

Ventilación e infiltraciones en viviendas

JESSICA FERNÁNDEZ-AGÜERA
MIGUEL ÁNGEL CAMPANO
SAMUEL DOMÍNGUEZ-AMARILLO
IGNACIO ACOSTA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura,
Universidad de Sevilla (US), Sevilla, España.

Lista de acrónimos

A área de suelo.

A_w área de ventana.

CCD (ventilación), continua, cruzada y distribuida.

CO₂ dióxido de carbono.

CTE código técnico de la edificación.

DB documento básico (código técnico de la edificación, CTE).

HE exigencias básicas de ahorro de energía (código técnico de la edificación, CTE).

H_s altura existente entre huecos en fachadas enfrentadas.

HS exigencias básicas de salubridad.

IAQ calidad del aire interior (acrónimo del inglés *indoor air quality*).

NBE normativa básica de edificación.

NTE normas tecnológicas de la edificación.

n_{50} relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa.

PCA análisis de componentes principales (acrónimo del inglés *principal component analysis*).

ppm partes por millón.

P presión.

P_w perímetro de ventanas.

T_a temperatura del aire.

$T_{a,i}$ temperatura del aire interior.

$T_{a,o}$ temperatura del aire exterior.

v velocidad meteorológica del viento.

v_a velocidad del aire en el interior.

VMC ventilación mecánica controlada.

α constante de cambio de aire para viviendas plurifamiliares.

γ_A coeficiente de ponderación del área de suelo (*area*).

γ_{AW} , coeficiente de ponderación del área de ventanas (*windows area*).
 γ_{PW} , coeficiente de ponderación del perímetro de ventanas (*windows perimeter*).
 β_K , coeficiente de ponderación de cocina (*kitchen*) separada.
 β_B , coeficiente de ponderación por persianas exteriores (*blinds*).
 β_E , coeficiente de ponderación por la exposición de la envolvente (*exposure*).
 β_F , coeficiente de ponderación según el tipo de fachada (*facade*).
 β_M , coeficiente de ponderación según el estado de conservación (*maintenance*).
 β_W , coeficiente de ponderación según el tipo de ventana (*window*).
 β_{WB} , coeficiente de ponderación por la ventana del baño (*window bath*).
 β_{WS} , coeficiente de ponderación según la severidad del invierno (*winter severity*).

8.1. Introducción

Como se ha discutido en capítulos anteriores, la ventilación consiste en el proceso de renovar el aire de un recinto mediante aporte de aire exterior, sustituyendo, con ello, el aire viciado interior. Con esto se consigue mejorar la calidad del aire interior (IAQ). Ventilando, por tanto, se pueden diluir hasta niveles aceptables los contaminantes emitidos en el interior con el fin de conseguir una atmósfera interior adecuada.

Esta necesidad de renovar el ambiente interno con aire exterior puede derivar –en función de las condiciones climatológicas externas– en un incremento del consumo energético requerido para acondicionar el espacio a condiciones de confort. En este punto es donde se necesita determinar qué factores se pueden mejorar y conciliar al mismo tiempo, con el doble objetivo de reducir la demanda energética asociada al acondicionamiento térmico, por un lado, y de mejorar sensiblemente la calidad ambiental de estos espacios interiores mediante la ventilación, por otro [1].

8.2. Formas de ventilación más comunes en viviendas

La renovación del aire interior puede realizarse de múltiples formas, de entre las que destacan principalmente:

- Ventilación natural:
 - Por infiltraciones a través de la envolvente
 - Mediante apertura de ventanas
 - Por tiro inducido (efecto chimenea)
- Ventilación mecánica controlada (VMC):
 - Extracción mecánica por núcleos húmedos (flujo simple)
 - Admisión y extracción mecánica (doble flujo)

8.2.1. Ventilación natural

Cuando un recinto se ventila naturalmente, el aire se renueva por la diferencia de presión entre el exterior y el interior mediante el paso del aire a través de las ranuras y oquedades de los cerramientos y elementos de la envolvente constructiva –infiltraciones incontroladas–, así como por ventanas o puertas cuando estas son abiertas de forma voluntaria.

También es posible potenciar esta entrada de aire a través de la envolvente mediante conductos de tiro inducido en los núcleos húmedos (cocinas y baños), los cuales, aprovechando el efecto chimenea, fomentan una corriente de aire ascendente que genera una depresión en los ambientes interiores que es equilibrada por un mayor aporte de aire exterior por la envolvente.

En los edificios de viviendas, los principales elementos impulsores de movimiento del aire a través de la envolvente son:

- El efecto chimenea (figura 8.1): estratificación del aire caliente debido a la presión de flotabilidad, dependiente del salto térmico existente en el aire del recinto ($T_{a,i}$).
- La presión del viento en las fachadas, que podrá ser positiva o negativa.
- El salto térmico entre el aire del interior del recinto ($T_{a,i}$) y el exterior ($T_{a,o}$).
- El tamaño y posición de las aberturas y grietas en la envolvente. La posición relativa entre estas es especialmente relevante en el caso de la ventilación cruzada, ya que la diferencia de altura existente entre los huecos de dichas fachadas enfrentadas (H_s) puede potenciar el efecto chimenea (figura 8.1), en caso de estar la abertura de entrada enfrentada a la dirección dominante del viento.

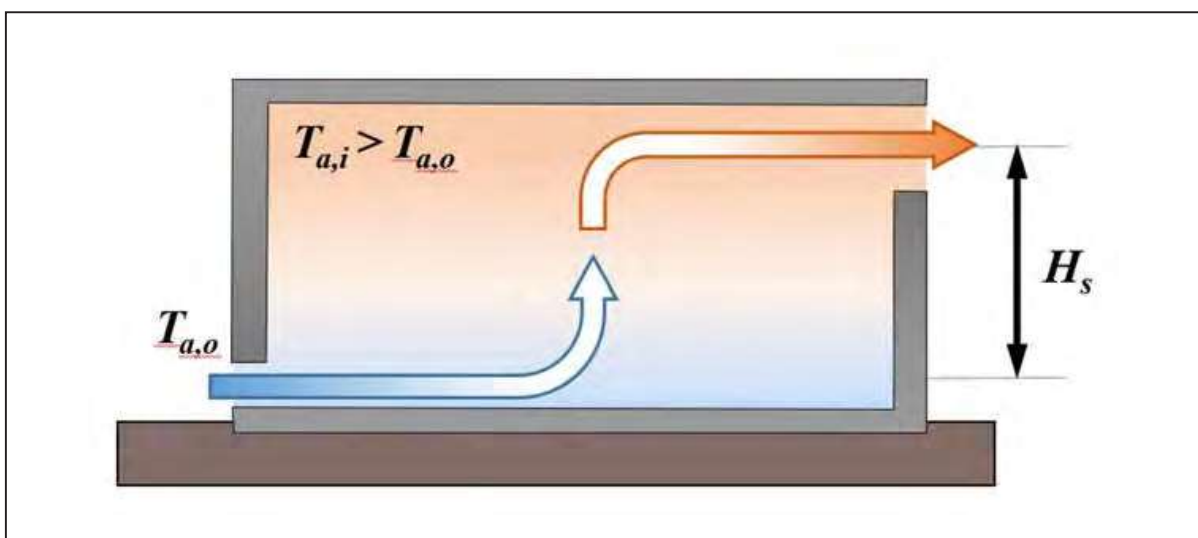


Figura 8.1. Ventilación cruzada con disposición de huecos que potencian el efecto chimenea.

- Las fugas por conductos de tiro forzado al exterior, que están también influenciadas por el efecto chimenea. (Se explica con más detalle en el apartado 2.1.3).
 - Los dispositivos/mecanismos de extracción puntuales de procesos de combustión.
 - La ventilación mecánica actuando en otras zonas del edificio.
- Todos estos factores que influyen en la ventilación –y su cálculo matemático– se explican con más detalle en el anejo K de Campano [2].
- Asimismo, el empleo de la ventilación natural conlleva lo siguiente:

- Esta no es controlable, ni homogénea o continua.
- Se puede producir una falta de confort térmico por la presencia de corrientes de aire (por frío o calor, estratificación o velocidad del aire) o por alteración general de la temperatura del ambiente interior.
- Puede haber un posible aumento del gasto energético para mantener condiciones de confort térmico en situación de invierno o verano (en caso de que el sistema de climatización tenga capacidad para neutralizar la demanda térmica incrementada).
- Puede producir la entrada de ruido, agua, polen, contaminantes, polvo, insectos, aves, etc., procedentes del exterior.

