



MANUAL DE USUARIO:

3.2 PROGRAMA DE VENTILACIÓN MULTIZONA EN CAUDALES- MULTIZONA EN PRESIONES



Tabla de contenido

1. Objetivo	2
2. Alcance	2
3. Metodología	2
4. Términos y definiciones	3
5. Requerimientos del sistema e instalación del programa	4
6. Estructura visual de la aplicación	5
6.1 Definición de espacios.....	5
6.2 Conectividades entre espacios.....	11
6.3 Datos relativos al aire, características de la envolvente y elementos de paso entre espacios.....	13
6.4 Resultados	14
7. Ejemplo de cálculo	18
7.1 Definición geométrica del edificio ejemplo	18
7.2 Definición de los espacios del edificio ejemplo	20
7.3 Resultados del edificio ejemplo	23
7.3.3 Velocidad del viento nula	24
7.3.4 Velocidad del viento 4 m/s.....	25
7.3.4 Velocidad del viento 16 m/s.....	26
7.3.4 Medida de mejora	26
ANEXOS	28
ANEXO 1: Fundamentos físicos del movimiento de aire.....	28
1. Coeficiente de presión	28
2. Flujos de aire a través de aberturas	29

1. Objetivo

Este manual pretende ofrecer al usuario del programa de ventilación multizona-multizona una guía rápida y precisa de uso de dicha herramienta.

Este manual no explica acerca de los métodos numéricos usados para la resolución de las ecuaciones, ni profundiza en las ecuaciones que modelan los diferentes tipos de elementos.

2. Alcance

El Software es aplicable a cualquier edificio de viviendas situado en cualquier zona climática de la geografía nacional.

3. Metodología

El programa permite conocer los flujos de aire provenientes del exterior y entre espacios en una vivienda conocida las características constructivas de esta y las conectividades que existen entre los espacios. El siguiente esquema muestra la metodología de cálculo llevada a cabo por el programa:

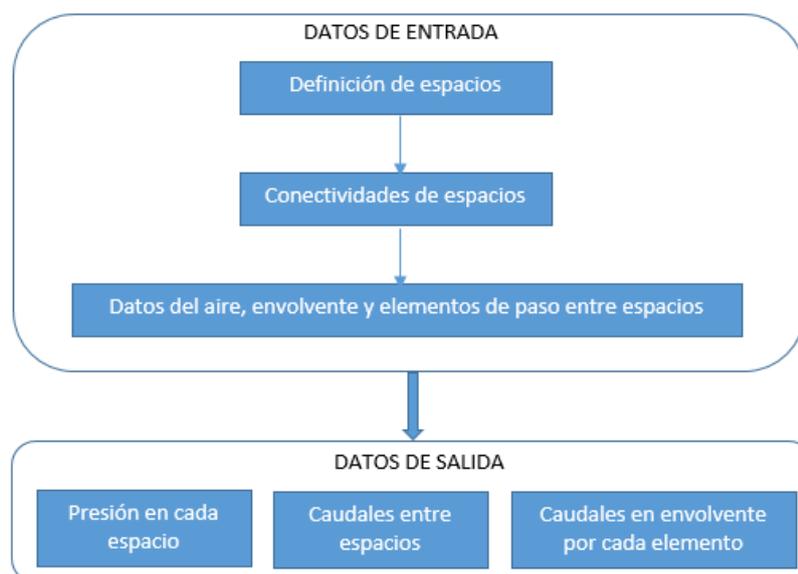


Ilustración 1: Esquema de metodología de cálculo



4. Términos y definiciones

4.1 Espacio:

Se refiere a cada una de las habitaciones que componen una vivienda.

4.2 Caudal de extracción

Caudal de aire que se extrae de un espacio hacia el exterior, expresado en m^3/h .

4.3 Fachada

Parte exterior del edificio. Contiene los muros, ventanas y aireadores.

4.4 Coeficiente de presión

Factor que modifica la presión de cálculo del viento, y refleja el modo en como la geometría y la orientación de las diversas partes de un edificio influyen en el cambio de los efectos de la corriente del aire.

4.5 Permeabilidad

Caudal de aire por unidad de superficie, expresado en $m^3/h \cdot m^2$, que atraviesa un determinado elemento para una diferencia de presión entre caras del elemento determinada.

4.6 Elementos opacos

Se refiere a los cerramientos opacos que componen la fachada de una vivienda.

4.7 Elementos huecos

Se refiere a cada una de las ventanas que componen la fachada de una vivienda.

4.8 Aireador exterior

Elementos de paso de aire colocados en la fachada del edificio para facilitar la ventilación.

4.9 Coeficiente n

Coeficiente adimensional usado como exponente de la diferencia de presiones entre caras un determinado elemento y que permite calcular los caudales de aire que circulan por dicho elemento.

5. Requerimientos del sistema e instalación del programa

Para arrancar por primera vez el programa, no es necesario realizar ninguna instalación. El icono del programa es el de una hoja Excel, y al hacer doble click sobre este se ejecuta el programa.

Para poder abrir el programa y que este funcione correctamente son necesarios los siguientes requerimientos:

- Tener instalado la versión de Microsoft Excel 2003 o superior.
- Poner el punto como separación decimal en la configuración regional e idioma del sistema tal y como se indica a continuación:

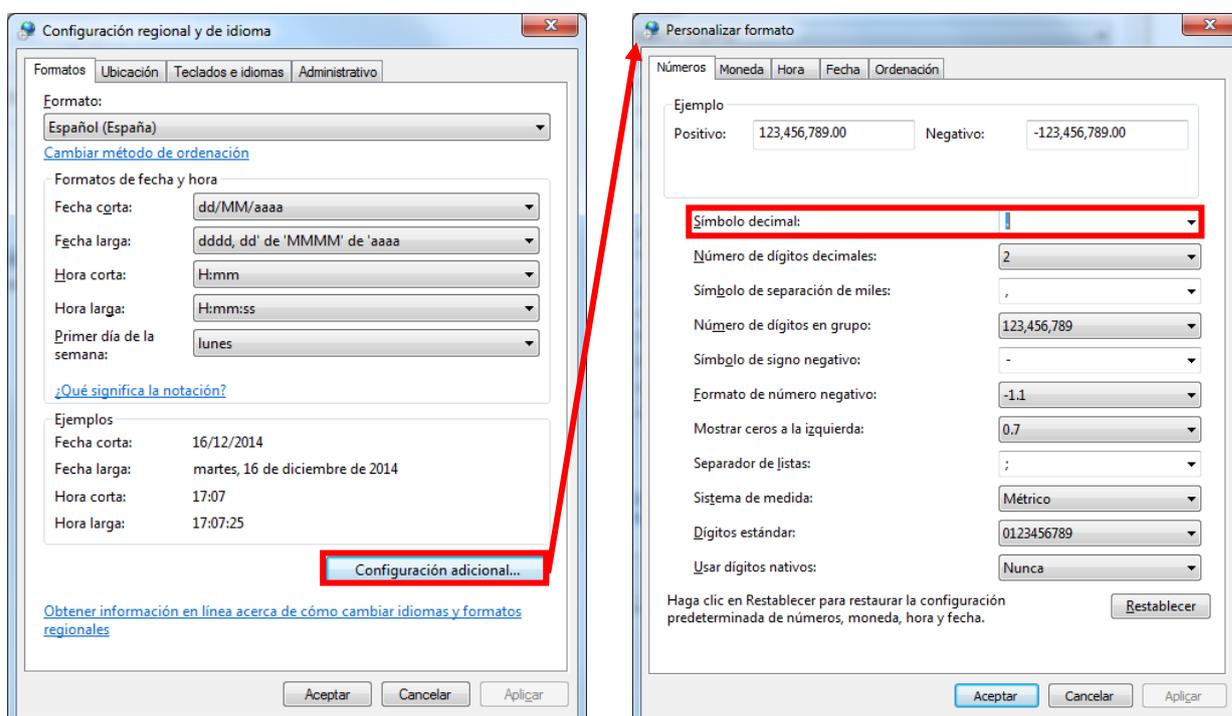


Ilustración 2: Configuración regional y de idioma

6. Estructura visual de la aplicación

Una vez abierto el programa, el usuario verá la pantalla que se muestra en la siguiente figura:

Ilustración 3: Pantalla principal del programa de ventilación

Para que el programa funcione correctamente, el usuario debe seguir los pasos indicados en la figura 1, en datos de entrada:

6.1 Definición de espacios

Haciendo click sobre **1. DEFINICIÓN DE ESPACIOS**, se mostrará la siguiente pantalla:

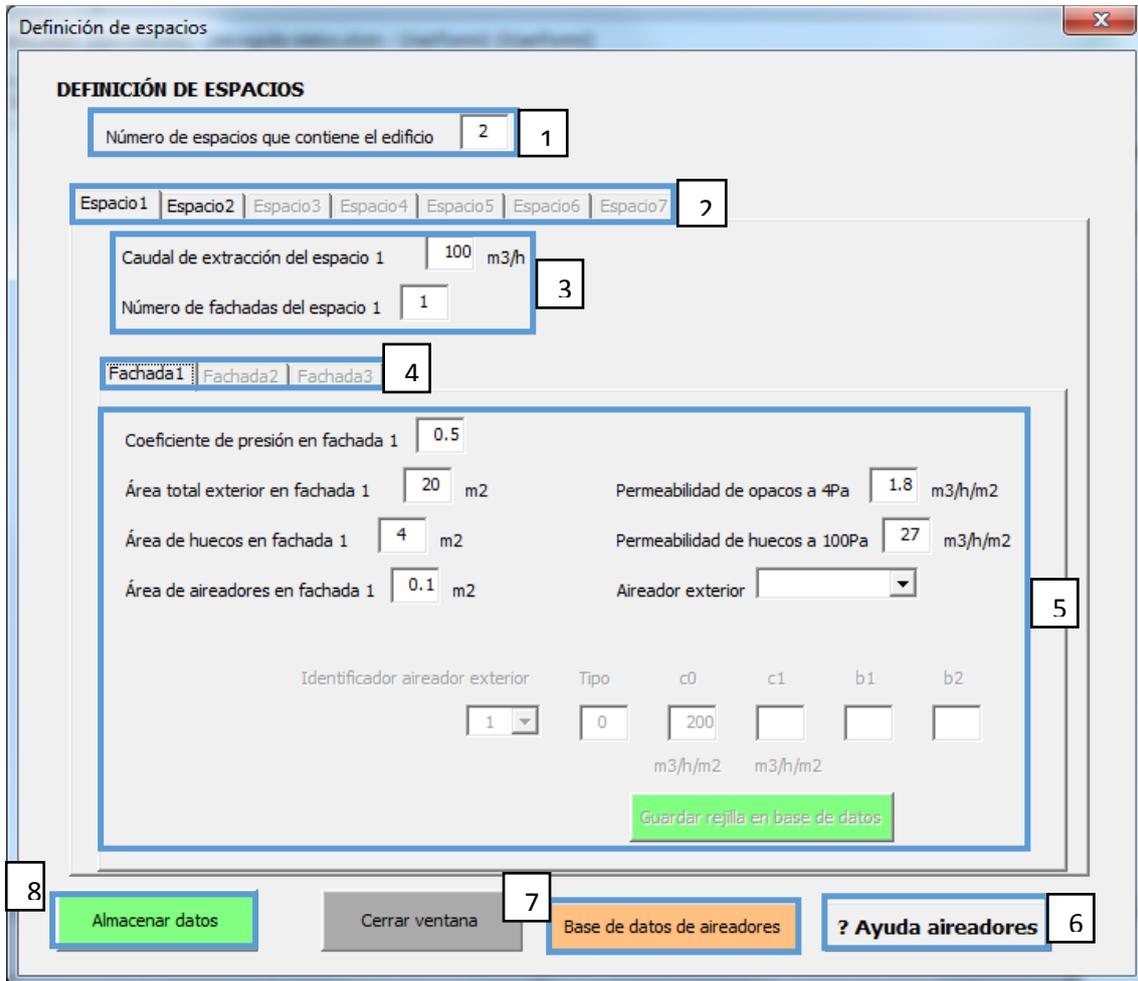


Ilustración 4: Definición de espacios

Lo primero que hay que indicar es el número de espacios que contienen el edificio (recuadro 1). Tras poner este valor, se harán visibles tantos espacios como se hayan indicado (recuadro 2). Para cada uno de los espacios habilitados en el recuadro 2 habrá que definir:

1. **Caudal de extracción del espacio i:** Caudal de aire en m^3/h que se extrae mecánicamente. En caso de ser un caudal de aire introducido, deberá indicarse con signo negativo.
2. **Número de fachadas del espacio i:** Número de elementos opacos con diferente orientación en el espacio i. Tras colocar el número de fachadas, se harán visibles tantas fachadas como se hayan indicado (recuadro 4). Para cada una de las fachadas:
 - 2.1. **Coeficiente de presión en fachada i:** Refleja el modo en como la geometría y la orientación de las diversas partes de un edificio influyen en el cambio de los efectos de la corriente del aire que circula por la fachada i. Valores típicos se presentan a continuación:

Orientación Fachada	Coefficiente de presión típico
Barlovento	0.5
Sotavento	-0.7
Tangente	-0.9

- 2.2. Área total exterior en fachada i: Área de la fachada i, incluyendo la superficie ocupada por huecos, muros y rejillas.
- 2.3. Área de huecos en fachada i: Área ocupada por la superficie acristalada en la fachada i.
- 2.4. Área de aireadores en fachada i: Superficie ocupada por las rejillas exteriores colocadas en fachada i.
- 2.5. Permeabilidad de opacos a 4Pa: Caudal de aire por unidad de superficie, expresado en $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, que atraviesa los muros de la fachada i a una diferencia de presión de 4 Pa. Valores típicos de permeabilidades de opacos recogidos en la norma UNE 15242-2007 se presentan en la siguiente tabla:

		m^3/h por m^2 de envolvente exterior ($\text{exp } n = 0,667$)		
		Nivel de fugas	Q4Pa	Q10Pa
Unifamiliar	bajo	0,5	1	2,5
	medio	1	2	5
	alto	2	3,5	10
Multifamiliar; no residencial excepto industrial	bajo	0,5	1	2,5
	medio	1	2	5
	alto	2	3,5	10
Industrial	bajo	1	2	5
	medio	2	3,5	10
	alto	4	7	20

- 2.6. Permeabilidad de huecos a 100 Pa: Caudal de aire por unidad de superficie, expresado en $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$, que atraviesa las ventanas de la fachada i a una diferencia de presión de 100 Pa. Se clasifica las ventanas según clase 0, 1, 2, 3 o 4, siendo la 4 la más estanca. En la siguiente tabla se muestra valores de permeabilidad típicos de ventanas recogidos en la norma UNE-EN 12207:

Clase	Permeabilidad de aire a 100Pa
1	50
2	27
3	9
4	3

- 2.7. Aireador exterior: Deberá seleccionarse si se va a introducir un aireador nuevo, uno existente o si no existe aireador en la fachada i.
- 2.7.1. Aireador exterior nuevo: Si se selecciona un aireador nuevo, aparecerá lo siguiente:

fachada 1 m2 Aireador exterior

Identificador aireador exterior Tipo

m3/h/m2 m3/h/m2

Ilustración 5: Aireador nuevo

2.7.1.1. Identificador aireador exterior: Es el número actual de aireador que se va a introducir. En este caso, un 2 significa que existe ya un aireador en la base de datos, y por lo tanto se va a introducir el aireador nuevo número 2.

2.7.1.2. Tipo, c0, c1, b1 y b2: Haciendo click sobre el botón **? Ayuda aireadores** se obtiene una ayuda acerca del significado de cada uno de estos coeficientes:

? Ayuda aireadores

En la siguiente figura se representan las curvas de funcionamiento de los distintos tipos de rejillas definidas en la tabla 1:

Leyenda	
tipo 0	Aireador convencional
tipo 1	Aireador autorregulable
tipo 2	Aireador antirretorno

Tabla 1: Tipos de rejillas

Aireador convencional

$$Q = c_0 \cdot \left(\frac{\Delta p}{20}\right)^{0.5}$$

Aireador autorregulable

$$Q = \begin{cases} c_1 \cdot \left(\frac{\Delta p}{20}\right)^{0.5} & \Delta p < 20 \\ c_1 + b_1 \cdot (\Delta p - 20) & \Delta p \geq 20 \end{cases}$$

Aireador antirretorno

$$Q = \begin{cases} c_1 \cdot \left(\frac{\Delta p}{20}\right)^{0.5} & 0 < \Delta p < 20 \\ c_1 + b_1 \cdot (\Delta p - 20) & \Delta p \geq 20 \\ -\frac{c_1}{2} \cdot \left(\frac{\Delta p}{20}\right)^{0.5} & -20 < \Delta p \leq 0 \\ -\frac{c_1}{2} - b_2 \cdot (\Delta p - 20) & \Delta p \leq -20 \end{cases}$$

Donde:

- c0: Caudal de aire que circula por el aireador convencional cuando la diferencia de presión es de 20Pa
- c1: Caudal de aire que circula por el aireador autorregulable o antirretorno cuando la diferencia de presión es de 20Pa
- b1: Pendiente de la recta en la curva característica de aireadores autorregulables y antirretorno cuando la diferencia de presión supera los 20Pa
- b2: Pendiente de la recta en la curva característica de aireadores antirretorno cuando la diferencia de presión es inferior a -20Pa (flujo de aire en sentido contrario)

Ilustración 6: Ayuda aireadores

En tipo deberá introducirse un 0 si se trata de un aireador convencional, un 1 si se trata de un aireador autorregulable y un 2 si se trata de un aireador antirretorno.

Véase en la figura 6 como cada tipo de aireador usa distintos tipos de coeficientes. Luego si se selecciona un aireador tipo 0 (Aireador convencional), Los valores de c1, b1 y b2 pueden tener cualquier valor, no influyendo en los resultados del programa (Puede quedarse la casilla en blanco).

