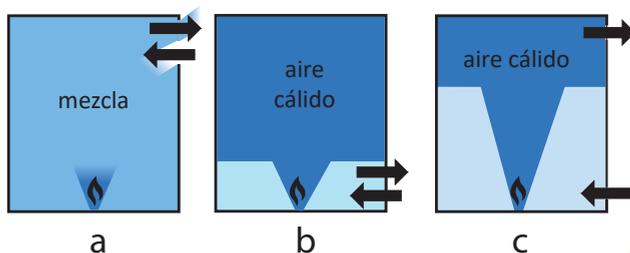


Figura 25. Esquemas de ventilación de mezclado y por desplazamiento

en el ambiente es la ubicación de las aberturas. Por eso, es primordial establecer una correcta ubicación de estas aberturas en el espacio, ya que los patrones de flujo que se produzcan y, por consiguiente, la eficiencia del sistema de ventilación depende de ello. A modo de ejemplo, la Figura 25 ilustra el tipo de estratificación que se produce en un caso en el que el aire interior (representado en la figura con el color azul oscuro) es más cálido que el aire exterior (color blanco), para tres configuraciones de aberturas distintas, y como esto afecta a la ventilación conducida por efecto chimenea. En el primer caso (a), el intercambio de aire se produce mediante una sola abertura en la parte superior del ambiente. El aire caliente sale por la zona superior de la abertura mientras que el aire fresco entra por la zona inferior. Este intercambio de aire provoca una turbulencia dentro del espacio que tiende a mezclar el aire internamente, lo que produce una distribución de temperatura relativamente uniforme en el ambiente. Este esquema se conoce como **ventilación por mezclado**. En el segundo caso (b), la misma abertura se sitúa en la parte inferior del ambiente. Esto generará un intercambio de aire temporal hasta que aire fresco que entra ocupe en el espacio la altura de la parte superior de la abertura, tras lo cual la ventilación cesará. Esta configuración no es, en general, una forma eficaz de ventilación. Finalmente, en el tercer caso (c), la superficie de intercambio se reparte en dos aberturas, una en la parte superior y otra en la parte inferior del espacio. El aire caliente interior, menos denso, saldrá por la abertura superior y el aire fresco exterior entrará por la abertura inferior del espacio. Esto genera una configuración estable que consiste en una franja de aire caliente en la parte superior

del espacio y una franja más fría en la parte inferior. Así, las diferencias de temperatura en altura son mayores que en el primer caso, lo que conduce a un flujo de aire mayor y más rápido. Este tipo de ventilación se conoce como **ventilación por desplazamiento**.

Hospital "San Joan de Reus". Reus. Tarragona. Pich-Aguilera, arquitectos. 2009

El proyecto modula la escala de un gran equipamiento hospitalario, desde la dimensión urbana necesaria de los espacios de acceso y de circulación pública, hasta la escala específicamente de hospitalización, con sus necesidades de proximidad y recogimiento. El área pública o rambla, desde donde se accede al resto de servicios del hospital, se trata, tanto funcional, como climáticamente, como una calle cubierta. Su espacio no se climatiza desde ningún sistema mecánico o accesorio de instalaciones y maquinaria. El cálculo mediante simulaciones garantizó que desde la propia arquitectura podía conseguirse el clima y confort necesario en un espacio de acceso, paso y distribución. La arquitectura se trata como una infraestructura capaz de producir naturalmente las condiciones climáticas y lumínicas para su vida interior. Los espacios se conciben como conjunto de climas específicos, por un lado, el eje de circulación principal, con unas condiciones climáticas de espacio público, por otro la zona de consultas externas, con otras condiciones climáticas específicas y por último el espacio propio de hospitalización, con unas exigencias máximas de confort, temperatura y ventilación, que deben garantizarse a lo largo del año y todas las horas del día.

Descripción de la estrategia

- La ventilación del "espacio rambla" se activa por la evacuación del aire caliente y su sustitución por aire a una temperatura menor de los niveles inferiores.
- La sección, con una fachada inclinada, permite un tiraje, por efecto embudo, que conduce el aire, en su recorrido interior, en sentido ascendente hacia las aberturas de extracción.
- Un sistema de rejillas ubicadas en la parte inferior de la sección y unas aberturas en su parte superior son las que favorecen el movimiento del aire y por tanto la ventilación natural ascendente.
- La vegetación del entorno, en contacto directo con la planta baja pre-trata, refresca y humidifica el aire que entra por la parte inferior del espacio. Cuando la temperatura exterior aumenta y no se produce la corriente de aire necesaria, las aberturas superiores se accionan,



Figura 26. Sección e imagen del hall. Hospital "San Joan de Reus".

produciendo el movimiento de aire necesario.

- Sistemas motorizados activan las aberturas superiores.

Bree Office. Londres, Reino Unido. Fielden Clegg. 1996

El edificio combina la ventilación natural con sistemas inducidos de extracción de aire por medio de chimeneas solares.

En verano la refrigeración es controlada mediante la manipulación de las ventanas. Al desocuparse el edificio por la noche se promueve la refrigeración nocturna por medio de la ventilación intensiva activada por ventiladores. Los forjados de sección sinusoidal y las placas de cielo raso limitan un conducto habilitado como canal de ventilación que actúa como panel radiante. El aire accede al edificio por pequeñas aberturas en la fachada o procedente de conductos enterrados, siendo conducido a través de los forjados hasta su inyección en el interior. La extracción se fuerza a través de las chimeneas solares en la fachada sur. En invierno la renovación de aire se reduce al mínimo, siendo el aire exterior precalentado por las chimeneas.

Descripción de la estrategia

- Movimiento natural del aire inducido por variaciones en su densidad provocadas por sistemas radiantes de calefacción o refrigeración. Dichos sistemas, a pesar de ser elementos eminentemente radiantes pueden generar corrientes convectivas lentas que apoyen la estrategia radiante de calefacción o refrigeración. Su reducido rango de temperaturas de trabajo permite incorporar focos fríos o calientes de origen natural.

- **Pared radiante.** Funciona de forma similar al sistema anterior permitiendo un mayor equilibrio vertical de la radiación recibida, pese a que debido a la menor sensibilidad térmica lateral del ser humano la temperatura del emisor debe ser algo mayor. De emplearse como panel radiante frío, no genera corrientes convectivas frías de no situarse en la parte alta del local.

- **Techos radiantes o ventilación por desplazamiento.** La radiación de los paneles y las corrientes convectivas que generan asumen las labores de refrigeración reduciendo el volumen de aire inyectado al mínimo requerido para el mantenimiento de la calidad del aire.

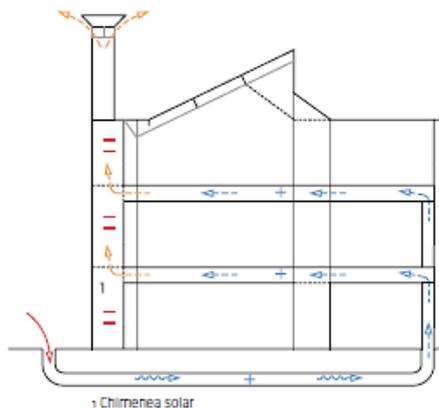


Figura 27. Sección e imagen exterior del edificio. Bree Office.

- Debe prevenirse la condensación superficial en los emisores por lo que su temperatura no es nunca inferior a los 15°C.

Edificio de oficinas en la Postdamer Platz. Berlín. Alemania. Richard Rogers. 2001

El edificio alberga un atrio a través del cual se iluminan y ventilan las oficinas que a él se abren. La ventilación se ve limitada debido a la ausencia de ventilación cruzada. Para potenciar la efectividad de la ventilación simple, las oficinas son de escasa profundidad y cuentan con ventanas dobles. La cobertura y la fachada sureste del atrio son de vidrio con el objetivo de potenciar la captación durante el invierno. En verano, la extracción a través de los exutorios potenciada por el calentamiento de la protección solar situada bajo la cubierta induce la entrada de aire. Las rejillas de ventilación situadas bajo las escaleras son empleadas como entradas de aire para asegurar la aportación continua de aire exterior. Esto provoca un aporte indeseado de aire caliente en verano al recibir estas la radiación solar durante gran parte del día. En la sección puede observarse el peligro existente de acceso de aire caliente por estratificación en la parte superior del atrio en el momento en que el viento genere succiones sobre la fachada exterior de las oficinas.

Descripción de la estrategia

- Ventilación a través de aberturas de ventilación de cubierta para la evacuación del aire caliente allí acumulado. La extracción del aire genera succiones capaces de inducir la entrada de aire a través de aberturas situadas en la parte inferior.
- Dadas sus grandes dimensiones es posible su implicación en el establecimiento de corrientes cruzadas, pudiendo generar un buen barrido interior al implicar a la sección en el movimiento del aire.
- La separación de las funciones de iluminación y ventilación simplifica y abarata las aberturas al prescindir de pesados elementos móviles de vidrio, facilitando la motorización de las aberturas y la programación del régimen de ventilación.
- Los exutorios deben abrirse necesariamente a zonas de presión negativa de la cubierta para evitar que la entrada de aire exterior pueda romper la estratificación interior del aire caliente, reintroduciendo este en áreas ocupadas. Es por ello recomendable que cuando no sea posible asegurar que los exutorios se comportarán como salidas de aire (debido a la forma de la cubierta

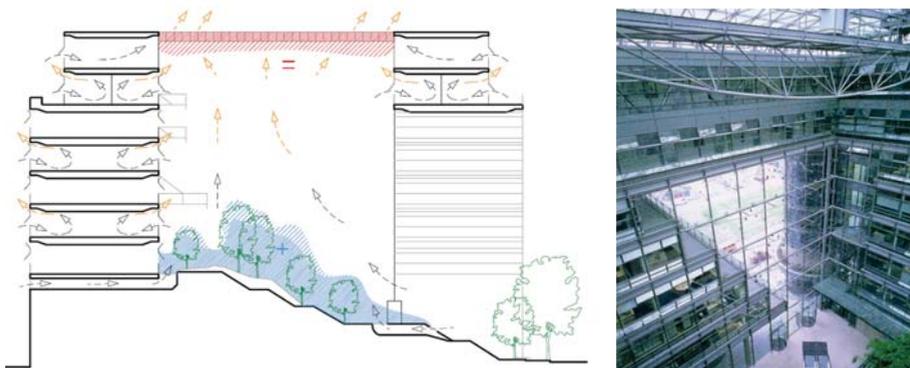


Figura 28. Sección e imagen del atrio. Edificio de oficinas en la Postdamer Platz.

o la imprevisibilidad en la dirección y velocidad del viento) se doten estos de inductores de presión dinámica o detectores de viento que cierren los exutorios frente a condiciones de viento desaconsejables para el confort térmico interior.

Facultad de Humanidades y Ciencias. Doha, Catar.
Kazuhiro Kojima, Kazuko Akamatsu. 2004

Edificio ubicado en una zona suburbana de la capital de Catar, a orillas del golfo Pérsico, inscrita en la ampliación de la ciudad de la educación. La zona se caracteriza por la intensa luz y la crudeza del clima desértico. El proyecto se conforma como un volumen paralelepípedo contundente del que solo sobresalen las torres multidireccionales de captación de viento. La protección solar que ofrece la doble piel se extiende a la cubierta remarcando el carácter introspectivo del conjunto. Las salas de conferencias, aulas y demás parte del programa se reparten en paquetes por el interior del perímetro de fachada liberando generosos espacios de circulación y relación, patios no superpuestos recubiertos con celosías que permiten en todo momento un interior protegido de la radiación solar y permanentemente ventilado. Las torres de captación de viento que actúan como contrapunto vertical a la horizontalidad del conjunto son el principal recurso formal del edificio, ventilando la planta semisótano al atravesarlo.

Descripción de la estrategia

- Componente de ventilación encargado de conducir el viento que circula sobre las edificaciones hacia el interior de estas.
- La corriente de aire aumenta su velocidad con la altura al reducirse las turbulencias generadas por la topografía, las edificaciones o la vegetación.
- Las condiciones del aire como materia prima de ventilación mejoran al disminuir su temperatura, la presencia de elementos contaminantes y partículas en suspensión.
- El diseño específico del captador dependerá de la severidad del clima, el régimen de vientos, las tradiciones locales o disponibilidad de sistemas industrializados, pudiendo ser desde pequeñas prolongaciones de la cubierta que desvían el aire hacia aberturas, hasta altas estructuras que se elevan varios metros por encima de los edificios.
- Los captadores unidireccionales se instalan en el caso de existir una dirección predominante de vientos frescos aptos para la refrigeración.
- Los captadores multidireccionales serán capaces en cambio de conducir vientos de cualquier dirección, que circulen por encima de las edificaciones, hasta el interior de estas por medio de bocas múltiples o elementos giratorios.
- Deben evitarse las direcciones de viento cálido en verano y permitir anular la captación

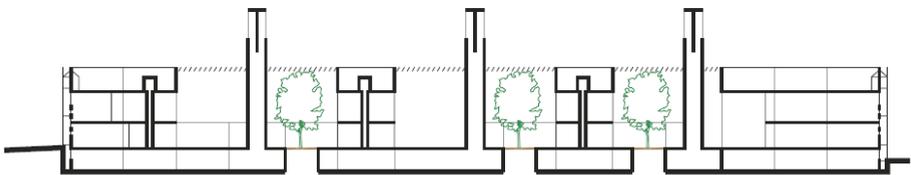


Figura 29. Sección del edificio. Facultad de Humanidades y Ciencias.

durante períodos fríos.

4.2.3. Ventilación conducida por el efecto combinado del viento y del efecto chimenea

Como se ha visto en los dos apartados anteriores, la ventilación natural puede producirse a partir de las diferencias de presiones generadas por el viento o por las diferencias de temperaturas de las masas de aire (efecto chimenea). **En la práctica, casi siempre la ventilación natural se produce gracias al efecto combinado de estos dos fenómenos, que no siempre actuarán en el mismo sentido.**

El flujo de aire que pasa a través de una abertura se define, entonces, como la suma algebraica de la presión generada por el viento, por un lado, y la presión generada por el efecto chimenea, por el otro. Si las dos presiones tienen el mismo signo (o sentido), entonces trabajan en conjunto para aumentar el flujo de aire, pero si no, el flujo de aire se reducirá llegando incluso, en ciertos casos, a anularse mutuamente, lo que significa que no se produzca ningún flujo de aire a través de las aberturas. Por ello es importante que el diseño del sistema de ventilación natural integre ambas acciones desde el principio.

Sede de la GSW. Berlín. Alemania. Sauerbruch, Hutton. 1990

Fachada construida con un muro cortina doble de un 1 m de profundidad que incorpora en su interior estores plegables. En invierno la protección solar es retirada y el sol calienta el interior de las oficinas. En verano esta se despliega calentando el interior de la cámara y generando corrientes ascendentes que succionan el aire del interior de las oficinas. Las ventanas, de eje horizontal inferior, se proyectan hacia la cámara permitiendo la extracción sin que el aire caliente penetre en el interior. El edificio está coronado por un inductor unidireccional de fuerte presencia formal construido por medio de una subestructura de acero revestida por una lámina textil. Este evita sobrecalentamientos en la cubierta a la vez que genera una zona de fuertes presiones negativas que potencia la succión del aire contenido en la cámara. La ventilación del espacio interior se obtiene de forma natural un 70% del año, estimándose ahorros energéticos de en torno al 37% con respecto a oficinas climatizadas de forma convencional.

Descripción de la estrategia

- Sistemas desarrollados con el objetivo de permitir la ventilación natural en edificios en altura situados en climas fríos, en donde la presión del viento dificulta la apertura de ventanas.
- En verano la ventilación se induce por el calentamiento del aire en el interior de la cámara, generándose una corriente ascendente que succiona el aire del interior de los locales. Para que esto ocurra, algún elemento opaco en el interior de la cámara debe interceptar la radiación solar (antepechos, protección solar, etc). El volumen de aire extraído de los locales es función de la diferencia de temperatura obtenida, la altura del edificio, la presión del viento en la coronación y la fricción de la columna de aire con los límites de la cámara. Es importante evitar que se generen zonas de presión positiva en la parte alta del edificio, lo cual dificultaría la salida del aire e introduciría aire caliente en las plantas superiores. Para prevenir este efecto se debe prolongar la fachada por encima del último piso o subdividir el conducto en tramos.
- En invierno la doble fachada puede ser utilizada para el precalentamiento del aire inyectando en su interior el aire exterior y succionándolo desde las distintas plantas (debe evitarse en todo



Figura 30. Sección y detalle del elemento venturi, detalle de la fachada e imagen exterior. Sede de la GSW.

momento que los aportes por radiación sean menores que las pérdidas generadas por la alta conductividad del vidrio).

Edificio de viviendas EMV. Madrid. España. AUIA. 2003

Las chimeneas de inducción térmica permiten la ventilación natural en áreas urbanas al ser capaces de inducir depresiones suficientes para forzar la entrada de aire desde zonas limpias y silenciosas evitando aberturas a zonas contaminadas o ruidosas.

El edificio está constituido por viviendas dúplex pasantes, abiertas al patio interior de manzana (Este) y a una avenida de intenso tráfico (Oeste). Para habilitar la ventilación cruzada, se construyen al oeste una serie de chimeneas solares que permiten durante la noche mantener la ventilación cruzada sin necesidad de abrir las ventanas, evitando con ello la entrada de ruido. Un sistema programado de apertura permite almacenar durante la tarde energía en la inercia térmica interior de las chimeneas, que es liberada al anochecer al abrirse las aberturas de la coronación, activando la ventilación cuando esta es más efectiva gracias al descenso de las temperaturas exteriores. Las corrientes activadas inciden sobre la inercia térmica de paredes y forjados reduciendo su temperatura hasta 3°C.

Descripción de la estrategia

- Extracción natural forzada por el calentamiento del aire en el interior de un conducto vertical. Al aumentar la diferencia de temperatura entre el aire contenido en el interior del conducto y el aire exterior es posible aumentar el caudal de extracción potenciando la renovación de aire e incluso la incorporación del sistema a estrategias de refrigeración.
- El calentamiento se produce de forma habitual por efecto invernadero o mediante recuperadores de calor, pudiendo producirse en cualquier zona del conducto excepto en la coronación de la chimenea.
- Calentar el aire en este punto provoca frecuentemente la sustitución del aire precalentado por el inductor térmico por aire exterior, anulándose la succión del aire interior al oponer esta mayor resistencia dada su mayor distancia y mayor número de pérdidas de carga. Para evitar este efecto debe prolongarse la chimenea por encima del elemento calefactor al menos 1,5 m.
- En climas con altos índices de nubosidad es habitual la incorporación de ventiladores con el



Figura 31. Sección e imagen de la fachada. Edificio de viviendas EMV.

objetivo de mantener el movimiento del aire cuando no exista radiación solar directa. Dichos ventiladores no deben situarse en el extremo superior del conducto (por las mismas razones argumentadas anteriormente).

Gimnasio Las Maravillas. Madrid. España. Alejandro de la Sota. 1962

La construcción resuelve un programa de aulas, gimnasio y vestuarios en un complicado solar de fuerte pendiente. El edificio se estructura a partir del diseño de la sección. Una serie de vigas puente salvan la luz existente entre la calle y el muro de contención, liberando el espacio necesario para la cancha de juegos. El cordón superior de la viga prolonga el patio de juegos existente en la cota superior, mientras que el cordón inferior marca la disposición de los pupitres en las aulas que ocupan el espacio entre vigas puente. Mediante ventanas altas abiertas a la calle se ilumina el interior y se permite el acceso solar. Se consigue mantener la ventilación cruzada del gimnasio a pesar de disponerse de una única fachada. La entrada de aire se realiza a través de rejillas de ventilación situadas en el zócalo del edificio. La salida de aire se produce por la cota superior a través de canales de ventilación que conectan el techo de la galería de espectadores con el exterior. La forma de la cubierta acompaña el recorrido del aire caliente en su ascensión. En verano la corriente de aire barre la pista y las gradas incidiendo directamente sobre jugadores y espectadores, pudiéndose abrir las ventanas superiores al sur para aumentar los niveles de ventilación y evacuar el aire caliente allí acumulado.

Descripción de la estrategia

- Ventilación a través de rejillas instaladas en fachada e inducida por la presión dinámica del viento, diferenciales de temperatura entre el interior y el exterior o por medio de sistemas mecánicos integrados en estas.
- En verano es un componente especialmente útil en estrategias de ventilación nocturna ya que, al evitar la necesidad de abrir ventanas, la ventilación puede mantenerse mientras los ocupantes duermen o el edificio permanece desocupado, sin que exista riesgo de robo, entrada de animales o daños causados por la lluvia.
- En invierno, las rejillas móviles (motorizadas o manuales) permiten una fácil regulación del volumen de aire de renovación.
- Al igual que ocurre con las ventanas aireadas, el caudal de aire obtenido con respecto a una ventana se reduce, dependiendo del tipo de lama instalado entre un 30 y en 70% por lo que para asegurar la eficiencia de la refrigeración deben dimensionarse con criterio, en función del

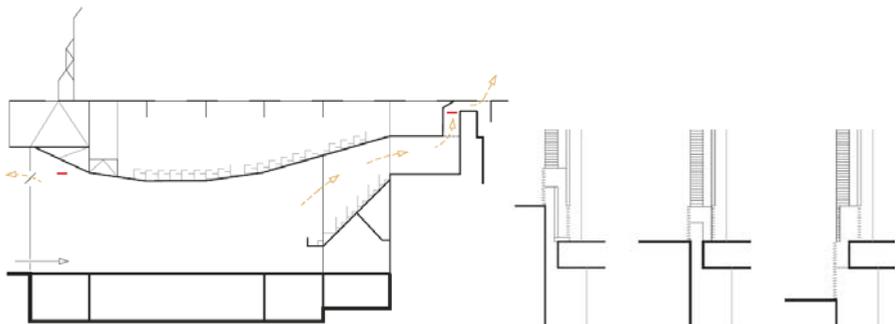


Figura 32. Sección y detalle de las ventanas. Gimnasio Las Maravillas.

caudal de aire que certifiquen los ensayos a los que se haya sometido el producto.

Hall 26. Recinto ferial. Hannover. Alemania. Thomas Herzog

EL Hall 26 es uno de los pabellones perteneciente al recinto ferial de Hannover. En él, la manipulación de la sección conduce el aire interior hacia las aberturas, situadas en la parte superior de la cubierta, allí donde el edificio concentra las mayores presiones negativas. La extracción se encuentra reforzada por inductores unidireccionales. Al forzarse el paso del aire entre el inductor y la cubierta aumenta su velocidad reduciendo su presión y potenciando las succiones. La apertura de las distintas aberturas está automatizada en función la dirección del viento. La necesidad de liberar el suelo para maximizar el espacio de exposición fuerza habitualmente en los recintos feriales a impulsar el aire frío de climatización desde zonas altas, lo cual obliga a emplear temperaturas reducidas y velocidades de impulsión elevadas. En este caso, la impulsión del aire se produce a través de conductos de vidrio construidos a 3 m. de altura que impulsan el aire hacia abajo sin obstaculizar el espacio expositivo ni impedir la lectura diáfana del recinto. La combinación de técnicas naturales y artificiales permite reducir el volumen de aire acondicionado limitando el número de conductos de impulsión (1 cada 75 m). La reducción de consumos se sitúa en torno a un 50% con respecto a edificios similares dotados de sistemas de acondicionamiento artificial convencionales.

Descripción de la estrategia

- Elementos capaces de forzar el incremento de las succiones en zonas exteriores cercanas a las aberturas o en la cabecera de conductos verticales, al desviar la trayectoria del viento, o inducir su paso por canales abiertos entre las aberturas de cubierta y el componente inductor.
- Su funcionamiento se basa en el teorema de Bernoulli (la presión de un fluido en movimiento decrece a medida que su velocidad aumenta).
- Los extractores unidireccionales son aquellos que solo activan la ventilación frente a determinadas direcciones de viento, bien por ser estas las corrientes dominantes o con el objetivo de evitar activar la extracción frente a direcciones de viento cálido.
- Los extractores multidireccionales son inductores de extracción que aseguran la succión del aire interior frente a cualquier dirección del viento. Son habituales como coronación de conductos verticales de ventilación o sobre patios para aumentar el volumen de aire succionado.

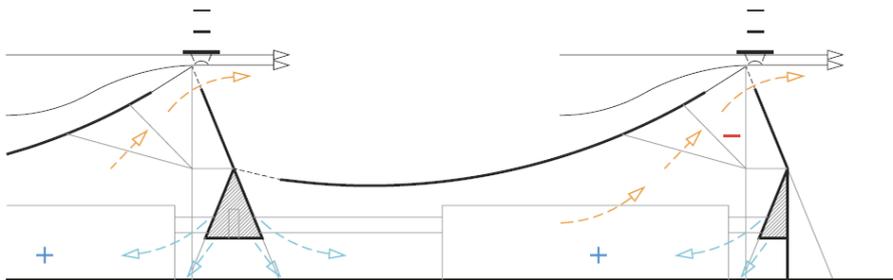


Figura 33. Sección del edificio. Hall 26.

- Existen numerosos productos industrializados que aseguran volúmenes de evacuación de entre 50 y 1000 m³/h.

