

5. MODELO SIMPLIFICADO DE VENTILACIÓN E INFILTRACIÓN.

Este procedimiento consiste en un cálculo simplificado de la tasa de ventilación e infiltración que se producen en el edificio, basado en un modelo unizona en presiones y unizona en caudales. Al ser un modelo unizona, se considera que las condiciones internas del edificio son homogéneas, y la variable que caracteriza el caudal de aire que entra y sale del mismo es el gradiente de presiones existente entre el interior y el exterior del edificio.

Para definir la presión interior del edificio se utiliza el método de bucle de presiones, siendo el incremento de presión producido por el efecto del viento y elementos de extracción igual a las pérdidas de presión que se producen en los elementos que componen la envuelta del edificio, considerando como tales, los elementos opacos, las carpinterías y las aberturas de aireación o rejillas. Una vez calculada la presión en el interior del edificio y los caudales que pasan a través de cada elemento de la envuelta, se realiza un balance entre los caudales de entrada y salida de aire en el edificio.

En la siguiente figura se expone de forma esquemática las diferentes presiones y caudales que se analizan en el modelo unizona-unizona. Los flujos de aire considerados como infiltración (4 y 8) hacen referencia los caudales de entrada y salida a través de los elementos opacos y de las carpinterías que conforman la envolvente del edificio, mientras que los considerados como ventilación (5 y 7) se refieren a los flujos de aire a través de las aberturas de ventilación. Por último el flujo de aire considerado como extractor (6) hace referencia al caudal de aire extraído de forma voluntaria y controlada del edificio, que coincide con el caudal mínimo de ventilación según normativa.

$$\Delta P(\text{viento}) + \Delta P(\text{extractor}) = \Delta P_{\text{ventilación}}(\text{rejillas}) + \Delta P_{\text{infiltración}}$$

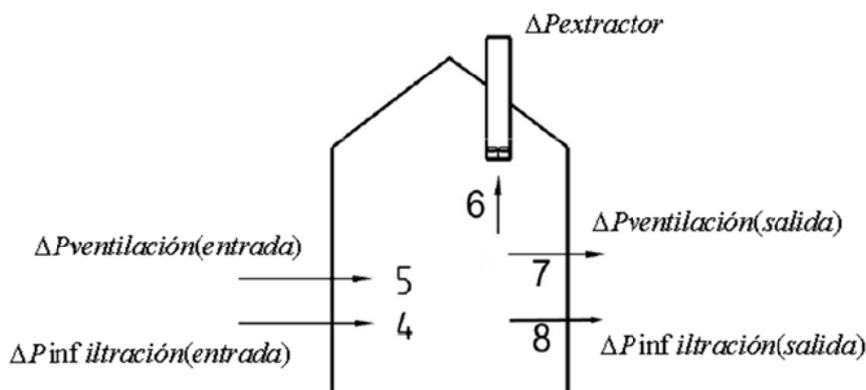


Ilustración 1. Esquema de presiones en el edificio en modelo básico. EEE1 Grupo Termotecnia

5.1 Hipótesis de cálculo en el modelo básico

Dado que se trata de un modelo, se han debido realizar algunas hipótesis que simplifican el cálculo de las presiones interiores y exteriores y por ende de los caudales de entrada y salida en el edificio. Las hipótesis se detallan a continuación:

- Se trata de un modelo unizona en presiones y unizona en caudales, por lo que se ha considerado que todo el edificio se comporta como una única zona. A la hora de

definir el edificio, mantendrá sus características geométricas en superficie exterior y volumen.

- Se considerará que para un edificio, la mitad de su superficie exterior (fachadas y cubierta) se sitúan a barlovento (expuesto al viento) y la otra mitad a sotavento (no expuesto al viento). Además, ambas superficies comparten las mismas características, tanto geométricas, manteniendo la misma superficie de opacos, de carpintería y módulo de rejillas, como de permeabilidad.
- Las rejillas se dimensionarán para dejar pasar todo el caudal de ventilación para un incremento de presión determinado, que por defecto se establece en 20 Pa.

5.2 Procedimiento de cálculo

El efecto de las infiltraciones está estrechamente relacionado con la sobrepresión generada por el viento y con la estanqueidad del edificio. Cuando el viento es nulo, el único gradiente de presiones que produce algún movimiento del aire es el generado por el extractor de ventilación, pero a medida que la velocidad del viento aumenta, el gradiente de presión también lo hace, produciendo las infiltraciones.

Para el cálculo de la tasa equivalente se calcularán dos caudales de entrada de aire al edificio a diferentes velocidades de viento: 0m/s (viento nulo) y 4m/s. El caudal equivalente de ventilación e infiltración será la media de ambos valores.

Para realizar un análisis conjunto de edificios con diferentes geometrías, el caudal resultante del sistema para cada caso, medido en m³/h, será convertido en la tasa equivalente de ventilación e infiltración (ACH) expresado en renovaciones hora, dividiéndolo por el volumen total del edificio.