Ventilación por infiltraciones a través de la envolvente

La ventilación de un espacio mediante infiltraciones se produce cuando el aire del exterior penetra en el interior del recinto a través de rendijas (*crack*) y otras aberturas no intencionadas de la envolvente. Las infiltraciones, o flujo de aire incontrolado que penetra en los edificios, dependen de la permeabilidad al aire de los cerramientos y de las diferencias de presión entre el interior y el exterior. Para que exista una fuga de aire (infiltración o exfiltración) debe haber tanto una comunicación directa entre interior y exterior en la envolvente como una fuerza motriz (diferencia de presión) [1].

Este caudal de entrada no controlado a través de la envolvente, de naturaleza variable, puede ser insuficiente para lograr una adecuada ventilación en viviendas, ya sea para mantener una adecuada calidad del aire o para evitar el riesgo de proliferación de moho.

Estanqueidad al aire

Para poder caracterizar el nivel de infiltraciones en un recinto, es necesario definir previamente el concepto de estanqueidad al aire de su envolvente. Esta es la resistencia al flujo de aire a través de los distintos componentes que conforman dicha envolvente. Habitualmente se expresa a través de los siguientes parámetros básicos:

- Flujo de aire a 50 Pa (V_{50}), en m³/h.
- Tasa de renovación de aire a 50 Pa (n_{50}), en h⁻¹.
- Área efectiva de fuga (ELA), en m².

Evaluación de la estanqueidad

El método más comúnmente aceptado en la comunidad científica para la evaluación de la estanqueidad es el ensayo de presurización y despresurización, denominada como *blower door test* [3, 4]. Este se basa en el empleo de un ventilador que extrae o impulsa aire (*blower*) y está montado en un marco de puerta adaptable y estanco al paso del aire –a modo de puerta (*door*)–. Este permite conocer parámetros relacionados con la estanqueidad al aire a 50 Pa de presión respecto al exterior, empleando la ecuación de flujo [5-7]. Otro método igualmente utilizado para la estimación de la estanqueidad al aire es el de gases trazadores, de mayor complejidad y que requiere mayor instrumentación y tiempo de desarrollo. El valor añadido de este último es que permite conocer la estanqueidad al aire de las viviendas en el momento de la medida a presión atmosférica –lo que puede llegar a compensar su mayor dificultad–. La tabla 8.1 recoge los principales resultados de algunos de los ensayos de estanqueidad al aire realizados en Europa.

Análisis mediante modelos predictivos estadísticos

El análisis estadístico mediante regresión de baterías de ensayos con *blower door* ha servido para desarrollar varios modelos predictivos de estanqueidad al aire basados en los parámetros constructivos y morfológicos de las edificaciones. Entre estos, destacan los de Chan *et al.* [8] y Sherman [9] en EE.UU, el de Yoshino en Japón [10], el de Mochida [11] en China, el de Montoya [12] en viviendas unifamiliares en Cataluña y el de Fernández-Agüera [1, 13-15] en viviendas plurifamiliares en el área mediterránea.

Asimismo, el anejo H del *Documento básico sobre ahorro de energía del código técnico de la edificación* (CTE-DB HE) incluye un método predictivo para determinar la permeabilidad al aire del edificio a 50 Pa (n_{50}). Sin embargo, este método puede resultar demasiado genérico e impreciso para caracterizar el comportamiento de una vivienda, especialmente en el caso de edificios existentes, por lo que se desaconseja su utilización para propósitos de análisis relacionados con la infiltración y la ventilación de las viviendas. Por ello, en la sección 4 de este capítulo se detalla el modelo predictivo estadístico para viviendas plurifamiliares en área mediterránea de Fernández-Agüera *et al.* [15], mucho más preciso y detallado, dada la mayor muestra de estudio inicial y las variables analizadas, que permiten una mayor definición de sus componentes morfológicos y singularidades regionales.

Tabla 8.1. Estudios de estanqueidad al aire en Europa

País	Año	N.º ensayos	n_{50} (h^{-1})			Referencia
			media	mínimo	máximo	
Alemania	2012	27	1,21	0,01	4,7	Papaglastra 2008) [16]
Bélgica	1995-1998	51	7,8	1,8	25	Kalamees (2006) [17]
	2008-2012	21	4,99	0,5	22,5	Papaglastra (2008) [16]
Estonia	1999-2000	19	9,6	4,9	32	Kalamees (2006) [17]
	2003-2005	32	4,9	0,7	14	Kalamees (2006) [17]
	2005-2007	21	3,2	0,7	8,1	Kalamees (2006) [17]
	2005-2007	16	2,8	0,4	5,5	Kalamees (2006) [17]
España	2013	-	2,6	-	-	Meiss (2013) [18]
	2013	13	4,8	2,3	9,1	Sordo (2013) [19]
	2013	120	3,4	1,9	5,8	Tiberio (2013) [20]
	2019	98	6,96	3,23	14,14	Fdez.-Agüera (2019) [15]
	2019	53	7,51	3,88	13,39	Fdez.-Agüera (2019) [15]
Finlandia	1981-1998	171	5,9	1,6	18	Kalamees (2006) [17]
	2002-2004	100	3,9	0,5	8,9	Kalamees (2006) [17]
	2012	128	2,54	0,3	16,2	Papaglastra (2008) [16]
Francia	2012	644	3,38	0,04	60,96	Papaglastra (2008) [16]
Grecia	2005	40	6,7	1,87	13,1	Sfakianaki (2008) [21]
Holanda	2012	218	1,48	0,06	6,2	Papaglastra (2008) [16]
Irlanda	2011	28	9,6	5,4	14,9	Dyer (2011)
Italia	2011	20	7,3	3,2	23,3	d'Ambrosio (2011) [22]
Noruega	1980	61	4,7	2	8	Kalamees (2006) [17]
	1984	10	4	3,3	5,4	Kalamees (2006) [17]
	2012	17	1,09	0,17	2,79	Papaglastra (2008) [16]
Portugal		24	6,75	2,4	12,3	Ramos (2015) [23]
Reino Unido	2012	471	13,1	2	30	Kalamees (2006) [17]
Suecia	1978	205	3,7	-	-	Kalamees (2006) [17]
	2012	44	1,02	-	-	Kalamees (2006) [17]

Ventilación mediante apertura de ventanas

La ventilación mediante apertura de ventanas, que habitualmente actúa como complemento de las infiltraciones incontroladas por la envolvente, depende principalmente de dos factores físicos de naturaleza dinámica (figura 8.2) [24]:

- Diferencia de temperatura del aire entre el interior y el exterior (ΔT_a). A mayor diferencia entre estas, mayor será el flujo de salida de aire caliente por estratificación (diferencia de densidad) y, por tanto, mayor la entrada de aire frío en el caso del invierno, siendo prácticamente nulo su efecto en periodo cálido –para viviendas convencionales y alturas reducidas de sus techos–.
- Dirección y presión del viento. Ya sea positiva o negativa, esta variable depende, a su vez, de múltiples factores, como la ubicación y el entorno, la estación del año, los vientos predominantes y su velocidad efectiva, la forma del edificio, la altura del recinto, etc.

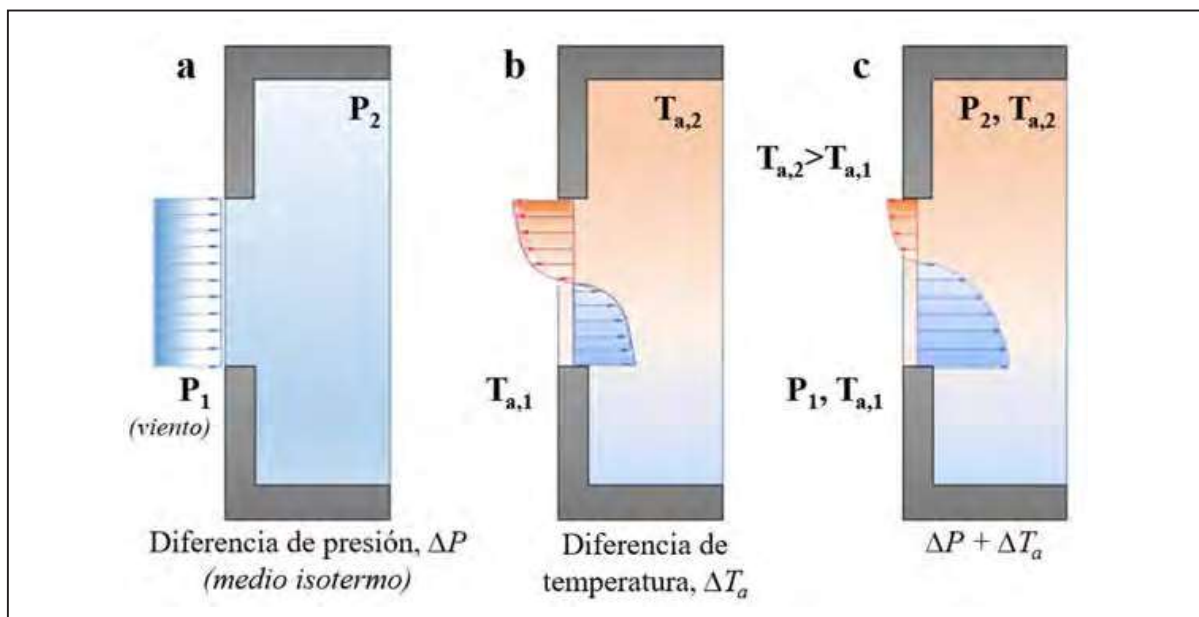


Figura 8.2. Fenómenos físicos por los que se produce la ventilación natural a través de huecos: a) diferencial de presión (viento); b) diferencial de temperatura entre interior y exterior; c) combinación de diferencial de temperatura interior-exterior y diferencial de presión [2].