Tras rellenar todos los datos del aireador es necesario hacer click en el botón **Guardar rejilla en base de datos**

2.7.2. Aireador exterior existente: Si se selecciona un aireador existente, aparecerá lo siguiente:

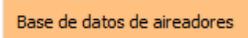
Ilustración 7: Aireador existente

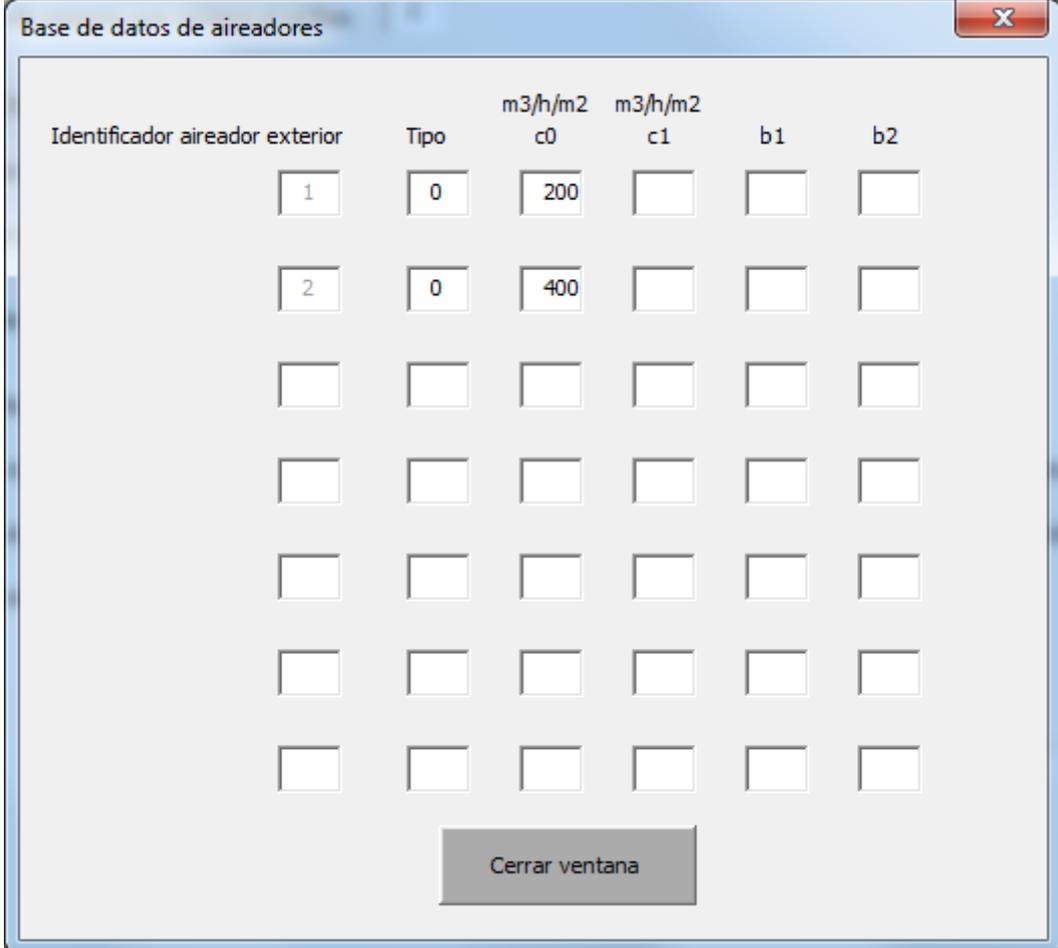
Véase como al seleccionar aireador existente, es necesario seleccionar algún aireador en Identificador aireador exterior. En la parte derecha aparecerán el tipo y los coeficientes del aireador seleccionado, sin que se puedan modificar. En este caso no será necesario hacer click sobre el botón **Guardar rejilla en base de datos**.

2.7.3. Sin aireador exterior: Si se selecciona la opción sin aireador exterior aparecerá lo siguiente:

Ilustración 8: Sin aireador exterior

Véase como en este caso no se habilita ninguna de las opciones para editar el aireador.

3. **Base de datos aireadores:** Si se hace click sobre el botón  aparecerá la siguiente base de datos que contiene los aireadores introducidos hasta el momento:

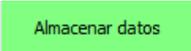


Identificador aireador exterior	Tipo	m3/h/m2 c0	m3/h/m2 c1	b1	b2
1	0	200			
2	0	400			

Cerrar ventana

Ilustración 9: Base de datos aireadores

La figura 9 muestra que para el caso ejemplo aparece 2 aireadores. Es posible modificar el tipo de aireador y sus coeficientes en la base de datos, pero debe tenerse en cuenta que cualquier cambio afectará a todas las fachadas donde se haya definido ese tipo de aireador.

4. **Almacenar datos:** Debe hacerse click en el botón  para que el programa internamente guarde todos los datos introducidos, o guarde posibles modificaciones realizadas. En caso de no pulsar este botón y cerrar la ventana Definición de espacios, los cambios realizados no se guardarán, y se habrán perdido al abrir de nuevo esta ventana y a la hora de realizar los cálculos.

6.2 Conectividades entre espacios

Haciendo click sobre **2. CONECTIVIDADES ENTRE ESPACIOS**, se mostrará la siguiente pantalla:

The screenshot shows a window titled "Conectividad entre espacios" with a close button (X) in the top right corner. The window contains a 7x7 matrix with columns labeled "Espacio1" through "Espacio7" and rows labeled "Espacio1" through "Espacio7". The matrix values are as follows:

	Espacio1	Espacio2	Espacio3	Espacio4	Espacio5	Espacio6	Espacio7
Espacio1	0	1	0	0	0	0	0
Espacio2	1	0	0	0	0	0	0
Espacio3	0	0	0	0	0	0	0
Espacio4	0	0	0	0	0	0	0
Espacio5	0	0	0	0	0	0	0
Espacio6	0	0	0	0	0	0	0
Espacio7	0	0	0	0	0	0	0

At the bottom of the window, there are three buttons: "Almacenar datos" (green), "Cerrar ventana" (grey), and "? Ayuda Conectividades" (white).

Ilustración 10: Conectividades entre espacios

La figura 10 muestra el caso simple de dos espacios (véase que tan solo se encuentran disponibles el espacio 1 y el 2).

Algunas consideraciones a tener en cuenta a la hora de rellenar la matriz:

- La forma de interpretar la matriz de conectividades entre espacios es: "el espacio fila i tiene una conexión tipo x con el espacio columna j ". Por ejemplo, en la figura 10 se muestra como el espacio 1 tiene un elemento de conexión tipo 1 con el espacio 2.
- La diagonal de la matriz de conectividades será siempre cero por defecto (No es posible que un espacio esté conectado consigo mismo).
- Dado que la matriz será simétrica (el elemento de conexión entre el espacio i y el espacio j será el mismo que el elemento de conexión entre el espacio j y el espacio i), se pondrán automáticamente los valores de la diagonal superior una vez seleccionados los de la diagonal inferior.

- Haciendo click sobre los botones situados en las casillas de la matriz de conectividades se podrá cambiar de un tipo de conexión a otro.
- Haciendo click sobre el botón **? Ayuda Conectividades** se puede ver los diferentes tipos de conexiones entre espacios disponibles en la herramienta:

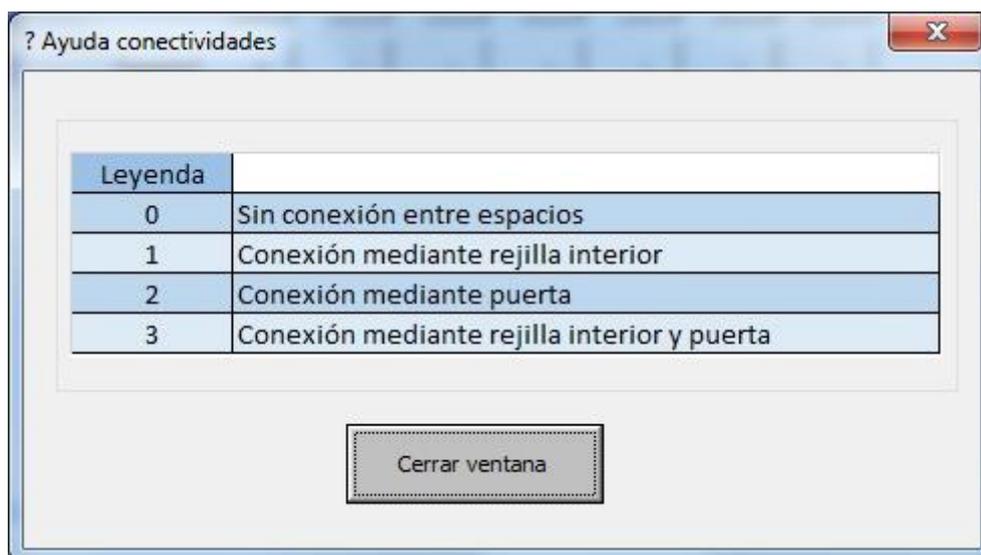


Ilustración 11: Ayuda conectividades

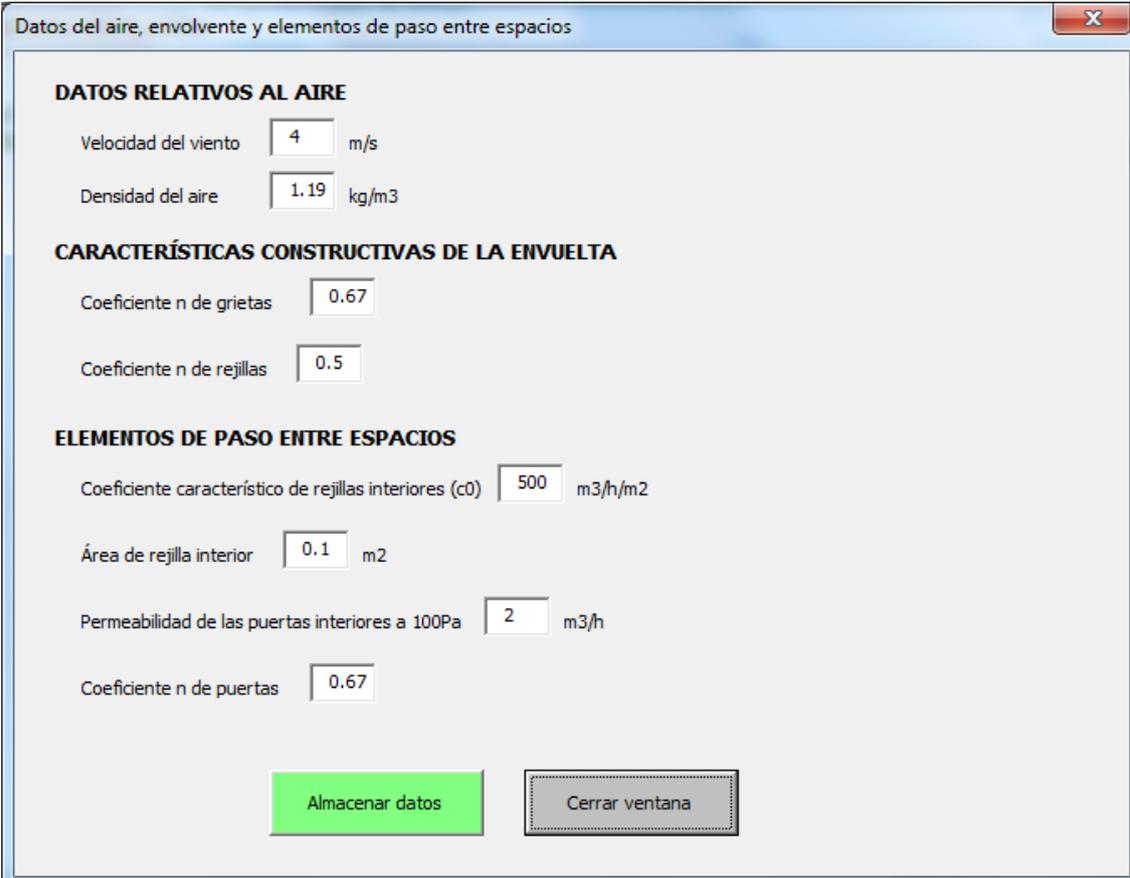
NOTA 1: Los coeficientes que caracterizan el comportamiento de los diferentes elementos de conexión se encuentran definidos en el apartado 6.3.

NOTA 2: Las rejillas interiores serán todas del tipo convencional definidas en la Ilustración

- Debe hacerse click en el botón **Almacenar datos** para que el programa internamente guarde todos los datos introducidos, o guarde posibles modificaciones realizadas. En caso de no pulsar este botón y cerrar la ventana Conectividades entre espacios, los cambios realizados no se guardarán, y se habrán perdido al abrir de nuevo esta ventana y a la hora de realizar los cálculos.

6.3 Datos relativos al aire, características de la envolvente y elementos de paso entre espacios

Haciendo click sobre **3. INTRODUCIR DATOS RELATIVOS AL AIRE, CARACTERÍSTICAS DE LA ENVOLVENTE Y ELEMENTOS DE PASO ENTRE ESPACIOS**, se mostrará la siguiente pantalla:



Datos del aire, envolvente y elementos de paso entre espacios

DATOS RELATIVOS AL AIRE

Velocidad del viento m/s

Densidad del aire kg/m³

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LA ENVOLVENTA

Coefficiente n de grietas

Coefficiente n de rejillas

ELEMENTOS DE PASO ENTRE ESPACIOS

Coefficiente característico de rejillas interiores (c0) m³/h/m²

Área de rejilla interior m²

Permeabilidad de las puertas interiores a 100Pa m³/h

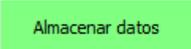
Coefficiente n de puertas

Ilustración 12: Datos relativos al aire, características de la envolvente y elementos de paso entre espacios

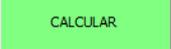
Todos los datos que aparecen en esta pantalla estarán dados por defecto y son los mostrados en la figura 12. Estos datos pueden cambiarse por el usuario en cualquier momento en función de su edificio y localización. A continuación se describen detalladamente:

1. Datos relativos al aire
 - 1.1. Velocidad del viento: Es la velocidad del viento que predomina en la localidad donde está situado el edificio, expresada en m/s. Valores comunes se encuentran comprendidos entre 0 y 4 m/s.
 - 1.2. Densidad del aire: Es la densidad del aire en la localidad donde se sitúa el edificio, expresada en kg/m³. Se toma 1.19 como valor por defecto.
2. Características constructivas de la envolvente:
 - 2.1. Coeficiente n de grietas: Coeficiente adimensional usado como exponente de la diferencia de presiones entre caras de un cerramiento opaco o huecos y que permite calcular los caudales de aire que circulan por dichos elementos (véase

- anexo 1 con ecuaciones para el cálculo de caudales de aire). En la práctica se usa un valor de n de 0.67.
- 2.2. Coeficiente n de rejillas: Coeficiente adimensional usado como exponente de la diferencia de presiones entre caras de un aireador y que permite calcular los caudales de aire que circulan por dicho elemento (véase anexo 1 con ecuaciones para el cálculo de caudales de aire). En la práctica se usa un valor de n de 0.5.
 3. Elementos de paso entre espacios
 - 3.1. Coeficiente característico de rejillas interiores (c_0): Caudal de aire que circula por el aireador convencional cuando la diferencia de presión es de 20Pa, expresado en $m^3/h \cdot m^2$.
 - 3.2. Área de rejilla interior. Superficie ocupada por el aireador interior.
 - 3.3. Permeabilidad de puertas interiores a 100 Pa: Caudal de aire por unidad de superficie, expresado en $m^3/h \cdot m^2$, que atraviesa las puertas interiores a una diferencia de presión de 100 Pa. Un valor típico tomado en la práctica es 60 $m^3/h \cdot m^2$.
 - 3.4. Coeficiente n de puertas: Coeficiente adimensional usado como exponente de la diferencia de presiones entre caras de una puerta interior y que permite calcular los caudales de aire que circulan por dicho elemento. En la práctica se usa un valor de n de 0.5.

Debe hacerse click en el botón  para que el programa internamente guarde todos los datos introducidos, o guarde posibles modificaciones realizadas. En caso de no pulsar este botón y cerrar la ventana Datos relativos al aire, características de la envolvente y elementos de paso entre espacios, los cambios realizados no se guardaran, y se habrán perdido al abrir de nuevo esta ventana y a la hora de realizar los cálculos.

6.4 Resultados

En este sub-apartado se van a describir los resultados presentados por el programa. Haciendo click sobre el botón , el programa hará los cálculos internos y mostrará la pantalla de resultado mostrada en la figura 13. Este proceso puede tardar varios minutos, dependiendo del número de espacios y fachadas definidas.