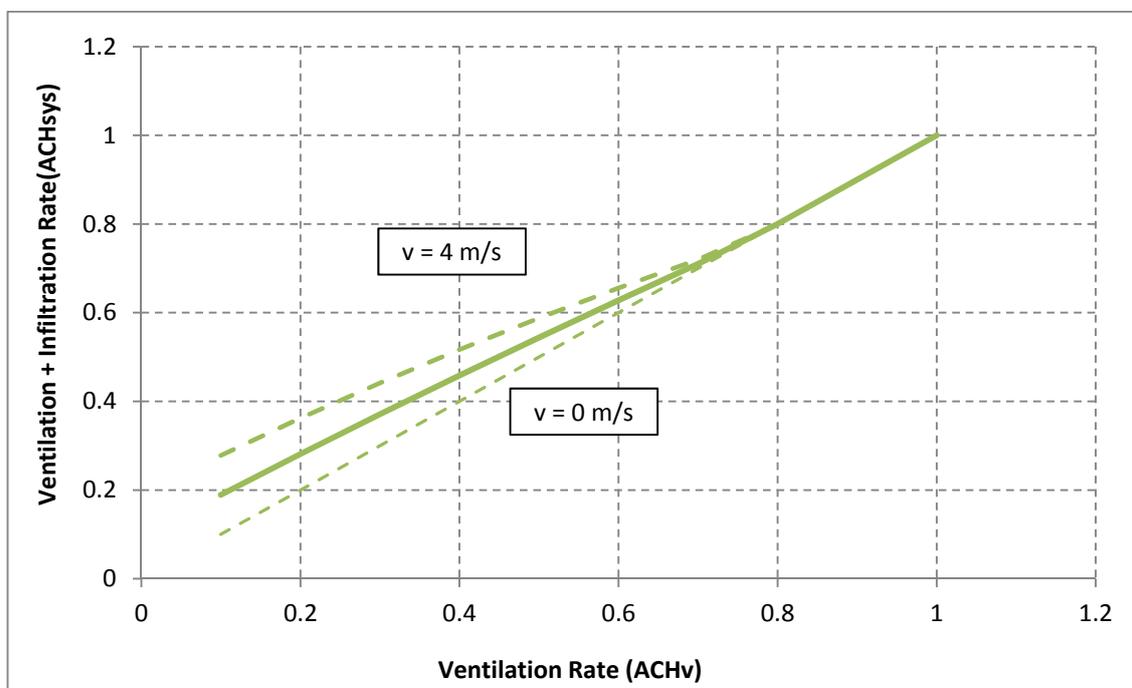


Ilustración 2. Gráfica ACHv-ACHsys para velocidad de viento a 0 y 4 m/s. Jose Manuel Salmerón Lissén

El nivel de infiltraciones que se producen en un edificio está muy relacionado con la estanqueidad del mismo. El parámetro que caracteriza el nivel de estanqueidad de un edificio es la permeabilidad global. Otro de los parámetros que influyen en la tasa equivalente es el tipo de elementos de aireación utilizado, que pueden variar tanto en su tipología, ya sean convencionales, autorregulables o antirretorno; así como en el criterio de dimensionado, ya que como se expuso en la sección de hipótesis, se dimensionarán de forma que dejen pasar todo el caudal de ventilación a una presión determinada.

5.2.1 Tasa de ventilación e infiltración a 0m/s (viento nulo)

En las condiciones en las que la velocidad del viento es nula, la única sobrepresión que se produce en el interior del edificio es la causada por el elemento de extracción, de tal forma que todo el aire que sale del edificio lo hace de forma controlada por la extracción.

Realizando el balance de caudales, la suma de caudales de aire que entran en el edificio, por opacos, ventanas y rejillas, es igual al caudal de aire que sale por la extracción, por lo que aunque parte del caudal de aire que accede al interior del edificio, por los defectos de opacos y ventanas, equivalen al caudal de aire que deja de entrar por las aberturas de ventilación.

$$q_{sys}(0m/s) = q_{ext}$$

5.2.2 Tasa de ventilación e infiltración a 4m/s

En el momento que existe viento que incide sobre la superficie exterior del edificio, la parte situada a barlovento sufre una sobrepresión y la situada a sotavento una depresión. Esta diferencia de presiones es la que genera los diferentes flujos de aire a través de los elementos de la envuelta, produciendo caudales de entrada de aire no controlado.

Por lo tanto, el primer paso para determinar los caudales de aire que se producen en las fachadas expuestas y no expuestas al viento, es calcular la presión producida por efecto de éste. La ecuación que determina estas presiones es la siguiente:

$$P = 0,5 * C_p * \rho * v^2$$

Siendo :

P : Presión debida al viento, en Pa

C_p : Coeficiente de presión

ρ : Densidad del aire, en kg/m³

v : Velocidad del viento, en m/s

El coeficiente de presión C_p , depende de la geometría del edificio y de la velocidad y dirección del viento entre otras variables, y toma valores diferentes en función de que la fachada sea considerada como expuesta o no expuesta al viento. Los diferentes valores que puede tomar esta variable aparecen tabulados en la norma UNE-EN 15242.2007 en la tabla A.3 "Presiones de viento adimensionales" que se incluye a continuación:

Parte de la fachada	Protección	C_p presiones del viento adimensionales				
		Barlovento C_{p1}	Sotavento C_{p2}	Tejado (dependiendo de la inclinación)		
				C_{p3}		
			< 10°	10° – 30°	> 30°	
Baja	abierta	+ 0,50	- 0,70	- 0,70	- 0,60	- 0,20
	normal	+ 0,25	- 0,50	- 0,60	- 0,50	- 0,20
	protegida	+ 0,05	- 0,30	- 0,50	- 0,40	- 0,20
Media	abierta	+ 0,65	- 0,70	- 0,70	- 0,60	- 0,20
	normal	+ 0,45	- 0,50	- 0,60	- 0,50	- 0,20
	protegida	+ 0,25	- 0,30	- 0,50	- 0,40	- 0,20
alta	abierta	+ 0,80	- 0,70	- 0,70	- 0,60	- 0,20

Tabla 2. Presiones de viento adimensionales. UNE-EN 15242.2007 Tabla A.3

En el caso del método básico, se han considerado los valores de C_p de +0,25 en la fachada expuesta y de -0,50 en la no expuesta, pertenecientes a una fachada baja con protección normal.