Así, el caudal de ventilación será mayor en días de invierno con viento, mientras que se reducirá notablemente en días de entretiempo/verano sin viento, llegando incluso a presentar valores marginales durante los periodos de estancamiento térmico y, por tanto, no produciendo ventilación apreciable¹.

1. La renovación de aire en estos casos es prácticamente despreciable, incluso con las ventanas completamente abiertas, debido al equilibrio energético entre el interior y el exterior.

Por otra parte, la eficacia de la ventilación de un recinto a la hora de barrer toda su superficie depende de la disposición de los huecos en su envolvente [2]:

- Ventilación unilateral. Se considera que una vivienda tiene ventilación unilateral si sus huecos están en la misma fachada o en fachadas adyacentes del recinto. Su capacidad de penetración es limitada, al no inducirse el movimiento del aire por no estar estos huecos sometidos a diferente presión; por eso pueden generarse «fondos de saco» en los recintos o viviendas con este tipo de ventilación, donde la renovación del aire es notablemente menor (figura 8.3a).
- Ventilación cruzada. Si la vivienda dispone de huecos en fachadas opuestas, de forma que tengan diferentes condiciones de presión de viento, entonces se considera que tiene una ventilación cruzada. Además, si dichas fachadas opuestas son transversales a la dirección dominante del viento, aumentará la eficacia de esta ventilación (figura 8.3b). Esto puede combinarse con disponer los huecos a alturas diferentes (con el más bajo enfrentado a la dirección dominante del viento) para potenciar el efecto de tiro térmico.

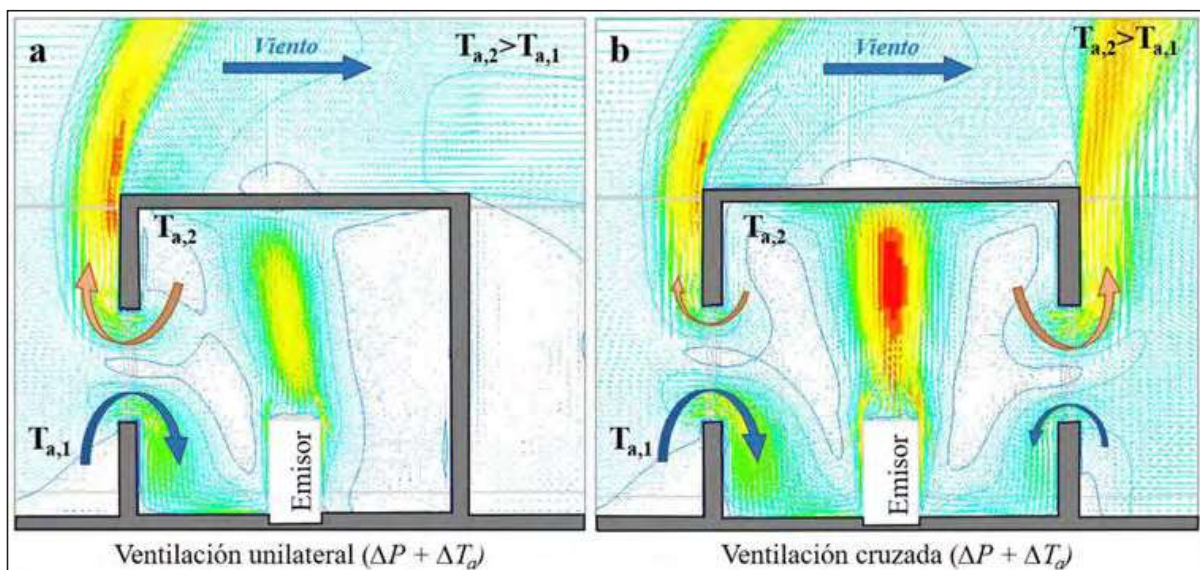


Figura 8.3. Ventilación en un recinto: a) ventilación unilateral; b) ventilación cruzada [2].

Un factor muy importante que influye en la ventilación en nuestra región climática es el comportamiento de los usuarios con respecto a la apertura no controlada de ventanas a lo largo del día. Esta depende de muchos factores, como pueden ser los siguientes [9, 25]:

- Densidad de ocupación. Normalmente la apertura de las ventanas se incrementa cuando el número de ocupantes es mayor.

- Temperatura exterior del aire. A igualdad de otras condiciones, la apertura de las ventanas decrece a medida que la temperatura exterior es más fría.
- Orientación solar. La apertura de las ventanas es mayor en las orientaciones que tienen incidencia solar significativa.
- Hora del día. Cuando las viviendas están desocupadas las ventanas suelen estar cerradas.
- Velocidad del viento. La apertura de las ventanas decrece cuando aumenta la velocidad del viento –presencia de corrientes de aire–.
- Días de la semana. Las ventanas están abiertas más frecuentemente los fines de semana que los días laborables debido al aumento de permanencia en la vivienda de los ocupantes.
- Fumadores. Las ventanas de los edificios cuyos ocupantes son fumadores se abren el doble de veces que las de usuarios que no lo son.

Ventilación por tiro inducido (efecto chimenea)

La ventilación por tiro forzado se basa en el empleo de un conducto vertical en el que, por efecto del diferencial térmico y de la altura de columna (tiro térmico), se potencia la evacuación del aire por estratificación en los recintos a los que esta se conecta (habitualmente, baños y cocina). Ello genera una depresión en dichos recintos, por lo que se produce una entrada de aire exterior, ya sea por infiltraciones a través de cerramientos y carpinterías o por ventanas abiertas (figura 8.4a), tal como se recogía en las ya derogadas normas tecnológicas de la de edificación (NTE). De esta forma, el aire que entra por los recintos en contacto con el exterior se utiliza para ventilar los locales húmedos (ventilación por barrido).

Por otra parte, la presión de viento también puede fomentar la renovación de aire exterior de este sistema de ventilación, ya sea por su acción sobre las fachadas (ventilación transversal) como por las bocas de expulsión de los conductos verticales de tiro forzado (efecto Venturi). Sin embargo, a pesar de que este sistema es capaz de potenciar el flujo de entrada de aire de renovación exterior, proveniente tanto de infiltraciones incontroladas como de la apertura de ventanas, sigue siendo dependiente de las condiciones climáticas externas (viento y salto de temperatura entre interior y exterior), con lo que no garantiza una adecuada renovación del aire interior.

8.2.2. Ventilación mecánica controlada

En la ventilación mecánica controlada (VMC), la renovación del aire se produce por la actuación de equipos mecánicos dispuestos al efecto (habitualmente, ventiladores). Por ello, si está correctamente diseñada y dimensionada, es el único método de ventilación capaz de garantizar la correcta y continua renovación de aire en todos los espacios de la vivienda, para así obtener

un ambiente saludable. Esto es especialmente relevante en el caso de viviendas, ya que, con el objeto de evitar acumulación de contaminantes, esta ventilación debe funcionar las 24 horas del día y los 365 días del año.

Esta ventilación mecánica controlada puede realizarse mediante flujo simple (extracción o admisión mecánica) o por doble flujo (combinación de extracción y admisión mecánicas). Esta última permite la incorporación de técnicas adicionales de control como el filtrado de la corriente de aporte o la recuperación de calor del flujo de extracción.

Extracción mecánica por núcleos húmedos (flujo simple)

Los sistemas de flujo simple por extracción mecánica fuerzan la salida del aire en los locales húmedos (cocina, baños y aseos) mediante la acción de un ventilador (trabajando por depresión). Con ello provoca una entrada de aire exterior a través de la envolvente de los locales secos (dormitorios y salón) para compensar la reducción de la presión de aire creada en los locales húmedos (figura 8.4b).