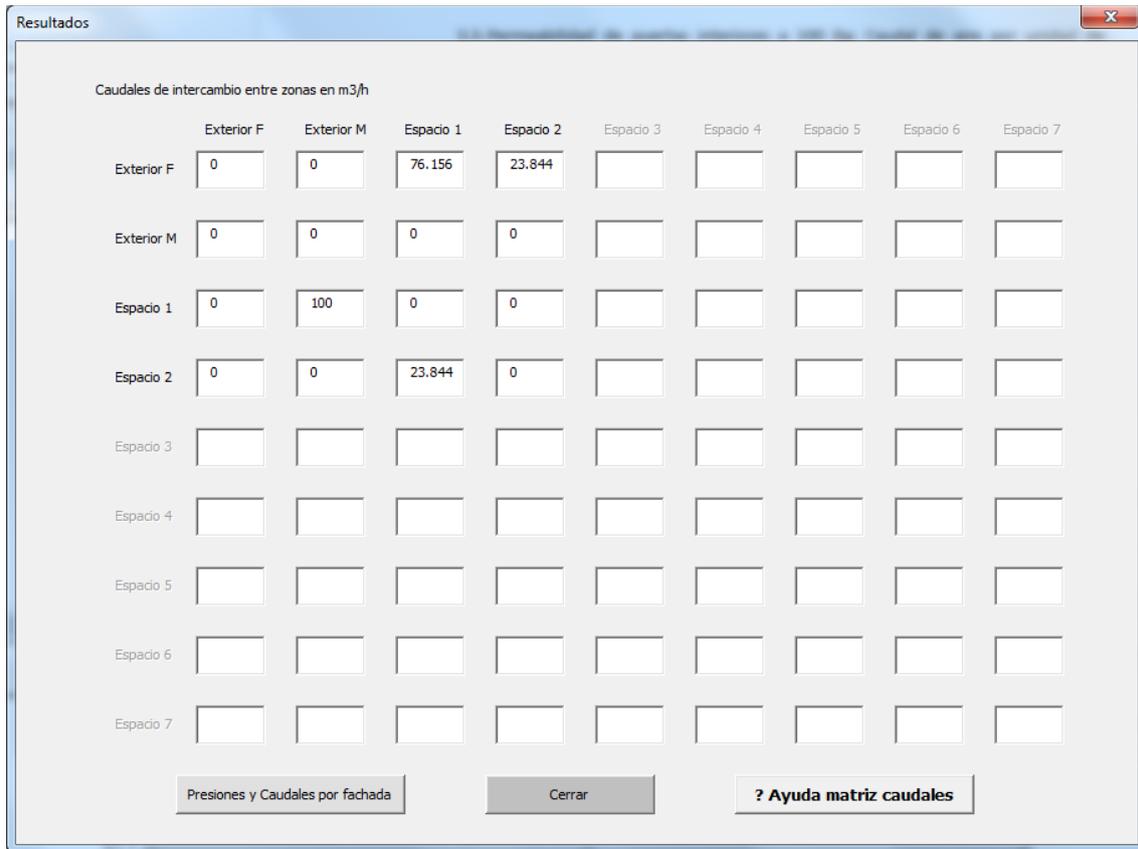


Ilustración 13: Resultados de caudales en forma de matriz

En la figura 13 se muestran los caudales de intercambio entre zonas y con el exterior, expresados en m^3/h . Exterior F se refiere al caudal de aire que entra o sale por la fachada, mientras que Exterior M se refiere al caudal de aire que entra (o sale) por el extractor (o impulsión).

La forma de interpretar los resultados de intercambio de caudales entre espacios es: “el caudal de aire intercambiado entre el espacio i y el espacio j es x”. En caso de haber un 0, puede deberse a que no hay conexiones entre esos espacios y por tanto no hay caudal de aire, o que el intercambio de aire se produce en el sentido inverso. Por ejemplo, en la figura 13 se muestra como van $76.156 m^3/h$ desde el exterior F (fachada) hacia el espacio 1.

Nótese como los caudales sobre la diagonal de la matriz serán siempre 0 (No es posible que un espacio esté conectado consigo mismo).

Una comprobación de que los resultados que se están mostrando tienen sentido es hacer balances de caudales por zona.

- Los caudales que van desde exterior F y exterior M hacia los espacios (rectángulo azul horizontal en figura 14) debe ser lo mismo que lo que va de los espacios hacia el exterior F o M (rectángulo azul vertical).
- Lo que entra en el espacio 1 (rectángulo rojo vertical) debe ser lo mismo que lo que sale (rectángulo rojo horizontal).

- Lo que entra en el espacio 2 (rectángulo verde vertical) debe ser lo mismo que lo que sale (rectángulo verde horizontal).

Resultados

Caudales de intercambio entre zonas en m³/h

	Exterior F	Exterior M	Espacio 1	Espacio 2	Espacio 3	Espacio 4	Espacio 5	Espacio 6	Espacio 7
Exterior F	0	0	76.156	23.844					
Exterior M	0	0	0	0					
Espacio 1	0	100	0	0					
Espacio 2	0	0	23.844	0					
Espacio 3									
Espacio 4									
Espacio 5									
Espacio 6									
Espacio 7									

Presiones y Caudales por fachada Cerrar ? Ayuda matriz caudales

Ilustración 14: Balance de caudales por zona y exterior

El botón **? Ayuda matriz caudales** muestra la siguiente pantalla de ayuda:

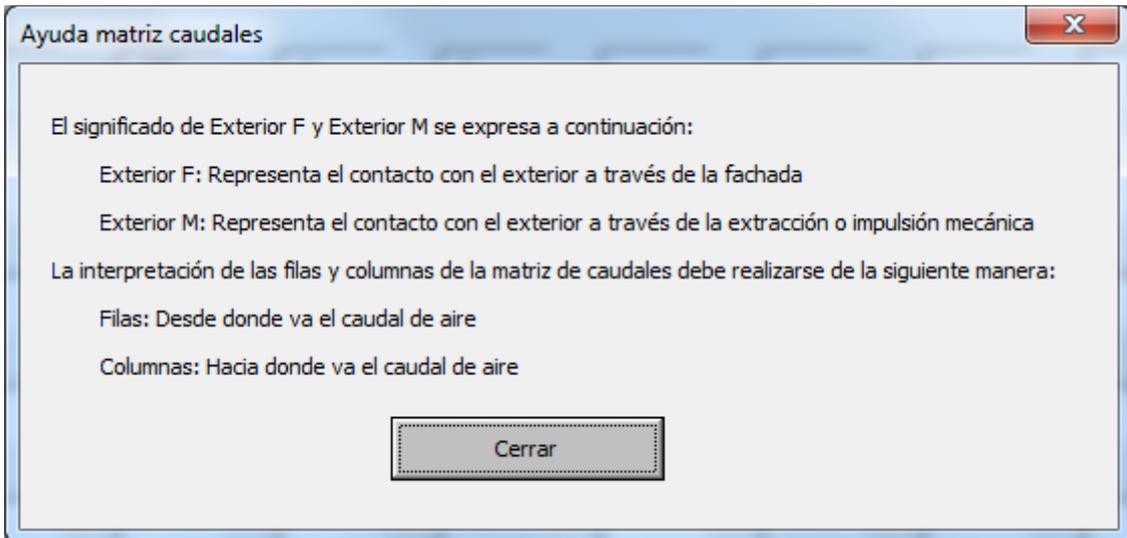


Ilustración 15: Ayuda matriz caudales

El software permite además una visualización de los resultados de forma más precisa por espacios y fachadas. La figura 16 muestra dichos resultados descompuestos:

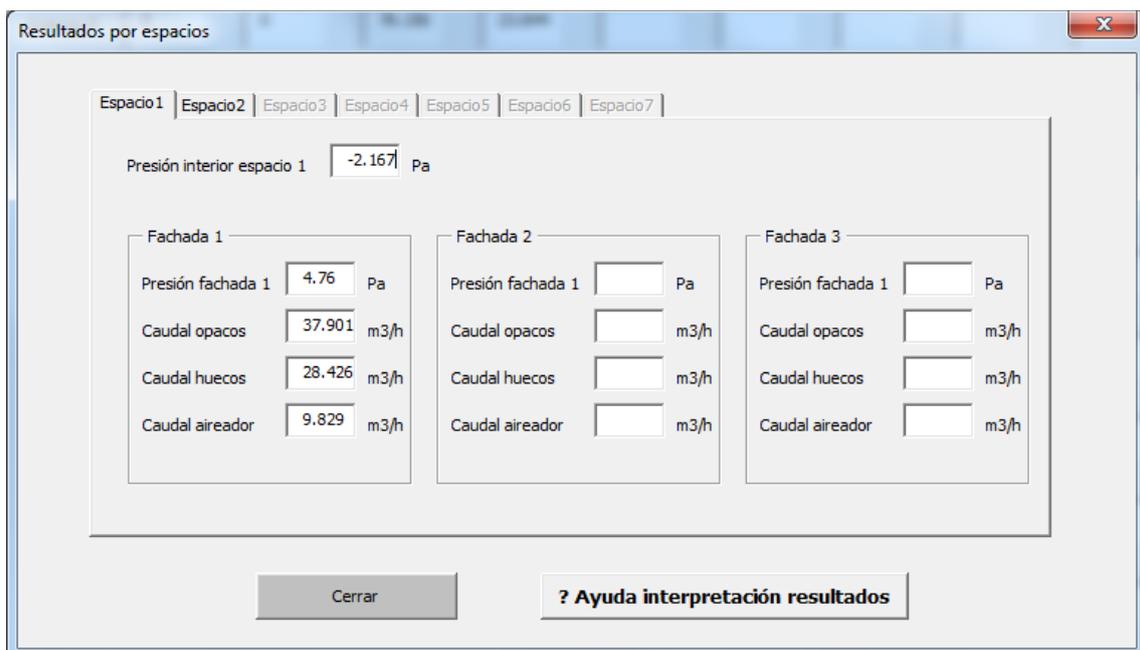


Ilustración 16: Resultados por espacios

Las variables que aparecen para cada uno de los espacios se describen a continuación:

1. Presión interior del espacio i: Es la presión manométrica del espacio i, expresada en Pascales.
2. Para cada una de las fachadas de cada espacio:
 - 2.1. Presión fachada i: Es la presión manométrica en la cara exterior de la fachada i, expresadas en Pascales.