No basta con conocer las presiones en cada una de las fachadas, ya que los flujos de aire que pasan a través de éstas dependen de la diferencia de presión entre el interior y el exterior del edificio. Para determinar los gradientes de presiones que se generan entre el lado expuesto y no expuesto y el interior del edificio, se plantea un sistema de ecuaciones, resuelto de forma iterativa con lo que se consigue calcular la presión en el interior del edificio, y en consecuencia los incrementos de presiones que se generan en ambas fachadas. El sistema de ecuaciones es el siguiente:

- Cálculo de presiones por efecto del viento en fachadas, siendo 1 la fachada expuesta y 2 la no expuesta:

$$P1 = 0,5 * C_{p1} * \rho * v^2$$

$$P2 = 0,5 * C_{p2} * \rho * v^2$$

- Diferencial de presiones entre la presión exterior e interior en ambas fachadas, siendo P_{int} la presión en el interior del edificio:

$$\Delta P1 = P1 - P_{int}$$

$$\Delta P2 = P2 - P_{int}$$

- Caudales de aire que pasan a través de cada uno de los elementos que forman la envolvente (opacos, ventanas y rejillas) en ambas fachadas. El parámetro C , como se indicó con anterioridad, hace referencia al coeficiente de caudal normalizado para cada elemento a 1Pa.
 - o Caudal que pasa a través de los elementos opacos:

$$q_{op1} = C_{op} * (\Delta P1)^{n_{op}} \rightarrow q_{op1} = Perm_{op} * \frac{A_{op}}{2} * (\Delta P1)^{0,67}$$

$$q_{op2} = C_{op} * (\Delta P2)^{n_{op}} \rightarrow q_{op2} = Perm_{op} * \frac{A_{op}}{2} * (\Delta P2)^{0,67}$$

- Caudal que pasa a través de las carpinterías (ventanas y puertas):

$$q_{ven1} = C_{ven} * (\Delta P1)^{n_{ven}} \rightarrow q_{ven1} = Perm_{ven} * \frac{A_{ven}}{2} * (\Delta P1)^{0,67}$$

$$q_{ven2} = C_{ven} * (\Delta P2)^{n_{ven}} \rightarrow q_{ven2} = Perm_{ven} * \frac{A_{ven}}{2} * (\Delta P2)^{0,67}$$

Las variables referentes a la permeabilidad de opacos y de ventanas, así como la superficie de elementos opacos y de ventanas son conocidas. Como se puede apreciar en las ecuaciones anteriores, la superficie de ventanas y opacos se reparten entre ambas fachadas.

- Caudal que pasa a través de las aberturas de ventilación:

$$q_{rej1} = C_{rej} * (\Delta P1)^{0,5} \rightarrow q_{rej1} = \frac{q_{ext}}{2} * \left(\frac{\Delta P1}{Pdim_{rej}} \right)^{0,5}$$

$$q_{rej2} = C_{rej} * (\Delta P2)^{0,5} \rightarrow q_{rej2} = \frac{q_{ext}}{2} * \left(\frac{\Delta P2}{Pdim_{rej}} \right)^{0,5}$$

Dado que el criterio del dimensionado de las rejillas puede variar, se ha añadido el parámetro Pdim_rej, cuya influencia se explica en capítulos posteriores.

- Balance final de caudales igualando los caudales de entrada y de salida:

$$q_{ext} = q_{op1} + q_{ven1} + q_{rej1} + q_{op2} + q_{ven2} + q_{rej2}$$

Planteando el sistema de ecuaciones, se resuelve el sistema y se obtienen los valores de presiones y caudales. El caudal final del sistema puede calcularse con la siguiente expresión, y hace referencia al caudal total de aire que entra o sale del edificio:

$$q_{sys}(4 \text{ m/s}) = \frac{|q_{op1}| + |q_{ven1}| + |q_{rej1}| + |q_{op2}| + |q_{ven2}| + |q_{rej2}| + q_{ext}}{2}$$

5.2.3 Tasa equivalente de ventilación e infiltración

Calculados el caudal total del sistema en condiciones de viento nulo y viento a 4m/s, la tasa equivalente se define como el valor medio de ambos valores:

$$\overline{q_{sys}} = \frac{q_{sys}(0 \text{ m/s}) + q_{sys}(4 \text{ m/s})}{2} (m^3/h) \rightarrow \overline{ACH}_{sys} = \frac{\overline{q_{sys}}}{Vol} (ren/h)$$

En el Anexo II se indica el código utilizado para modelar las ecuaciones con el software de cálculo EES. Siendo este el procedimiento de cálculo realizado en el modelo básico, los datos que se le solicitan al usuario son:

- Características geométricas del edificio, incluyendo el volumen interior, la superficie total de transferencia exterior (fachadas y cubierta) incluyendo la superficie de ventanas.
- Datos de permeabilidad de los elementos opacos y de ventanas, con la posibilidad de aportar directamente el valor de la permeabilidad global del edificio.
- Caudal de ventilación mínimo según DB HS3.
- Criterio de dimensionado de las aberturas de ventilación, que por defecto se establece que dejen pasar todo el caudal de ventilación para una presión de 20 Pa.

Finalmente, desarrollando las ecuaciones con una herramienta de cálculo, se consiguen los valores de la tasa de ventilación e infiltración para un viento a 4 m/s en función de la tasa de ventilación y de la permeabilidad global del edificio. Los valores tabulados se han agrupado para conseguir la siguiente gráfica:

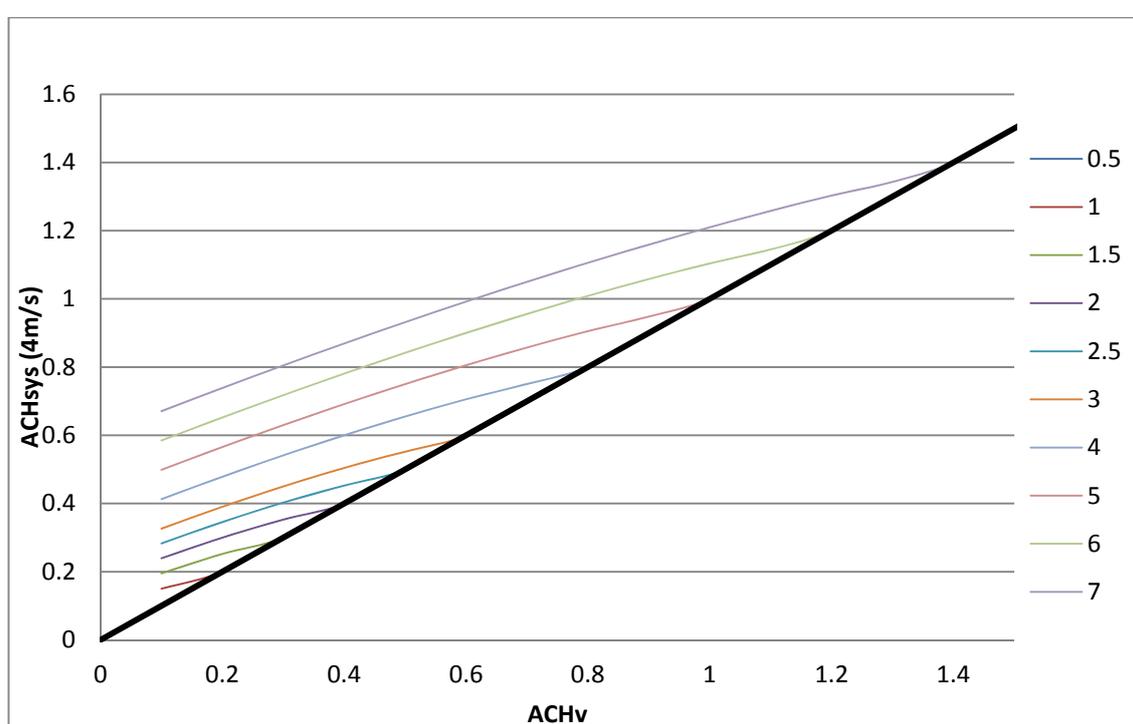


Ilustración 3. Tasa equivalente de ventilación e infiltración a 4m/s

Como se puede comprobar en las ecuaciones anteriores y en la gráfica, el caudal del sistema está directamente relacionado con la permeabilidad de los elementos que componen la envolvente del edificio. En la próxima sección se indicará el efecto que tiene el parámetro de la permeabilidad global y el método para calcularlo, así como el efecto que tiene sobre la tasa equivalente de ventilación e infiltración el uso de diferentes tipos de rejillas y tecnologías de ventilación.

5.3 Estanqueidad del edificio. Permeabilidad global a 50Pa (n50)

El parámetro que determina la estanqueidad del edificio es su permeabilidad global. En concreto el parámetro n50 indica la permeabilidad del edificio determinando el caudal de aire infiltrado, en renovaciones hora (1/h), para un incremento de presión de 50Pa. Este parámetro está directamente relacionado con la estanqueidad proporcionada por los elementos de la envuelta, de tal forma que a medida que empeora la calidad constructiva de

los elementos opacos o de las ventanas, aumenta la permeabilidad de los mismos y por consiguiente el valor de las infiltraciones.

La permeabilidad del edificio a 50Pa (n_{50}) puede ser calculada experimentalmente mediante el método de la puerta soplante (Blower Door), según se indica en la norma UNE-EN 13829.2002 “*Determinación de la estanqueidad al aire en edificios con método de presurización por medio del ventilador*”. En el método B de ésta norma, se explica el procedimiento a llevar a cabo que consiste en cerrar todas las aberturas de ventilación y mantener las puertas interiores abiertas para buscar una presión interior uniforme, considerando el edificio como una sola zona. A continuación, se procede colocando un ventilador en alguna de las ventanas o puertas que produzca una depresión de 50 Pa lo que produce una entrada de aire desde el exterior, que solo puede acceder por los defectos de permeabilidad de los elementos que conforman la envuelta. Midiendo el caudal de aire de salida se puede determinar la permeabilidad global del edificio a 50 Pa.

Por otro lado, en el caso de no conocer el valor experimental n_{50} de un edificio, existe una expresión matemática que permite la estimación de este valor de forma analítica. Esta expresión que permite el cálculo de la permeabilidad global del edificio a 50Pa es la siguiente:

$$n_{50} = Perm_{opaco} \left(\frac{50}{Pdim_{op}} \right)^{0,67} \frac{A_{op}}{Vol} + Perm_{ven} \left(\frac{50}{Pdim_{ven}} \right)^{0,67} \frac{A_{ven}}{Vol}$$

Se ha optado por utilizar valores de permeabilidad de opacos referidos a 4Pa y permeabilidad de ventanas a 100Pa para comparar los valores en las mismas unidades que aparecen en la normativa:

$$n_{50} = Perm_{opaco_4Pa} \left(\frac{50}{4} \right)^{0,67} \frac{A_{op}}{Vol} + Perm_{ventana_100Pa} \left(\frac{50}{100} \right)^{0,67} \frac{A_{ven}}{Vol}$$

Siendo:

n_{50} : Permeabilidad global del edificio a una sobrepresión interior de 50Pa, en ren/h

$Perm_{opaco_4Pa}$: Permeabilidad de los elementos opacos de la envuelta a 4Pa, en m³/hm²

$Perm_{ventana_100Pa}$: Permeabilidad de las ventanas a 100Pa, en m³/hm²

A_{op} : Superficie total de elementos opacos en contacto con el exterior, en m²

A_{ven} : Superficie total de ventanas (incluyendo puertas), en m²

Vol : Volumen total del edificio, en m³

Como se aprecia, en la expresión aparecen los términos referentes a la permeabilidad al aire de los elementos opacos de la envuelta y a la permeabilidad al aire de las ventanas, que en definitiva no dejan de hacer referencia a la calidad constructiva de los elementos de la envuelta. Además aparecen términos que hacen referencia a la geometría del edificio, como superficie exterior de opacos, superficie de ventanas y volumen. Todas estas variables influyen en la calidad estanca del edificio.