Dado que este sistema se suele emplear en edificios de nueva construcción, la permeabilidad al aire de la envolvente y carpinterías es reducida [26], con lo que la entrada de aire exterior por depresión en los locales secos se ha de realizar habitualmente mediante aberturas de admisión fijas en las fachadas o carpinterías exteriores, denominadas «aireadores», que se ubican a un mínimo de 1,80 m del suelo (a fin de evitar corrientes de aire molestas para los ocupantes). Además, para facilitar el paso del flujo de aire entre recintos, las particiones o puertas entre estancias con admisión y aquellas con extracción han de disponer de aberturas de paso (figura 8.4b).

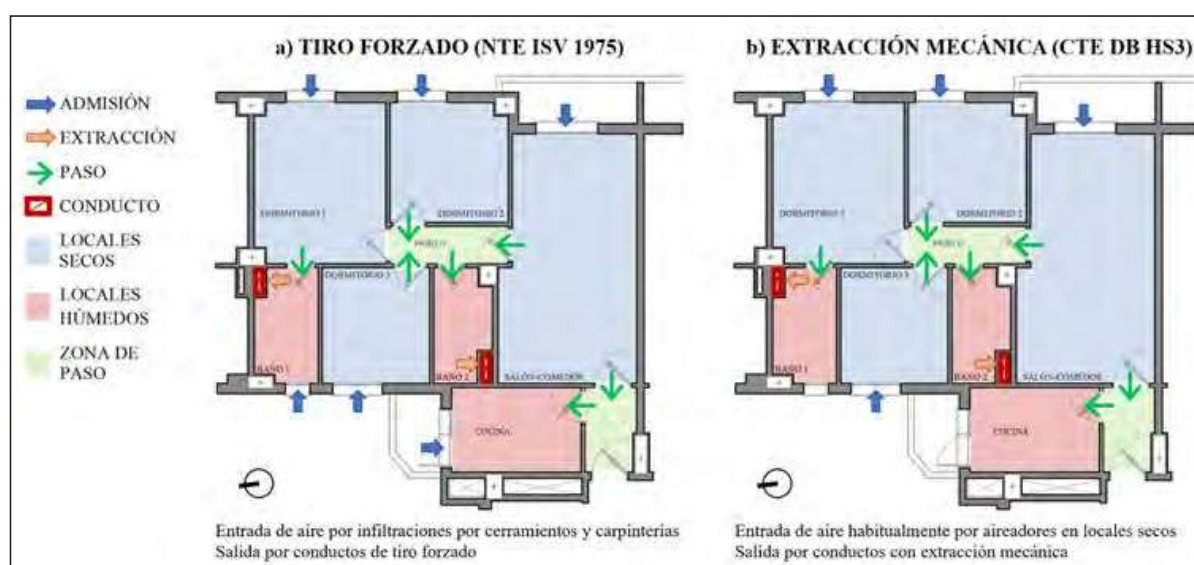


Figura 8.4. Comparativa entre ventilación natural por tiro forzado (a) y extracción mecánica (b).

La admisión de aire a través de infiltraciones o apertura de ventanas sigue siendo según temperatura del exterior, lo que puede provocar un desequilibrio en las condiciones térmicas y de confort de la vivienda, así como un incremento del consumo energético.

Admisión y extracción mecánica (doble flujo)

En vivienda, la instalación de un sistema de doble flujo, dotado de dos ventiladores para extracción e impulsión de aire exterior –que reproducen el esquema de tránsito del aire desde los locales secos a los húmedos que generan los sistemas de un solo flujo por extracción mecánica–, suele ir vinculado al uso de un recuperador de calor, aunque pueden existir sistemas simples. Su empleo permite tomar la energía del aire que se va a expulsar y, sin mezclarse, cedérsela al aire de renovación exterior que se va a introducir en la vivienda (figura 8.5).

Asimismo, el aire exterior entra atemperado en el recinto/equipo de tratamiento térmico por acción del recuperador. Su uso permite tanto mejorar las condiciones de confort térmico y bienestar de los ocupantes (corrientes de aire, caudal de ventilación mínimo garantizado), como reducir en gran medida el consumo energético debido a la ventilación.

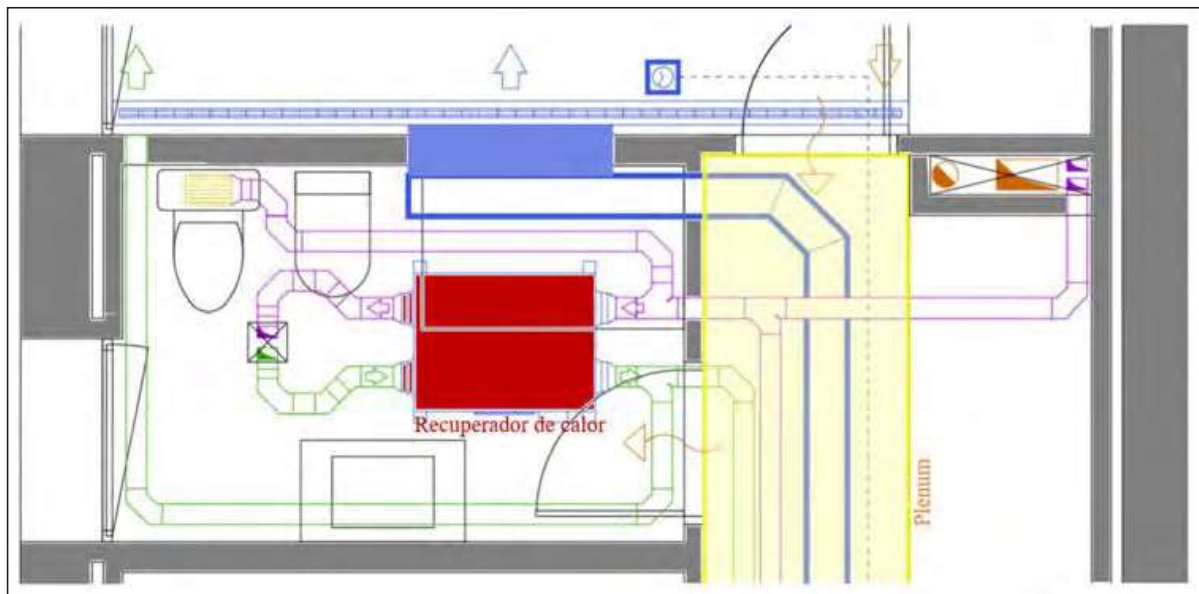


Figura 8.5. Ventilación mecánica en viviendas mediante sistema con recuperación de calor.

Estos equipos pueden dotarse de filtros (para reducir la entrada de partículas exteriores contaminantes) y de sensores de CO₂ (para la regulación del caudal de aire exterior según las necesidades del recinto, pudiendo disminuir aún más el consumo energético).

8.4. Normas y guías de aplicación

El empleo de los métodos de ventilación en viviendas aparece recogido y tabulado en las diversas normativas y directrices existentes, tanto actuando por separado como siendo utilizadas de forma combinada. Estas normas y modelos de ventilación existentes en el entorno europeo tradicionalmente han partido del supuesto de que los ocupantes de un espacio cerrado son los contaminadores principales/ exclusivos. Sin embargo, a partir de las normas elaboradas en 2007 (EN 15251:2007 [27] –derogada por la EN 16798-1:2019 [28], así como la UNE 171330-1:2008 [29]) –, se incluyen los contaminantes de fuente interior (materiales y mobiliario en su mayoría) como causantes principales de la contaminación del aire interior, cuyos componentes químicos hay que diluir de igual manera que los producidos por los ocupantes.

Así, para hacer una estimación de los requisitos de ventilación de los edificios, entre los que se encuentran los residenciales, es necesario considerar la carga total de contaminantes, incluyendo la causada por los propios materiales constructivos, los ocupantes y sus actividades.

8.4.1. Norma española

Tradicionalmente, la ventilación se basaba, sobre todo, en el flujo de aire a través de los huecos de la envolvente. Este flujo estaba condicionado por el gradiente térmico interior-externo, la diferencia de presión por altura debido a la estratificación del aire (nivel de presión neutral) y la diferencia de presiones de viento incidente y de presión-succión en las fachadas.

La primera norma al respecto, aunque sin carácter de obligado cumplimiento, formaba parte de las normas tecnológicas de la edificación (NTE), concretamente la NTE ISV 1975 [30]. Este conjunto de normas fue de aplicación voluntaria, al poderse adoptar otros estándares y condiciones equivalentes que cumplieren igualmente las disposiciones básicas. En esta norma se planteaba el uso de conductos de tiro forzado por efecto chimenea, que podía ser común al conjunto vertical de viviendas plurifamiliares, siempre que la conexión a este se realizara mediante un conducto individual de al menos dos metros desde la toma hasta la desembocadura en el colector.