4.3. Herramientas de cálculo de la Ventilación Natural

Podemos encontrar un gran número de herramientas que permiten el análisis de las posibilidades de implementación y de la viabilidad de la ventilación natural como medio para garantizar una adecuada CAI. Existen desde herramientas de gran precisión como, por ejemplo, las simulaciones termodinámicas de modelos informáticos, que permiten la optimización del diseño, hasta las herramientas simplificadas que permiten un realizar un pre-dimensionado más rápido y estimativo, como son herramientas informáticas de cálculos empíricos. Todas estas herramientas, cualquiera que sea su complejidad, nos permiten obtener datos del comportamiento del sistema de ventilación a partir de unas condiciones de contorno definidas. Estas condiciones deben incluir, entre otros aspectos, dirección y velocidad del viento.

Los modelos empíricos están basados en formulas simplificadas generalmente obtenidas de manera experimental bajo ciertas condiciones, por lo que su uso queda restringido dentro de ciertos límites de validez. Sin embargo, estas herramientas son muy útiles porque ofrecen una primera estimación rápida de caudales de aire o velocidades, ideales para la fase de diseño del sistema. Entre las herramientas simplificadas, las más utilizadas se pueden ver en la Tabla 5.

Herramientas simplificadas para el cálculo de ventilación natural	
Class vent. (BB101) ¹ [46]	Predicción de caudales y dimensionado de apertura
AM10CalcTool. (CIBSE) ¹ [47]	Predicción de caudales y dimensionado de apertura
Florida Solar Energy Method ¹ [48]	Dimensionado de aberturas y cálculo de caudales y velocidades de aire
ASHRAE ¹ [1]	Predicción de caudales y dimensionado de apertura
Aynsley, R. M.) ¹ [48]	Predicción de caudales
British Standard ¹ [49]	Predicción de caudales y dimensionado de apertura
B. Givonni ¹ [48]	Previsión de velocidades de aire

Tabla 5. Herramientas simplificadas para el cálculo de ventilación natural

Melaragno ¹ [48]	Previsión de velocidades de aire
Ernest, D.R. ¹ [48]	Previsión de velocidades de aire
De Gidds and Phaff ⁴	Predicción de caudales

Además, existen también diversas guías de diseño de sistemas de ventilación natural. La más extendida es la Guía *AM10 Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings (CIBSE Applications Manual 10)*, en la que se basan distintas normativas y códigos de la edificación, como los *Building Bulletin* de Reino Unido, o el sello de sostenibilidad LEED®.

Por otro lado, existen simuladores energéticos capaces de realizar cálculos de ventilación natural y confort interno mediante cálculos de *AirFlowNetwork*, como *EnergyPlus*. Y simuladores basados en técnicas de Dinámica Computacional de Fluidos (CFD, por sus siglas en inglés), como *Phoenix*, que permiten analizar el comportamiento del aire a través del edificio. El término CFD se refiere a un grupo de modelos matemáticos que permiten calcular la temperatura, velocidad, presión y demás propiedades de los fluidos contenidos en un ámbito determinado y que, aplicados a la edificación, posibilitan una comprensión detallada del funcionamiento de la ventilación en el edificio y la optimización del diseño de las aberturas y otros elementos necesarios para su correcto funcionamiento. Los programas CFD pueden usarse para responder cuestiones como las siguientes:

- ¿Qué distribución de temperaturas se puede esperar en un atrio bajo condiciones de verano con cielo despejado?
- ¿La disposición de los difusores de suministro genera un adecuado movimiento del aire?
- ¿Se lograrán condiciones de confort adecuadas?
- ¿La ventilación natural permitirá conseguir niveles satisfactorios de confort durante el verano?
- ¿Hay zonas con aire viciado dentro del edificio?
- ¿Qué efecto tendrá la forma del edificio en la velocidad y los patrones de movimiento del viento?

Los modelos computacionales más sofisticados resuelven las ecuaciones de NavierStokes. Generalmente, el nivel de complejidad que puede asumir cada modelo viene dado en función de la cantidad de espacios vinculados entre sí que es capaz de resolver o de la densidad de la trama de red dentro de la cual se calculan las variaciones de todas las variables intervinientes nodo por nodo.

5

CÁLCULO DE LA VENTILACIÓN NATURAL MEDIANTE MODELOS EMPÍRICOS

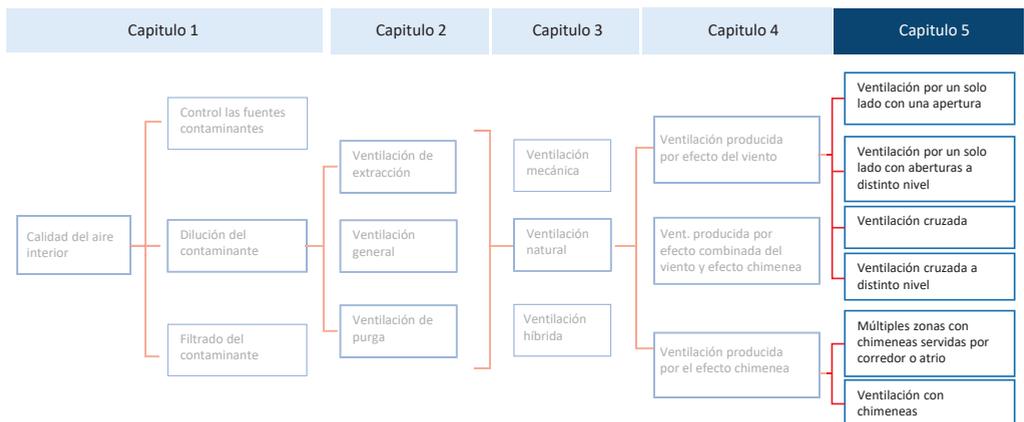


Figura 34: Esquema del capítulo 5

5. CÁLCULO DE LA VENTILACIÓN NATURAL MEDIANTE MODELOS EMPÍRICOS

La posibilidad actual de utilizar herramientas dinámicas de simulación y cálculo nos da nuevos instrumentos y nos descubren nuevos procedimientos de proyectar con la luz, el confort, la ventilación, así como tantos otros parámetros que influyen en la arquitectura y su habitabilidad.

La base de estos instrumentos puede marcarnos los mínimos necesarios y ser una base de trabajo, más allá del cumplimiento que nuestros códigos exigen. Su uso nos permite justificar de manera prestacional aquellos requerimientos o normas hasta ahora prescriptivas.

Se necesita definir la configuración básica del edificio, así como sus caudales de aire en cada zona, para poder demostrar un correcto diseño de un sistema de Ventilación Natural (VN). Esta primera aproximación al diseño del edificio debe permitir especificar los datos requeridos para realizar los cálculos:

- La posición de las aberturas
- Los coeficientes de descarga de las aberturas
- Las condiciones de diseño de temperatura y viento del ambiente exterior.

Una vez definidos estos parámetros, es posible **dimensionar las aberturas** con el fin de verificar:

- El tamaño de abertura obtenido para cada fachada y su comparación con los tamaños mínimos expuestos en la normativa (DB HS3). Si el tamaño es más grande al expuesto en la normativa, será difícil demostrar el cumplimiento de las normativas de ahorro energético (DB HE), ya que, para los periodos fríos, el sobredimensionamiento de las aberturas al exterior provocará pérdidas energéticas considerables.
- Velocidad del aire a través de las aberturas al exterior, y la posibilidad de crear corrientes de aire que puedan producir malestar en las zonas ventiladas.
- Definición de cuestiones relacionadas de diseño, como el cumplimiento de la normativa acústica (DB HR), o de seguridad en caso de incendio (DB SI), y cuestiones tenidas en cuenta en el cálculo, como aberturas internas.

Este dimensionamiento se puede realizar de manera simplificada siguiendo las reglas básicas que se presentan en el manual *“AM10 Natural Ventilation in Non-Domestic*

Buildings (CIBSE Applications Manual 10)”, la cual es referenciada como norma de cumplimiento para el diseño de sistemas de ventilación natural de diferentes códigos de construcción, como los “Building Bulletin” de Reino Unido, o el sello de sostenibilidad LEED®, haciendo uso de su herramienta informática AM10 CalcToolv5. Entre otros aspectos, el manual especifica las profundidades máximas que deben tener las zonas a ventilar naturalmente en función de la tipología y distribución de las aberturas al exterior. Como su nombre indica, esta guía esta pensada a edificios no domésticos, los cuales usualmente presentan una mayor complejidad, sin embargo los principios expuestos por la misma pueden ser aplicados a vivienda.

5.1. Ejemplo de aplicación de la guía “AM10 Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings”

La guía propone diferentes métodos de cálculo en función del tipo de espacio y estrategia de ventilación que se propone. Las diferentes opciones son:

Espacios aislados:

- Ventilación por un solo lado – abertura simple
- Ventilación por un solo lado – abertura doble
- Ventilación cruzada

Espacios simples:

- Ventilación por efecto chimenea – atrios de ventilación
- Ventilación por efecto chimenea – chimeneas de ventilación

Las opciones de diseño asumen que la temperatura interna es mayor que la temperatura externa (o viceversa); pero las direcciones de flujo siempre serán las mismas.

En los apartados que siguen se describen las características de cada tipo de espacio y los métodos de cálculo utilizados para cada estrategia de ventilación natural.

5.2. Cálculo de la ventilación natural en espacios aislados

Se denominan espacios aislados a aquellos espacios que se pueden considerar aislados del resto de zonas del edificio, en cuanto al funcionamiento de la ventilación

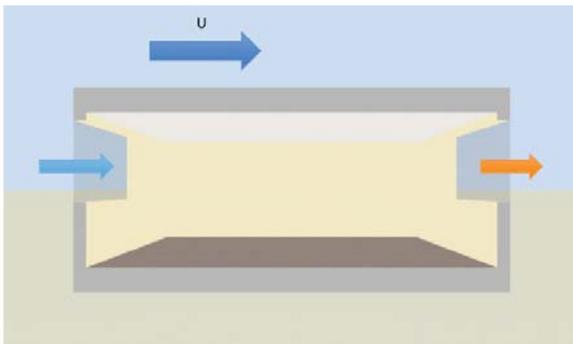


Figura 35. Espacio aislado

natural (VN), y pueden ser tratados mediante modelos simples de flujo del aire. (Figura 35) Las dos estrategias básicas de ventilación natural para esta categoría de espacios son: (1) la ventilación por un solo lado y (2) la ventilación cruzada. En este tipo de espacios, las aberturas del espacio al exterior son mucho más grandes que las aberturas en particiones interiores.

5.2.1. Ventilación por un solo lado - Abertura simple

Si solamente existe una única abertura de ventilación, el aire se impulsa y extrae por el mismo hueco, que normalmente corresponde a la parte practicable de la ventana o a una rejilla. En relación con el resto de estrategias de VN, las tasas de ventilación son inferiores y el aire de ventilación penetra una distancia menor en el espacio.

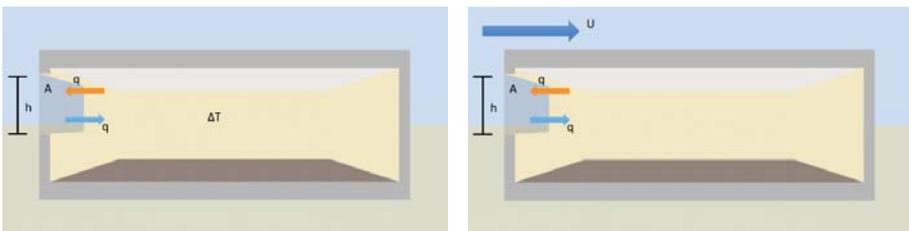


Figura 36. Ventilación de un solo lado con una única abertura

Por el efecto de la temperatura, el aire entra por la parte inferior de la abertura y sale por la parte superior, tal y como se ilustra en la Figura 36a. Por el efecto del viento, el movimiento del aire es el mismo: se impulsa por la parte inferior y se expulsa por la parte superior (Figura 36b) En este caso, la combinación de ambos fenómenos potencia la ventilación.

Cálculo. Vent. un solo lado. Abertura simple. Teniendo en cuenta el efecto de la temperatura

El cálculo del área (A) requerida de la abertura al exterior para proporcionar las tasas de ventilación de diseño (q), teniendo en cuenta el efecto de la temperatura, se puede realizar mediante la expresión:

$$A = \frac{q}{C_d} \sqrt{\frac{(T_i + 273)}{\Delta T \cdot g \cdot h}} \quad \text{Ec. (2)}$$

- A es el área de la abertura (m²)
- q es la tasa de ventilación de diseño (m³/s)
- C_d es el coeficiente de descarga (adimensional)
- T_i es la temperatura interior (°C)
- ΔT es la diferencia de temperatura entre el interior y exterior (°C)
- g es la fuerza de la gravedad (m/s²)
- h es la altura de la abertura (m).

Un valor típico para C_d para esta estrategia de ventilación es 0.25.

Cálculo. Vent. un solo lado. Abertura simple. teniendo en cuenta el efecto del viento

El cálculo del área (A) requerida de la abertura al exterior para proporcionar las tasas de ventilación de diseño (q), teniendo en cuenta el efecto del viento, puede realizarse mediante la expresión:

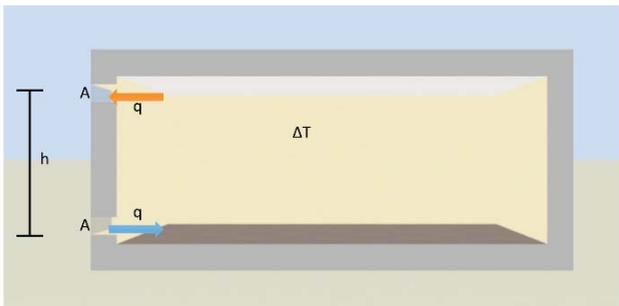


Figura 37. Ventilación de un solo lado. Abertura doble

$$A = \frac{q}{C \cdot U} \quad \text{Ec. (3)}$$

- A es el área de la abertura (m²)
- q es la tasa de ventilación de diseño (m³/s)
- C es el coeficiente de descarga (adimensional)
- U es la velocidad del viento (m/s).

El valor del coeficiente C depende de la geometría de la abertura, la posición en la que se mida la velocidad del viento y el flujo de aire alrededor del edificio. Como regla general, se utilizan valores entre 0.01 y 0.05 en los casos en que la velocidad del viento se determine a la misma altura que el edificio. Se deben tener en cuenta también los efectos de la difusión turbulenta.

5.2.2. Ventilación por un solo lado – Abertura doble

Este caso corresponde a la situación en que la impulsión y la expulsión se realicen a través de dos o más aberturas distintas (ventanas o rejillas) situadas en el mismo plano y a distinto nivel. En este caso, las ratios de ventilación pueden ser mayores debido al efecto chimenea. Así, el flujo inducido aumenta al aumentar la separación

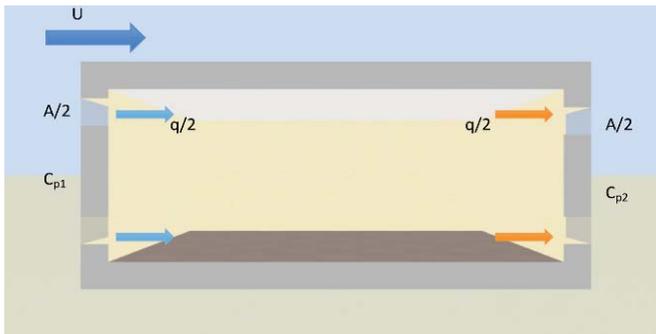


Figura 38. Ventilación cruzada. Efecto del viento

vertical de las aberturas y con la diferencia de temperatura entre el interior y exterior. Además de mejorar la tasa de ventilación, la doble apertura aumenta la profundidad de penetración del aire fresco en el espacio.

Por el efecto de la temperatura, el aire entra por la abertura inferior y sale a través de la superior (Figura 37).

ζ

Cálculo. Vent. un solo lado. Abertura doble. Teniendo en cuenta el efecto de la temperatura

El cálculo del área (A) requerida de cada abertura al exterior para proporcionar las tasas de ventilación de diseño (q), teniendo en cuenta el efecto de la temperatura, se

puede realizar mediante la Ec. (7) descrita anteriormente.

Un valor típico para C_d en esta estrategia de ventilación es 0.6. Este método considera que las aberturas son idénticas; para calcular aberturas con diferentes áreas de ventilación en cada una de ellas o diferentes coeficientes de descarga, se puede utilizar la metodología descrita en las normas CIBSE Guide A y BS 5925.

5.2.3. Ventilación cruzada - Efecto del viento

En este caso, la entrada y salida de aire se producen a través de fachadas enfrentadas (Figura 38). La principal fuerza motriz de este tipo de ventilación es el viento, aunque el diseño debe garantizar que existirá una ventilación mínima en los casos “sin viento”. Para ello, se debe procurar mantener una diferencia de altura razonable entre la entrada y la salida de aire. Otro aspecto a tener en cuenta, al igual que en el resto de los casos, es la transmisión de ruidos, que puede controlarse mediante el uso de atenuadores acústicos adecuados.

Cálculo. Vent. cruzada. Teniendo en cuenta el efecto de la temperatura

Para el cálculo del caso “sin viento” se utiliza la ecuación Ec. (7) definida en el Apartado 6.1.1.

Cálculo. Vent. cruzada. Teniendo en cuenta el efecto del viento

Para el cálculo del área (A) requerida de cada abertura al exterior para proporcionar las tasas de ventilación de diseño (q), teniendo en cuenta el efecto del viento, se puede realizar mediante la expresión:

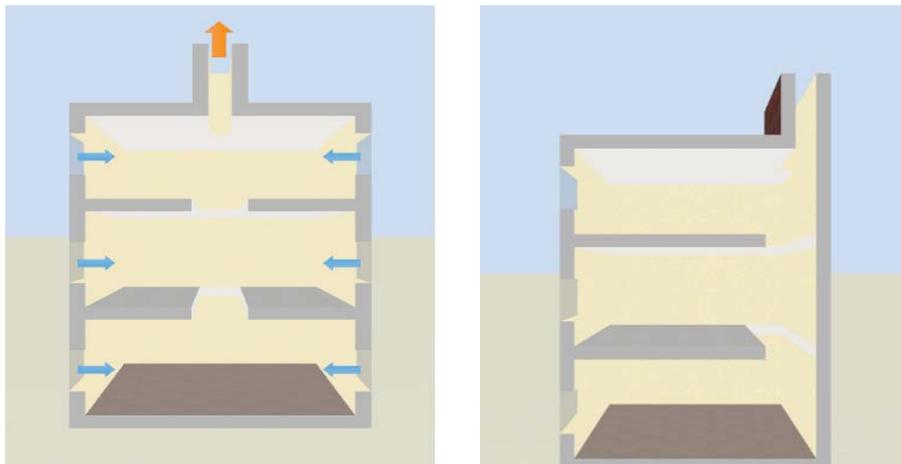


Figura 39. Espacios simples. Configuración atrio (a) y configuración chimenea (b)

$$A = q \left(C_d \cdot U \sqrt{\frac{\Delta C_p}{2}} \right)^{-1} \quad \text{Ec. (4)}$$

- A es el área total de abertura de cada fachada (m²)
- ΔCp es la diferencia de los coeficientes de presión del viento en cada fachada
- q es la tasa de ventilación requerida (m³/s)
- Cd es el coeficiente de descarga (adimensional)
- U es la velocidad del viento (m/s).

5.3. Cálculo de la ventilación natural en espacios simples

En un edificio definido como “espacio simple”, todas las zonas interiores están conectadas entre ellas por aberturas interiores más grandes que las aberturas de cada zona al exterior. En este tipo de espacios es necesario considerar todas las aberturas simultáneamente para realizar los cálculos de dimensionamiento de aberturas.

5.3.1. Estrategias de ventilación

Existen distintas configuraciones de “espacios simples” que influyen en el cálculo que deberá realizarse. En la Figura 39 se presentan dos variantes de una configuración típica en la que todos los espacios están conectados a un atrio central (Figura 39a) o a una chimenea lateral (Figura 39b). En esta configuración, el aire fresco entra por cada uno de los espacios y es inducido a salir mediante convección natural por los huecos centrales del atrio o laterales de la chimenea hasta la abertura de extracción superior.

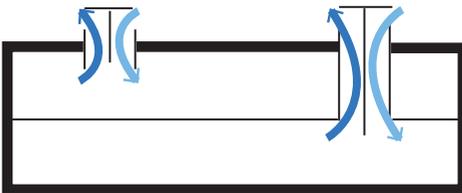


Figura 40. Ventilación por conductos separados montados en techo

Cálculo diferencia de densidad del aire (Δρ). Configuración Atrio y configuración Chimenea

En ambos casos, para abordar el cálculo de las superficies de ventilación que garantizan la ventilación de diseño, es necesario conocer la diferencia de densidad del aire (Δρ) entre las entradas y la salida. Ésta viene definida a través de las

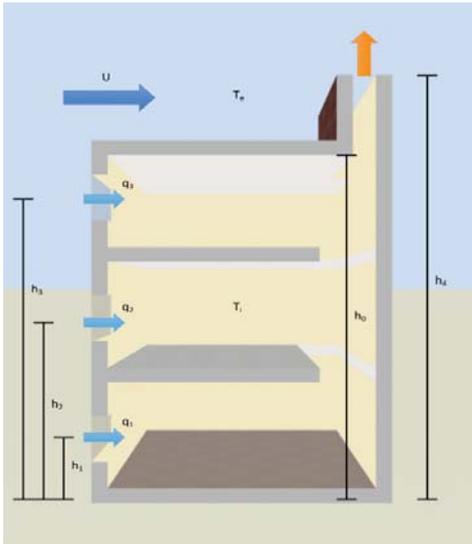


Figura 41. Esquema del edificio utilizado como ejemplo para el cálculo

siguientes ecuaciones:

$$\frac{\Delta\rho_0}{\rho_0} = \frac{T_i - T_e}{T_e + 273} \quad \text{Ec. (5)}$$

$$\frac{\Delta\rho_c}{\rho_0} = \frac{T_c - T_i}{T_i + 273} \quad \text{Ec. (6)}$$

- ρ_0 es la densidad de referencia del aire (1.20 Kg/m³)
- T_i es la temperatura interior (°C)
- T_e es la temperatura exterior (°C),
- T_c es la temperatura de la chimenea.

La resolución de estas ecuaciones requiere la especificación de un valor de diferencia de presión ($\Delta\rho_0$), que varía en función de la configuración del edificio. Esto se aborda en los casos de estudio definidos a continuación.

Otras posibles configuraciones incluyen la incorporación de un conducto de extracción (chimenea o chimenea solar) o de conductos separados montados en el techo, que utilizan la diferencia de presión a través del dispositivo de ventilación segmentado para conducir el aire hacia abajo a través del segmento de cara al viento e introducirlo en el espacio. La succión creada por la presión negativa en el segmento de sotavento extrae el aire que sale del espacio. Se pueden utilizar actuadores para controlar las tasas de flujo de aire y difusores para mejorar la distribución de aire. El terminal de techo único se divide internamente para obtener 4 cuadrantes separados por los que fluye el aire de forma independiente. (Figura 40). Los ejemplos incluyen “Windcatcher” (colector de viento), “Windvent” (respiradero del viento) y “Airscoop” (colector de aire).

5.3.2. Ventilación por efecto chimenea (efecto Stack) – atrios de ventilación

Con el fin de ilustrar la metodología de cálculo en el caso de los espacios simples se considera un edificio de tres plantas, con una abertura en cada una de ellas, en

la misma fachada y una abertura de extracción general en la cubierta. El patrón de flujo se ilustra en la Figura 41.

En este caso es posible realizar los cálculos teniendo en cuenta únicamente la diferencia de temperatura, o incluir también la fuerza del viento. Sin embargo, se deben realizar los cálculos “sin viento” para reproducir el peor de los escenarios.

El aire fresco entra por cada una de las aberturas en fachada y fluye a través de los espacios adyacentes y de la chimenea hasta salir por la abertura superior. Esto significa que la diferencia de presión varía con la altura. La altura a la cual la diferencia de presión es 0, es conocido como altura neutra de presión (z_n).

Cálculo teniendo en cuenta únicamente la temperatura y considerando una temperatura interna uniforme

Este método de cálculo consiste en dos pasos. En primer lugar, se debe estimar la altura de la *línea neutra de presión* (z_n), la cual permitirá calcular las diferencias de presión. En realidad, z_n es un valor variable y difícil de determinar, por lo que generalmente se utilizan los valores que recomiendan los documentos normativos, que son aproximaciones realizadas en función a la geometría del edificio, etc. Una vez estimada z_n , es posible determinar las diferencias de presión a distintas alturas utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\Delta p_0 = \Delta \rho_0 \cdot g \cdot z_n \quad \text{Ec. (7)}$$

$$\Delta p_i = \Delta \rho_0 \cdot g \cdot z_n - \Delta \rho_0 \cdot g \cdot z_i \quad \text{Ec. (8)}$$

En segundo y último lugar, se calcula el área requerida para cada una de las aberturas mediante la siguiente ecuación:

$$C_{di} \cdot A_i = \frac{q_i}{S_i} \sqrt{\frac{\rho_0}{2 \cdot |\Delta p_i|}} \quad \text{Ec. (9)}$$

- A es el área de cada abertura (m^2)
- q es la tasa de ventilación requerida (m^3/s)
- Cd es el coeficiente de descarga (adimensional)
- S es el coeficiente que permite especificar si la abertura es de admisión o expulsión del aire (+1 y -1, respectivamente)
- ρ_0 es la densidad de referencia ($1.20 \text{ Kg}/m^3$)
- Δp es la diferencia de presión (Pa), expresada en valor absoluto

No es necesario calcular separadamente los valores $C_{di} \cdot A_i$, si su producto es el mismo. El método es válido tanto para los casos de atrio como para los de chimenea.