5.3.1 Permeabilidad de opacos

En la norma UNE-EN 15242.2007 “Métodos de cálculo para la determinación de las tasas de los caudales de aire en edificios, incluyendo la infiltración” aparecen valores típicos correspondientes a las fugas, diferenciando entre niveles de fugas y tipos de edificios. A continuación se muestran los valores indicados:

		m ³ /h por m ² de envolvente exterior (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

Tabla 3. Ejemplo de las características de las fugas. UNE-EN 15242.2007 Tabla B.1

Aunque los valores de 0.5, 1 y 2 m³/hm² a 4Pa son meramente orientativos, hemos optado por conservarlos para el desarrollo de las tablas de cálculo de la permeabilidad global n50, usadas en el caso de que no se disponga del valor experimental.

5.3.2 Permeabilidad de ventanas

Según la norma UNE-EN 12207, se clasifican las ventanas en diferentes niveles en función de la cantidad de aire que las atraviesa en una posición cerrada debido a un diferencial de presiones. Se clasifica la ventana según clase 0, 1, 2, 3 o 4 siendo la 4 la más estanca.

En la tabla siguiente se visualiza la relación entre las clases según la norma:

Clase	Permeabilidad al aire de referencia a 100 Pa m ³ / h · m ²	Presión máxima de ensayo Pa
0	No ensayada	
1	50	150
2	27	300
3	9	600
4	3	600

Tabla 4. Permeabilidades al aire de referencia a 100 Pa y presiones máximas de ensayo. UNE-EN 12207 Tabla 1

5.3.3 Relación de Aspecto

Una característica interesante es la posibilidad de comparar la permeabilidad de varios edificios con diferente geometría. Para conseguirlo, se ha definido otra variable calificada

como Relación de Aspecto, y que es la relación entre la superficie total exterior del edificio (fachadas, ventanas y cubierta) y su volumen.

$$R. A. = \frac{A_{expuesta}(m^2)}{Vol(m^3)} = (m^2/m^3)$$

Como se ha indicado anteriormente, el parámetro que determina la estanqueidad del edificio, y en consecuencia el nivel de infiltraciones que se generarán en el edificio por el efecto del viento, es el de la Permeabilidad global (n50), que es función de la permeabilidad de los elementos de la envuelta (opacos y ventanas) y de su geometría (relación de aspecto).

A partir de la expresión analítica, se han desarrollado varias tablas que permiten determinar de forma aproximada el valor de la permeabilidad global de cualquier edificio en función de la Relación de Aspecto, de la permeabilidad de opacos y de ventanas, y del porcentaje de huecos sobre el total de la superficie exterior del edificio, y se indican a continuación:

- Para opacos con nivel de fugas bajo y una permeabilidad a 4 Pa de 0,5 m3/hm2:

Relación de aspecto	0.2 m3/m2 (5 m3/m2)			0.4 m3/m2 (2.5 m3/m2)			0.8 m3/m2 (1.25 m3/m2)		
Perm. Ventanas 100 Pa (m3/hm2)	0.05 (%)	0.15 (%)	0.25 (%)	0.05 (%)	0.15 (%)	0.25 (%)	0.05 (%)	0.15 (%)	0.25 (%)
3	0.5	0.5	0.5	1.1	1.0	1.0	2.1	2.1	2.0
9	0.6	0.6	0.7	1.1	1.3	1.4	2.3	2.5	2.8
27	0.7	1.0	1.3	1.4	1.9	2.5	2.7	3.9	5.0
50	0.8	1.4	2.0	1.7	2.8	4.0	3.3	5.6	7.9

- Para opacos con nivel de fugas medio y una permeabilidad a 4 Pa de 1 m3/hm2:

Relación de aspecto	0.2 m3/m2 (5 m3/m2)			0.4 m3/m2 (2.5 m3/m2)			0.8 m3/m2 (1.25 m3/m2)		
Perm. Ventanas 100 Pa (m3/hm2)	0.05 (%)	0.15 (%)	0.25 (%)	0.05 (%)	0.15 (%)	0.25 (%)	0.05 (%)	0.15 (%)	0.25 (%)
3	1.1	1.0	0.9	2.1	2.0	1.8	4.2	3.9	3.6
9	1.1	1.1	1.1	2.2	2.2	2.2	4.4	4.4	4.4
27	1.2	1.4	1.7	2.4	2.9	3.3	4.8	5.7	6.7
50	1.3	1.9	2.4	2.7	3.7	4.8	5.4	7.5	9.5

- Para opacos con nivel de fugas alto y una permeabilidad a 4 Pa de 2 m3/hm2:

Relación de aspecto	0.2 m3/m2 (5 m3/m2)			0.4 m3/m2 (2.5 m3/m2)			0.8 m3/m2 (1.25 m3/m2)		
Perm. Ventanas 100 Pa (m3/hm2)	0.05 (%)	0.15 (%)	0.25 (%)	0.05 (%)	0.15 (%)	0.25 (%)	0.05 (%)	0.15 (%)	0.25 (%)
3	2.1	1.9	1.7	4.2	3.8	3.4	8.3	7.6	6.9
9	2.1	2.0	1.9	4.2	4.0	3.8	8.5	8.1	7.6
27	2.2	2.4	2.5	4.5	4.7	5.0	8.9	9.4	9.9
50	2.4	2.8	3.2	4.8	5.6	6.4	9.5	11.2	12.8

Tabla 5. Tablas para determinar la permeabilidad global del edificio n50 en función de la relación de aspecto.

En el caso de no encontrar una tabla para el valor de Relación de Aspecto deseado, se entraría en las tablas con los valores superior e inferior y se interpolarían los resultados.