- 2.2. Caudal opacos: Es el caudal que entra (sale si es negativo) por los cerramientos opacos de la fachada i , en m^3/h .
- 2.3. Caudal huecos: Es el caudal que entra (sale si es negativo) por las ventanas de la fachada i , en m^3/h .
- 2.4. Caudal aireador: Es el caudal que entra (sale si es negativo) por los aireadores de la fachada i , en m^3/h .

El botón **? Ayuda interpretación resultados** muestra la siguiente pantalla de ayuda:

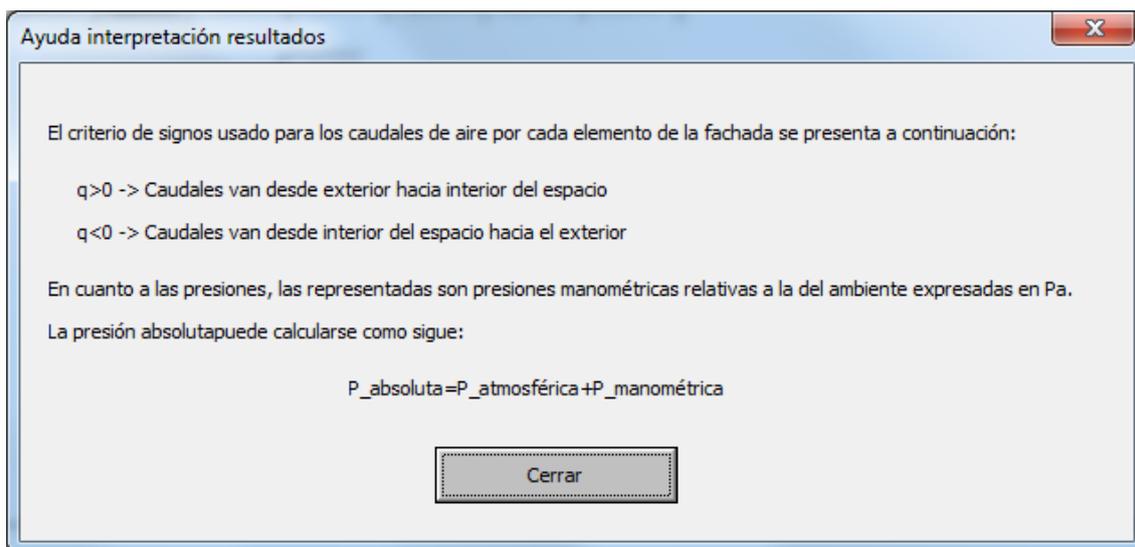


Ilustración 17: Ayuda interpretación resultados

7. Ejemplo de cálculo

Este apartado pretende ilustrar un ejemplo de cálculo de carácter práctico que sirva de ayuda al usuario a realizar e introducir su propio edificio, además de un correcto análisis de resultados.

7.1 Definición geométrica del edificio ejemplo

En este ejemplo el edificio que se va a estudiar es el que viene en la norma HS3 del CTE. En la siguiente figura se muestran las cotas del edificio:

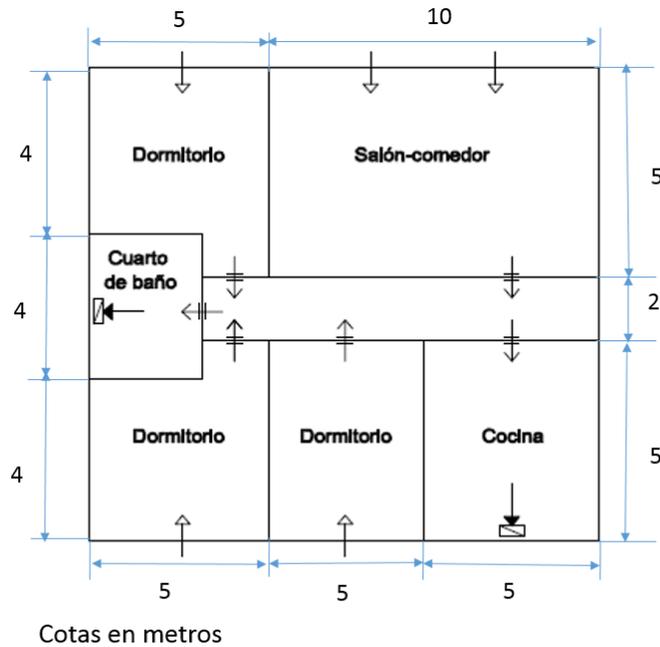


Ilustración 18: Edificio ejemplo. Fuente CTE-HS3

De acuerdo a la norma HS3, los caudales mínimos exigidos en cada uno de los espacios se presentan a continuación:

		Caudal de ventilación mínimo exigido q_v en l/s		
		Por ocupante	Por m^2 útil	En función de otros parámetros
Locales	Dormitorios	5		
	Salas de estar y comedores	3		
	Aseos y cuartos de baño			15 por local
	Cocinas		2	50 por local ⁽¹⁾
	Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
	Aparcamientos y garajes			120 por plaza
	Almacenes de residuos		10	

Ilustración 19: Caudales mínimos de ventilación exigidos por CTE-HS3. Fuente: CTE-HS3

Luego los caudales de ventilación necesarios en cada uno de los espacios de la vivienda ejemplo se presentan en la siguiente tabla:

Espacio	Caudal de ventilación
Dormitorios	18 m ³ /h/ocup (x 4 ocup)
Salón-Comedor	43.2 m ³ /h
Cocina	180 m ³ /h
Baños	54 m ³ /h

Locales secos: 234 m³/h

Locales húmedos: 115.2 m³/h

Ilustración 20: Caudales mínimos de aire exigidos en cada uno de los espacios

Dado que el caudal extraído por locales húmedos es mayor que en locales secos, se extraerá 180m³/h por la cocina y 54m³/h por el baño.

7.2 Definición de los espacios del edificio ejemplo

En la figura 21 se muestran los elementos de la fachada y los elementos de conexión entre espacios. Además se muestra la dirección del viento (Espacios 3, 4 y 6 tendrán fachada a barlovento)

En la figura 22 se muestran los datos introducidos para cada uno de los espacios. Los espacios se encuentran numerados en la figura 21. Se ha seguido esa numeración para definir la geometría de los espacios en la figura 22.

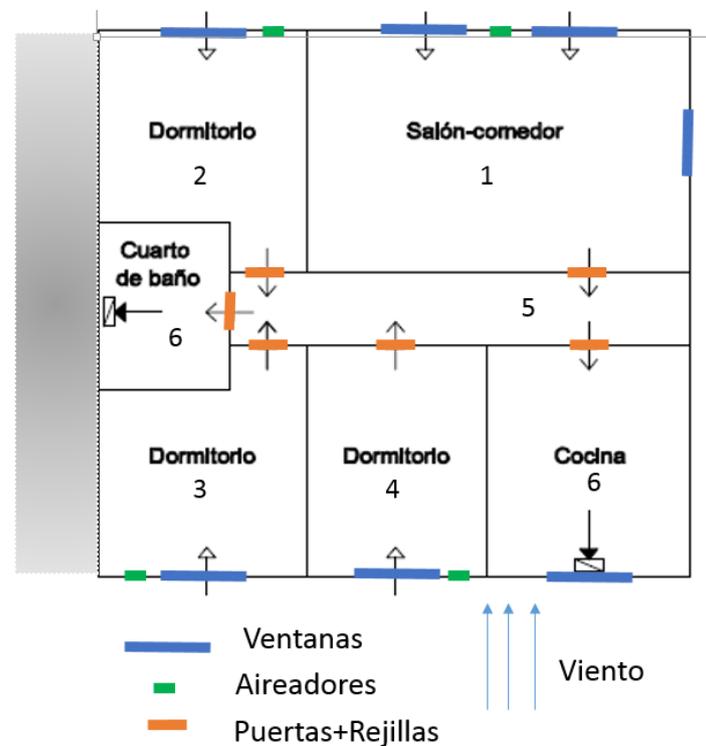


Ilustración 21: Elementos constructivos de la fachada y de conexión entre espacios