Cálculo teniendo en cuenta únicamente el efecto del viento y considerando una temperatura interna uniforme

En este caso, el patrón de flujo puede variar en función de la dirección del viento y la posición de las aberturas. El diseño debería tratar de garantizar un patrón de flujo igual al que se produce por efecto de la temperatura, con el fin de que ambos efectos combinados se sumen. Para ello es necesario, entre otros datos, que el coeficiente de descarga de la abertura superior de extracción sea más negativo que el del resto de aberturas. Esto significa que la dirección del viento crea presiones positivas en las aberturas de admisión.

El primer valor a calcular es la diferencia de presión Δp_0 (Pa), que se rige por la ecuación:

$$\Delta p_0 = 0.5 \cdot \rho_0 \cdot U^2 \cdot C_{pi} \quad \text{Ec. (10)}$$

- C_p es el coeficiente de presión del viento en fachada
- U es la velocidad del viento (m/s).

El patrón de flujo deseado se conseguirá si la presión interna es tal que la diferencia de presión de la abertura superior es la mitad de la diferencia de presión total a través del edificio:

$$\Delta p_4 = \frac{-0.5 \cdot \rho_0 \cdot U^2 \cdot \Delta C_p}{2} \quad \text{Ec. (11)}$$

Se utiliza esta condición para calcular la Δp_0 . Incluyendo el factor del viento en la ecuación de diferencias de presión, y marcando la diferencia de densidad como cero (es decir, no teniendo en cuenta el efecto de la temperatura), se obtienen las expresiones:

$$\Delta p_0 = -0.5 \cdot \rho_0 \cdot U^2 \cdot \left[\left(\frac{\Delta C_p}{2} \right) + C_{p4} \right] \quad \text{Ec. (12)}$$

$$\Delta p_i = -0.5 \cdot \rho_0 \cdot U^2 \cdot \left[\left(\frac{\Delta C_p}{2} \right) + C_{p4} \right] + 0.5 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot C_{pi} \quad \text{Ec. (13)}$$

Cálculo teniendo en cuenta el efecto simultáneo de la temperatura y del viento y considerando una temperatura interna uniforme

En este caso, la metodología de cálculo consiste en combinar las metodologías expuestas anteriormente. Para calcular la diferencia de presión Δp_o , se considera que los valores de Δp_i para las aberturas 3 y 4 son iguales en cantidad y opuestas en dirección. Así obtiene la siguiente ecuación:

$$\Delta p_o - \Delta \rho \cdot g \cdot z_3 + 0.5 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot C_{p3} = -(\Delta p_o - \Delta \rho \cdot g \cdot z_4 + 0.5 \cdot \rho \cdot U^2 \cdot C_{p4})$$

Ec. (14)

Cálculo teniendo en cuenta únicamente la temperatura y considerando una temperatura interna estratificada

En estructuras grandes, tales como atrios, la consideración de que la temperatura interior es uniforme no se asemeja a la realidad. En estos espacios, la temperatura se estratifica en altura, lo que favorece la ventilación natural. Este efecto puede tenerse en cuenta en el cálculo. Para ello es necesario especificar el valor de la variación de temperatura en función de la altura. Esta variación se puede especificar en función de la temperatura interna a la altura de $z=0$ y a la altura z_n , obteniendo T_o y T_n . Estos valores se relacionan a partir de la siguiente expresión:

$$T + 273 = \frac{T_o + 273}{\left[1 - \left(1 - \frac{T_o + 273}{T_n + 273}\right) \left(\frac{z}{z_n}\right)^N\right]}$$

Ec. (15)

- T es la temperatura a la altura z (m)
- T_o es la temperatura a la altura $z=0$ (°C)
- T_n es la temperatura a la altura neutra z_n (°C)
- z es la altura sobre el terreno (m)
- z_n es la altura de la línea neutra (m)
- N es un factor numérico.

La línea neutra suele estar por encima de todas las zonas ocupadas, y es donde se encuentra la temperatura máxima interna.

Es importante la definición del factor N. Un valor de 1 supone que el gradiente térmico es lineal, mientras que valores mayores modifican el gradiente térmico. Valores de N cercanos a 7 crean modelos más cercanos de la realidad.

Teniendo en cuenta este gradiente térmico, la ecuación de variaciones de presión con densidades no uniformes es:

$$\Delta p_i = \Delta \rho_o \cdot g \cdot (z_n - z_i) + \frac{\Delta \rho_o \cdot g \cdot z_n}{N+1} \left(\frac{\Delta T_n}{\Delta T_o} - 1\right) \left(1 - \frac{\Delta T_n}{T_n + 273}\right) \left(1 - \frac{z_i^{N+1}}{z_n^{N+1}}\right)$$

Ec. (16)

- ΔT_o y ΔT_n son las diferencias de temperatura interna y externa a la altura $z=0$
- z_n respectivamente.

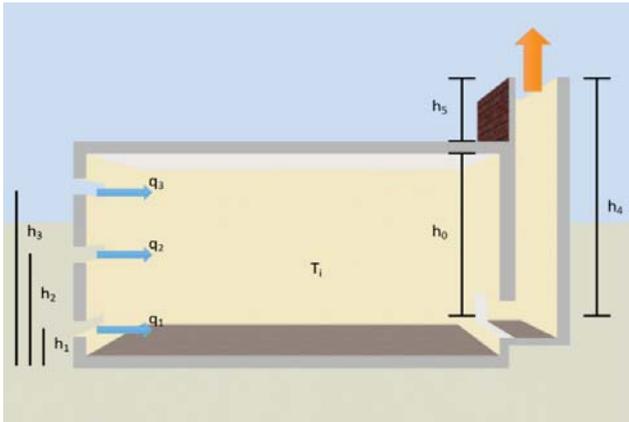


Figura 42. Caso con 3 aberturas de admisión y una chimenea de extracción. Chimenea

El área requerida para cada una de las aberturas se calcula mediante Eq. (14) tal y como se ha realizado anteriormente.

5.3.3. Ventilación por efecto chimeneas de ventilación.

Cálculo en el caso de incorporar una chimenea

El siguiente escenario expone el mismo caso analizado hasta ahora, pero ventilado por una chimenea de altura $L = h_4$. La chimenea se extiende una distancia h_5 sobre la altura de los espacios ocupados y el edificio tiene una altura total de $H = 10$ m. (Figura 42)

Se evalúan dos escenarios, teniendo en cuenta únicamente el efecto de la temperatura para simplificar, aunque se podría calcular incluyendo la estratificación de la temperatura de los espacios. Los dos escenarios considerados son:

1. La temperatura de la chimenea es uniforme e igual a la temperatura uniforme interior de los espacios.
2. La temperatura de la chimenea es uniforme y superior a la temperatura uniforme interior de los espacios.

Para el caso de que la densidad del aire de la chimenea (ρ_c) es igual a la del interior (ρ_i), el área requerida de cada abertura se obtiene de manera simplificada sustituyendo los valores de C_{di} obtenidos en los cálculos de los casos anteriores.

Para el caso en el que la temperatura de la chimenea sea mayor a la temperatura interior de las zonas ocupadas (chimenea solar), se debe abordar el problema como sigue:

$$\Delta p_c = \Delta p_0 - \rho_e \cdot g \cdot (H + h_5) + \rho_i \cdot g \cdot (H + h_5 - h_4) + \rho_c \cdot g \cdot (h_4) \quad \text{Ec. (17)}$$

Que también se puede expresar como:

$$\Delta p_c = \Delta p_0 - \Delta \rho_0 \cdot g \cdot (H + h_5) - \Delta \rho_c \cdot g \cdot (h_4) \quad \text{Ec. (18)}$$

Donde: $\Delta \rho_c = \rho_i - \rho_c$

6

CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

Los nuevos estándares de eficiencia energética exigen una reflexión más allá del clima. La importancia de garantizar una calidad del aire interior puede entrar en contradicción, en múltiples ocasiones, con los esfuerzos empleados en crear el mejor confort con el menor consumo. Es necesario afrontar ambos retos desde una visión global y transversal.

Este trabajo realiza un recorrido desde el análisis de los propios contaminantes hasta el cálculo y justificación de su control, con una especial atención a los sistemas de ventilación naturales, sin dejar de analizar la dualidad entre estos sistemas y los mecánicos. Se pretende facilitar una comprensión global del problema que contribuya al aporte de soluciones para una correcta ventilación de los edificios.

La calidad del aire es un aspecto tratado en entornos laborales e industriales desde hace mucho tiempo, sin embargo, en viviendas nunca había tenido la importancia que hoy tiene. Al contrario de lo que ocurre en los edificios de oficinas e industrias, la contaminación del aire en viviendas se debe a la acumulación de un variado número de sustancias tóxicas en concentraciones relativamente bajas. Distintos organismos internacionales presentan anualmente informes sobre los tipos de contaminantes que pueden estar presentes en el interior de los edificios y sus efectos sobre la salud.

En el caso de edificios residenciales, aunque no existe todavía un consenso claro de cuáles son los contaminantes más relevantes a tener en cuenta, los comúnmente aceptados son (1) la humedad, (2) los productos de la combustión de algunos electrodomésticos (por ejemplo, cocinas de gas, aceite o combustible sólido), (3) las emisiones químicas de los productos de construcción y de consumo y (4) productos procedentes del metabolismo humano.

Para el control de contaminantes en el caso de viviendas existen tres aproximaciones distintas: (1) utilizar el CO₂ como indicador, (2) utilizar indicadores basados en la percepción del usuario y (3) controlar la fuente, por ejemplo, mediante el etiquetado de los materiales de construcción, la mejora de los equipos de combustión, etc.

La estrategia más utilizada para controlar la calidad del aire en viviendas es la dilución. Esta se realiza básicamente mezclando el aire contaminado con un aire sin contaminantes o con una concentración menor e éstos. Tradicionalmente el aire limpio entraba a la vivienda a través de infiltraciones, sin embargo, la reducción de éstas hace que los contaminantes no se diluyan con tanta facilidad, creando un doble problema. Por un lado, el aumento de la concentración de ciertos contaminantes por encima de los límites establecidos como seguros y por otro, el aumento de la posibilidad de mezcla entre los distintos contaminantes. Estas mezclas pueden causar problemas aun cuando las concentraciones de cada uno de los contaminantes

por separado puedan considerarse inocuas. Esto dificulta enormemente el control de la calidad del aire interior en viviendas, ya que no sólo es necesario controlar más de un contaminante a la vez, sino que también se debe controlar las mezclas que puedan producirse.

Actualmente se están explorando nuevas fórmulas para controlar la calidad del aire que apuntan a la necesidad tanto de un mayor desarrollo de los sistemas de detección, como de un mayor conocimiento de cuáles son los límites de concentración seguros que permitan adoptar indicadores de calidad del aire interior fiables. Éste es un camino que hace falta recorrer y que permitirá una mejor diagnosis y control en los próximos años.

Por otro lado, se ha comprobado que los usuarios pueden actuar como sistemas de control más eficaces que muchos dispositivos de control. Esto es así porque los humanos somos muy sensibles a ciertos estímulos como los olores y presentamos síntomas como molestias, escozor en los ojos o picores, que actúan como alarmas.

Respecto a los indicadores de calidad del aire, las normas europeas tienen propuestas diferentes. Algunas se quedan en la regulación prescriptiva, mientras que las que añaden una regulación prestacional ofrecen indicadores diferentes.

Existe cierto consenso a la hora de considerar la humedad y los problemas derivados de esta, ácaros y mohos, como uno de los principales contaminantes en viviendas. Además, algunos contaminantes producto de la combustión como el monóxido de carbono o los óxidos de nitrógeno también suelen estar presentes. Respecto a las partículas volátiles, algunas normas las abordan en su conjunto, mientras que otras coinciden en señalar el benceno o los formaldehidos como contaminantes a controlar. Por último, el CO₂ es considerado por algunas normas como un buen indicador de la calidad el aire, aunque no representa un riesgo en sí mismo en las concentraciones en que suele presentarse en las viviendas. Hay que destacar que diferentes países europeos, además de incorporar el control de la concentración de contaminantes, han ido incorporando el control de las fuentes. Una de las medidas principales en este sentido es el etiquetado de los materiales.

Para realizar la dilución está ampliamente extendida y aceptada la utilización de al menos tres tipos de ventilación: la ventilación de extracción localizada, la ventilación general y la ventilación de purga. Estos tres tipos de ventilación pueden tratarse de manera separada o conjunta y pueden realizarse tanto mediante sistemas mecánicos como con sistemas naturales de ventilación. La ventilación natural es la estrategia de ventilación más extendida actualmente. Sin embargo, algunos países europeos exigen, recomiendan, o incentivan el uso de sistemas mecánicos a través de su marco normativo. En otros países, como Italia, no sólo se permite, sino que se recomienda el uso de sistemas de ventilación natural en viviendas. En Dinamarca, por ejemplo, la ventilación natural se permite en viviendas unifamiliares, asumiendo un rol activo por parte del usuario, pero no en plurifamiliares, en las que se obliga a implementar un sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor. Si se opta por utilizar sistemas de ventilación natural, el principal problema no se

encuentra en la consecución de los caudales mínimos, sino en el control de la ventilación, que requiere la incorporación de mecanismos que eviten la sobre ventilación cuando los fenómenos atmosféricos son especialmente favorables.

En la ventilación natural, el movimiento del aire se confía a la acción de los fenómenos climáticos (viento y temperatura), que son altamente variables en el tiempo. Esto requiere, si se quiere garantizar un correcto funcionamiento de estos sistemas, de un esfuerzo extra de diseño, cálculo y control, lo que supone una desventaja frente al uso de sistemas mecánicos. Sin embargo, es interesante constatar que la supuesta fiabilidad de diseño de los sistemas mecánicos no siempre se confirma en la práctica, y en algunos casos, ya sea por la acción del usuario, por la falta de mantenimiento o por una estanquedad deficiente, **el caudal efectivo y el de diseño no coinciden.**

Los sistemas de ventilación natural pueden justificarse de manera prescriptiva, asegurando un caudal mínimo, o prestacional, estudiando la evolución de la concentración de contaminantes. En ambos casos es necesario disponer de herramientas de soporte para los cálculos de caudales de renovación, huecos necesarios, capacidad de dilución y evolución de la concentración. **En la actualidad existen muchas herramientas, sencillas y complejas, que permiten realizar estos cálculos en las distintas fases de diseño.** Por otro lado, la implantación de umbrales de concentraciones admisibles variables en el tiempo o la posibilidad de la existencia de periodos donde éstos sean sobrepasados es fundamental para el fomento de la ventilación natural.

Además, es necesario contar con datos climáticos fiables a escala localizada para alcanzar una mejor predicción del rendimiento de estos sistemas y su control inteligente. **Actualmente, la mayor incertidumbre en la modelización de los sistemas de ventilación natural viene generada por la imprecisión de los datos de partida,** ya que no existe información suficiente sobre la velocidad y dirección del viento a escala local, de barrio o de manzana. Se recomienda, por tanto, la implementación de sistemas de recogida y organización de datos climáticos locales que permitan la creación de mapas de viento, ruido y contaminación. Esto permitiría no solo una mayor optimización en la fase de diseño, sino también un mejor control durante la fase de uso, mediante la incorporación de sistemas de control automáticos capaces de adaptarse a los cambios en las condiciones climáticas en tiempo real.

Por otra parte, es necesario ofrecer una guía de soluciones tanto de diseño como de control de los sistemas de ventilación natural. **El uso de las herramientas de modelización podría complementarse con una guía de buenas prácticas** en la que se pudieran ofrecer valores de referencia y sugerencias de soluciones constructivas que han demostrado ser eficaces en determinadas situaciones. Estas indicaciones deberían estar especificadas en función de la zona climática, el tipo de edificio, el régimen de viento del lugar, etc. La realización de esta guía podría dar continuidad y complementar el trabajo aquí presentado.

La ventilación natural es una estrategia eficaz, económica y duradera, para asegurar una dilución suficiente de los contaminantes que puedan estar presentes en el aire interior y mantener una adecuada calidad del aire interior. Su utilización para asegurar

una correcta calidad del aire no encuentra sus limitaciones en la consecución del caudal mínimo necesario, sino en la capacidad de diseño y control del propio sistema.

Como se ha analizado en este trabajo, hasta la entrada de los nuevos estándares de eficiencia energética, la calidad del aire se aseguraba mediante las infiltraciones. En estos casos la entrada de aire es incontrolada y en muchos casos mayor de la necesaria. La repercusión de esta sobre-ventilación sobre el consumo total del edificio queda difuminada por la mala eficiencia general del edificio. **La mejora de la estanqueidad, conjuntamente con la mejora de la eficiencia, obliga a introducir el aire desde el exterior de manera voluntaria y controlada. A diferencia de lo que sucedía hasta hace poco, con los nuevos estándares, la sobre-ventilación penaliza fuertemente el rendimiento energético del edificio. Es ahora cuando surge la pregunta de cuál es caudal mínimo que hay que ventilar.**

Este documento es un primer paso para concienciar e integrar en el proyectar las exigencias que nuestros códigos solicitan. La arquitectura siempre ha tenido una visión global y transversal sobre la responsabilidad de construir habitabilidad. Los nuevos parámetros de sostenibilidad ambiental, social y económica son la base de una nueva forma de concebirla, desde el conocimiento de lo que comporta generar espacios confortables y saludables con el menor coste ambiental.

A

ANEXOS

ANEXO A. EJEMPLOS DE CÁLCULO PUNTO 5

A continuación, se muestran ejemplos de cálculo a partir de la metodología propuesta en el punto 4. Los ejemplos siguen el orden del capítulo.

AA.1. Cálculo de la ventilación natural en espacios aislados (5.2)

AA.1.1. Ventilación por un solo lado - Abertura simple (5.2.1)

Cálculo. Vent. un solo lado. Abertura simple. Teniendo en cuenta el efecto de la temperatura

Ejemplo

En el caso que se requiera una tasa de ventilación de diseño de $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$, y se consideren los siguientes parámetros (Tabla 13):

Número de aberturas	1
Coefficiente de descarga	0.25
Temperatura exterior (°C)	28
Temperatura interior (°C)	25
Altura de la abertura (m)	1.50

Tabla 13. Parámetros de cálculo

El tamaño de la abertura mínimo necesario sería de 0.52 m^2 .

Cálculo. Vent. un solo lado. Abertura simple. teniendo en cuenta el efecto de la temperatura

Ejemplo

Para el mismo ejemplo anterior, para una misma tasa de ventilación de diseño ($0.05 \text{ m}^3/\text{s}$), si se toma en cuenta solamente el efecto del viento y se consideran los siguientes datos (Tabla 14):

Velocidad del aire a la altura del edificio (m/s)	3
---	---

Tabla 14. Parámetros de cálculo

Coefficiente de descarga	0.030
--------------------------	-------

El tamaño de la abertura mínimo necesario es de 0.56 m^2 .

AA.1.2. Ventilación por un solo lado – Abertura doble (5.2.2)

Cálculo. Vent. un solo lado. Abertura doble. Teniendo en cuenta el efecto de la temperatura

Ejemplo

En este caso, si se supone una tasa de ventilación igual a los ejemplos anteriores (0.05 m³/s) y se consideran los siguientes parámetros (Tabla 15):

Número de aberturas	2
Coefficiente de descarga	0.6
Temperatura exterior (°C)	28
Temperatura interior (°C)	25
Altura de la abertura (m)	2.0

Tabla 15. Parámetros de cálculo.

La superficie mínima de ventilación requerida para cada una de las aberturas es de 0.18 m².

AA.1.3. Ventilación cruzada - Efecto del viento (5.2.3)

Cálculo. Vent. cruzada. Teniendo en cuenta el efecto de la temperatura

No hay ejemplo práctico.

Cálculo. Vent. cruzada. Teniendo en cuenta el efecto del viento

Ejemplo

Si se considera una velocidad del viento de 3 m/s, un coeficiente de descarga de 0.2 y unos coeficientes de presión del viento de 0.5 para el lado donde impacta el viento (barlovento), y de -0.2 para el lado opuesto (sotavento), tal y como se muestra en la Tabla 16:

Velocidad del viento (m/s)	3.0
Coefficiente de descarga	0.2
Coefficiente de presión de barlovento	0.5
Coefficiente de presión de sotavento	-0.2

Tabla 16. Parámetros de cálculo

Y se pretende alcanzar una tasa de ventilación de 0.05 m³/s, el tamaño de abertura necesario a cada lado es de 0.141 m². Si consideramos que existen 2 aberturas a cada lado, cada abertura deberá tener un tamaño de no menos de 0.07 m².

AA.2. Cálculo de la ventilación natural en espacios simples (5.3)

AA.2.1. Ventilación por efecto chimenea (efecto Stack) – atrios de ventilación (5.3.2)

Cálculo teniendo en cuenta únicamente la temperatura y considerando una temperatura interna uniforme

Ejemplo

A partir de las condiciones descritas en el punto 5.3.2., se consideran los siguientes valores de cálculo:

- $\Delta T = 3 \text{ }^\circ\text{C}$ (condiciones de verano)
- $Z_n = 10 \text{ m}$.
- $T_e = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_i = 28 \text{ }^\circ\text{C}$
- $U = 0 \text{ m/s}$
- $\rho_0 = 1.20 \text{ Kg/m}^3$

El primer paso consiste en calcular la diferencia de presión $\Delta\rho_0$ (Pa). Para ello se calcula primero la diferencia de densidad utilizando la Ec. (5):

$$\Delta\rho_0 = 0.01208 \text{ Kg/m}^3.$$

Y la diferencia de presión, mediante la Ec. (7):

$$\Delta p_0 = \Delta\rho_0 \cdot g \cdot z_n = 1.185 \text{ Pa}.$$

Luego Se calcula los valores Δp_i y $C_{di} \cdot A_i$. Los resultados se muestran en la Tabla 17 y Figura 46:

Número de aberturas	Altura (m)	C_p	Flujo (m^3/s)	C_d	Pérdida de carga (Pa)	$C_d A$ (m^2)	A (m^2)	Tamaño relativo
1	1.85	0.00	0.448	0.61	0.8920	0.3631	0.5952	0.49
2	5.10	0.00	0.448	0.61	0.5197	0.4757	0.7798	0.64
3	8.35	0.00	0.448	0.61	0.1473	0.8934	1.4646	1.20
Salida	11.50	0.00	-1.344	0.61	-0.2136	2.2260	3.6492	1.00

Tabla 17. Resultados obtenidos

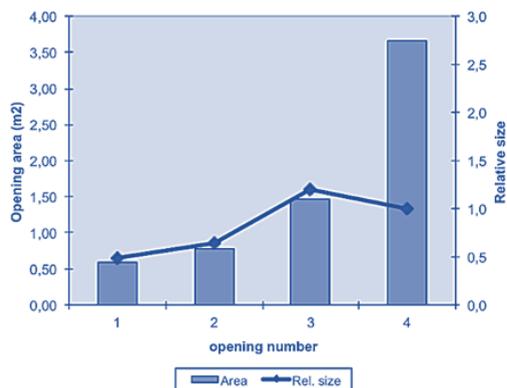


Figura 46. Relación entre superficie y tamaño relativo calculados

Se comprueba que si el valor de z_n se mantiene entre 8.35 y 11.5 m el patrón de flujo funciona correctamente. Este patrón de flujo funciona siempre que la temperatura exterior sea menor que la interior (invierno o verano noche). Para el cálculo de aquellos escenarios en los que la temperatura exterior sea mayor a la interior, pero se mantenga el patrón de flujo de aire del caso anterior (verano día), se deben de invertir los signos de q_i , para lo que se obtendrían los siguientes resultados (Tabla 18 y Figura 47):

Número de aberturas	Altura (m)	C_p	Flujo (m^3/s)	C_d	Pérdida de carga (Pa)	$C_d A$ (m^2)	A (m^2)	Tamaño relativo
1	1.85	0.00	-0.448	0.61	0.8920	-0.3631	-0.5952	0.49
2	5.10	0.00	-0.448	0.61	0.5197	-0.4757	-0.7798	0.64
3	8.35	0.00	-0.448	0.61	0.1473	-0.8934	-1.4646	1.20
Salida	11.50	0.00	1.344	0.61	-0.2136	-2.2260	-3.6492	1.00

Tabla 18. Resultados del cálculo

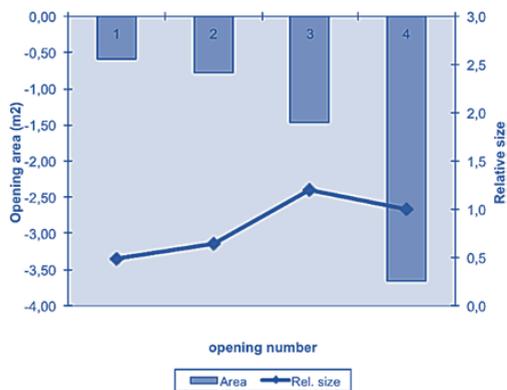


Figura 47. Relación entre superficie y tamaño relativo calculados

Cálculo teniendo en cuenta únicamente el efecto del viento y considerando una temperatura interna uniforme

Ejemplo

Partiendo del caso anterior, se consideran los siguientes valores de cálculo:

- $T_e = 25\text{ °C}$
- $T_i = 25\text{ °C}$
- $U = 3\text{ m/s}$
- $p_0 = 1.20\text{ Kg/m}^3$

A partir de los cuales se puede calcular la diferencia de presión:

$$\Delta\rho_0 = -0,405\text{ Kg/m}^3$$

Y los valores Δp_i y $C_{di} \cdot A_p$ mediante las siguientes Ec. (9) y Ec. (13). El valor de los coeficientes de descarga depende de la geometría de la abertura, la posición en la que se mida la velocidad del viento y el flujo de aire alrededor del edificio. Los valores tenidos en cuenta en este escenario son:

$Cd_{1-3} = 0.25$ para las aberturas de admisión.