5.4 Aireadores. Variables en el diseño de rejillas

5.4.1 Calidad de rejillas

Se han evaluado 3 tipos de rejillas en el modelo básico, analizando el comportamiento de cada una de ellas para condiciones con diferentes gradientes de presión:

- Rejillas convencionales: en este tipo de rejillas el caudal aumenta en progresión logarítmica a medida que aumenta el gradiente de presiones entre el interior y el exterior del edificio. Se caracterizan con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta P \leq 0 \rightarrow q_{rejilla} = c_{20} * \left(\frac{-\Delta P}{20}\right)^{0.5} ; \quad \Delta P > 0 \rightarrow q_{rejilla} = c_{20} * \left(\frac{\Delta P}{20}\right)^{0.5}$$

Se cumple una de las hipótesis de diseño, ya que cuando el gradiente de presión (ΔP) alcanza un valor de 20 Pa, el caudal de aire que pasa por la rejilla es el caudal de ventilación.

- Rejillas autorregulables: estas rejillas tienen el mismo comportamiento que las rejillas convencionales hasta una presión de 20Pa, para un gradiente de presiones superior mantienen el caudal de aire constante y para presiones superiores a 100Pa, el caudal vuelve a crecer de forma logarítmica con la presión:

$$\Delta P \leq 0 \rightarrow q_{rejilla} = c_{20} * \left(\frac{-\Delta P}{20}\right)^{0.5} ; \quad 0 < \Delta P \leq 20 \rightarrow q_{rejilla} = c_{20} * \left(\frac{\Delta P}{20}\right)^{0.5}$$

$$20 < \Delta P \leq 100 \rightarrow q_{rejilla} = c_{20} ; \quad \Delta P > 100 \rightarrow q_{rejilla} = c_{20} * \left(\frac{\Delta P}{100}\right)^{0.5}$$

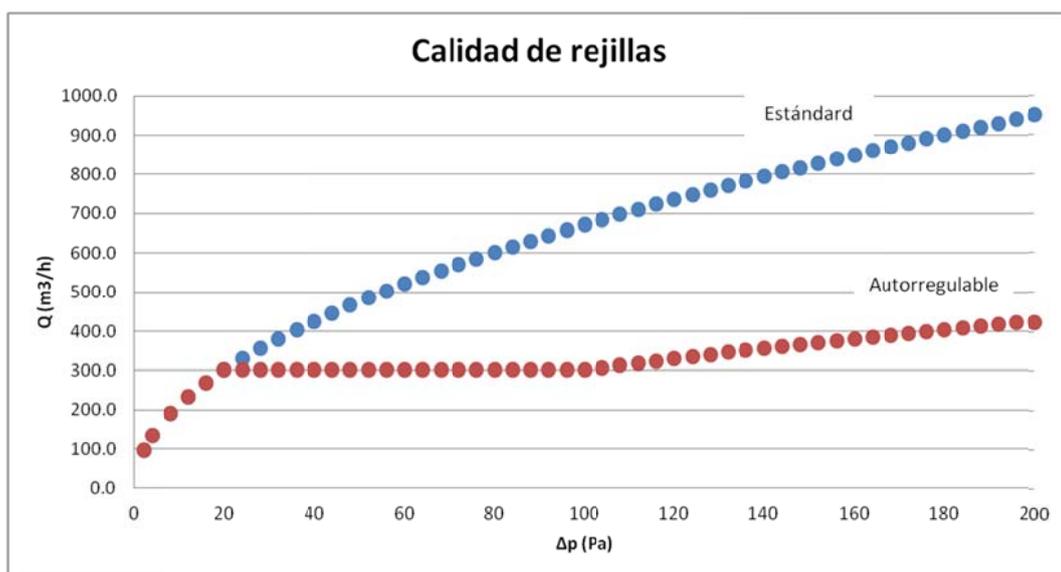


Ilustración 4. Comportamiento de rejilla según el tipo convencional o autorregulable.

- Rejillas antiretorno: la peculiaridad de este tipo de rejillas es que en el caso de que existan gradientes de presiones negativas, que se producen cuando la presión interior del edificio es superior a la exterior, reducen el caudal de paso a la mitad:

$$\Delta P \leq 0 \rightarrow q_{rejilla} = \frac{c_{20}}{2} * \left(\frac{-\Delta P}{20}\right)^{0.5} ; \quad 0 < \Delta P \leq 20 \rightarrow q_{rejilla} = c_{20} * \left(\frac{\Delta P}{20}\right)^{0.5}$$

$$20 < \Delta P \leq 100 \rightarrow q_{rejilla} = c_{20} ; \quad \Delta P > 100 \rightarrow q_{rejilla} = c_{20} * \left(\frac{\Delta P}{100}\right)^{0.5}$$

Se ha analizado el comportamiento de cada una de las rejillas en diferentes simulaciones y se ha comprobado como las diferencias entre el comportamiento de las rejillas para los casos de gradientes de presión producida por viento a 4 m/s son mínimas. Esto se explica por el hecho de que a esta velocidad de viento se obtienen gradientes de presión insuficientes para propiciar el diferente comportamiento de cada rejilla.