La posterior norma básica de edificación (NBE) CT 1979 [31], también de ámbito nacional, no mencionaba condiciones exigibles como tal en cuanto a caudales de ventilación o para garantizar la salubridad de los edificios. Así, la citada NTE ISV 75 fue la única referencia española para la edificación residencial que dictó las condiciones para una adecuada ventilación, dentro de este tipo de edificación.

La VMC no había sido exigida a nivel normativo en España hasta la entrada en vigor en 2006 del *Código técnico de la edificación* (CTE) [32]. En el artícu-

lo 13 de la parte 1, se hace referencia a las exigencias básicas de salubridad (HS), entre las que se destaca la «exigencia básica HS 3: calidad del aire interior». En este documento básico (DB) HS3 se dispone que, en los edificios de viviendas, trasteros y garajes, se debe poder ventilar adecuadamente eliminando los contaminantes con el objetivo de aportar la renovación de aire suficiente para garantizar la salubridad de este tipo de espacios. Asimismo, se cuantificaban los caudales mínimos de ventilación de cada espacio –el diseño del sistema de ventilación– y se establecían criterios de diseño, de dimensionado, construcción y mantenimiento, pero no se plantean niveles interiores máximos de contaminantes. Estos caudales mínimos de ventilación de cada espacio de la unidad de vivienda se han reajustado en la modificación del CTE de 2017 y mantenido en la de 2022 [26] en función del número de dormitorios y comedores/salas de estar (locales secos) de la vivienda (tabla 8.2).

Tabla 8.2. Caudales mínimos para ventilación de caudal constante en locales habitables [26]

N.º de dormitorios en la vivienda	Locales secos ^{1,2}			Locales húmedos ²	
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ³	Mínimo en total	Mínimo por local
0 o 1	8	-	6	12	6
2	8	4	8	24	7
3 o más	8	4	10	33	8

1. En los locales secos de las viviendas destinados a varios usos se considera el caudal correspondiente al uso para el que resulte un caudal mayor.

2. Cuando en un mismo local se den usos de local seco y húmedo, cada zona debe dotarse de su caudal correspondiente.

3. Otros locales pertenecientes a la vivienda con usos similares (salas de juego, despachos, etc.).

Esta norma tiene como objetivo final –planteado en el capítulo 1– que en los locales habitables de las viviendas se aporte un caudal de aire exterior suficiente para conseguir que, en estos, la concentración anual de CO₂ sea inferior a 900 ppm, logrando, asimismo, que el acumulado anual de CO₂ que exceda el valor de 1,600 ppm sea menor que 500.000 ppm · h.

Este sistema de ventilación mecánica controlada puede ser:

- De caudal constante, con un caudal mínimo según la tabla 8.2.
- De caudal variable controlado, en el que se debe utilizar algún sistema que permita modular el caudal según la necesidad, como detectores de presencia, detectores de contaminantes, medición de CO₂ o programación temporal.

Asimismo, cabe destacar que las directrices de ventilación del documento CTE DB HS3 responden a unos mínimos prestacionales. De esta forma, el

empleo de un sistema de ventilación mecánica controlada de doble flujo con recuperación de calor es perfectamente aplicable en estos espacios. Así, es posible garantizar un caudal mínimo de aire de renovación exterior durante todo el día, controlando los niveles promedio límite de concentración de CO_2 , a la vez que permite aumentar las prestaciones de la vivienda por la recuperación de la energía térmica del aire expulsado.

La figura 8.6 muestra la evolución de los tres sistemas de extracción empleados en la normativa nacional, desde la NTE ISV 1975 hasta el vigente CTE DB-HS3.

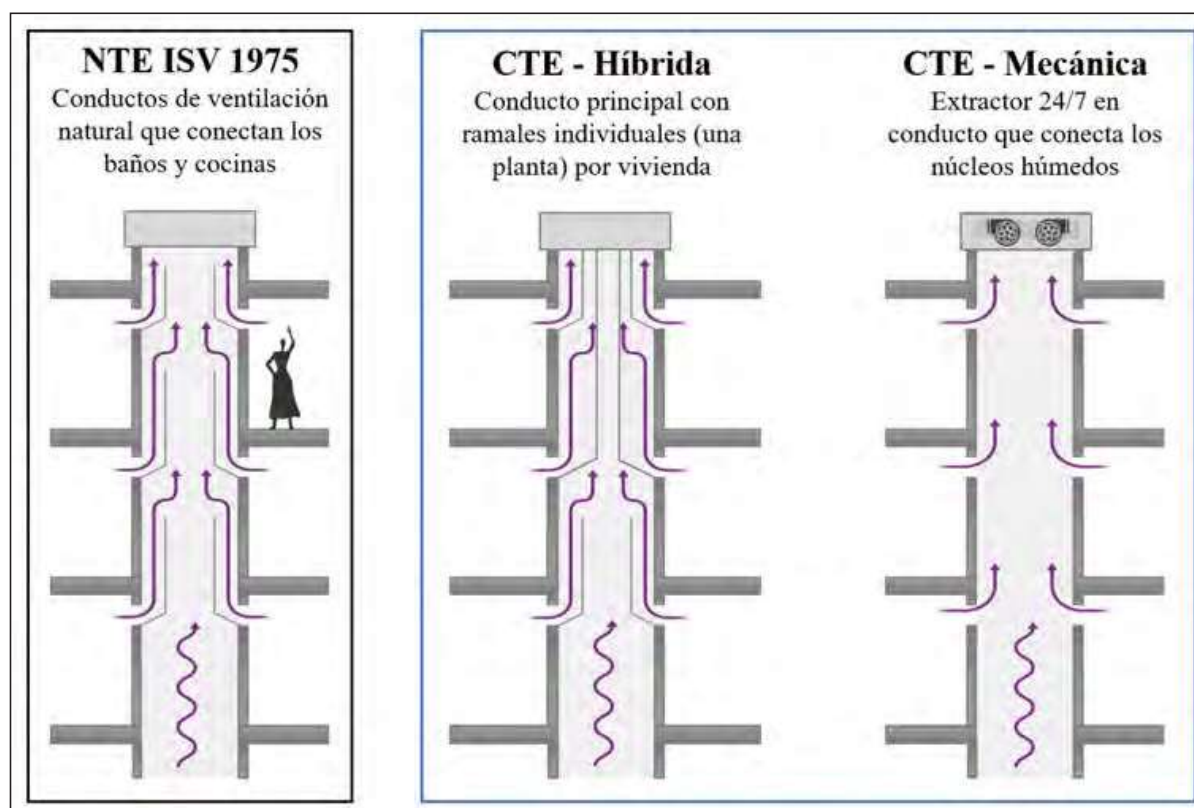


Figura 8.6. Ventilación de viviendas mediante conductos de tiro forzado en núcleos húmedos.

Por otra parte, el CTE [26] exige que se disponga de un sistema de extracción para la zona de cocción en la cocina, que ha de ser necesariamente independiente de la red de ventilación general de la vivienda, y con capacidad de extraer un mínimo de 50 l/s.

8.4.2. Regulaciones en Europa, Canadá y Estados Unidos

La tabla 8.3 resume diferentes normas y estándares relacionados con la ventilación requerida en los edificios de viviendas en Europa, Canadá y Estados Unidos [25].