$Cd_4 = -0.10$ para la abertura de extracción.

Tomando estos valores, la ΔC_p resultante es de 0.35 m^2

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 19 y Figura 48:

Número de aberturas	Altura (m)	C_p	Flujo (m^3/s)	C_d	Pérdida de carga (Pa)	$C_d A$ (m^2)	A (m^2)	Tamaño relativo
1	1.85	0.25	0.448	0.61	0.9486	0.3521	0.5772	0.98
2	5.10	0.25	0.448	0.61	0.9486	0.3521	0.5772	0.98
3	8.35	0.25	0.448	0.61	0.9487	0.3521	0.5772	0.98
Salida	11.50	-0.10	-1.344	0.61	-0.9184	1.0735	1.7598	1.00

Tabla 19. Resultados obtenidos

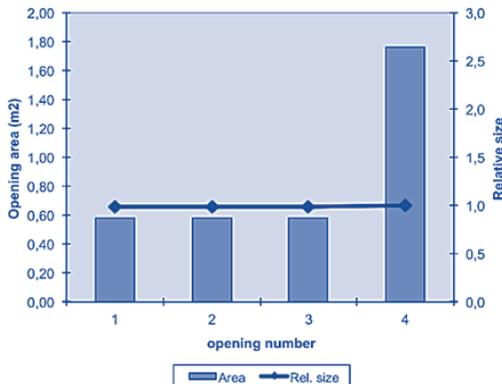


Figura 48. Relación entre superficie y tamaño relativo calculados

Cálculo teniendo en cuenta el efecto simultáneo de la temperatura y del viento y considerando una temperatura interna uniforme

Ejemplo

Las condiciones internas y externas consideradas son las siguientes:

- $\Delta T = 3 \text{ }^\circ\text{C}$ (condiciones de verano)
- $z_n = 10 \text{ m}$.
- $T_e = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_i = 28 \text{ }^\circ\text{C}$
- $U = 3 \text{ m/s}$
- $\rho_0 = 1.20 \text{ Kg/m}^3$

Con la ecuación Ec. (14) se determina la diferencia de presión:

$$\Delta p_0 = 0,01028 \text{ Kg/m}^3$$

Y los valores Δp_i y $C_{di} \cdot A_i$, se determinan a partir de la Ec. 9 presentada anteriormente y la siguiente expresión:

$$\Delta p_i = \Delta p_0 - \Delta \rho_0 \cdot g \cdot z_i + 0.5 \cdot \rho_0 \cdot U^2 \cdot C_{pi} \quad \text{Ec. (19)}$$

Los resultados se muestran en la Tabla 20 y Figura 49:

Número de aberturas	Altura (m)	C_p	Flujo (m^3/s)	C_d	Pérdida de carga (Pa)	$C_d A$ (m^2)	A (m^2)	Tamaño relativo
1	1.85	0.25	0.448	0.61	1.9016	0.2487	0.4077	0.74
2	5.10	0.25	0.448	0.61	1.5292	0.2773	0.4546	0.83
3	8.35	0.25	0.448	0.61	1.1569	0.3188	0.5227	0.95
Salida	11.50	-0.10	-1.344	0.61	-1.0496	1.0041	1.6461	1.00

Tabla 20. Resultados obtenidos

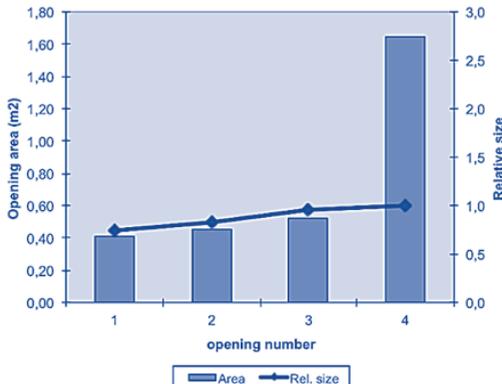


Figura 49. Relación entre superficie y tamaño relativo calculados

Cálculo teniendo en cuenta únicamente la temperatura y considerando una temperatura interna estratificada

Ejemplo

Utilizamos las ecuaciones Ec (15) y Ec (9) para el cálculo de la ventilación en el edificio tipo que se propone como ejemplo. Las condiciones internas y externas consideradas son las siguientes:

- $\Delta T_0 = 3 \text{ }^\circ\text{C}$
- $\Delta T_n = 6 \text{ }^\circ\text{C}$
- $z_n = 10 \text{ m}$
- $T_e = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_i = 28 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_n = 28 \text{ }^\circ\text{C}$
- $U = 3 \text{ m/s}$
- $\rho_0 = 1.20 \text{ Kg/m}^3$

Con estos datos es posible calcular Δp_i , C_{di} y Δ_i . No es necesario calcular el valor de Δp_0 ya que está implícito (al especificarse el valor de T_n). Si se calcula el valor a una $z=0$, se obtiene

$$\Delta p_0 = 1.3303 \text{ Pa.}$$

Los resultados se muestran en la Tabla 21 y Figura 50:

Número de aberturas	Altura (m)	Cp	Flujo (m^3/s)	Cd	Pérdida de carga (Pa)	CdA (m^2)	A (m^2)	Tamaño relativo
1	1.85	0.25	0.448	0.61	1.1112	0.3253	0.5333	0.62
2	5.10	0.25	0.448	0.61	0.7382	0.3991	0.6543	0.76
3	8.35	0.25	0.448	0.61	0.3333	0.5940	0.9738	1.13
Salida	11.50	-0.10	-1.344	0.61	-0.4239	1.5800	2.5902	1.00

Tabla 21. Resultados obtenidos

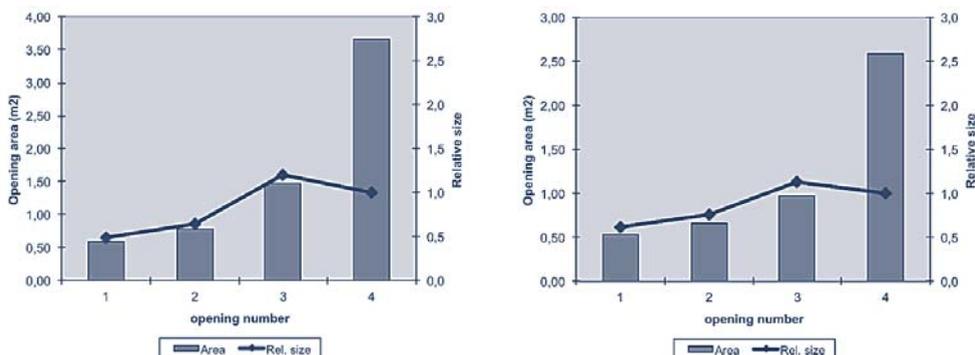


Figura 50. Relación entre superficie y tamaño relativo. Izq.: No considerando estratificación. Dcha.: Considerando estratificación

Si se comparan estos resultados con los obtenidos en el caso de no considerar la estratificación de la temperatura del aire, se comprueba que esta no tiene una gran repercusión.

Esto es debido a que la diferencia de temperatura en las alturas de las admisiones de aire es similar a la temperatura interior del escenario uniforme.

No obstante, la estratificación permite que se cumpla el patrón de flujos de aire, aunque las temperaturas internas sean inferiores a la externa. Si, en el cálculo anterior, se modifica el valor de la temperatura interior para que la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior sea de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($T_i = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$), se obtienen los siguientes resultados (Tabla 22 y Figura 51):

Número de aberturas	Altura (m)	Cp	Flujo (m^3/s)	Cd	Pérdida de carga (Pa)	CdA (m^2)	A (m^2)	Tamaño relativo
1	1.85	0.25	0.448	0.61	0.0168	2.6442	4.3348	6.10
2	5.10	0.25	0.448	0.61	0.1411	0.9129	1.4966	2.11
3	8.35	0.25	0.448	0.61	0.1900	0.7868	1.2899	1.81
Salida	11.50	-0.10	-1.344	0.61	-0.6252	1.3010	2.1329	1.00

Tabla 22. Resultados obtenidos

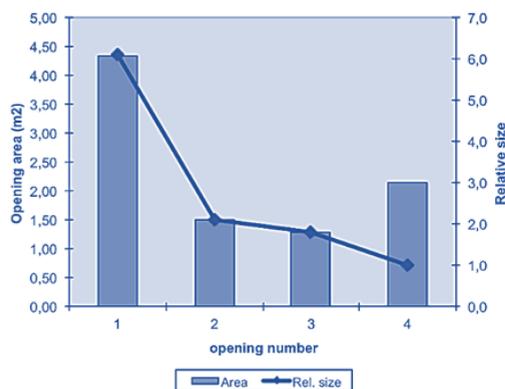


Figura 51. Relación entre superficie y tamaño relativo

AA.2.2. Ventilación por efecto chimeneas de ventilación (5.2.3)

Cálculo en el caso de incorporar una chimenea

Ejemplo

Se propone un ejemplo de cálculo en el que se suponen los siguientes parámetros de partida:

- $\Delta T_o = 3\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_c = 3\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_e = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_i = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$

- $T_c = 31 \text{ }^\circ\text{C}$
- $h_4 = 8 \text{ m}$
- $U = 0 \text{ m/s}$
- $\rho_0 = 1.20 \text{ Kg/m}^3$
- $\Delta p_0 = 0.01028 \text{ Kg/m}^3$
- $\Delta p_c = 0.01196 \text{ Kg/m}^3$
- $H = 10 \text{ m}$
- $h_5 = 1.5 \text{ m}$

El valor de Δp_0 se obtiene igualando las Δp_i de las aberturas 3 y 4, aunque de sentido contrario.

$$\Delta p_0 - \Delta \rho_0 \cdot g \cdot (h_3) = -(\Delta p_0 - \Delta \rho_0 \cdot g \cdot (H + h_5) - \Delta \rho_c \cdot g \cdot h_4) \quad \text{Ec. (20)}$$

Con lo que se obtiene:

$$\Delta p_0 = 1.6455 \text{ Pa.}$$

Los valores Δp_i y $C_{di} \cdot A_i$ se calculan a partir de las Ec. (14) y Ec. (20). Los resultados se muestran en la Tabla 23 y Figura 52:

Número de aberturas	Altura (m)	C_p	Flujo (m^3/s)	C_d	Pérdida de carga (Pa)	$C_d A$ (m^2)	A (m^2)	Tamaño relativo
1	1.85	0.25	0.448	0.61	1.4284	0.2869	0.4704	0.63
2	5.10	0.25	0.448	0.61	1.0561	0.3337	0.5470	0.74
3	8.35	0.25	0.448	0.61	0.6837	0.4147	0.6799	0.92
Salida		-0.10	-1.344	0.80	-0.5757	1.3559	1.6948	1.00

Tabla 23. Resultados obtenidos

Con un valor de coeficiente de descarga de $C_{di} = 0.8$ el área requerida es 1.6948 m^2 .

Con un valor de coeficiente de descarga de $C_{di} = 0.4$ el área requerida es 3.3897 m^2 .

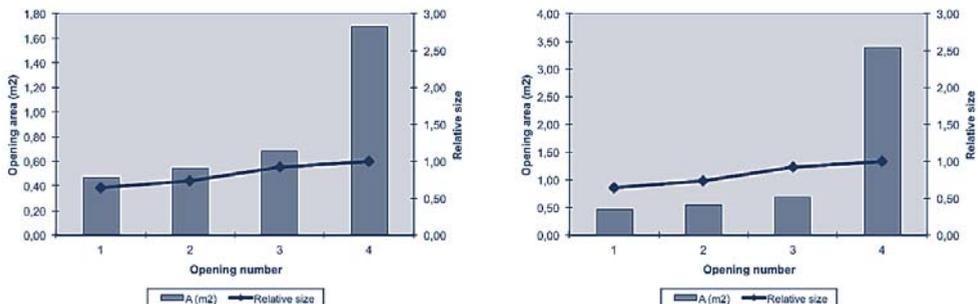


Figura 52. Relación entre superficie y tamaño relativo. Izq.: $C_{di} = 0.4$. Dcha.: 0.8

D

DEFINICIONES

DEFINICIONES

Respiradero (o abertura):

Abertura realizada para actuar como un dispositivo de transferencia de aire.

Sistema de ventilación mecánica:

Sistema de ventilación donde el aire se impulsa o se extrae o ambos desde el edificio por un ventilador y usando dispositivos terminales de aire de descarga, conductos y salidas de muro y tejado.

NOTA En sistemas de descarga mecánica simples, el aire entra a la vivienda a través de dispositivos de transferencia de aire montados externamente, de ventanas y de fugas.

Aireación:

Cambio de aire natural por apertura de ventanas.

Ventilación:

Proceso de renovación del aire de los locales para limitar el deterioro de su calidad, desde el punto de vista de su composición, que se realiza mediante entrada de aire exterior y evacuación de aire viciado.

Ventilación natural:

(CTE): Ventilación en la que la renovación del aire se produce exclusivamente por la acción del viento o por la existencia de un gradiente de temperaturas entre el punto de entrada y el de salida.

(RITE): Proceso de renovación del aire de los locales por medios naturales (acción del viento y/o tiro térmico), la acción de los cuales puede verse favorecida con apertura de elementos de los cerramientos.

Ventilación mecánica:

(CTE): Ventilación en la que la renovación del aire se produce por el funcionamiento de aparatos electro-mecánicos dispuestos al efecto. Puede ser con admisión mecánica, con extracción mecánica o equilibrada.

(RITE): Proceso de renovación del aire de los locales por medios mecánicos.

Ventilación híbrida:

Ventilación en la que, cuando las condiciones de presión y temperatura ambientales son favorables, la renovación del aire se produce como en la ventilación natural y, cuando son desfavorables, como en la ventilación con extracción mecánica.

Ventilación de caudal constante:

Aquella en la que se mantiene el valor del caudal de ventilación en el tiempo,

independientemente de la ocupación, uso u otros factores.

Ventilación de caudal variable:

Aquella en la que se modifica el valor del caudal de ventilación en el tiempo en función de la ocupación, uso u otros factores.

Abertura mixta:

Abertura de ventilación para ventilación natural que comunica el local directamente con el exterior y que en ciertas circunstancias funciona como *abertura de admisión* y en otras como *abertura de extracción*.

Abertura de admisión:

Abertura de ventilación que sirve para la *admisión*, comunicando el local con el exterior, directamente o a través de un *conducto de admisión*.

Abertura de extracción:

Abertura de ventilación que sirve para la *extracción*, comunicando el local con el exterior, directamente o a través de un *onducto de extracción*.

Abertura de paso:

Abertura de ventilación que sirve para permitir el paso de aire de un local a otro contiguo.

Abertura de ventilación:

Hueco practicado en uno de los elementos constructivos que delimitan un local para permitir la transferencia de aire entre el mismo y otro local contiguo o el espacio exterior.

Aspirador híbrido:

Dispositivo de la *ventilación híbrida*, colocado en la boca de *expulsión*, que permite la extracción del aire por tiro natural cuando la presión y la temperatura ambientales son favorables para garantizar el caudal necesario y que, mediante un *ventilador*, extrae automáticamente el aire cuando dichas magnitudes son desfavorables.

Caudal de ventilación:

Volumen de aire que, en condiciones normales, se aporta a un local por unidad de tiempo.

Calidad del aire:

La norma ASHRAE 62.1 [50] define como CAI (IAQ) aceptable aquel aire que no presenta contaminantes en concentraciones peligrosas y en el que el porcentaje de insatisfechos es como máximo del 20%. En edificios industriales, esta definición ha sido útil para determinar la CAI de un espacio controlando la concentración del o los contaminantes principales. Dichos contaminantes son conocidos ya que deriva de la actividad industrial que se esté realizando.

En edificios de uso no industrial, la definición de la ASHRAE 62.1 puede no ser tan útil. La calidad del aire interior en estos edificios no se ve afectada por la presencia

de un contaminante principal, sino por la presencia de cócteles de sustancias químicas, cada una de ellas presente en concentraciones muy bajas, a menudo mil veces menores que los límites de exposición recomendados [10].

En viviendas a falta de más información la calidad del aire se suele determinar a partir de la concentración de un contaminante usado a modo de indicador, normalmente CO₂ o humedad.

COV:

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) son sustancias químicas orgánicas cuya base es el carbono y se evaporan a temperatura y presión ambiental generando vapores, que pueden ser precursores del ozono en la atmósfera. Además del carbono es posible hallar en su composición hidrógeno, flúor, oxígeno, cloro, bromo, nitrógeno o azufre.

Poseen propiedades volátiles, liposolubles, tóxicas e inflamables (en sus acepciones de riesgos). Por otra parte son muy buenos disolventes y muy eficaces para la disolución de pinturas, y para el desengrase de materiales.

Algunos de estos COVs son:

- butano
- propano
- xileno
- alcohol butílico
- metiletilcetona
- acetona
- etilenglicol
- tricloroetileno
- clorobenceno
- limoneno

B

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. and A.-C.E. Owen, M.S. and American Society of Heating, 2009 ASHRAE Handbook: Fundamentals, 2009 Ashra, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, 2009.
- [2] WHO Regional Office for Europe, Air quality guidelines for Europe, WHO Reg. Publ. Eur. Ser. (2000).
- [3] M.J. Berenguer, NTP 521. Calidad de aire interior: emisiones de materiales utilizados en la construcción, decoración y mantenimiento de edificios. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. España, 1999.
- [4] H.B. Awbi, Ventilation of buildings, Taylor & Francis, 2003.
- [5] World Health Organisation, Burden of disease from household air pollution for 2012. Summary of results, (2012).
- [6] J. Alcayna, Estudio de las necesidades de ventilación natural desde el punto de vista higiénico mediante el análisis de la calidad de aire en la ciudad de Valencia. Aplicación a la Lonja de la Seda, (2013).
- [7] K. Wai Tham, Is Ventilation Necessary and Sufficient for Acceptable Indoor Air Quality?, (2015).
- [8] WHO Regional Office for Europe, WHO guidelines for indoor air quality, 9 (2010).
- [9] WHO European Centre for Environment and Health, WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants, (2010).
- [10] P.O. Fanger, Introduction of the olf and the decipol units to quantify air pollution perceived by humans indoors and outdoors, Energy Build. 12 (1988).
- [11] L. Carazo Fernández, R. Fernández Alvarez, F.J. González-Barcala, J.A. Rodríguez Portal, Contaminación del aire interior y su impacto en la patología respiratoria, Arch. Bronconeumol. 49 (2013).
- [12] S.T. Sterling EM, Arundel A, Criteria for Human Exposure to Humidity in Occupied Buildings, (1985).
- [13] M.J. Berenguer, NTP 243. Ambientes cerrados: calidad del aire. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, (1989).
- [14] M.J. Berenguer, NTP 431. Caracterización de la calidad del aire en ambientes interiores. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, (2005).
- [15] J. Ridley, Ian and Pretlove, Stephen and Ucci, Marcella and Mumovic, D. and Oreszczyn, Tadj and McCarthy, M. and Singh, Asthma / dust mite study - Final report: sensitivity of humidity and mould growth to occupier behaviour in dwellings designed to the new air tightness requirements, 2006.
- [16] I. Marta, V. Blanco, A. García, Calidad del aire interior en edificios de uso público, Conserjería Sanid. La Comunidad Madrid. (2010).
- [17] L.N. Soldatova, S.-A. Sansone, S.M. Stephens, N.H. Shah, Selected papers from the 13th Annual Bio-Ontologies Special Interest Group Meeting., J. Biomed. Semantics. 2 Suppl 2 (2011).
- [18] M.J. Berenguer, NTP 358. Olores: Un factor de calidad y confort en ambientes

- interiores. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, (1994).
- [19] F.W. Gids de, P. Wouters, CO₂ as indicator for the indoor air quality. General principles. Ventilation Information Paper no33. Air Infiltration and Ventilation Centre, AIVC, (2010).
- [20] P. Concannon, Technical Note AIVC 57: Residential Ventilation. Air Infiltration and Ventilation Centre, AIVC, (2002).
- [21] Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings. European Commission, Europe, 2002.
- [22] M. Santamouris, Ventilation Information Adaptive Thermal Comfort and Ventilation, (1994).
- [23] J. Kurnitski, O. Seppänen, Ventilation Information Trends and drivers in the Finnish ventilation and AC market, Design. (2008).
- [24] N. Heijmans, P. Wouters, P. Heiselberg, An overview of national trends related to innovative ventilation systems. Ventilation Information Paper no30. Air Infiltration and Ventilation Centre, AIVC, (2008).
- [25] W.F. de Gids, M. Jicha, Hybrid Ventilation. Ventilation Information Paper no32. Air Infiltration and Ventilation Centre, AIVC, 32 (2010).
- [26] N. Cavallé, A. Hernández, NTP 741. Ventilación general por dilución. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, (2001).
- [27] J. Savin, M. Jardinier, Humidity Controlled Exhaust Ventilation in Moderate Climate. Ventilation Information Paper no31. Air Infiltration and Ventilation Centre, AIVC, (2009).
- [28] Z. Magyar, Educational Package Ventilation. Lecture 1: Typical ventilation design concepts and strategies, n.d.
- [29] B.W. Olesen, International development of standards for ventilation of buildings, ASHRAE J. 39 (1997).
- [30] US Department of Energy, Guide to Home Ventilation, (2010).
- [31] J. Vinkesteyn, J.V. Zamora, Guía de renovación de aire eficiente en el sector residencial. Conserjería de Economía y Hacienda de la Comunidad de Madrid, 2014.
- [32] S. Kunkel, E. Kontonasiou, A. Arcipowska, F. Mariottini, B. Atanasiu, Indoor Air Quality, Thermal Comfort and Daylight. Analysis of residential building regulations in eight EU member states. Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2015.
- [33] Eunavent CTE, Ventilación de edificios no residenciales, (2014).
- [34] M. Latour, Soluciones de ventilación en vivienda. ALDER venticontrol, n.d.
- [35] R.J. Hernández, O. Irulegi, M. Aranjuelo, eds., Arquitectura Ecoeficiente. Tomo I, Servicio Editorial de la UPV / EHU, San Sebastian, 2012.
- [36] L. Mansson, Evaluation and demonstration of domestic ventilation systems - state of the art, (n.d.).
- [37] G. Iwashita, H. Akasaka, The effects of human behavior on natural ventilation rate and indoor air environment in summer — a field study in southern Japan, Energy Build. 25 (1997).
- [38] F.R. Carrié, R. Jobert, V. Leprince, Methods and techniques for airtight buildings, (2012).
- [39] F.R. Carrié, B. Rosenthal, An overview of national trends in envelope and ductwork airtightness, Vent. Inf. Pap. AIVC. 29 (2008).

- [40] F.R. Carrié, P. Wouters, Technical Note AIVC 67: Building airtightness: a critical review of testing, reporting and quality schemes in 10 countries, 2012.
- [41] K. Niachou, S. Hassid, M. Santamouris, I. Livada, Experimental performance investigation of natural, mechanical and hybrid ventilation in urban environment, *Build. Environ.* 43 (2008).
- [42] S. Kirchner, M. Derbez, C. Duboudin, P. Elias, J. Garrigue, J. Lucas, N. Pasquier, community systems programme Indoor air quality in French dwellings Contributed Report 12 Air Infiltration and Ventilation Centre, (1932).
- [43] A. Orme, M. and Liddament, M.W. and Wilson, An analysis and data summary of the AIVC's numerical database., Originally, Oscar Faber, Coventry, 1994.
- [44] C. Ghiaus, F. Allard, Potential for free-cooling by ventilation, *Sol. Energy.* 80 (2006).
- [45] M. Santamouris, *Natural ventilation in buildings: a design handbook*, Earthscan Publications Ltd, London, 1998.
- [46] Richard Daniels, BB101. Guidance on ventilation, thermal comfort and indoor air quality in schools, 2018.
- [47] D.E. Steve Irving, Professor Brian Ford, CIBSE - AM10: Natural Ventilation in Non-Domestic Buildings, 2005.
- [48] E. Yärke, *Ventilación Natural De Edificios*, 2005.
- [49] T.C. BDB/2, BS 5925: 1991. Code of practice for ventilation principles and designing for natural ventilation, BSI. British Standard, 1995.
- [50] ASHRAE, *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, 2007 (2007).