Definición de espacios

DEFINICIÓN DE ESPACIOS

Número de espacios que contiene el edificio

Caudal de extracción del espacio 1 m³/h

Número de fachadas del espacio 1

Coefficiente de presión en fachada 1

Área total exterior en fachada 1 m²

Permeabilidad de opacos a 4Pa m³/h/m²

Área de huecos en fachada 1 m²

Permeabilidad de huecos a 100Pa m³/h/m²

Área de aireadores en fachada 1 m²

Aireador exterior

Identificador aireador exterior Tipo c0 c1 b1 b2

m³/h/m² m³/h/m²

Definición de espacios

DEFINICIÓN DE ESPACIOS

Número de espacios que contiene el edificio

Caudal de extracción del espacio 1 m³/h

Número de fachadas del espacio 1

Coefficiente de presión en fachada 2

Área total exterior en fachada 2 m²

Permeabilidad de opacos a 4Pa m³/h/m²

Área de huecos en fachada 2 m²

Permeabilidad de huecos a 100Pa m³/h/m²

Área de aireadores en fachada 2 m²

Aireador exterior

Identificador aireador exterior Tipo c0 c1 b1 b2

m³/h/m² m³/h/m²

Definición de espacios

DEFINICIÓN DE ESPACIOS

Número de espacios que contiene el edificio

Caudal de extracción del espacio 2 m³/h

Número de fachadas del espacio 2

Coefficiente de presión en fachada 1

Área total exterior en fachada 1 m²

Permeabilidad de opacos a 4Pa m³/h/m²

Área de huecos en fachada 1 m²

Permeabilidad de huecos a 100Pa m³/h/m²

Área de aireadores en fachada 1 m²

Aireador exterior

Identificador aireador exterior Tipo c0 c1 b1 b2

m³/h/m² m³/h/m²

Definición de espacios

DEFINICIÓN DE ESPACIOS

Número de espacios que contiene el edificio

Caudal de extracción del espacio 3 m³/h

Número de fachadas del espacio 3

Coefficiente de presión en fachada 1

Área total exterior en fachada 1 m²

Permeabilidad de opacos a 4Pa m³/h/m²

Área de huecos en fachada 1 m²

Permeabilidad de huecos a 100Pa m³/h/m²

Área de aireadores en fachada 1 m²

Aireador exterior

Identificador aireador exterior Tipo c0 c1 b1 b2

m³/h/m² m³/h/m²

Definición de espacios

DEFINICIÓN DE ESPACIOS

Número de espacios que contiene el edificio

Espacio 1 | Espacio 2 | Espacio 3 | **Espacio 4** | Espacio 5 | Espacio 6 | Espacio 7

Caudal de extracción del espacio 4 m³/h

Número de fachadas del espacio 4

Fachada 1 | Fachada 2 | Fachada 3

Coefficiente de presión en fachada 1

Área total exterior en fachada 1 m²

Área de huecos en fachada 1 m²

Área de aireadores en fachada 1 m²

Permeabilidad de opacos a 4Pa m³/h/m²

Permeabilidad de huecos a 100Pa m³/h/m²

Aireador exterior

Identificador aireador exterior Tipo c0 c1 b1 b2

m³/h/m² m³/h/m²

Definición de espacios

DEFINICIÓN DE ESPACIOS

Número de espacios que contiene el edificio

Espacio 1 | Espacio 2 | Espacio 3 | Espacio 4 | **Espacio 5** | Espacio 6 | Espacio 7

Caudal de extracción del espacio 5 m³/h

Número de fachadas del espacio 5

Fachada 1 | Fachada 2 | Fachada 3

Coefficiente de presión en fachada 1

Área total exterior en fachada 1 m²

Área de huecos en fachada 1 m²

Área de aireadores en fachada 1 m²

Permeabilidad de opacos a 4Pa m³/h/m²

Permeabilidad de huecos a 100Pa m³/h/m²

Aireador exterior

Identificador aireador exterior Tipo c0 c1 b1 b2

m³/h/m² m³/h/m²

Definición de espacios

DEFINICIÓN DE ESPACIOS

Número de espacios que contiene el edificio

Espacio 1 | Espacio 2 | Espacio 3 | Espacio 4 | Espacios | **Espacio 6** | Espacio 7 |

Caudal de extracción del espacio 6 m³/h

Número de fachadas del espacio 6

Fachada 1 | Fachada 2 | Fachada 3 |

Coefficiente de presión en fachada 1

Área total exterior en fachada 1 m² Permeabilidad de opacos a 4Pa m³/h/m²

Área de huecos en fachada 1 m² Permeabilidad de huecos a 100Pa m³/h/m²

Área de aireadores en fachada 1 m² Aireador exterior

Identificador aireador exterior Tipo c0 c1 b1 b2

m³/h/m² m³/h/m²

Definición de espacios

DEFINICIÓN DE ESPACIOS

Número de espacios que contiene el edificio

Espacio 1 | Espacio 2 | Espacio 3 | Espacio 4 | Espacio 5 | **Espacio 6** | Espacio 7 |

Caudal de extracción del espacio 6 m³/h

Número de fachadas del espacio 6

Fachada 1 | **Fachada 2** | Fachada 3 |

Coefficiente de presión en fachada 2

Área total exterior en fachada 2 m² Permeabilidad de opacos a 4Pa m³/h/m²

Área de huecos en fachada 2 m² Permeabilidad de huecos a 100Pa m³/h/m²

Área de aireadores en fachada 2 m² Aireador exterior

Identificador aireador exterior Tipo c0 c1 b1 b2

m³/h/m² m³/h/m²

Definición de espacios

DEFINICIÓN DE ESPACIOS

Número de espacios que contiene el edificio

Espacio 1 | Espacio 2 | Espacio 3 | Espacio 4 | Espacio 5 | Espacio 6 | **Espacio 7** |

Caudal de extracción del espacio 7 m³/h

Número de fachadas del espacio 7

Fachada 1 | Fachada 2 | Fachada 3 |

7.3 Resultados del edificio ejemplo

Se van a presentar los resultados y su análisis para los siguientes casos:

- Velocidad del viento nula
- Velocidad del viento 4 m/s
- Velocidad del viento 16 m/s

Además se analizará una situación de mejora para cumplir con la normativa de caudales mínimos.

7.3.3 Velocidad del viento nula

Resultados

Caudales de intercambio entre zonas en m³/h

	Exterior F	Exterior M	Espacio 1	Espacio 2	Espacio 3	Espacio 4	Espacio 5	Espacio 6	Espacio 7
Exterior F	0	0	22.693	19.913	19.913	20.275	13.489	137.718	0
Exterior M	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Espacio 1	0	0	0	0	0	0	22.693	0	0
Espacio 2	0	0	0	0	0	0	19.913	0	0
Espacio 3	0	0	0	0	0	0	19.913	0	0
Espacio 4	0	0	0	0	0	0	20.275	0	0
Espacio 5	0	0	0	0	0	0	0	42.282	54
Espacio 6	0	180	0	0	0	0	0	0	0
Espacio 7	0	54	0	0	0	0	0	0	0

Presiones y Caudales por fachada Cerrar ? Ayuda matriz caudales

Ilustración 23: Resultado edificio ejemplo para velocidad del viento nula

Nótese como los caudales de aire que entran desde el exterior hacia el espacio 1 (Salón) y espacio 4 (Dormitorio 4) no cumplen con los mínimos que marca la normativa. Esto se debe a que en la cocina (espacio 6) está entrando por la fachada 137 m³/h, más del 75% del caudal del extractor situado en este espacio).

7.3.4 Velocidad del viento 4 m/s

Resultados

Caudales de intercambio entre zonas en m³/h

	Exterior F	Exterior M	Espacio 1	Espacio 2	Espacio 3	Espacio 4	Espacio 5	Espacio 6	Espacio 7
Exterior F	0	0	24.936	14.416	28.247	28.883	9.024	138.633	0
Exterior M	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Espacio 1	10.139	0	0	0	0	0	14.797	0	0
Espacio 2	0	0	0	0	0	0	14.416	0	0
Espacio 3	0	0	0	0	0	0	28.247	0	0
Espacio 4	0	0	0	0	0	0	28.883	0	0
Espacio 5	0	0	0	0	0	0	0	41.367	54
Espacio 6	0	180	0	0	0	0	0	0	0
Espacio 7	0	54	0	0	0	0	0	0	0

Presiones y Caudales por fachada Cerrar ? Ayuda matriz caudales

Ilustración 24: Resultado edificio ejemplo para velocidad del viento 4 m/s

Nótese como este caso no mejora los caudales de entrada del salón y dormitorio 4 (sigue sin cumplir la normativa). Además sale aire del salón por la fachada situada tangente al viento.

7.3.4 Velocidad del viento 16 m/s

Resultados

Caudales de intercambio entre zonas en m3/h

	Exterior F	Exterior M	Espacio 1	Espacio 2	Espacio 3	Espacio 4	Espacio 5	Espacio 6	Espacio 7
Exterior F	0	0	15.527	0	108.702	113.893	0	175.374	0
Exterior M	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Espacio 1	62.769	0	0	0	0	0	0	0	0
Espacio 2	38.388	0	0	0	0	0	0	0	0
Espacio 3	0	0	0	0	0	0	108.702	0	0
Espacio 4	0	0	0	0	0	0	113.893	0	0
Espacio 5	31.031	0	47.242	38.388	0	0	0	51.933	54
Espacio 6	47.307	180	0	0	0	0	0	0	0
Espacio 7	0	54	0	0	0	0	0	0	0

Presiones y Caudales por fachada Cerrar ? Ayuda matriz caudales

Ilustración 25: Resultado edificio ejemplo para velocidad del viento 16 m/s

En este caso sale aire desde el interior de los espacios hacia el exterior por las fachadas a barlovento y tangente al viento. Además entra aire desde el pasillo hacia los espacios con fachadas a sotavento (Salón y Dormitorio 1) debido al elevado caudal de aire que entra por los espacios con fachadas a barlovento.