Tabla 8.3. Regulaciones sobre ventilación en viviendas en otros países [25, 33], recopilada en [1]

País	Tasa de ventilación	Sala de estar	Dormitorio	Cocina	Baño	Aseo
Canadá	>0,3 h ⁻¹ , 5 l/s persona			50 l/s (inter) 30 l/s (cont)	25 l/s (inter) 15 l/s (cont)	
Nueva Zelanda	0,34 h ⁻¹			50 l/s (inter) o 12 l/s (cont) o ventanas practicables	25 l/s (inter) o 10 l/s (cont) o ventanas practicables	
EE.UU	0,05 (área) +3,5 l/s persona			50 l/s (inter) o 5 ACH (cont) o ventanas practicables	25 l/s (inter) o 10 l/s (cont) o ventanas practicables	
Alemania	<50 m ² 60 m ³ /h <80 m ² 90 m ³ /h <800 m ² 120 m ³ /h	1-1,5 h ⁻¹		40 m ³ /h	40 m ³ /h	20 m ³ /h
Bélgica		Admisión	Admisión	Extracción	Extracción	Extracción
		1 l/s/m ²	1 l/s/m ²	1 l/s/m ²	1 l/s/m ²	25 m ³ /h
		Min 75 m ³ /h	Min 25 m ³ /h	Min 50 m ³ /h	Min 50 m ³ /h	
		Máx 150 m ³ /h	Máx 36 m ³ /h	Máx 75 m ³ /h	Máx 75 m ³ /h	
Dinamarca	0,5 h ⁻¹			Extracción 20 l/s	Extracción 15 l/s	Extracción 10 l/s
Finlandia		0,5 l/s·m ²	Min 4 l/s·persona 0,7 l/s·m ²	Extracción 20 l/s	Extracción 15 l/s	
Francia				20-45 m ³ /h (cont) 75-135 m ³ /h (inter)	15-30 m ³ /h	15-30 m ³ /h
Grecia		Min 8,5 m ³ /h·persona		Min 8,5 m ³ /h·persona	Min 34 m ³ /h·persona	
Italia	0,35-0,5 h ⁻¹	40 m ³ /h·persona	40 m ³ /h·persona	Extracción 4 h ⁻¹	Extracción 4 h ⁻¹	
Noruega	>0,5 h ⁻¹					

Paises Ba- jos	0,9 dm ³ /s·m ²	0,9 dm ³ /s·m ²	21 dm ³ /s	14 dm ³ /s	7 dm ³ /s
Suecia	0,35 l/s·m ²	4 l/s·cama	Extracción		
			10 l/s		
Suiza	15 m ³ / h·persona				

8.5. Modelo predictivo para viviendas plurifamiliares en área mediterránea

En el momento actual podemos disponer de un modelo estadístico de predicción de la hermeticidad en edificios multifamiliares de la región mediterránea. Este procedimiento ha sido desarrollado por Fernández-Agüera *et al.* [15] y está igualmente disponible como herramienta de cálculo [34]. Está compuesto por dos modelos de comportamiento diseñados para estimar la hermeticidad en viviendas construidas desde 1980 hasta la fecha (modelo predictivo 1) o previas a 1979² (modelo predictivo 2). Ambos módulos están basados en un conjunto de parámetros edificatorios y de localización fácilmente accesibles, como la severidad climática, la exposición de la envolvente, la presencia de ventanas en el baño y el tipo de fachada; parámetros que quedan recogidos y descritos en la tabla 8.4.

La medición, tomada a partir de una muestra aleatoria estratificada, se realizó mediante ensayos de *blower door* estándar, siguiendo la metodología desarrollada por Fernández-Agüera *et al.* [35] y los intervalos de diferencial de presión descritos en la ISO 9972 [36].

A partir de esta muestra, se identificaron agrupaciones de viviendas muy similares entre sí, que a su vez fueran significativas y claramente diferentes del resto de viviendas de la muestra. Asimismo, se realizó un análisis de componentes principales (PCA) para establecer qué variables descriptivas eran las de mayor importancia en la morfología de la muestra. A partir de esta información, se desarrolló y validó un modelo de regresión lineal múltiple, que establece la relación entre una variable dependiente (la permeabilidad al aire) y un conjunto de variables independientes (como el año de construcción, las condiciones climáticas, la tipología, la superficie, etc.).

Adicionalmente, estos modelos fueron validados mediante comparación con los valores de permeabilidad al aire obtenidos en otras viviendas evaluadas en el proyecto INFILES [38].

2. En el año 1979 es cuando entran en vigor las primeras normas generalizadas de ahorro energético en viviendas en España (NBE CT-79).

Los dos modelos generados con esta metodología (agrupación de viviendas desde 1980 hasta la fecha y agrupación de viviendas anteriores a 1979) son de aplicación al ámbito de viviendas plurifamiliares ubicadas en zonas climáticas mediterráneas (focalizadas en el sur de España), con área útil inferior a 105 m² y una superficie de ventanas menor a 17 m², como son la gran mayoría de las viviendas colectivas del ámbito nacional, en especial aquellas con algún tipo de protección pública.

Tabla 8.4. Parámetros del modelo predictivo 1 de n_{50} [15]

Elemento	Descripción	Elemento	Descripción
E1	Edificios adosados alineados linealmente con cuatro viviendas por planta	F1	Fábrica de ladrillo de un pie o de pie y medio
E2	Edificios adosados alineados linealmente con dos viviendas por planta	F2	Hoja exterior de 1/2 pie de ladrillo (o de un pie) + cámara de aire + hoja interior de ladrillo hueco
E3	Edificios de galería abiertos	F3	Hoja exterior de 1/2 pie de ladrillo (o de un pie) + aislamiento + hoja interior de ladrillo hueco
E4	Edificios altos independientes	F4	Hoja exterior de 1/2 pie de ladrillo (o de un pie) + cámara de aire + hoja interior de cartón yeso
E5	Edificios adosados alineados linealmente con dos plantas por edificio, ubicados en la esquina del conjunto o en edificios independientes con plantas en forma de H, T o X	F5	Aplacado cerámico + cámara de aire + aislamiento + bloque de termoarcilla
WS A	Severidad de zona climática A según CTE DB HE [26] y De la Flor [37]	W1	Ventanas batientes
WS B	Severidad de zona climática B según CTE DB HE [26] y De la Flor [37]	W2	Ventanas correderas
WS C	Severidad de zona climática C según CTE DB HE [26] y De la Flor [37]	W3	Ventanas batientes y correderas

8.5.1. Modelo predictivo para viviendas plurifamiliares desde 1980 hasta el presente

El primer modelo, planteado para viviendas construidas desde 1980 hasta la fecha, se plantea mediante regresión múltiple paso a paso. Destacan en este las variables de ubicación, morfología, construcción y geometría, incluyendo en esta tanto la superficie de ventanas como el perímetro de estas, como puntos de entrada del aire exterior por infiltraciones (ecuación 1) [15, 34].

$$n_{50} = \alpha + \gamma_{AW} \cdot A_W + \gamma_{PW} \cdot P_W + \beta_K + \beta_B + \beta_{WB} + \beta_{WS} + \beta_W + \beta_E + \beta_F \quad \text{Ecuación 1}$$

donde:

n_{50} es la relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa (h^{-1}).

α es la constante de cambio de aire para viviendas plurifamiliares (h^{-1}).

γ_{AW} es el coeficiente de ponderación del área de ventanas (h^{-1}/m^2).

A_W es el área de ventana (m^2).

γ_{PW} es el coeficiente de ponderación del perímetro de ventanas (h^{-1}/m).

P_W es el perímetro de ventanas (m).

β_K es el coeficiente de ponderación de cocina separada (h^{-1}).

β_B es el coeficiente de ponderación por persianas exteriores (h^{-1}).

β_{WB} es el coeficiente de ponderación por la ventana del baño (h^{-1}).

β_{WS} es el coeficiente de ponderación según la severidad del invierno (h^{-1}).

β_B es el coeficiente de ponderación por persianas exteriores (h^{-1}).

β_E es el coeficiente de ponderación por la exposición de la envolvente (h^{-1}).

β_F es el coeficiente de ponderación según el tipo de fachada (h^{-1}).

La tabla 8.5 recoge los valores para los coeficientes del modelo predictivo 1 de n_{50} .

Tabla 8.5. Coeficientes del modelo predictivo 1 de n_{50} [15]

Coeficiente	Categoría	Valor	Desviación estándar
Constante (α)		6.613	± 1.624
Área de ventana (γ_{AW})		1.265	± 0.218
Perímetro de ventana (γ_{PW})		-0.387	± 0.070
Cocina separada (β_K)	Sí	-1.698	± 0.922
	No	0.000	± 0.000
Persianas exteriores (β_B)	Sí	1.957	± 1.051
	No	0.000	± 0.000
Ventana del baño (β_{WB})	Sí	1.498	± 0.315
	No	0.000	± 0.000
Severidad del invierno (β_{WS})	WS A	*	*
	WS B	4.143	± 0.368
	WS C	0.618	± 0.618
Tipo de ventana (β_W)	W1	-5.154	± 0.600
	W2	-2.445	± 0.493
	W3	*	*

Exposición (β_p)	E1	-0.075	± 0.473
	E2	-0.620	± 0.665
	E3	-1.558	± 0.588
	E4	-2.570	± 0.664
	E5	*	*
Tipo de fachada (β_f)	F3	1.179	± 0.619
	F4	-0.838	± 0.668
	F5	*	*

* Variable ya incluida en la constante α (pasa a tomar el valor de 1).