El presente documento ha sido impulsado y desarrollado por ASA en colaboración con el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma), con el objetivo principal de analizar las posibilidades de la ventilación natural y considerar su incidencia sobre la eficiencia energética.

ASOCIACIÓN DE ARQUITECTURA Y SOSTENIBILIDAD (ASA)

“Estudio sobre las posibilidades de la ventilación natural en el marco del CTE”

Estudio impulsado por ASA. El trabajo se desarrolló en dos fases, ambas objeto de un concurso. La primera fase consistió en un análisis de directivas y normativas europeas en relación a la ventilación y fue desarrollada por Micheel Wassouf, arquitecto. La segunda fase recoge este trabajo y lo desarrolla dando lugar al presente documento, “Calidad del aire, ventilación y energía. La ventilación natural como valor esencial de la arquitectura”

Equipo ASA implicado

Dña. Teresa Batlle Pagès, Vicepresidenta ASA (2013-2016)
Dña. María Jesús González Díaz, Miembro del Comité Científico ASA
D. Miguel Martín Heredia, socio experto
D. Micheel Wassouf, socio experto
D. Juan Carlos Carmona Casado, secretario del concurso y tesorero de ASA

Equipo evaluador ASA del Estudio

Dña. Teresa Batlle Pagès, Vicepresidenta ASA (2013-2016)
Dña. María Jesús González Díaz, Miembro del Comité Científico ASA
D. Juan Carlos Carmona Casado, Secretario del concurso y Tesorero de ASA



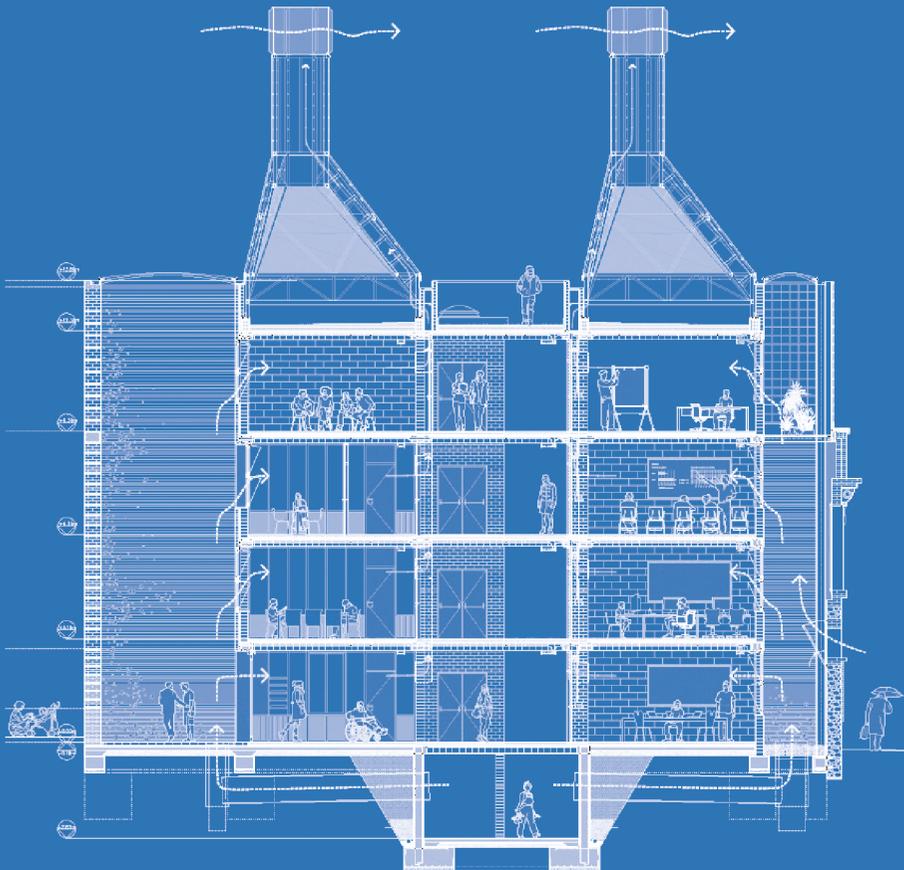
Madrid, febrero de 2023
Acuarelas de Miguel Ángel Díaz Camacho

CALIDAD DEL AIRE, VENTILACIÓN Y ENERGÍA

La ventilación natural como
reto fundamental de la arquitectura

TOMO II

11 OBRAS RECIENTES



MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

CALIDAD DEL AIRE, VENTILACIÓN Y ENERGÍA

La ventilación natural como
reto fundamental de la arquitectura

TOMO II

11 OBRAS RECIENTES

CALIDAD DEL AIRE, VENTILACIÓN Y ENERGÍA

La ventilación natural como
reto fundamental de la arquitectura

TOMO II

11 OBRAS RECIENTES

 GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA	SECRETARÍA GENERAL DE AGENDA URBANA, VIVIENDA Y ARQUITECTURA
		DIRECCIÓN GENERAL DE AGENDA URBANA Y ARQUITECTURA



ASOCIACIÓN
SOSTENIBILIDAD
Y ARQUITECTURA

RU Books

CALIDAD DEL AIRE, VENTILACIÓN Y ENERGÍA (TOMO II)

La ventilación natural como reto fundamental de la arquitectura. 11 OBRAS RECIENTES

Edición:

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma)
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Coordinación:

Mariana Palumbo. Dra. Arquitecta

Portada:

Recolectores Urbanos. Imagen de portada "Sección Centro cívico Cristalerías Planell 1015. HArquitectes"

Diseño colección:

Recolectores Urbanos

Maquetación e Impresión:

Recolectores Urbanos - Ulzama

Los derechos sobre las imágenes publicadas son propiedad de sus respectivos autores.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de este libro puede reproducirse o transmitirse por ningún procedimiento mecánico, incluyendo fotocopia o cualquier otro sistema de recuperación, salvo en los supuestos permitidos por la Ley.

© de esta edición: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

© de los textos: sus autores

© de los proyectos: sus autores

© de las imágenes: sus autores

Se han hecho todas las gestiones posibles para identificar a los propietarios de los derechos de autor de los textos y las imágenes. Cualquier error u omisión accidental, que tendrá que ser notificado por escrito al editor, será corregido en ediciones posteriores.

NIPO Papel: 796-23-023-2

NIPO Línea: 796-23-024-8

Depósito legal: M-9200-2023

ÍNDICE GENERAL

11 **Prólogo**

Iñiqui Carnicero Alonso-Colmenares
Secretario General de Agenda Urbana, Vivienda y Arquitectura
Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

12 **Ventilar es respirar**

Miguel Ángel Díaz Camacho Miembro del Comité Científico de ASA

14 **HABITAR CON LA SOSTENIBILIDAD. Más allá de Código Técnico**

Teresa Batlle Pagés Presidenta del Comité Científico de ASA

11 OBRAS RECIENTES

18 1. Pisos tutelados para personas mayores en Palma de Mallorca

Angel Hevia, Luis Velasco, Gabriel Golomb, Ana García, María Antonia Garcías

26 2. Hemiciclo solar. 92 viviendas sociales

Ruiz-Larrea y asociados: Cesar Ruiz-Larrea Cangas, Antonio Gómez Gutiérrez,
Eduardo Prieto

34 3. 30 viviendas en San Cristóbal de los Ángeles

Margarita de Luxán y Gloria Gómez

42 4. Viviendas pareadas entre la ciudad de Barcelona y el parque de Collserola

Picharchitects/pich-aguilera

50 5. Cortijo de Morales

Bonsai Arquitectos

58 6. Vivienda Unifamiliar en Rocafort

Bruno Sauer, Paula Cardells

66 7. Centro cívico Cristalerías Planell 1015

Harquitectes

74 8. Cenifer. Centro Integrado de Formación Profesional de las Energías Renovables

Javier Barcos Berruezo, Manuel Enriquez Jiménez, Javier Martínez Oroquieta y
Jesús Martínez Oroquieta

- 82 9. Sede de los órganos judiciales de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria
José Antonio Sosa , Magüi González, Miguel Santiago
- 90 10. Nuevo colegio de educación infantil y primaria de 3 líneas en Sevilla
- 98 11. Pabellón Temporal Air Tree Shanghai
Ecosistema Urbano

Prólogo

La importancia de la calidad del aire que nos rodea, así como, su incidencia en nuestro día a día son cuestiones comúnmente aceptadas desde hace tiempo, sin embargo, la pandemia del Covid-19 y la crisis sanitaria mundial derivada de la misma han situado estas materias de salud básica en un primer plano de interés. La situación sanitaria vivida, también sirvió para recordarnos la importancia de disponer de una adecuada ventilación en los edificios, como instrumento imprescindible para la prevención y control de enfermedades, así como, para la protección de la salud pública.

Por otro lado, no podemos olvidar que, en este momento, la descarbonización de la economía es uno de los vectores fundamentales en el diseño de las políticas públicas. Los objetivos de descarbonización ya estaban en primera línea de la agenda política, como objetivos ineludibles en relación con la lucha contra el cambio climático, pero la crisis energética derivada de la guerra en Ucrania y su incidencia en el mercado de gas natural y por extensión en el conjunto del mercado energético han puesto aún más de manifiesto la necesidad de reducir nuestro consumo energético en general, y en particular, por supuesto, nuestro consumo de energías de origen fósil. La dependencia energética en la edificación se ha convertido, este último año, en tema de debate público y cada uno de nosotros nos hemos visto obligados a replantear nuestras costumbres, incluso en la esfera privada de nuestros propios hogares. Respecto a este objetivo de mejora de la eficiencia energética en la edificación, el sector de la ventilación no puede quedar al margen. Una buena estrategia de ventilación de un edificio puede ayudar a que el entorno exterior y el clima se conviertan en aliados para mejorar, no solo la calidad del aire interior, sino la eficiencia energética de los edificios.

El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, como administración encargada de la elaboración de la normativa técnica de la edificación, es consciente de la importancia de la ventilación, y así, el Código Técnico de la Edificación desarrolla la exigencia básica de calidad de aire interior en el Documento Básico de Salubridad. Esta exigencia es imprescindible para alcanzar los requisitos básicos de higiene y salud enunciados en la legislación estatal sobre edificación desde la Ley de Ordenación de la Edificación de 1999. Son estos requisitos, tan irrenunciables, que la Ley 9/2022, de 14 de junio, de Calidad de la Arquitectura ha establecido que la higiene, la salubridad y el confort son principios que definen la calidad de la arquitectura.

En una época en pleno cambio y transformación, como es la actual, se debe aprovechar tanto la capacidad que tienen los nuevos sistemas y tecnologías para mejorar esta calidad del aire como el conocimiento profesional de los sistemas pasivos que tradicionalmente han servido para conseguir renovar el aire en el interior de los edificios. Por ello, el Ministerio apoya las iniciativas que, partiendo

de los diferentes agentes que participan en el proceso constructivo, trabajan para enriquecer la calidad de las edificaciones y el conocimiento del sector. Trabajos como el que presenta en esta ocasión la Asociación Sostenibilidad y Arquitectura, donde se analizan y valoran los sistemas de ventilación y se ilustran con ejemplos notables de buenas prácticas, son necesarios y valiosos y dotan a los profesionales de un mayor abanico de herramientas para enfrentarse a la gestión del aire de las edificaciones.

Iñaki Carnicero Alonso-Colmenares
Secretario General de Agenda Urbana, Vivienda y Arquitectura
Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana

Ventilar es respirar

El proyecto de arquitectura constituye el primero y más importante de los sistemas pasivos. Las estrategias de diseño suponen un instrumento necesario para trabajar desde planteamientos bioclimáticos hacia edificios de consumo de energía casi nulo y más allá, hacia arquitecturas de energía positiva. En el umbral del horizonte 2020, nos encontramos en un momento decisivo e inaplazable a la hora de recuperar aquellos valores esenciales para la arquitectura, sumida demasiado tiempo en una crisis de identidad y de valores a nivel global. La disciplina arquitectónica -tal vez durante demasiado tiempo- ha permanecido distante, ensimismada, desligada en ocasiones de valores sociales, económicos o medioambientales, un modelo polarizado entre la banalidad cultural y el virtuosismo de autor que ha deslegitimado en ocasiones la verdadera vocación de servicio de la arquitectura frente a la sociedad.

En esta época de cambio, de transformación de los intereses colectivos y de los retos globales, las exigencias ambientales deben integrarse con naturalidad en la gramática proyectual de arquitectos y urbanistas. No será fácil, pues la lógica de los mercados abraza con mayor entusiasmo al diseñador de producto -en singular- frente al facilitador de sistemas integrados, orgánicos o metabólicos. Sin duda, trabajar en la reconsideración de esta tendencia constituye una de las misiones fundacionales de ASA. Por suerte el cambio se produce en muchas direcciones, numerosos frentes obligan a la transformación del sector: marco político; marco legal y normativo europeo y nacional; marco económico; tercera -dicen que cuarta- revolución industrial; marco tecnológico; usuarios informados y comprometidos, incluidos los jóvenes y los propios alumnos de arquitectura. A esta nueva disciplina, que produce edificios y ciudades sensibles con el Medio Ambiente, sistemas compatibles con una sociedad más justa y en armonía con la naturaleza de la que es parte indisoluble, tal vez no se vuelva a denominar arquitectura o urbanismo.

¿Entornos pasivos? Veremos.

La ventilación natural constituye un instrumento determinante en todo ello. En la gestión del aire interior de la edificación influyen las condiciones indisolubles de contorno, el paisaje urbano, la calidad del aire exterior o la presencia de arbolado, agua y vegetación que atempera el ambiente extrínseco a los edificios: el diseño y gestión del espacio público, en ocasiones su rehabilitación ambiental, serán claves para el establecimiento de la ventilación natural en arquitectura: la ciudad como hábitat. A partir de aquí, bien como estrategia combinada (mecánica – natural) o principal basada exclusivamente en la ventilación natural, la arquitectura presenta numerosos instrumentos para la mejora de las condiciones de habitabilidad desde la gestión del aire interior y su intercambio o renovación: la forma y posición del proyecto arquitectónico, los huecos y su plan de porosidades, los umbrales, los altos lucernarios, las galerías profundas, los patios frescos, las dobles envolventes, los

conductos enterrados, las chimeneas solares, los invernaderos o los aljibes... todo un repertorio de soluciones técnicas y culturales, globales y atemporales surgidas en torno a nuestra respiración: ventilar es respirar.

Desde estas líneas, la Asociación Sostenibilidad y Arquitectura agradece a la Dirección General de Agenda Urbana y Arquitectura del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) el encargo de esta guía técnica en torno a la ventilación natural como herramienta básica de ventilación. Del mismo modo, ASA agradece a sus socios Alfonso Godoy, Mariana Palumbo, Victor Moreno, Ana M. Lacasta, Inmaculada Rodríguez y Alberto Acín, ganadores del concurso convocado por ASA y autores de la presente guía bajo la dirección de Teresa Batllé y Juan Carlos Carmona, así como a los miembros de la actual Junta Directiva y Comité Científico de ASA. A todos, gracias.

Miguel Ángel Díaz Camacho
Miembro del Comité Científico de ASA



Figura 1: Chimenea de viento Irán

HABITAR CON LA SOSTENIBILIDAD.

Más allá de Código Técnico

El informe “Calidad del aire, ventilación y energía.” que la Asociación de Arquitectura y Sostenibilidad (ASA) coordinó en colaboración con el Ministerio de Fomento (hoy Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana) nos permite plantear la arquitectura y las exigencias ligadas al habitar desde una nueva mirada, una mirada necesaria hacia la sostenibilidad de nuestro proyectar y construir.

La arquitectura debería ser engranaje de esta nueva visión global, transversal y compleja, que nos obliga a tomar decisiones conscientes y conocedoras para poder discernir entre múltiples exigencias, muchas de ellas contradictorias entre sí.

El documento reflexiona de forma casi científica sobre la calidad del aire interior, con el principal objetivo de descubrir otros caminos demostrables, que aporten una sostenibilidad al bienestar necesario.

El trabajo desarrollado nos ayuda a repensar el contexto en el que estamos inmersos, en donde las normativas tienden a querer proporcionar fórmulas matemáticas, garantistas, que nos defiendan.

Seguridad y sostenibilidad deben dialogar y encontrar un punto de equilibrio que tenga en consideración el respeto por los recursos utilizados, en los edificios existentes, los nuevos y en el uso a lo largo de su vida útil.

Como punto de enlace entre el documento base de partida y este anexo de propuestas reales -escueto y por tanto ampliable-, extraigo algunas de sus conclusiones:

“La ventilación natural es una estrategia eficaz, económica y duradera,..... para mantener una adecuada calidad del aire interior”.

“La comprobación de la eficacia del diseño de sistemas de ventilación natural requiere de la utilización de herramientas especializadas. Estas herramientas permiten la justificación del cumplimiento de los valores de la calidad del aire interior establecidos en el marco normativo”

“Es necesario ofrecer una guía de soluciones, tanto de diseño como de control de los sistemas de ventilación natural”

Estás reflexiones y muchas otras nos han empujado a buscar edificios en diferentes ubicaciones del territorio español, que hayan intentado ir más allá del Código Técnico y aporten soluciones, en donde el proyecto prime la importancia de la arquitectura bioclimática. Las actuales herramientas proyectuales ya nos permiten demostrar el cumplimiento exigible de bienestar y salud, con el mínimo consumo.

Los proyectos que aquí presentamos proponen soluciones actuales que dialogan con el entorno, en aras a buscar la óptima sostenibilidad; son todas ellas propuestas de arquitectura que proporcionan la habitabilidad necesaria o exigida, con el menor consumo. energético. Cito brevemente algunas de las estrategias utilizadas, con el profundo interés de poder seguir avanzando hacia la arquitectura y el bioclima: Propuestas ligadas al conocimiento de la termodinámica, elementos arquitectónicos como patios y chimeneas que activan la renovación del aire, sistemas que se apoyan en la temperatura estable del terreno. Mecanismos, integrados en la envolvente, que renuevan y recuperan el aire para apoyar el clima interior. Herramientas de monitorización que compatibilicen los sistemas naturales de ventilación con sistemas mecánicos convencionales.

El presente documento debería poder ser el primero de publicaciones posteriores. Finalmente la explicación de nuestra práctica profesional puede concienciar, inspirar e impulsar muchas innovaciones todavía por descubrir.

Teresa Batlle Pagés, arquitecta
Presidenta del Comité Científico de ASA



EDIFICIO RESIDENCIAL
PISOS TUTELADOS PARA PERSONAS
MAYORES EN PALMA DE MALLORCA

ANGEL HEVIA, LUIS VELASCO, GABRIEL GOLOMB,
ANA GARCÍA, MARÍA ANTONIA GARCÍAS

EDIFICIO RESIDENCIAL

Pisos tutelados para personas mayores en Palma de Mallorca

1

Uso principal del edificio:

Vivienda tutelada pública

Año de construcción o rehabilitación:

2005

Arquitecto:

**Angel Hevia, Luis Velasco, Gabriel Golomb,
Ana García, María Antonia Garcías**

Ingeniería:

Reolid Consulting

Localización:

Palma de Mallorca

Zona climática:

Zona B3

Memoria General del proyecto

El edificio está ubicado en el interior de una manzana urbana. El programa incluye 38 apartamentos para personas mayores distribuidos en tres plantas y una serie de espacios comunes situados en planta baja. La unidad mínima se compone de un espacio destinado a sala, un comedor, una cocina con doble fachada y un dormitorio incorporable a la sala, con un baño adaptado a movilidad reducida. La superficie útil del apartamento es de 35 m². La multiplicidad de orientaciones y la dualidad intimidad-socialización encaminan la búsqueda hacia una unidad lo suficientemente flexible como para que cada vivienda tenga, independientemente de su posición relativa dentro del conjunto, sol y luz natural en invierno y sombra y ventilación en verano.

Datos técnicos:

Estrategias para una ventilación natural:

Ventilación natural cruzada: Todas las unidades y espacios comunes cuentan con ventilación cruzada potenciada por la propia configuración del edificio, que se abre a las brisas procedentes del mar en verano y se cierra a los vientos fríos del Norte en invierno.

Las galerías perimetrales crean zonas de sobrepresión que potencian la circulación del aire.

Para permitir un régimen de ventilación nocturna, la fachada interior de la galería se diseña de forma que, sin poner en entredicho la intimidad o la seguridad, permite a los usuarios mantener durante la noche la ventilación en el apartamento. Las aberturas de dicha piel se sitúan adosadas a techo y paredes para potenciar la acumulación de frío en la masa del edificio.

Sistema de renovación de aire utilizado:

Refrigeración pasiva y activa. La refrigeración natural en verano se consigue a través de la combinación de la protección solar y el uso selectivo de mecanismos de ventilación que combinan la ventilación natural cruzada y la ventilación mecánica con prerrefrigeración natural. El aire durante el día es aspirado desde la fachada norte del edificio, circula por una galería bajo el forjado de la planta baja hasta la sala de ventiladores, en donde es enviado al subsuelo del patio a una profundidad de entre 3,5 y 5,5 metros.

El aire se conduce e introduce en las viviendas mediante difusores orientables, induciendo al aire caliente a salir a través de los shunts del baño y la cocina.

La importancia del sistema de ventilación mecánico prerrefrigerado por conductos enterrados radica en que permite mantener durante todo el día las ventanas del pequeño apartamento (90m³) cerradas, recurriendo para la evacuación de las cargas internas y los contaminantes al aire fresco procedente del subsuelo del edificio. De esta forma se evita el acceso del aire caliente mientras la inercia térmica interior cede al apartamento las frigorías acumuladas durante la noche anterior.

Al caer la tarde es posible abrir el apartamento a las brisas frescas hasta la mañana siguiente, cargando de nuevo la inercia térmica interior de frigorías para un nuevo ciclo.

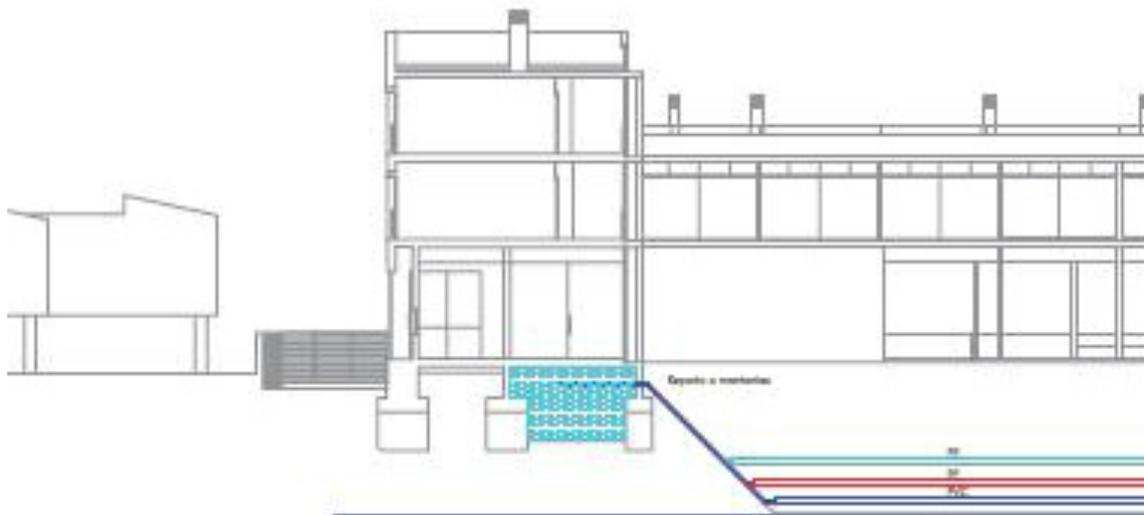


Figura 1: Sección



Figura 2.



Figura 3.



Figura 4.



Figura 5.

2

EDIFICIO RESIDENCIAL
HEMICICLO SOLAR.
92 VIVIENDAS SOCIALES

RUIZ-LARREA Y ASOCIADOS: CESAR RUIZ-LARREA CANGAS,
ANTONIO GÓMEZ GUTIÉRREZ, EDUARDO PRIETO

EDIFICIO RESIDENCIAL

Hemiciclo solar. 92 viviendas sociales

2

Uso principal del edificio:

Vivienda colectiva

Año de construcción o rehabilitación:

2009

Arquitecto:

**Ruiz-Larrea y asociados: Cesar Ruiz-Larrea Cangas,
Antonio Gómez Gutiérrez, Eduardo Prieto**

Ingeniería:

3I Ingenieria, Elia Solar

Localización:

Mostoles, Madrid

Zona climática:

Zona D3. Clima mediterráneo

Memoria General del proyecto

El proyecto de 92 VPP en régimen de alquiler, surgió como combinación de los factores urbanísticos y climáticos más relevantes. Por un lado, la voluntad de integrar el edificio dentro de la coherencia urbana, convirtiéndolo en el hito visual que vertebraría el nuevo ensanche, cosidiéndolo a través del nuevo edificio con el caserío anterior. Por otro lado, el compromiso de aprovechar de manera rigurosa y sencilla el gran potencial energético de la orientación Sur.