7.3.4 Medida de mejora

Debido al no cumplimiento de la normativa de calidad de aire interior CTE-HS3 en el salón y dormitorio 4, se propone mejorar la permeabilidad de las ventanas de la cocina para reducir la cantidad de aire que entra desde el exterior hacia el interior de la cocina. Además se propone la abertura de puertas entre espacios y pasillos, disminuyendo de esta forma la pérdida de carga entre flujos de aires entre diferentes espacios. En la siguiente figura se muestra la mejora en los caudales:

Resultados

Caudales de intercambio entre zonas en m³/h

	Exterior F	Exterior M	Espacio 1	Espacio 2	Espacio 3	Espacio 4	Espacio 5	Espacio 6	Espacio 7
Exterior F	0	0	31.216	18.412	48.684	53.049	3.62	83.535	0
Exterior M	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Espacio 1	4.516	0	0	0	0	0	26.7	0	0
Espacio 2	0	0	0	0	0	0	18.412	0	0
Espacio 3	0	0	0	0	0	0	48.684	0	0
Espacio 4	0	0	0	0	0	0	53.049	0	0
Espacio 5	0	0	0	0	0	0	0	96.465	54
Espacio 6	0	180	0	0	0	0	0	0	0
Espacio 7	0	54	0	0	0	0	0	0	0

Presiones y Caudales por fachada Cerrar ? Ayuda matriz caudales

La mejora de la calidad de las ventana y la disminución de la pérdida de carga entre espacios y pasillo hace que aumenten los caudales de entrada de aire a cada uno de los espacios.

Ilustración 26: Resultados de las medidas de mejora

ANEXOS

ANEXO 1: Fundamentos físicos del movimiento de aire

Lo expuesto en este anexo ha sido sacado del proyecto fin de carrera de D. Javier García Ramos, y pretende orientar al lector acerca de la física de coeficiente de presión y flujos de aire a través de aberturas.

1. Coeficiente de presión

La acción del viento sobre un edificio es difícilmente medible, debido sobre todo a que se trata de un fenómeno muy poco estacionario. Además, su efecto varía en cada punto de cada fachada expuesta, según parámetros geométricos del edificio y de su entorno, y otros intrínsecos al propio flujo de aire. Para modelar estos efectos, se recurrirá al uso de coeficientes de presiones adimensionales, obtenidos a partir de datos experimentales.

Un flujo de viento produce un campo de velocidades y presiones alrededor de un edificio. La relación, en flujo libre, entre la velocidad y la presión en los distintos puntos del campo puede ser obtenida a partir de la ecuación de Bernouilli. Asumiendo la densidad constante en una línea de corriente a una altura determinada, la citada ecuación toma la forma siguiente:

$$P_{est} + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 = cte$$

La velocidad en la capa límite varía desde cero para las partículas en contacto con la pared, hasta la velocidad del flujo libre para aquellas situadas en el extremo opuesto de la capa límite. Los efectos de viscosidad son los que predominan en esta capa. Según sea el número de Reynolds, el flujo en esta zona podrá ser laminar o turbulento. El caso particular del flujo de viento alrededor de un edificio corresponde a un movimiento turbulento con una anchura de capa límite de varios centímetros.

La distribución vertical del perfil de velocidades en un edificio depende principalmente de las superficies que rodean al mismo. Éste perfil se puede modelar a través de una expresión potencial, según una altura de referencia (z_{ref}):

$$\frac{v(z)}{v(z_{ref})} = \left(\frac{z}{z_{ref}} \right)^\alpha$$

Donde el valor del exponente α aumenta al hacerlo la rugosidad del entorno del edificio.

Para describir la distribución de presiones alrededor de la envoltura del edificio se suele usar un coeficiente adimensional denominado Coeficiente de Presiones (C_p), que corresponde al cociente entre la presión dinámica sobre la superficie y la presión dinámica del flujo no perturbado a la altura de referencia. Para un punto $k(x,y,z)$ de la superficie, la expresión del Coeficiente de Presiones con una altura de referencia z_{ref} es la siguiente:

$$C_p(z_{ref}) = \frac{(p_k - p_0(z))}{\frac{1}{2} \rho_0 \cdot v^2(z_{ref})}$$

Para evaluar las distribuciones de C_p en la cubierta de un edificio, se pueden seguir diversas estrategias:

- Realizar medidas directas, cuando el edificio a estudiar existe.
- Desarrollar ensayos en túneles sobre modelos de los edificios a estudiar.
- Generar los valores de C_p a partir de modelos numéricos tridimensionales de flujos de aire.
- Generar los valores de C_p a partir de modelos numéricos basados en análisis paramétricos de los resultados de los ensayos sobre túnel de viento.

La primera opción resulta inviable para trabajos de diseño y demasiada cara incluso en los casos en los que es posible llevarla a cabo. La segunda depende en exceso de la disponibilidad del equipo de ensayo y la tercera requiere un consumo de tiempo excesivo. Luego la estrategia usada para evaluar el C_p es a partir de modelos numéricos. Los valores de C_p se encuentran tabulados en tablas en función de distintos parámetros (entorno del edificio, dirección del viento), y han sido obtenidos a partir de la interpolación de los resultados en diversos ensayos. Es evidente que la precisión del modelo obtenido dependerá en gran manera de la calidad de los datos experimentales utilizados.

2. Flujos de aire a través de aberturas

Para describir los flujos de aire a través de grietas son necesarios tener en cuenta una gran cantidad de parámetros. A las diferencias de presión, temperatura, composición y fuerzas mecánicas, se suman los efectos de la propia naturaleza de las grietas. Para caracterizar estas últimas es necesario conocer la naturaleza de los materiales que las componen, así como el proceso de construcción. Además habría que añadir los fenómenos de deformaciones causados por efecto de temperaturas, tiempo y erosión. El flujo de aire a través de una grieta es siempre una mezcla de laminar, turbulento y transitorio, dependiendo la proporción de cada uno, del contorno de la grieta y de la diferencia de presiones.

Para modelar todos estos efectos se suele usar una ley potencial del tipo:

$$Q = C_s \cdot f(\rho, v, n) \cdot (\Delta p)^n$$

Esta expresión muestra claramente que el flujo depende de la diferencia de presiones existente, si bien no toma en cuenta efectos como el de las propiedades del aire. Los parámetros de esta expresión se deducen a partir de ensayos para cada tipo de grieta. Evidentemente, el rango de aplicación de estas expresiones depende de que las correlaciones disponibles respondan al caso que se trata de modelar. Uno de los principales motivos de error a la hora de aplicar estas expresiones, es hacerlo en condiciones térmicas muy distintas a las que fueron empleadas durante el experimento que determinó los coeficientes.

Obtener una descripción precisa del flujo de aire a través de grietas es de todo punto imposible, no sólo por la enorme cantidad de datos a tener en cuenta sino también por la

propia complejidad de las expresiones a utilizar. Por este motivo, se aplicarán leyes de tipo potencial como la descrita anteriormente, que serán validadas experimentalmente.

Se utilizará un tipo de ley potencial distinta para cada tipo de grieta considerada, ajustándose experimentalmente los parámetros de la ecuación. Cuanto más próximas estén las condiciones del modelo a las condiciones experimentales de ajuste, esta expresión representará el flujo de forma más precisa.

Para afinar aún más la precisión de estos modelos, y ampliar su rango de operación, se puede añadir un factor corrector de temperatura. Con este factor, se puede extender el uso de la expresión a condiciones térmicas distintas de las empleadas para ajustar los parámetros.

En cuanto a la temperatura del flujo que atraviesa la grieta, depende significativamente de la anchura de ésta. Mientras más estrecha es la grieta, más próxima estará la temperatura del flujo a la de la pared. Por el contrario, mientras más ancha es la grieta, menos modificada se ve la temperatura respecto de la del aire de la zona de la cual proviene. Este fenómeno es difícilmente modelable y tan sólo existen unos pocos experimentos para casos relativamente sencillos.

Finalmente, la expresión del flujo a través de grietas queda de la siguiente forma:

$$Q = C \cdot \Delta p^n$$

En la cual, los coeficientes C y n se obtienen de unos resultados experimentales, al igual que ocurría con los coeficientes de presiones.

Como se comentó en el caso de los coeficientes de presiones, mientras mayor sea la base de datos experimentales disponibles, mayor será la capacidad para modelar situaciones reales.

Los factores correctores de temperatura deberán ser añadidos cuando la precisión requerida sea alta, o cuando las condiciones del modelo estén alejadas de las de ajuste.