8.5.2. Modelo predictivo para viviendas plurifamiliares desde 1954 hasta 1979

El segundo modelo se aplica a viviendas plurifamiliares construidas entre 1954 y 1979. En él, las variables de superficie de vivienda y grado de conservación tuvieron una mayor importancia frente a otras, como tipo, superficie y perímetro de ventanas o presencia de persianas. Este modelo queda descrito mediante la ecuación 2 [15, 34].

$$n_{50} = \alpha + \gamma_A \cdot A + \beta_{WB} + \beta_M + \beta_F + \beta_E + \beta_{WS} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde:

n_{50} es la relación del cambio de aire con una presión diferencial de 50 Pa (h^{-1}).

γ_A es el coeficiente de ponderación del área de suelo (h^{-1}/m^2).

A es el área de suelo (m^2).

β_M es el coeficiente de ponderación según el estado de conservación (h^{-1}).

La tabla 8.6 recoge los valores para los coeficientes del modelo predictivo 2 de n_{50} .

Tabla 8.6. Coeficientes del modelo predictivo 2 de n_{50} [15]

Coficiente	Categoría	Valor	Desviación estándar
Constante (α)		3,607	$\pm 1,448$
Área de suelo (γ_A)		0,048	$\pm 0,021$
Ventana del baño (β_{WB})	Sí	2,220	$\pm 0,549$
	No	0.000	± 0.000

Estado de conservación (β_M)	Deficiente	5,971	$\pm 0,829$
	Buenas condiciones	*	*
	Rehabilitado energéticamente	-4,611	$\pm 1,309$
Tipo de fachada (β_F)	F1	2,711	$\pm 0,554$
	F2	*	*
Exposición (β_E)	E1	-0,399	$\pm 0,976$
	E2	-1,805	$\pm 0,711$
	E3	**	**
	E4	-0,968	$\pm 0,919$
	E5	*	*
Severidad del invierno (β_{WS})	WS A	*	*
	WS B	2,578	$\pm 0,486$
	WS C	2,699	$\pm 0,730$

* Variable ya incluida en la constante α (pasa a tomar el valor de 1).

** Tipología no contemplada en la muestra de estudio de la categoría 2.

Referencias

- [1] J. Fernández-Agüera Escudero, *Caracterización de la estanqueidad al aire de la vivienda social en Andalucía*. Sevilla, Universidad de Sevilla, 2018. <https://idus.us.es/handle/11441/77154>
- [2] M. A. Campano, *Confort térmico y eficiencia energética en espacios con alta carga interna climatizados: aplicación a espacios docentes no universitarios en Andalucía* (tesis doctoral). Sevilla, Universidad de Sevilla, 2015. <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/30632>
- [3] M. H. Sherman, «Estimation of infiltration from leakage and climate indicators», *Energy Build.*, vol. 10, n.º 1, pp. 81-86, 1987, doi: 10.1016/0378-7788(87)90008-9.
- [4] M. Sherman, «The use of blower-door data», *Indoor Air*, vol. 5, n.º 3, pp. 215-224, 1995, doi: 10.1111/j.1600-0668.1995.t01-1-00008.x.
- [5] Ashrae, «2005 ASHRAE handbook-fundamentals», *Physiology*, n.º 2002, p. 2005, 2005, doi: 10.1039/c1cs15219j.
- [6] ASHRAE, *ASHRAE handbook – fundamentals*. Atlanta, GA, 2009.
- [7] M. Liddament, «A review of European research into airtightness and air infiltration measurement techniques», *Meas. air leakage build. A symp. ASTM Comm. E-6 Perform. Build. Constr.*, n.º 904, pp. 407-415, 1986.

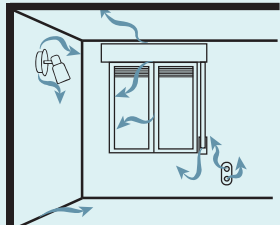
- [8] W. R. Chan, W. W. Nazaroff, P. N. Price, M. D. Sohn y A. J. Gadgil, «Analyzing a database of residential air leakage in the United States», *Atmos. Environ.*, vol. 39, n.º 19, pp. 3445-3455, 2005, doi: 10.1016/j.atmosenv.2005.01.062.
- [9] M. Sherman and J. McWilliams, «Air leakage of US Homes: model prediction», *Therm. Perform. Exter. Envel. Whole Build. X Int. Conf.*, p. 18, 2007.
- [10] H. Yoshino, «Airtightness and ventilation strategy in Japanese residences», *Energy Build.*, vol. 9, n.º 4, pp. 321-331, 1986, doi: 10.1016/0378-7788(86)90037-X.
- [11] A. Mochida, H. Yoshino, T. Takeda, T. Kakegawa y S. Miyauchi, «Methods for controlling airflow in and around a building under cross-ventilation to improve indoor thermal comfort», *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 93, n.º 6, pp. 437-449, 2005, doi: 10.1016/j.jweia.2005.02.003 ER.
- [12] M. I. Montoya, E. Pastor, F. R. Carrie, G. Guyot y E. Planas, «Air leakage in Catalan dwellings: Developing an airtightness model and leakage airflow predictions», *Build. Environ.*, vol. 45, n.º 6, pp. 1458-1469, 2010, doi: 10.1016/j.buildenv.2009.12.009 ER.
- [13] J. Fernández-Agüera, S. Domínguez-Amarillo y M. Á. Campano, «Characterising Draught in Mediterranean Multifamily Housing», *Sustainability*, vol. 11, n.º 8, p. 2433, 2019, doi: 10.3390/su11082433.
- [14] J. Fernández-Agüera, S. Domínguez-Amarillo, J. J. Sendra, R. Suárez y I. Oteiza, «Social housing airtightness in Southern Europe», *Energy Build.*, vol. 183, pp. 377-391, 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.10.041.
- [15] J. Fernández-Agüera, S. Domínguez-Amarillo, J. J. Sendra y R. Suárez, «Predictive models for airtightness in social housing in a Mediterranean region», *Sustain. Cities Soc.*, vol. 51, p. 101695, 2019, doi: 10.1016/j.scs.2019.101695.
- [16] M. Papaglastra, I. Leivada, K. Sfakianaki, F. R. Carrie y M. Santamouris, «International Comparison of Envelope Airtightness», *Euroaisches Blower Door Symp.*, n.º 1, pp. 3-11, 2008.
- [17] T. Kalamees, «Air tightness and air leakages of new lightweight single-family detached houses in Estonia», *Build. Environ.*, vol. 42, n.º 6, pp. 2369-2377, Jun. 2007, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2006.06.001.
- [18] A. Meiss, J. Feijó-Muñoz y M. A. García-Fuentes, «Age-of-the-air in rooms according to the environmental condition of temperature: a case study», *Energy Build.*, vol. 67, pp. 88-96, 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.08.016.
- [19] A. Sordo, *Estudio de infiltraciones en edificios residenciales de Castilla y León* (trabajo fin de máster). Valladolid, Universidad de Valladolid, 2013.
- [20] A. J. Tiberio y P. Branchi, «A study of air leakage in residential buildings», *2013 International Conference on New Concepts in smart cities: fos-*

- tering public and private alliances (SmartMILE)*, 2013, pp. 1-4. doi: 10.1109/SmartMILE.2013.6708180.
- [21] A. Sfakianaki, K. Pavlou, M. Santamouris, I. Livada, M.-N. Assimakopoulos, P. Mantas y A. Christakopoulos, «Air tightness measurements of residential houses in Athens, Greece», *Build. Environ.*, vol. 43, n.º 4, pp. 398-405, 2008, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2007.01.006.
- [22] D. F. R. Alfano, M. Dell'Isola, G. Ficco y F. Tassini, «Experimental analysis of air tightness in Mediterranean buildings using the fan pressurization method», *Build. Environ.*, vol. 53, pp. 16-25, 2012, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2011.12.017.
- [23] N. Ramos, R. Almeida, A. Curado, P. Pereira, S. Manuel y J. Maia, «Air-tightness and ventilation in a mild climate country rehabilitated social housing buildings. What users want and what they get», *Build. Environ.*, vol. 92, pp. 97-110, 2015, doi: 10.1016/j.buildenv.2015.04.016.
- [24] American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, *ASHRAE handbook-fundamentals*. Atlanta, GA (EE.UU), ASHRAE Handbook Committee, 2017.
- [25] J. McWilliams y M. H. Sherman, *Review of literature related to residential ventilation requirements*, 2007.
- [26] Ministerio de la Presidencia Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática del Gobierno de España, «Real Decreto 450/2022, de 14 de junio, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.», BOE-A-2022-9848, Ministerio de la Presidencia Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática del Gobierno de España, 2022, p. 17.
- [27] AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación, *UNE-EN 15251:2008. Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. Madrid, AENOR, 2008.
- [28] AENOR, *UNE-EN 16798-1:2020. Eficiencia energética de los edificios. Ventilación de los edificios. Parte 1: parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior*. Madrid, AENOR, 2020. [<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?c=norma-une-en-16798-1-2020-n0063261>]
- [29] AENOR, *UNE 171330-1:2008. Calidad ambiental en interiores. Parte 1: diagnóstico de calidad ambiental interior*. Madrid, AENOR, 2008. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma/?Tipo=N&c=N0063134>
- [30] Ministerio de la Vivienda del Gobierno de España, «Orden de 2 de julio de 1975 por la que se aprueba la Norma Tecnológica de la Edificación NTE-ISV/1975, 'Instalaciones de salubridad: Ventilación'», BOE-A-1975-14350,