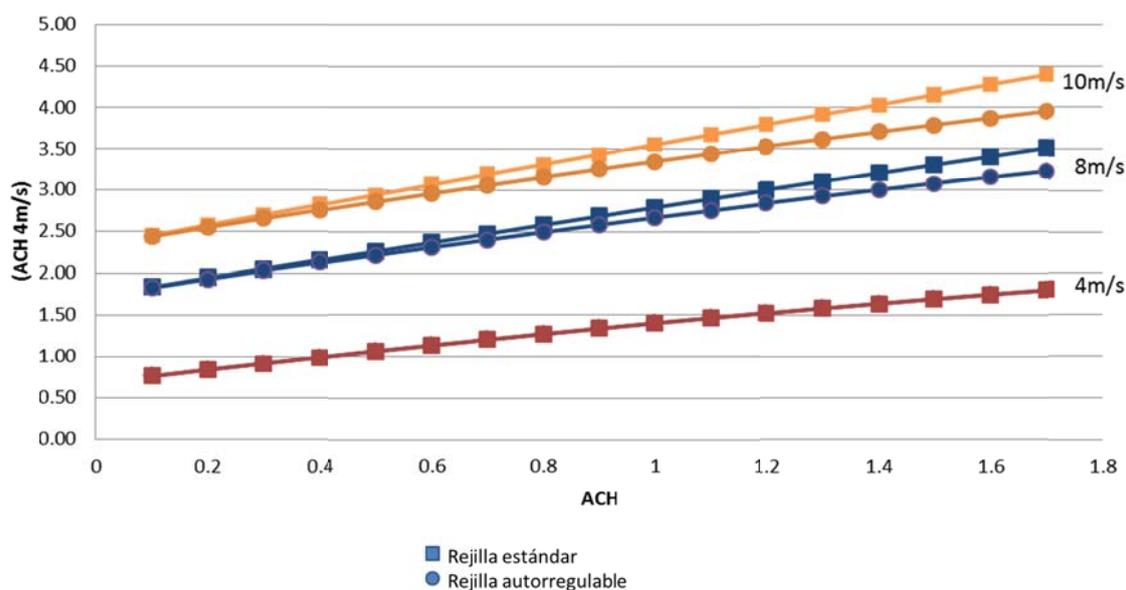


Ilustración 5. Comportamiento del tipo de rejilla en función de la velocidad del viento

En el caso de velocidades de viento superiores, se producen gradientes de presión mayores, lo que si conlleva diferencias entre el comportamiento de cada rejilla.

5.4.2 Criterio de dimensionado de la rejilla.

Como se comentó en los apartados anteriores, una de las hipótesis del modelo era que las rejillas se dimensionarían para dejar pasar todo el caudal de ventilación a una presión determinada. El criterio de elección de esta presión determina el tamaño de la rejilla. En el caso de elegir un criterio de diseño a 20Pa se conseguiría una rejilla con módulo superior al que se conseguiría con un criterio de diseño a 50Pa.

$$a\ 20\ Pa \rightarrow q_{rejilla} = q_{ext} * \left(\frac{\Delta P}{20}\right)^{0,5} \quad ; \quad a\ 50\ Pa \rightarrow q_{rejilla} = q_{ext} * \left(\frac{\Delta P}{50}\right)^{0,5}$$

Se ha vuelto a analizar el comportamiento de ambos criterios de diseño en varias simulaciones y se han conseguido resultados que confirman lo anteriormente expuesto. A medida que se elige un criterio de dimensionado con presiones superiores, se consiguen rejillas de menor tamaño, lo que conlleva el paso de menor caudal.

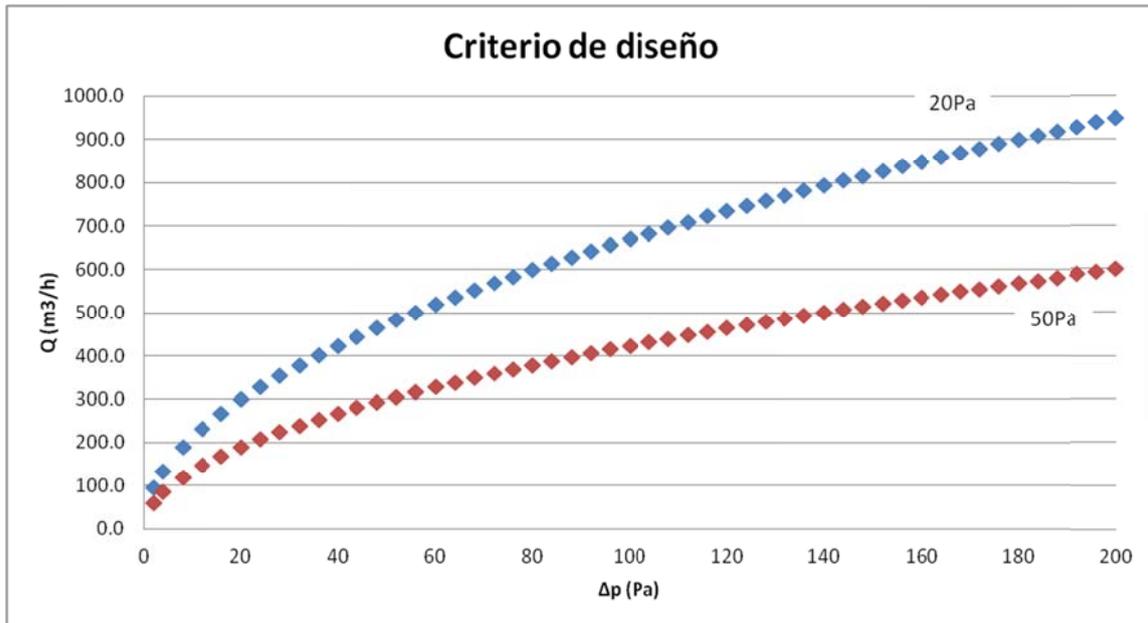


Ilustración 6. Comportamiento rejilla según el criterio de dimensionado

5.5 Tecnologías de ventilación

El motivo de utilizar diferentes tecnologías de ventilación es adaptar el caudal de aire que se introduce en el edificio a las necesidades reales de ocupación en cada momento. Para conseguirlo se han definido diferentes tecnologías con las siguientes características:

- Tecnología base: caudal de ventilación constante mediante un extractor operando 24 horas.
- Tecnología 1: sistema de extracción controlado mediante sensores de humedad y dióxido de carbono (CO₂), o por detectores de presencia.
- Tecnología 2: sistema de extracción controlado mediante sensores de dióxido de carbono en las habitaciones principales combinados con sistemas de extracción controlados por CO₂ y humedad situados en los cuartos de baño.
- Tecnología 3: sistema de ventilación con precalentamiento del aire de entrada, lo que implica que tanto la extracción como la impulsión sean mecánicas. El sistema de control está basado en presencia y se instala en todas las habitaciones del edificio.