El edificio debería ser el hito equilibrado, el nuevo telón de fondo de la ciudad y seguir, con su forma, al sol en su movimiento por el cielo... Surgió así el Hemiciclo Solar.

Las viviendas se agrupan en disposición pasante y se diseñan de tal modo que pueda aprovecharse la diferencia de potencial energético entre las orientaciones Sur y Norte. La idea inicial y generadora de su forma es sencilla: los espacios deben ser lo más fluidos posible para que el aire circule sin dificultad a través de ellos, bien fluyendo desde el Sur una vez que se ha calentado en las galerías solares bien fluyendo desde el Norte una vez que se ha captado el viento fresco procedente de la sierra durante las noches del verano.

La envolvente se concibe como un gran captador solar durante el invierno y un inmenso umbráculo en verano. La solución constructiva de la envolvente permite disposiciones flexibles, diferentes niveles de apertura u ocultación.

Datos técnicos:

Estrategias para una ventilación natural:

Admisión de aire pretratado mediante intercambiador tierra aire, en combinación con una galería solar aprovechando las 2460 horas de sol que dispone Móstoles al año. El aire confinado dentro de la galería se calienta por efecto invernadero y es impulsado en condiciones de confort higrotérmico a las habitaciones más frías de las viviendas en la orientación norte. Además todas las viviendas disponen de doble orientación.

Sistema de renovación de aire utilizado:

Se realiza mediante la combinación de dos sistemas:

Sistema centralizado: red de rejillas conectadas a un sistema centralizado de tratamiento de aire, formado por una red de conductos enterrados situados bajo el edificio (intercambiador tierra-aire) que aportan aire pretratado en función de la época del año (temperatura ambiente en entretiempo, calientan en invierno o enfrían en verano).

Sistema individual de vivienda: formado por una red de aireadores interiores que permiten la ventilación interna de las viviendas.

Extracción a través de chimeneas solares al exterior o reutilización de calor del aire expulsado de nuevo al sistema centralizado según condiciones climáticas.

Existe siempre la posibilidad de la apertura de huecos practicables en las fachadas opuestas de las viviendas al disponer de doble orientación en función de las condiciones climáticas.

Extracción del aire viciado mediante rejillas de red de conductos conectados a chimenea solar por medios naturales.

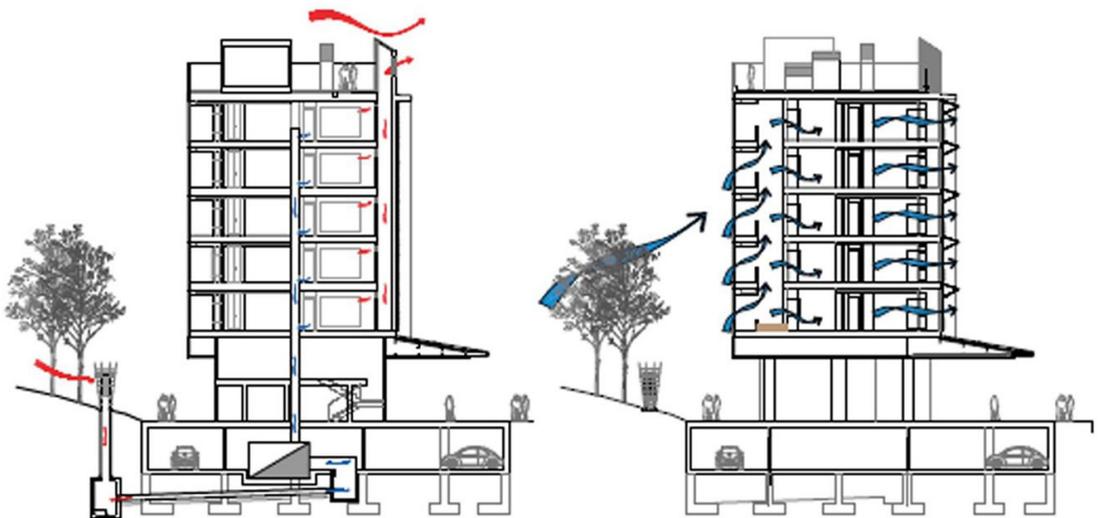


Figura 1: Sección

Sistemas de climatización utilizados:

Las estrategias bioclimáticas que dan forma y sentido al edificio se complementan con sistemas pasivos y activos, en proceso de progresiva reducción de la demanda energética y mejora de las condiciones de confort para los usuarios. Entre estos sistemas complementarios (que incluyen paneles solares y fotovoltaicos), sin duda, el más innovador y relevante es el sistema geotérmico tierra/aire que se combina con una red de chimeneas solares que apoyan naturalmente el movimiento convectivo del aire. La combinación de todos estos sistemas hace posible cubrir el 78% de la demanda de energía del edificio por medios renovables.



Figura 2.



Figura 3.



Figura 4.

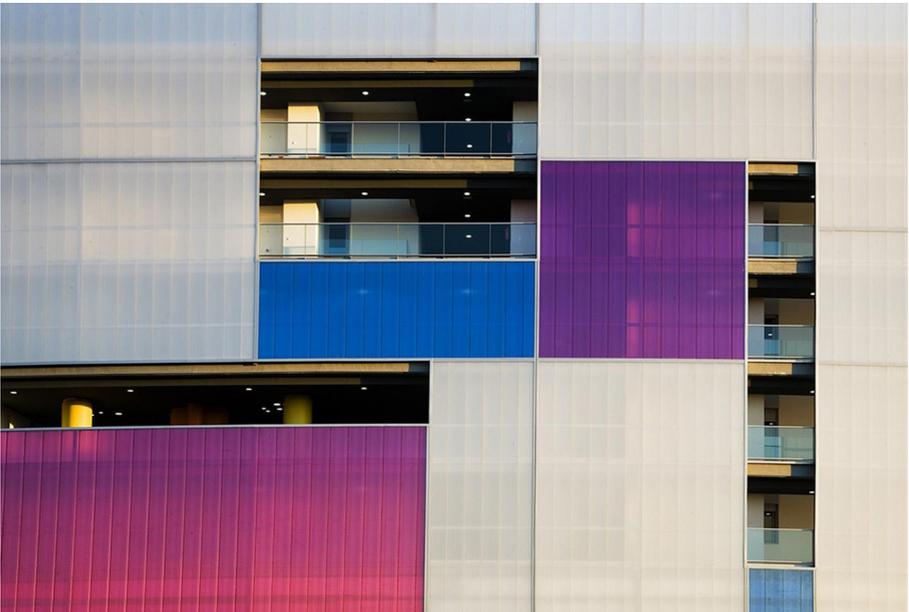


Figura 5.

3

EDIFICIO RESIDENCIAL
30 VIVIENDAS
EN SAN CRISTÓBAL DE LOS ÁNGELES

MARGARITA DE LUXÁN Y GLORIA GÓMEZ

EDIFICIO RESIDENCIAL

30 viviendas en San Cristóbal de los Ángeles

3

Uso principal del edificio:

Rehabilitación de viviendas

Año de construcción o rehabilitación:

2004

Arquitecto:

Margarita de Luxán y Gloria Gómez

Ingeniería:

José Antonio Gaóna, Manuel Macías

Localización:

Madrid

Zona climática:

Zona D3

Memoria General del proyecto

La investigación sobre las chimeneas de ventilación parte de las diseñadas y construidas anteriormente para un bloque en San Pedro de Alcántara, realizado por este mismo equipo en la Universidad Politécnica de Madrid.

En el bloque de San Cristobal se buscan los mejores rendimientos y la posibilidad de industrializar las soluciones, para encontrar los remates más adecuados en cada caso, valorando el diseño y el costo. Se proponen soluciones sucesivas que permitan ajustar , tanto la composición como sus dimensiones, con el fin de poder monitorizar su funcionamiento.

En esta obra, la construcción de los conductos verticales de la chimenea se ha realizado con piezas prefabricadas de hormigón tipo Shunt, en posición normal o invertida según sea salida o entrada de aire. Para la cabeza superior de extracción, se han utilizado los materiales constructivos que se estaban usando habitualmente en el resto de la obra: ladrillos, aislantes, vidrios, pintura negra,...

Datos técnicos:

Estrategias para una ventilación natural:

Como muestran los diagramas bioclimáticos para la zona de Madrid, si la vivienda está protegida convenientemente de la radiación solar, tiene una adecuada orientación y masa térmica suficiente, no requiere sistemas activos de refrigeración. Con estos criterios se ha diseñado este edificio de viviendas de nueva planta, de manera que los cerramientos tienen la masa térmica en el interior y los huecos de fachada están convenientemente protegidos en los meses cálidos. La distribución de las viviendas permite la ventilación cruzada entre las fachadas este y oeste.

Para mejorar las condiciones de verano en el interior de las viviendas, y teniendo en cuenta que haría falta una refrigeración activa unos pocos días al año en los que las temperaturas máximas se disparan, se han previsto unas chimeneas de refrigeración y ventilación natural.

Estas chimeneas funcionan extrayendo aire frío de la cámara bajo planta semisótano, gracias al calentamiento de la cabeza de la chimenea propuesta, en la cubierta del edificio, la extracción de aire caliente se sustituye por aire frío de la cámara, que llega a las estancias de las viviendas a través de un conducto vertical, con una salida

en la parte baja de la habitación. El adecuado diseño del remate de las chimeneas impide que el sistema funcione en invierno, y sólo se produce la extracción en las épocas calurosas del año.

Aunque en el caso de San Cristóbal, la posición de los conductos norte-sur permite que los remates extractores estén correctamente orientados, se estudió un remate orientable para cualquier dirección del conducto. Por otra parte, el diseño se ha desarrollado para su posible industrialización en colaboración con empresas fabricantes, que podrían elaborarlas y comercializarlas, buscando unos costos asequibles.

Sistema de renovación de aire utilizado:

Temporada de verano:

1.- Efecto de la radiación solar sobre el acabado de los elementos interiores de la cabeza de la chimenea (durante el día): Para conseguir el movimiento de aire a través de la chimenea durante el día, se realiza un diseño al final de la misma, acristalada al este, oeste y plano superior y aislada al norte y al sur, que absorbe la radiación solar incidente, calentando el aire de su interior por encima de la temperatura exterior. Al disminuir su densidad asciende y produce un tiro natural que arrastra el aire a lo largo de toda la chimenea. De esta forma, las salas de estar se “refrigeran” sustituyendo el aire caliente que se extrae por el aire procedente de la cámara bajo el semisótano a menor temperatura que entra en las estancias.

2.- Efecto por diferencia de temperatura (durante la noche): Por la noche, cuando ya no existe radiación solar, la temperatura exterior comienza a bajar y en algún momento la temperatura interior, debido a las ganancias (inercia de los cerramientos y ocupación), es mayor. En este caso y por la diferencia de temperaturas, también se favorece el movimiento de aire procedente de la cámara a través de la chimenea, hasta que la temperatura de la sala de estar está por debajo de la temperatura exterior, momento en el cual este efecto se detiene. Este proceso se repetirá en varias ocasiones a lo largo de la noche debido a que la temperatura ambiente sigue bajando.

Temporada de invierno:

En esta temporada la diferencia de temperatura es importante, porque en el interior el aire es mucho más caliente que en el exterior, a causa de la calefacción y por tanto habrá que cuidar de mantener cerrada la rejilla superior de la sala de estar para evitar que el aire caliente suba por la chimenea, provocando una corriente de aire y el enfriamiento de la sala, aunque el diseño del remate superior evite el calentamiento del aire en el conducto al no permitir el soleamiento interno de la cabeza de aspiración.

Sistemas de climatización utilizados:

El sistema de climatización del edificio es por suelo radiante con tuberías de agua y caldera de gas natural comunitaria, que se une al calentamiento bioclimático del edificio que supone el 26% de la demanda de calefacción. No cuenta con sistema de refrigeración que no sea la ventilación cruzada nocturna en meses calientes y las chimeneas de refrigeración natural. El edificio ha sido monitorizado por el IER que ha recogido los buenos resultados del mismo.

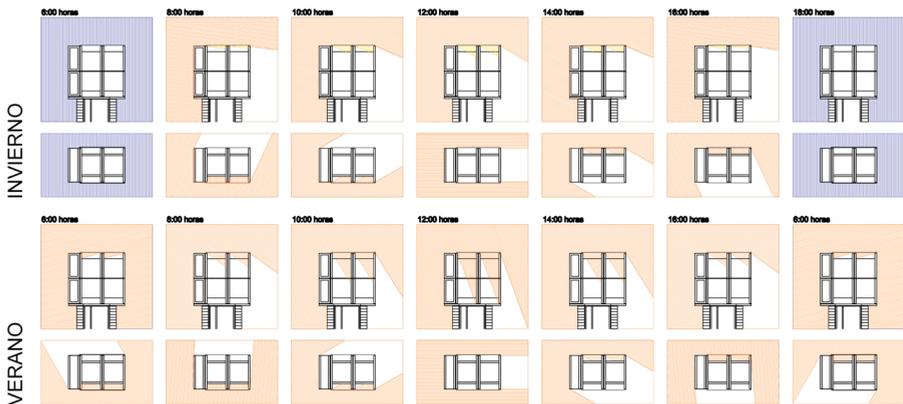


Figura 1:

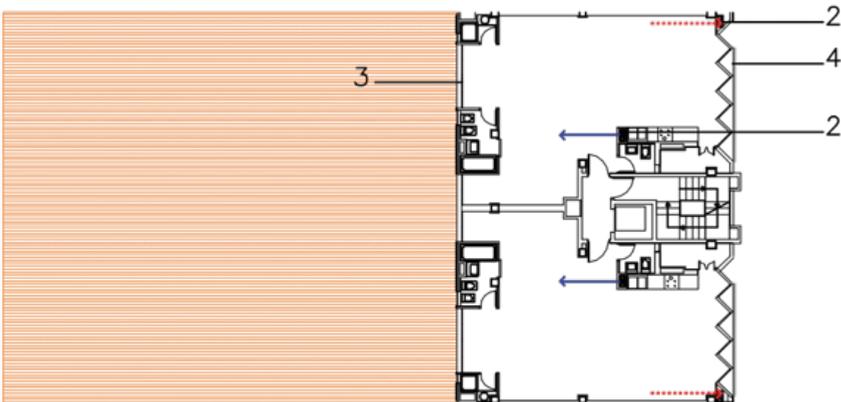
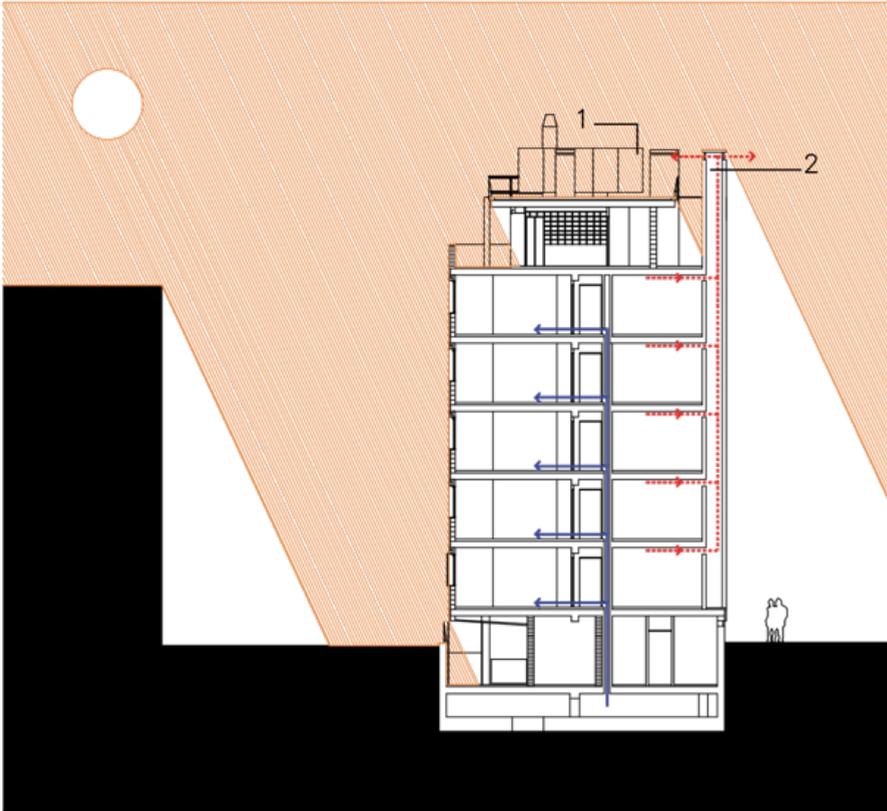


Figura 2. Planta y Sección



Figura 3.



Figura 4.

4

EDIFICIO RESIDENCIAL
VIVIENDAS PAREADAS ENTRE
LA CIUDAD DE BARCELONA Y EL
PARQUE DE COLLSEROLA

PICHARCHITECTS/PICH-AGUILERA

EDIFICIO RESIDENCIAL

4

Viviendas pareadas entre la ciudad de Barcelona y el parque de Collserola

Uso principal del edificio:

Viviendas de primera residencia de alquiler

Año de construcción o rehabilitación:

2002

Arquitecto:

Picharchitects/pich-aguilera:

Felipe Pich-Aguilera y Teresa Batlle

Ingeniería:

picharchitects/pich-aguilera en colaboración con Mafoimphep, ingeniería y Damisa, intalaciones.

Localización:

Barcelona Ciudad, limítrofe con el Parque de Collserola

Zona climática:

Zona 3C. Clima mediterráneo

Memoria General del proyecto

Se trata de dos viviendas pareadas, ubicadas en una ladera, con una topografía accidentada. Las viviendas se adaptan al terreno e integran la vegetación como sistema, sus diferentes plantas dialogan con el espacio exterior y recuperan el suelo natural que han colonizado.

Tres retos vertebran la propuesta; por un lado la necesidad de dialogar formalmente con una vivienda existente, por otro su integración con el espacio verde colindante y por último la posibilidad de incorporar sistemas pasivos y activos que avancen en el compromiso de la edificación con la sostenibilidad medio ambiental.

Datos técnicos:

Estrategias para una ventilación natural:

Se priorizan las ventilaciones cruzadas naturales, todos los espacios interiores están proyectados para facilitar las ventilaciones cruzadas entre plantas.

Se ha introducido un sistema activo de ventilación natural, a través de unos pozos canadienses enterrados en planta sótano por los que circula el aire y permite un intercambio de calor entre el aire que circula y la tierra que lo rodea.

El pozo canadiense tiene un óptimo comportamiento en verano, siempre y cuando se accione antes de alcanzar el máximo de temperatura interior y se ayude con ventilación natural. Los pozos permiten mantener la temperatura interna constante. La temperatura impulsada a través de los pozos permite reducir la necesidad de la calefacción a los meses más fríos de invierno.

La vegetación se integra a la arquitectura y es elemento indispensable en el buen comportamiento climático de las viviendas, así como de mejora de la calidad del aire interior y exterior.

Sistema de renovación de aire utilizado:

El sistema de renovación del aire de la vivienda es a través de los pozos canadienses, que toman el aire de una zona de almacén ubicado en el sótano. Éste circula a través de unos conductos enterrados que mantienen la temperatura constante del terreno y es expulsado a través de unas rejillas a la zona de estar, que es a su vez comedor y cocina, así como hacia los dormitorios orientados a Sur. Unas rejillas activadas por aereoaspiradores aspiran el aire viciado y permiten una circulación del aire proveniente de los pozos, fresco en verano y caliente en invierno.

Descripción técnica de los pozos canadienses:

Los pozos canadienses tienen una longitud de 168 m. y un diámetro de 150mm. La velocidad del aire que circula por el circuito es de 2.3-3.3 m/s.

La renovación y ventilación del aire en los baños es a través de extracción mecánica.

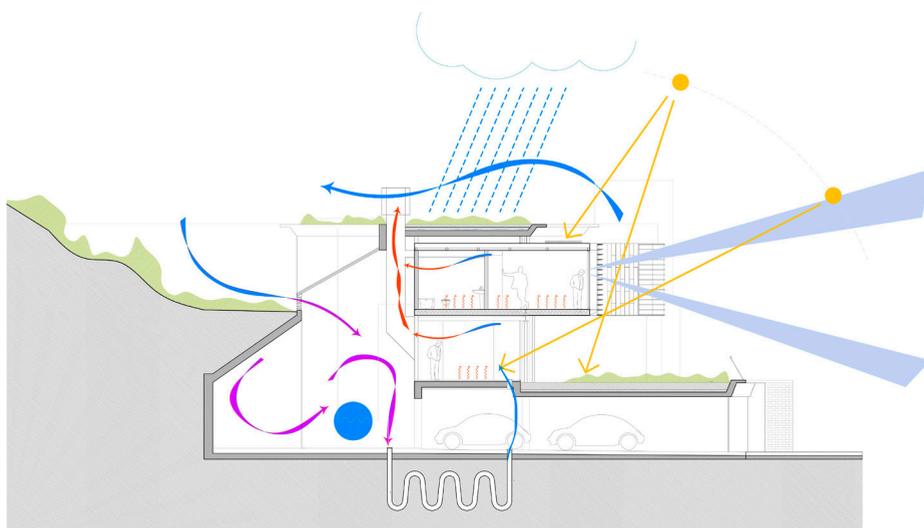


Figura 1: Sección

Sistemas de climatización utilizados:

Climatización mediante tubos enterrados (pozo canadiense) y calefacción vía suelo radiante con caldera de gas centralizada para las dos viviendas, apoyada por placas solares térmicas. Carece de sistemas de climatización para refrigeración. los pozos canadienses aportan confort térmico hacia el interior, ascienden o disminuyen la temperatura entre 1º y 4º.

Existe un contador común de compañía y un contador por vivienda que computa los consumos individualizados. Un servicio de gestión y monitorizaje permite distribuir e imputar el gasto correspondiente e informar de las posibilidades de optimizar su uso y coste.



Figura 2.



Figura 3.



Figura 4.



Figura 5.



Figura 6.

5

EDIFICIO RESIDENCIAL
CORTIJO DE MORALES

BONSAI ARQUITECTOS

EDIFICIO RESIDENCIAL
Cortijo de Morales

5

Uso principal del edificio:

Edificación rural tradicional. Rehabilitación y Restitución con obra nueva

Año de construcción o rehabilitación:

Rehabilitación en 2011

Arquitecto:

Bonsai Arquitectos: Luis Llopis, Eva Chacón

Equipos de diseño: Carlos García y Dámaso Rodríguez

Dirección Facultativa: Luis Llopis

Equipo de apoyo en obra: Eva Chacón y Miguel Dumont

Ingeniería:

Graeling Ingenieros

Localización:

Vega de Torrenueva, Motril. Granada

Zona climática:

Zona B3

Memoria General del proyecto

En el contexto de la zona de cultivos al oeste de Torrenueva el Cortijo de Morales es una propiedad modesta, pero singular por su antigüedad y por su rara autenticidad. La finca navega en un paisaje trufado de invernaderos, de viveros, de hazas abandonadas.

El reto de la intervención consistía en mantener los invariantes tipológicos del conjunto, preservando la imagen de la edificación rural que mantiene un cierto carácter ambiental, cada vez más escaso en la Vega de Motril, y de indudable valor Patrimonial pese a la escasa protección normativa.

Planteamos una rehabilitación rigurosa del edificio principal, consolidando y revistiendo muros con morteros de cal, y utilizando madera aserrada de pino tratada al vacío y tintada para los elementos estructurales de forjados y cubierta.

Para recuperar los volúmenes originales se reconstruyeron el pajar y la cuadra, y se construyó un pequeño pabellón medianero que albergaba corrales y cuartos de aperos. Estructura metálica sobre pequeñas losas de hormigón armado. Madera como leit motiv conductor de todo el proyecto, en suelos y techos –en la obra nueva como revestimiento no estructural.

Datos técnicos:

Estrategias para una ventilación natural:

La intervención se divide en dos zonas diferenciadas: la actuación sobre el volumen principal de dos plantas mediante rehabilitación; y la obra nueva en el pabellón medianero de una planta para recuperar el volumen que se había perdido.

En la zona rehabilitada conservamos el sistema de ventilación cruzada natural preexistente, que funciona bien en planta baja y alta, de acuerdo con la orientación original del edificio según el viento predominante: de día es habitual que sople el viento, ventile y refresque; de noche el viento sopla desde tierra y actúa sobre la fachada de dormitorios, orientados a nordeste.

En el pabellón lateral, de obra nueva, al ser medianero el diseño fomenta la permeabilidad mediante mallorquinas correderas de madera de iroko y permite que los espacios habitables estén siempre abiertos hacia el corredor vegetal que propicia

la pérgola. El aire que fluye en esta zona viene filtrado por la superficie de pavimento drenante, mejorando las condiciones microclimáticas de las estancias hacia el patio. Se dispusieron de pérgolas a sur para generar túneles de viento que atenúan la temperatura exterior.

En la práctica se está utilizando ventilación nocturna en verano para aprovechar el efecto de disipación térmica, si bien la alta inercia de la construcción consigue un nivel de temperatura interior muy estable.