- Madrid, Ministerio de la Vivienda del Gobierno de España, 1975, p. 11. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1975-14350>
- [31] España. Presidencia del Gobierno, «Real Decreto 2429/1979, de 8 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación, NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios», BOE n.º 253, pp. 24524-24550, 1979. <https://boe.es/boe/dias/1979/10/22/pdfs/A24524-24550.pdf>
- [32] Ministerio de Fomento del Gobierno de España, «Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación», BOE-A-2006-5515, Ministerio de Fomento del Gobierno de España, 2006.
- [33] I. A. Sakellaris, D. E. Saraga, C. Mandin, C. Roda, S. Fossati, Y. de Kluizenaar, P. Carrer, S. Dimitroulopoulou, V. G. Mihucz, T. Szigeti, O. Hänninen, E. De Oliveira Fernandes, J. G. Bartzis y P. M. Bluysen, «Perceived indoor environment and occupants' comfort in European 'Modern' office buildings: the OFFICAIR Study», *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 13, n.º 5, 2016, doi: 10.3390/ijerph13050444.
- [34] J. Fernández-Agüera, M. Á. Campano Laborda, S. Domínguez-Amarillo, I. Acosta García, P. Bustamante Rojas y J. J. Sendra Salas, *Herramienta de predicción de la estanqueidad al aire de viviendas*. Sevilla, Universidad de Sevilla, 2022. <https://hdvirtual.us.es/discovirt/index.php/s/YjZyzZQ797Lxa7m>
- [35] J. Fernández-Agüera, J. J. Sendra y S. Domínguez-Amarillo, «Protocols for measuring the airtightness of multi-dwelling units in Southern Europe», *Procedia Engineering*, 2011, vol. 21. doi: 10.1016/j.proeng.2011.11.1992.
- [36] ISO, *ISO 9972:2015 – Thermal performance of buildings. Determination of air permeability of buildings. Fan pressurization method*. International Standardisation Office, 2015.
- [37] F. J. S. de la Flor, S. Á. Domínguez, J. L. M. Félix y R. G. Falcón, «Climatic zoning and its application to Spanish building energy performance regulations», *Energy Build.*, vol. 40, n.º 10, pp. 1984-1990, 2008, doi: 10.1016/j.enbuild.2008.05.006.
- [38] J. Feijó-Muñoz, A. Meiss, I. Poza-Casado, M. Á. Padilla-Marcos, M. Rabanillo-Herrero, A. Royuela del Val, R. González-Lezcano, C. Pardal, V. Echarri Iribarren, R. Assiego de Larriva, J. Fernández-Agüera, V. J. del Campo Díaz, M. J. Dios-Viéitez y M. Montesdeoca Calderín, *Permeabilidad al aire de los edificios residenciales en España. Estudio y caracterización de sus infiltraciones*. Valladolid, Asimétricas, 2018. <http://hdl.handle.net/10553/55564>

CAPÍTULO 8

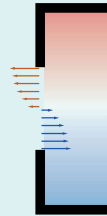
TIPOS DE VENTILACIÓN NATURAL



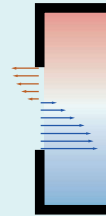
VENTILACIÓN POR INFILTRACIONES



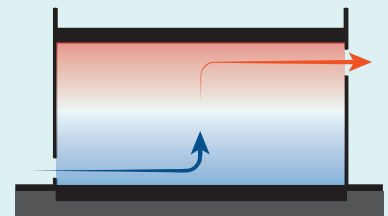
DIFERENCIA DE PRESIÓN, ΔP



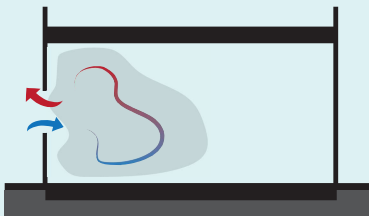
DIFERENCIA DE TEMPERATURA, $\Delta T\alpha$



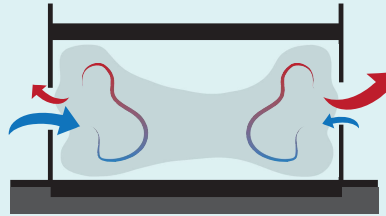
$\Delta P + \Delta T\alpha$



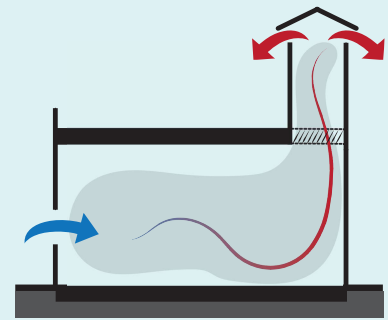
VENTILACIÓN CRUZADA EFECTO CHIMENEA



VENTILACIÓN UNILATERAL



VENTILACIÓN CRUZADA

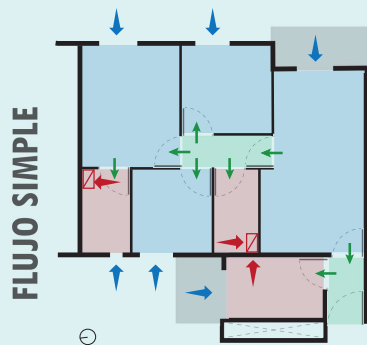


VENTILACIÓN POR TIRO INDUCIDO

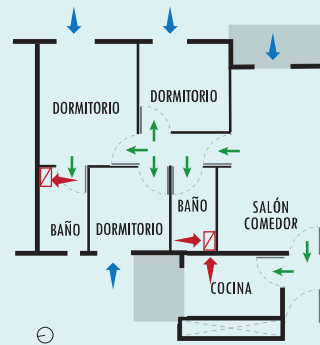
TIPOS DE VENTILACIÓN MECÁNICA CONTROLADA

LEYENDA

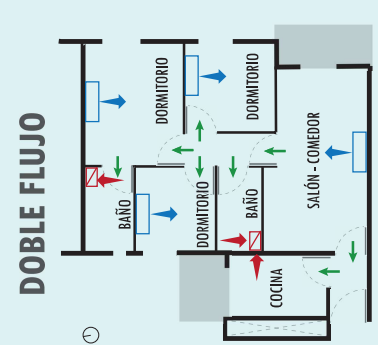
- ADMISIÓN / IMPULSIÓN
- EXTRACCIÓN
- PASO
- ELEMENTO IMPULSIÓN
- ELEMENTO EXTRACCIÓN
- LOCAL SECO
- LOCAL HÚMEDO
- ZONA DE PASO



EXTRACCIÓN POR TIRO FORZADO

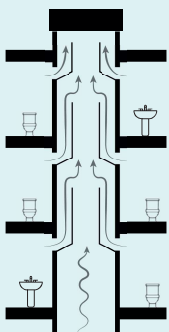


EXTRACCIÓN MECÁNICA

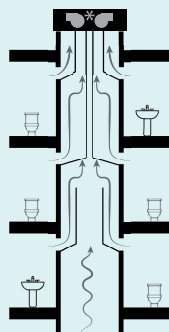


ADMISIÓN Y EXTRACCIÓN MECÁNICA

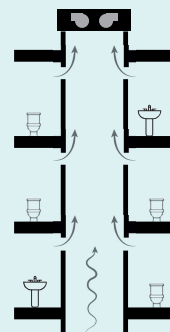
SISTEMAS DE EXTRACCIÓN SEGÚN NORMATIVA ESPAÑOLA



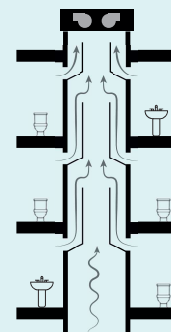
NTE-ISV 1975 (DEROGADA)



CTE DB-HS3 (HÍBRIDA)
* CON DETECCIÓN DE CAUDAL



CTE DB-HS3 (MECÁNICA)



CTE DB-HS3 (PROPUESTA DE MEJORA)