Sistema de renovación de aire utilizado:

Se dispuso un sistema de ventilación mecánica individual para la extracción del aire a través de cuartos húmedos, con entrada de aire de forma natural por los paramentos verticales. Los locales secos disponen además de un sistema complementario de ventilación natural por la carpintería exterior practicable, con una superficie total practicable de las ventanas y puertas exteriores de cada local mayor que 1/20 de la superficie del mismo.



Figura 1: Sección

Sistemas de climatización utilizados:

En la práctica, aunque se dotó a los apartamentos de aire acondicionado frío-calor mediante unidades “inverter” de expansión directa tipo split-independientes para cada unidad residencial-, los usuarios nos transmiten que el uso de climatización es muy esporádico en momentos punta de frío o calor con carga de humedad - que ocurre sólo unos cuantos días al año. El resto del tiempo nos refieren un uso muy amable del inmueble, haciendo uso de la ventilación cruzada diurna y nocturna.

Visto en conjunto el sistema no constituye innovación especial. Se basa en mantener y/o reforzar los invariantes de la arquitectura popular, aprovechando la sabiduría de la tradición, y en instruir a los usuarios para que hagan un uso adecuado de los sistemas pasivos de ventilación.





Figura 2.



Figura 3.



Figura 4.



Figura 5.

6

EDIFICIO RESIDENCIAL
VIVIENDA UNIFAMILIAR EN ROCAFORT

BRUNO SAUER, PAULA CARDELLS

EDIFICIO RESIDENCIAL

Vivienda Unifamiliar en Rocafort

6

Uso principal del edificio:

Residencial

Año de construcción o rehabilitación:

2007

Nombre oficial del proyecto:

Vivienda Cardells-Sauer en Rocafort

Arquitecto:

Bruno Sauer, Paula Cardells

Ingeniería:

No intervención

Localización:

Rocafort, Valencia

Zona climática:

Zona B3

Memoria General del proyecto

La fuerte topografía vertebró la integración de la vivienda en el solar. Se accede a ella desde planta alta, donde se ubica un aparcamiento con pérgola, y un estudio-biblioteca. Desde este nivel, arranca la escalera por la que descendemos, a través de un patio de 6x7,5m, a la planta principal, donde se desarrolla el conjunto del espacio habitado; todo él funciona alrededor de este patio. Se distribuye la zona de día a sur y la zona de noche a norte. En el este está el dormitorio principal, y al oeste cocina y lavandería. A través del jardín en pendiente accedemos al sótano, que alberga instalaciones y almacén, sin ocupar todo el volumen superior. Al este de esta planta se genera un espacio cubierto exterior de uso, ligado al terreno.

Datos técnicos:

Estrategias para una ventilación natural:

Apertura manual de ventanas oscilobatientes dispuestas perimetralmente en las fachadas y en el patio interior, favoreciéndose la ventilación cruzada mediante los gradientes de temperatura que se generan entre las zonas en sombra y las fachadas soleadas.

“La mínima utilización de apenas divisiones interiores facilita la circulación del aire.”

Sistema de renovación de aire utilizado:

Ventilación cruzada para mejorar la sensación térmica en condiciones de elevada temperatura y humedad relativa. Night cooling: ventilación nocturna en verano, cuando la temperatura exterior mejora las condiciones interiores.

Sistemas de climatización utilizados:

Climatización por suelo radiante-refrescante, mediante bomba de calor geotérmica CIATESA, con potencias de 12,7Kw en frío y 16Kw de calefacción y un circulador con caudal de 0,78l/s. Eficiencia energética frigorífica CEEe= 3,9 y de calefacción CEEc=5,2.

ACS con cobertura solar del 64%, mediante 2 paneles captadores con superficie total de 3'77m², inclinados 40º y orientados 0º al Sur. "Acumulador solar de 240L apoyado por resistencia eléctrica."

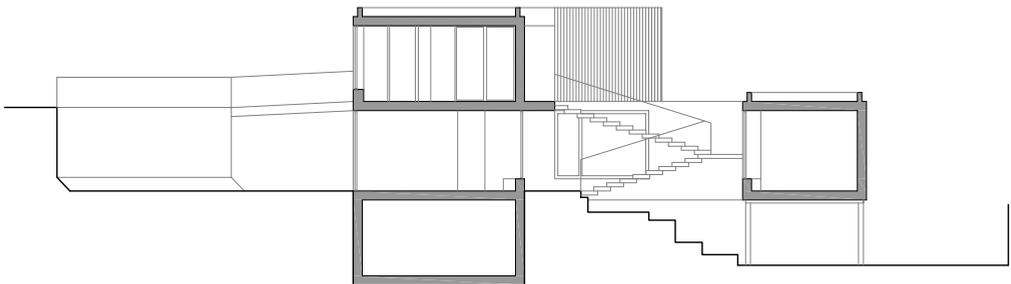


Figura 1: Sección



Figura 2.



Figura 3.



Figura 4.



Figura 5.

7

EDIFICIO PÚBLICO
CENTRO CÍVICO
CRISTALERIAS PLANELL 1015

HARQUITECTES

EDIFICIO PÚBLICO

Centro cívico Cristalerías Planell 1015

7

Uso principal del edificio:

Centro Cívico Público

Año de construcción o rehabilitación:

2014-2017

Arquitecto:

Harquitectes.

David Lorente, Josep Ricart, Xavier Ros, Roger Tudó

Ingeniería:

TDI, DSM arquitectes

Asesoría ambiental:

ARS-Project

Localización:

Barrio de Les Corts, Barcelona

Zona climática:

Zona 2C. Clima mediterráneo

Memoria General del proyecto

Equipamiento público destinado a alojar un centro de formación para adultos, una sede del consorcio de normalización lingüística y un hotel de entidades en una parcela triangular del distrito de les Corts. Dos de las tres caras del solar quedan definidas por la fachada protegida de la antigua cristalería Planell que se estableció en la calle Anglesola el año 1913.

El edificio, como pieza urbana, aprovecha la parcela en su totalidad, pero la forma triangular y las fachadas catalogadas impiden una ocupación completa del solar. El edificio reparte el programa en cuatro plantas que se retiran de la fachada patrimonial Sur, el patio cubierto resultante permite compatibilizar edificación y patrimonio mejorando las condiciones de luz natural de los espacios de aulas a la vez que aporta un cojín térmico y acústico respecto al entorno. Este patio largo y estrecho formado por la fachada patrimonial y la nueva fachada estructural, se reproduce en el vértice Norte como sistema de relación con el exterior de los usos administrativos del edificio, agotando la geometría triangular.

Datos técnicos:

Estrategias para una ventilación natural:

La principal estrategia del proyecto va dirigida hacia la reducción de la demanda energética a través de la optimización de la luz natural, ventilación natural e inercia, conscientes que para alcanzar los niveles de confort normativos es necesario asumir el uso de sistemas de producción de calor y frío. El edificio tiene un consumo máximo de 30kWh/m²/año.

La sección del edificio explica su comportamiento ante el confort y la gestión del aire en condiciones naturales.

En invierno es necesario controlar las pérdidas por renovación, amortizar la alta carga interna acumulada en la inercia de su estructura y captar el aire limpio desde el patio que actúa como recuperador natural. En verano se trata de disipar el aire, mover el máximo volumen posible y capturar el aire desde los patios vegetados y sombríos. Los motores del movimiento de este aire serán estrictamente naturales a partir del uso de chimeneas solares y sombreros con efecto venturi. La ventilación cruzada entre patios queda descartada por programa y para evitar conflictos acústicos, por tanto el edificio dota cada franja de espacios de uso por donde el aire circula en vertical “estirado” por

la potencia del sol en las chimeneas y a la vez dota al edificio de una silueta y una materialidad transparente y característica.

Sistema de renovación de aire utilizado:

La herramienta que mueve este aire es un motor natural que actúa al mismo tiempo como cubierta del edificio. Consiste en cuatro chimeneas solares que generan, gracias a su materia y geometría, tres sistemas naturales de ventilación: El efecto chimenea producido por la diferencia de altura con los espacios interiores, el efecto venturi producido por los sombreros de remate que garantizan ventilación nocturna y, por último, el efecto invernadero producido por la superposición de una superficie transparente (ETFE) sobre una superficie negra.

Sistemas de climatización utilizados:

El sistema pasivo del edificio se basa en la gestión de la alta inercia de la estructura, en invierno amortizamos la carga interna y en verano la descargamos durante todo el día y especialmente de noche gracias a la ventilación natural. El sistema activo atempera los espacios a través del suelo radiante y se basa en un sistema de producción geotérmica. La programación domotica, su vinculación a la previsión meteorológica y la compatibilidad con la ventilación cruzada evita peligros de condensación en verano.

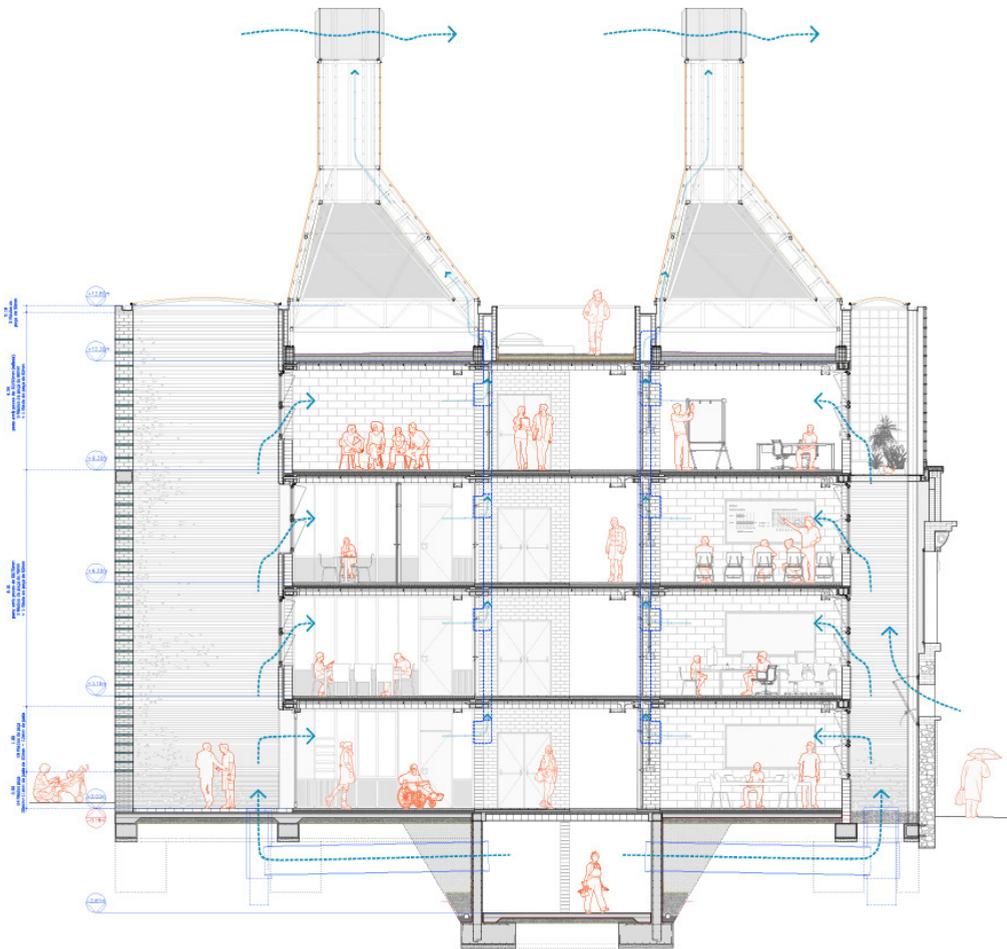


Figura 1: Sección



Figura 2.



Figura 3.



Figura 4.



Figura 5.

8

CENTRO DE FORMACIÓN
CENIFER. CENTRO INTEGRADO DE
FORMACIÓN PROFESIONAL DE LAS
ENERGIAS RENOVABLES

JAVIER BARCOS BERRUEZO, MANUEL ENRIQUEZ JIMÉNEZ,
JAVIER MARTÍNEZ OROQUIETA Y JESÚS MARTÍNEZ OROQUIETA

CENTRO DE FORMACION

Cenifer. Centro Integrado de Formación Profesional de las Energías Renovables

8

Uso principal del edificio:

Edificio de acceso al Centro CENIFER

Año de construcción o rehabilitación:

2002

Arquitecto:

**Javier Barcos Berruezo, Manuel Enriquez Jiménez,
Javier Martínez Oroquieta y Jesús Martínez Oroquieta**

Ingeniería:

Ingeniería Ismael Caballero S.L.

Localización:

Calle Aduana s/n, Imarcoain. Navarra

Zona climática:

Zona D1

Memoria General del proyecto

La rehabilitación del edificio reforma la construcción existente desde criterios bioclimáticos, que incorporan en su conjunto los tres conceptos que definen una construcción respetuosa con el medio ambiente: ahorro energético, integración de energías renovables y construcción sana.

La propuesta elimina toda la tabiquería interior, manteniendo la estructura original y dejando diáfano el mayor espacio posible.

Las principales actuaciones que se realizaron son: nuevas cubiertas planas transitables, en las que ubicar las instalaciones de energías renovables; revertir la hoja de ladrillo cara vista para pasar a ser la hoja de inercia interior para dotarla de su capacidad de absorción y radiación; construir un espacio invernadero y un muro trombe, como elemento de captación solar pasiva; instalar un shunt termosolar y tubos enterrados que proporcionen la ventilación y refrigeración natural.

Se utiliza agua del nivel freático para una refrigeración natural. Los materiales utilizados se escogen desde parámetros de construcción sana.

Datos técnicos:

Estrategias para una ventilación natural:

El edificio cuenta con un sistema de ventilación natural. Se ubica un shunt termosolar en la zona norte y más elevada de la cubierta que funciona como una chimenea solar, junto con un sistema de conductos enterrados.

Se capta el aire desde una toma situada en el exterior norte del edificio, y se introduce en el interior del edificio por su fachada sur; gracias al efecto venturi, el aire que llega al interior por el sur recorre el interior del edificio hacia el punto alto de la chimenea solar a norte, barriendo el conjunto del espacio interior y consiguiendo la ventilación natural necesaria.

Los conductos enterrados son dos tubos circulares cerámicos de unos 40cm de diámetro que además de dotar de ventilación natural el interior de la edificación, consiguen refrigerar el espacio interior en verano.

Sistema de renovación de aire utilizado:

La renovación de aire se consigue a través del shunt termosolar mencionado. Para no condicionar todo el funcionamiento al efecto venturi se han instalado unos ventiladores en la salida de los conductos enterrados que permiten garantizar el movimiento del aire independientemente de las condiciones térmicas.

Sistemas de climatización utilizados:

- Espacio invernadero, como elemento de captación solar pasiva aislado.
- Muro trombe, como elemento de captación solar pasiva indirecto.

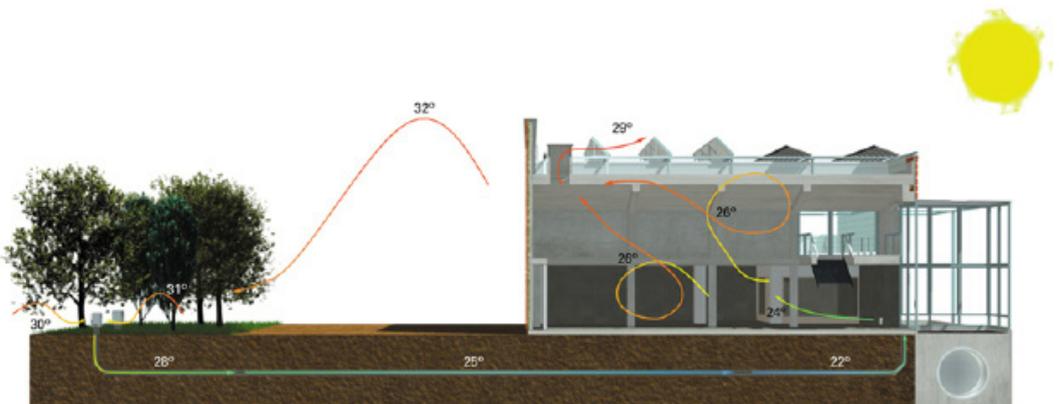


Figura 1: Sección

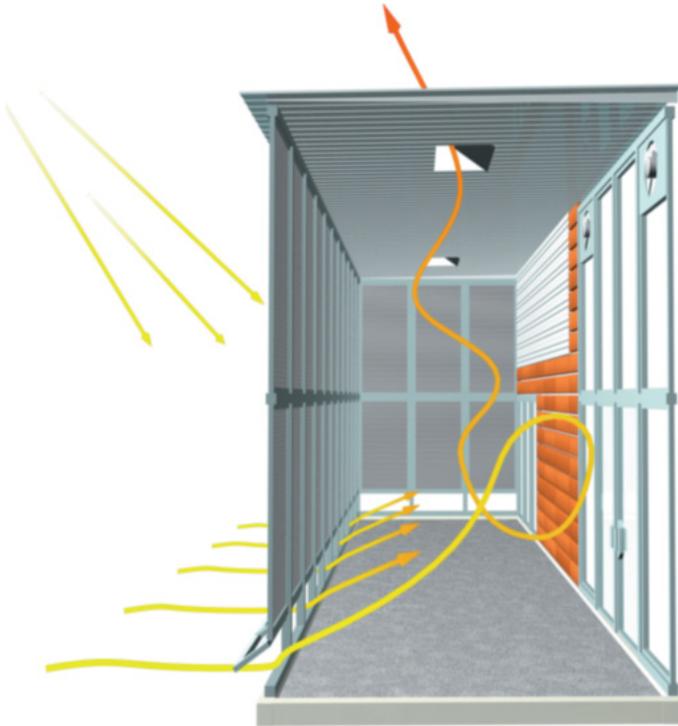
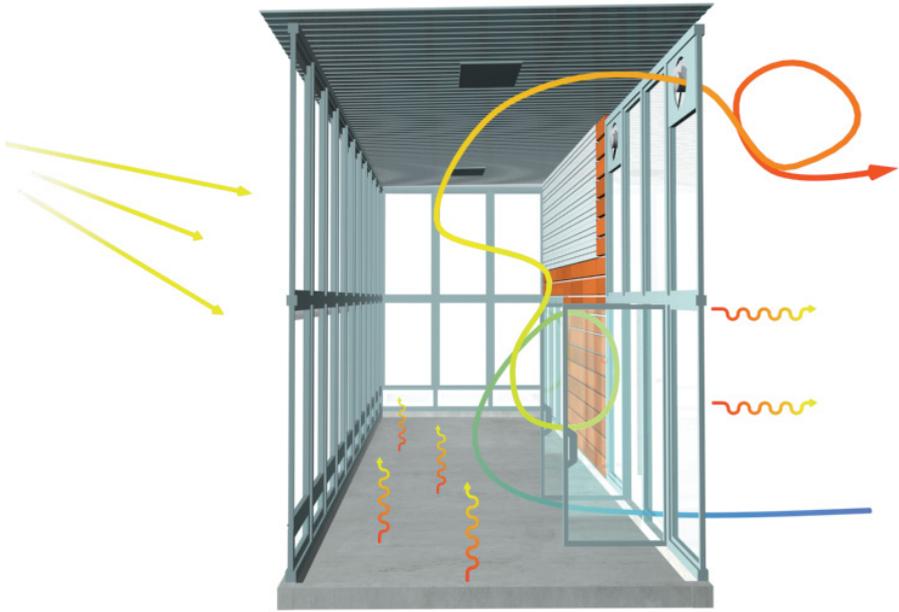


Figura 2.



Figura 3.



Figura 4.

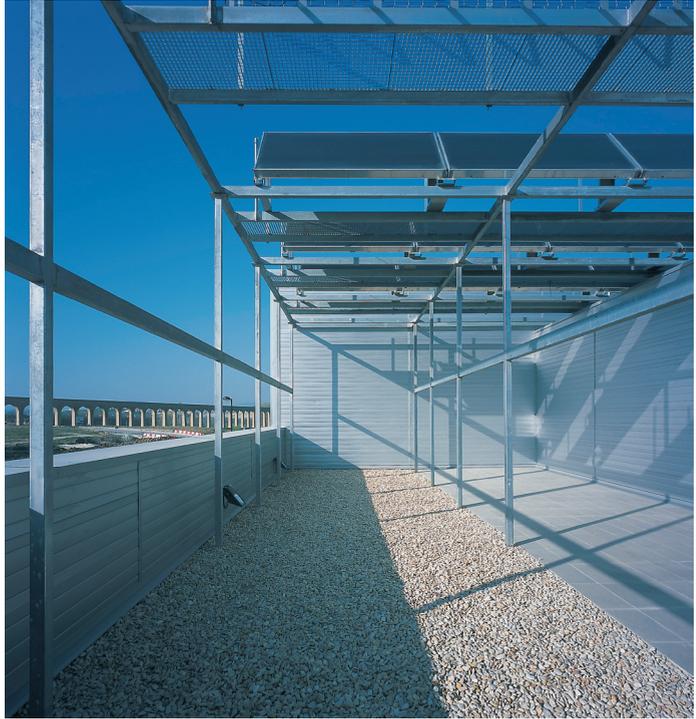


Figura 5.

9

EDIFICIO JUDICIAL
SEDE DE LOS ÓRGANOS JUDICIALES
DE LA CIUDAD DE LAS PALMAS DE
GRAN CANARIA

JOSÉ ANTONIO SOSA , MAGÜI GONZÁLEZ, MIGUEL SANTIAGO

EDIFICIO JUDICIAL

Sede de los órganos judiciales de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria

9

Uso principal del edificio:

Administrativo

Año de construcción o rehabilitación:

2013

Arquitecto:

José Antonio Sosa , Magüi González, Miguel Santiago

Ingeniería:

JG Ingenieros. S.A.

Localización:

Las Palmas de Gran Canaria

Zona climática:

Zona D3

Memoria General del proyecto

El proyecto de la Ciudad Judicial constituyó una oportunidad para fortalecer los vínculos entre dos barrios colindantes. Su imagen no debía ser excesivamente fuerte ni impuesta, sino respetar y potenciar el skyline urbano: un perfil de sección variable, una piel que envuelve al edificio en un zig-zag ritmado, cuyos despuntes y brotes irregulares hacen que se reduzca la escala para adaptarse a un entorno residencial de distintas alturas. Se buscaba una imagen rotunda pero fragmentada, transparente y opaca, horizontal y vertical a la vez. El edificio se encaja dentro de la trama (espacios públicos, caminos peatonales, calle y patios interiores) formando con ellos una estructura única, desde el punto de vista urbano, éste se ensambla con suavidad pero con rotundidad, sin renunciar a su carácter representativo y próximo al ciudadano.

Datos técnicos:

Estrategias para una ventilación natural:

Decisiones de proyecto para facilitar la ventilación natural:

Se estrechan las crujías del edificio, en las plantas altas, lo que permite ventilación cruzada e iluminación natural en todos los puestos de trabajo. Esta ventilación cruzada natural se produce a través de ventanas altas opuestas, que producen una corriente alta, que barre el calor y el de las luminarias sin producir corrientes en el nivel del plano de trabajo. Existe la posibilidad de apertura manual de las ventanas para un mayor confort de los usuarios en cada zona, cada ventana tiene integrado en su carpintería un contacto magnético que permite que cuando el usuario abre la ventana se pare automáticamente el aire acondicionado del área, para evitar un consumo de energía innecesario.

El sistema de ventilación se produce por la apertura de grandes huecos a los patios. Para lograr el movimiento del aire, en el lado opuesto (fachada naciente) los vidrios se separan entre si 2 cms en cada junta.

El vestíbulo principal tiene la posibilidad de ventilación natural. Se realizó un estudio térmico, fluido-dinámico y energético de las zonas comunes para analizar el comportamiento en el vestíbulo principal debido a la altura de dichos espacios y a los pasillos de conexión con las salas de vistas.

Sistema de renovación de aire utilizado:

Dependiendo de las distintas zonas a tratar se disponen de climatizadores de volumen aire variable, climatizadores con y sin free-cooling con variadores de frecuencia, y climatizadores con free-cooling de volumen constante. Todos ellos comandados mediante un sistema de gestión BMS para optimizar la eficiencia energética.

Para la zona de oficinas se dispone de climatizadores de aire de ventilación con recuperación situados en la cubierta de cada torre (4 climatizadores por torre).

Para el vestíbulo se dispone de climatizadores de caudal constante con free-cooling situados en el sótano del edificio, que tanto apoyan la renovación del aire como la climatización.

La zona de archivos utiliza maquinaria específica de renovación de aire.

Las áreas de cafetería, guardería y salón de bodas dispone de climatizadores de caudal constante con free-cooling.

La ventilación del aparcamiento se realiza mediante extractores que llevan el aire enrarecido hasta la cubierta y aportación de aire natural del exterior.

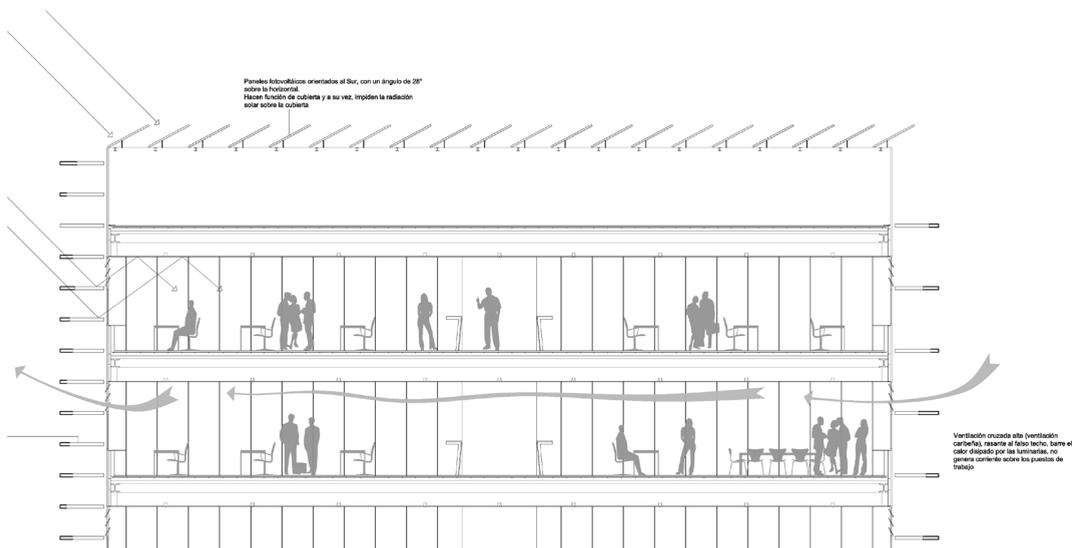


Figura 1: Sección

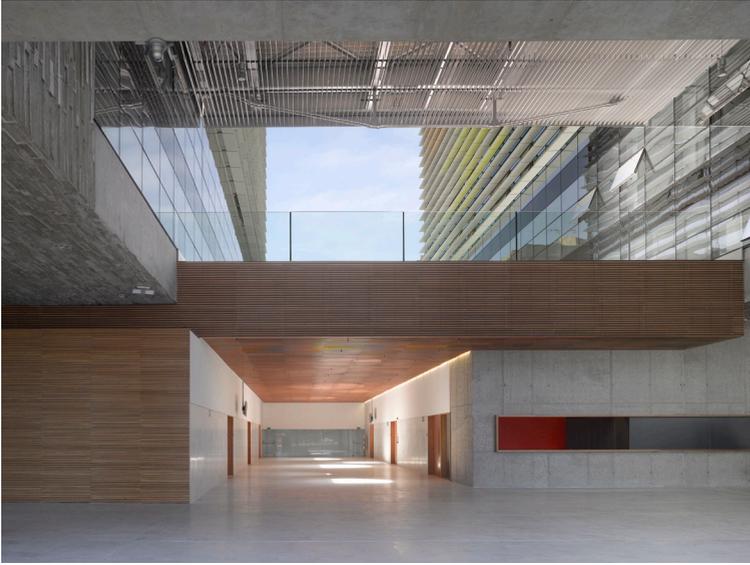


Figura 3.



Figura 4.



Figura 5.

10

EDIFICIO DE USO ESCOLAR
NUEVO COLEGIO DE EDUCACIÓN
INFANTIL Y PRIMARIA DE 3 LÍNEAS
EN SEVILLA

EDIFICIO DE USO ESCOLAR

Nuevo colegio de educación infantil y primaria de 3 líneas en Sevilla

10

Uso principal del edificio:

Colegio de educación infantil y primaria de la Agencia Pública Andaluza de Educación (Consejería de Educación, Junta de Andalucía)

Año de construcción o rehabilitación:

2017-2018

Promotor:

Diseño sistema ventilación natural: Dirección de Obras y Construcciones Educativas. En colaboración con la Universidad de Sevilla, desarrollado como parte del proyecto ClimAct (SOE1/P3/P0429EU) dentro del programa Interreg Sudoe Programme, financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional.

Ingeniería:

Isolana Ahorro energético, SL

Localización:

Mairena del Aljarafe, Sevilla

Zona climática:

Zona C4

Memoria General del proyecto

El edificio es un colegio de educación infantil y primaria con tres líneas de escolarización desde los 3 años a los 12. Tiene 27 aulas convencionales de 50 m² para albergar grupos de hasta 25 niños cada una. Se ubica en una zona residencial en expansión del área metropolitana de Sevilla con grandes zonas abiertas, escaso tráfico y una muy buena Calidad del Aire Exterior.

La edificación es exenta y se ubica en una parcela de 12.000 m², por lo que el centro disfruta de grandes espacios abiertos. La superficie construida del edificio es de 4.363,41 m² y se desarrolla en planta baja + primera. El edificio tiene un desarrollo lineal con una relación eje mayor/eje menor aproximadamente 4/1, presentando dos partes diferenciadas, la principal de triple crujía y dos plantas con la fachada principal a noroeste, separada por un patio interior de la otra zona que se desarrolla en doble crujía pasillo (dando al patio) aula, con fachada a sureste. Este patio, al que abren ciertas aulas funciona como estabilizador térmico en verano.

Datos técnicos:

Estrategias para una ventilación natural:

Está demostrado que utilizando Sistemas de Ventilación Natural se puede garantizar la Calidad del Aire Interior de los espacios sin consumir electricidad, operando por la acción del viento y las diferencias de presiones generadas en el edificio. Desde la Agencia Pública Andaluza de Educación se define un Sistema de Ventilación Natural para garantizar la Calidad del Aire Interior en las aulas dado su carácter de espacio de elevada densidad de ocupación.

Como base para el diseño se utilizan antiguos ejemplos de sistemas de ventilación natural existentes en la arquitectura vernácula escolar, consistentes en dos shunts de ventilación por aula conectados con chimeneas en cubierta y rematados con aireadores estáticos de hormigón prefabricado. El sistema se diseña como una solución “estándar” para incluir en las aulas de los nuevos edificios escolares que se construyan en el ámbito territorial andaluz. El principio de funcionamiento se sustenta en la ventilación cruzada y el efecto chimenea.

Como normativa de referencia se utiliza la de Reino Unido (“Natural Ventilation in non-domestic buildings” CIBSE Applications Manual AM10. ISBN 1 903287 56 1; “Building Bulletin 101. Ventilation of School Buildings” CIBSE. Regulations Standards.

Design Guidance. ISBN 011-2711642; "Integrated School Design" CIBSE TM-57. ISBN 978-906846-52-7).

Se comprueba la viabilidad del sistema utilizando herramientas de cálculo actuales. Para ello se utilizó el programa Designbuilder, realizando tanto cálculos termodinámicos como del comportamiento del aire en el aula como un fluido, simulado con el módulo de CFD del propio programa informático.

La solución estudiada y parametrizada en la escuela es igualmente viable en otro tipo de edificios (comerciales, terciarios, residenciales...) y destacable como estrategia de refrigeración pasiva en Edificios de Consumo casi Nulo.

Sistema de renovación de aire utilizado:

El edificio está pensado para ser utilizado como edificio test, por lo que se propone un sistema de ventilación natural (SVN) y se incluye además un Sistema de Ventilación Mecánica (SVM) con UTAs, con la finalidad de estudiar comparativamente el funcionamiento y prestaciones de ambas soluciones.

El SVN tiene como esquema la admisión a través de aperturas motorizadas (ventanas inteligentes) ubicadas en la parte superior del cerramiento y la extracción a través de shunts dispuestos en la pared opuesta a fachada y conectados con una chimenea en la cubierta, la cual se remata con un aireador dinámico. El aire circula entrando a través de las admisiones barriendo el espacio y produciéndose la expulsión a través de cubierta. La operación se encuentra automatizada con sondas de CO₂ que operan las aperturas cuando se alcanzan las 1.000 ppm. El SVM se compone de UTAS con recuperación de calor con dos redes de conductos para la impulsión y la extracción del aire. Ambos se incluyen en aulas y espacios de alta densidad de ocupación.

En cuanto al ahorro estimado de electricidad estimado en este caso es del entorno de 25.988 kWh por año en energía final lo cual supone una reducción emisiones de 35,3 T de CO₂.

Sistemas de climatización utilizados:

El edificio tiene un régimen de uso que abarca desde la segunda semana de septiembre a la penúltima de junio. Además, el horario de clases es de 9 a 2 y las actividades extraescolares se desarrollan de octubre a mayo. Esto hace que no sea necesario un sistema de refrigeración mecánica dado que la punta de calor se produce en otros meses del año y otro horario. Así mismo el sobrecalentamiento del aula por ocupación puede disiparse fácilmente con buenas prácticas de ventilación tanto diurna como nocturna. Sí se dispone un sistema de calefacción por radiadores de agua caliente con producción centralizada en caldera modulante de gas natural, por ser la de mayor eficiencia y que mejor confort térmico proporciona.

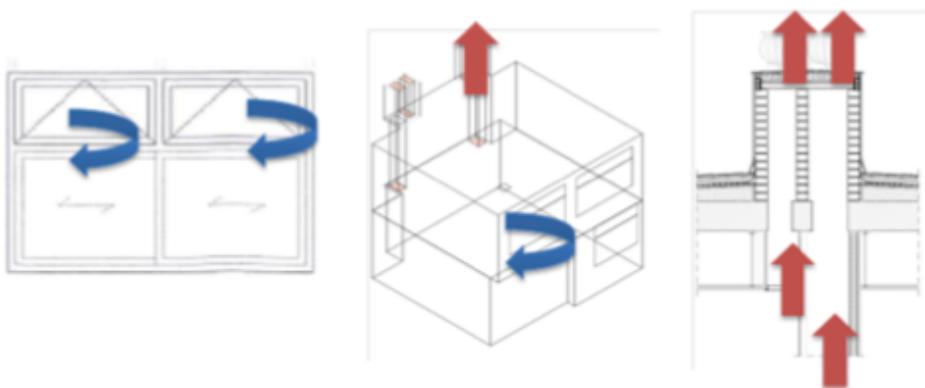


Figura 1: Sección



Figura 2.

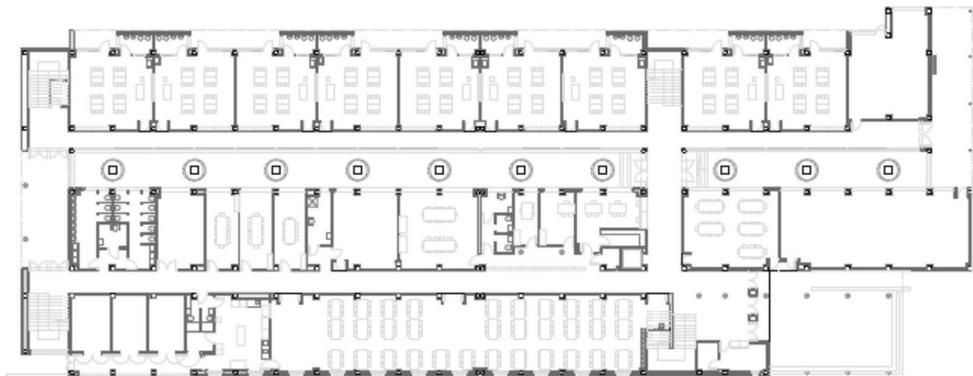


Figura 3.

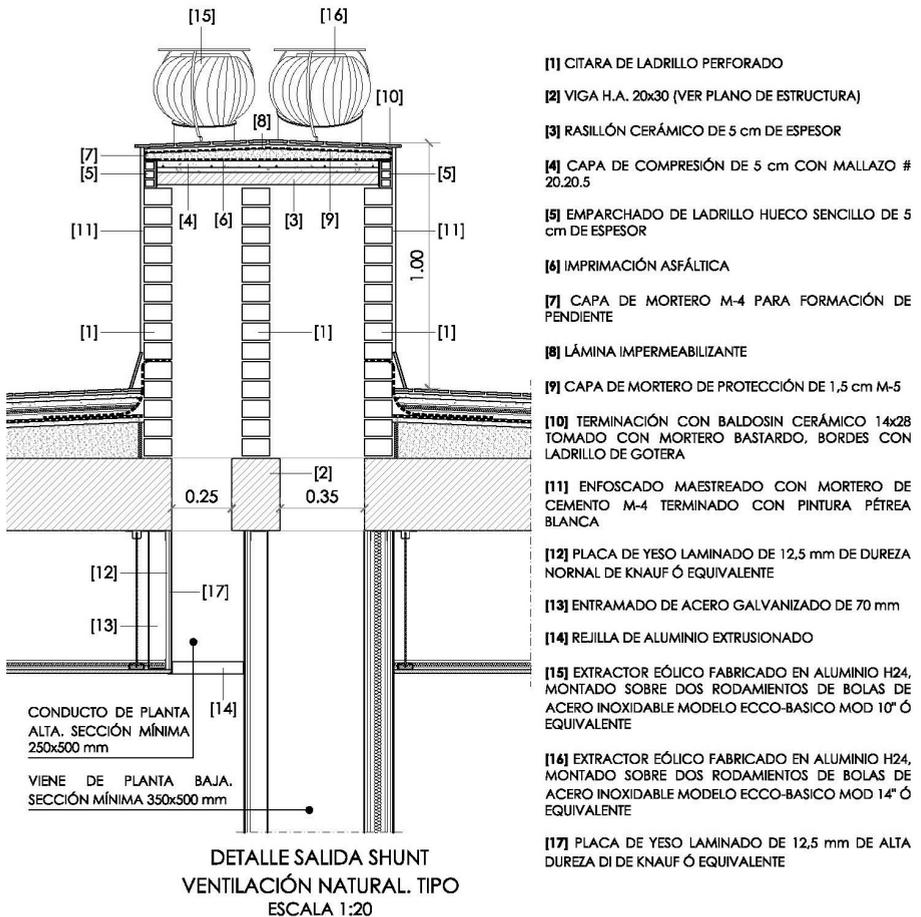


Figura 4.

1

1

PABELLÓN DE VISITANTES
PABELLÓN TEMPORAL
AIR TREE SHANGHAI

ECOSISTEMA URBANO

Uso principal del edificio:

Pabellón de la ciudad de Madrid en la exposición universal de Shanghai 2010

Año de construcción o rehabilitación:

2010

Arquitecto:

Ecosistema Urbano

Ingeniería:

TECTUM ingeniería y AST ingeniería

Localización prototipo:

Shanghai, China

Zona climática:

El artefacto se adapta a las necesidades de cada climatología.

Memoria General del proyecto

A lo largo de la historia, las Exposiciones Universales han sido eventos que muestran los últimos inventos en tecnología y las últimas expresiones de arte. Desde esta perspectiva, Air Tree surge como un prototipo experimental de intervención en el espacio público urbano contemporáneo, capaz de reactivar sitios y crear las condiciones climáticas para potenciar el uso del espacio colectivo. Se concibe como un mobiliario urbano tecnológico, un generador de confort climático autosuficiente, que se utiliza no solo como espacio para respirar sino también de manera interactiva.

El Air Tree con sus diferentes capas técnicas admite múltiples configuraciones finales y una gran cantidad de posiciones intermedias (opaco, translúcido, transparente, brillante, interactivo, abierto, etc.). Diferentes textiles para proyecciones de video permiten una combinación ilimitada de escenarios adaptables a las necesidades de los ciudadanos. Su apariencia puede ser transformada a lo largo del ciclo diario, así como mensual durante todo el año. Mediante sensores, está conectado en tiempo real con las condiciones climáticas de Shanghai, adoptando constantemente la configuración física óptima y el consumo de energía para generar confort climático para los ciudadanos.

Datos técnicos:

Estrategias para una ventilación natural:

La ventilación en el interior del Air Tree, que permite la renovación de aire y el confort ambiental necesario, se proporciona a través de un gran ventilador de 7,3 m de diámetro, suspendido por una estructura de tensegrity en el centro del espacio, a una altura de 11,5 m. Mediante un sistema telescópico, el ventilador puede bajarse hasta 2.5 metros para ubicarse más cerca de las personas.

El sistema se dota de un monitoreaje que ordena la posición y velocidad exacta del sistema y reacciona ante las necesidades específicas de temperatura, humedad y calidad del aire. La posición exacta y la velocidad en cada momento se determinan de acuerdo con las condiciones climáticas del entorno que se monitorean continuamente en los alrededores de la estructura.

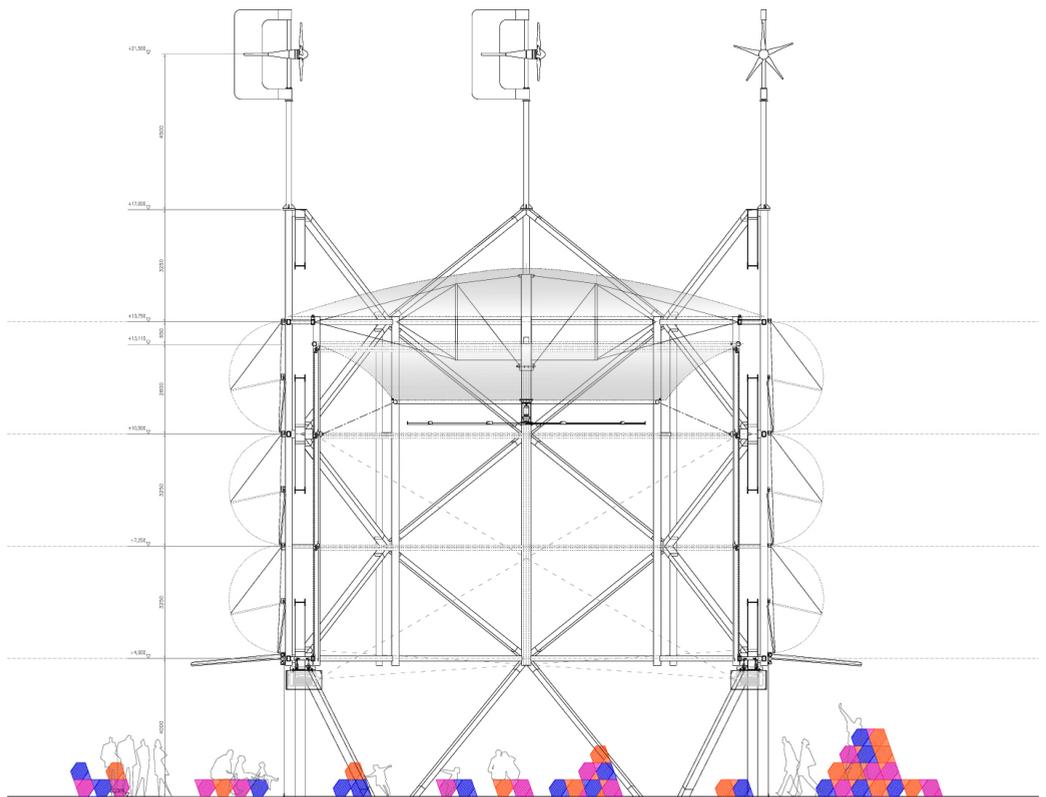


Figura 1: Sección



Figura 2.

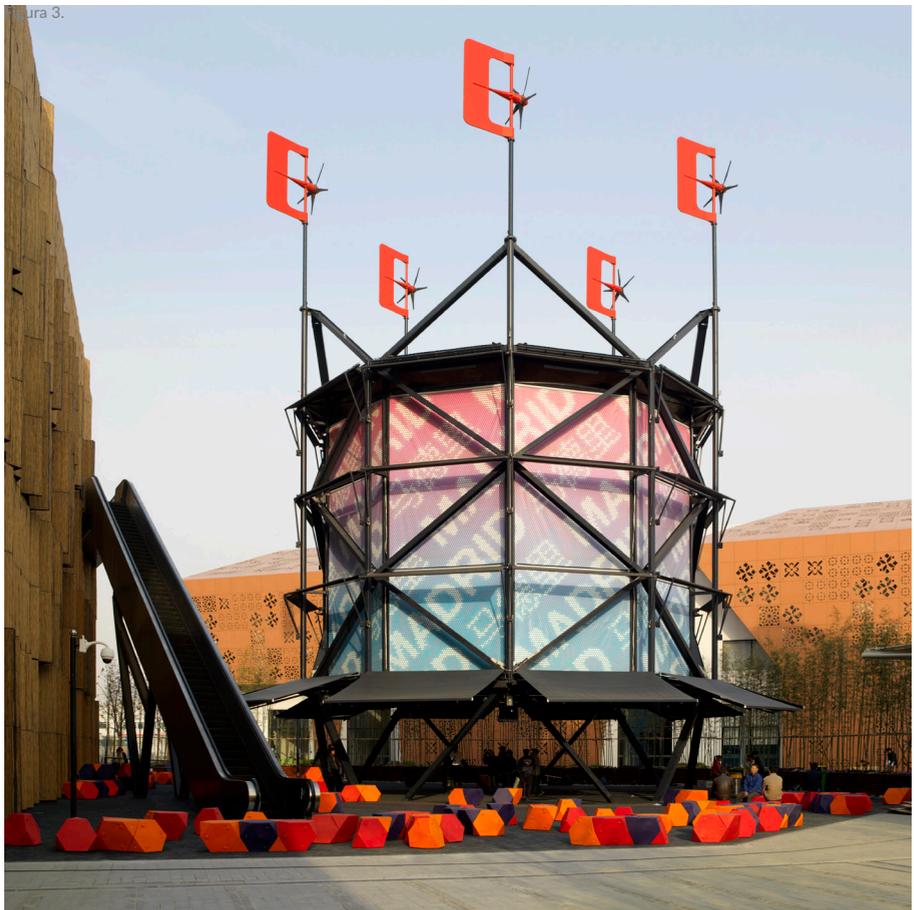


Figura 4.



Figura 5.

El presente documento ha sido impulsado y desarrollado por ASA en colaboración con el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma), con el objetivo principal de analizar las posibilidades de la ventilación natural y considerar su incidencia sobre la eficiencia energética.

ASOCIACIÓN DE ARQUITECTURA Y SOSTENIBILIDAD (ASA)

“Estudio sobre las posibilidades de la ventilación natural en el marco del CTE”

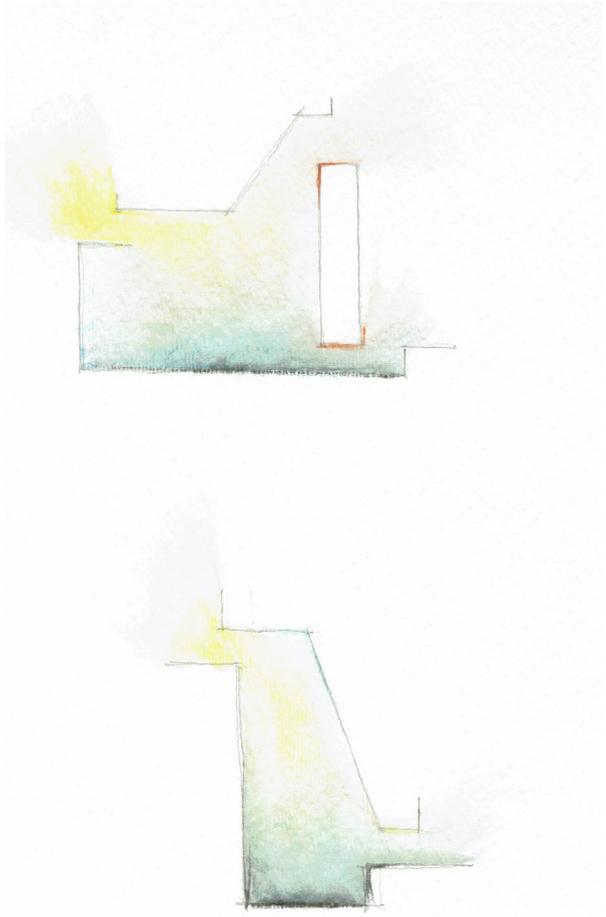
Estudio impulsado por ASA. El trabajo se desarrolló en dos fases, ambas objeto de un concurso. La primera fase consistió en un análisis de directivas y normativas europeas en relación a la ventilación y fue desarrollada por Micheel Wassouf, arquitecto. La segunda fase recoge este trabajo y lo desarrolla dando lugar al presente documento, “Calidad del aire, ventilación y energía. La ventilación natural como valor esencial de la arquitectura”

Equipo ASA implicado

Dña. Teresa Batlle Pagès, Vicepresidenta ASA (2013-2016)
Dña. María Jesús González Díaz, Miembro del Comité Científico ASA
D. Miguel Martín Heredia, socio experto
D. Micheel Wassouf, socio experto
D. Juan Carlos Carmona Casado, secretario del concurso y tesorero de ASA

Equipo evaluador ASA del Estudio

Dña. Teresa Batlle Pagès, Vicepresidenta ASA (2013-2016)
Dña. María Jesús González Díaz, Miembro del Comité Científico ASA
D. Juan Carlos Carmona Casado, Secretario del concurso y Tesorero de ASA



Madrid, febrero de 2023
Acuarelas de Miguel Ángel Díaz Camacho



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA GENERAL
DE AGENDA URBANA,
VIVIENDA Y ARQUITECTURA

DIRECCIÓN GENERAL
DE AGENDA URBANA
Y ARQUITECTURA