A medida que se utiliza una tecnología de mayor grado de aproximación, se reduce la tasa de ventilación del edificio. Sin embargo, dado que el procedimiento de cálculo del modelo simplificado no es horario, la única forma de implementar estas tecnologías en este modelo es mediante la reducción del caudal mínimo de extracción de forma equivalente al comportamiento de cada tecnología. La reducción de las ACH de ventilación conlleva una reducción del nivel de infiltraciones, como se explicará en puntos posteriores.

5.6 Ejemplo de cálculo de las ACH equivalentes con el modelo básico

Después de la descripción del proceso de cálculo, hipótesis y de las diferentes variables que existen en el modelo básico, se va a ilustrar la simulación paso a paso de una vivienda con el modelo simplificado. Se trata de una vivienda unifamiliar aislada con la siguiente geometría:

- Superficie exterior: 312 m²
- Volumen: 504 m³
- Permeabilidad de opacos: 2 m³/hm² a 4Pa
- Permeabilidad de ventanas: 27 m³/hm² a 100Pa
- Porcentaje acristalado: 10%

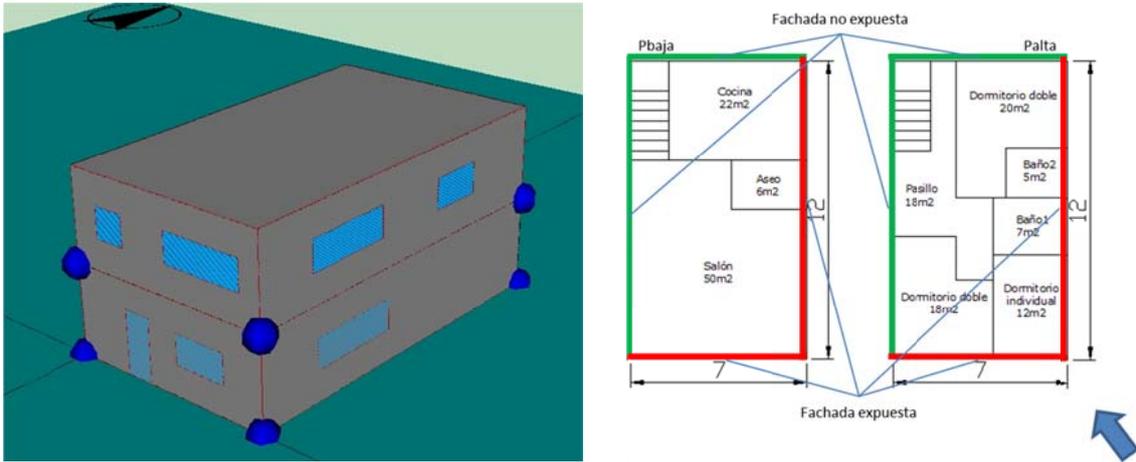


Ilustración 7. Vivienda y distribución interior. Ejemplo de cálculo de la ACH equivalente en el modelo simplificado

En primer lugar se determina la tasa de ventilación. Para ello hay que calcular los caudales mínimos exigidos en por el CTE DB-HS3 en la *Tabla 2.1. Caudales de ventilación mínimos exigidos*. Conocido el caudal mínimo de ventilación en l/s, se consigue la tasa de ventilación en renovaciones hora de forma directa.

Caudal de extracción	
Baño 1	15 l/s
Baño 2	15 l/s
Aseo	15 l/s
Cocina	44 l/s
TOTAL	89 l/s

Caudal de admisión	
Dormitorio simple	5 l/s
Dormitorio doble	10 l/s
Dormitorio doble	10 l/s
Salon	15 l/s
TOTAL	40 l/s

$$Q_{vent} = 89 \text{ l/s} = 320 \text{ m}^3/\text{h} \leftrightarrow ACH = Q_{vent}/V_{ol} = 0.65 \text{ ren/h}$$

Por otro lado, dado que en este caso no conocemos el valor de la permeabilidad global de la vivienda, usamos las características geométricas del edificio y la permeabilidad de los elementos de la envolvente para estimar este valor.

$$R.A. = \frac{Sup_{exterior}}{Volumen} = \frac{312}{504} = 0,62 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Relación Aspecto	0.6 m2/m3	% Acrilado								
Perm_ventana 100Pa (m ³ /hm ²)	Perm_envolvente 4Pa (m ³ /hm ²)	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
		9	0.5	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3
1	3.3		3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
2	6.2		6.0	5.9	5.7	5.6	5.4	5.3	5.1	5.0
27	0.5	2.5	2.9	3.3	3.8	4.2	4.6	5.1	5.5	5.9
	1	4.0	4.3	4.6	5.0	5.3	5.7	6.0	6.4	6.7
	2	6.9	7.1	7.3	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.4
50	0.5	3.4	4.2	5.1	5.9	6.8	7.7	8.5	9.4	10.2
	1	4.8	5.6	6.4	7.2	7.9	8.7	9.5	10.3	11.1
	2	7.8	8.4	9.0	9.6	10.2	10.8	11.5	12.1	12.7

Tabla 6. Tabla permeabilidad global del edificio n50, para una relación de aspecto de 0.60 m2/m3

El valor aproximado de la permeabilidad global de la vivienda es de 7 l/h. Con éste valor y el de la tasa de ventilación se entra en la gráfica correspondiente para calcular la tasa equivalente para una velocidad de viento de 4m/s. Con este valor se puede calcular la tasa equivalente de ventilación e infiltración como la media a 4 y 0 m/s.

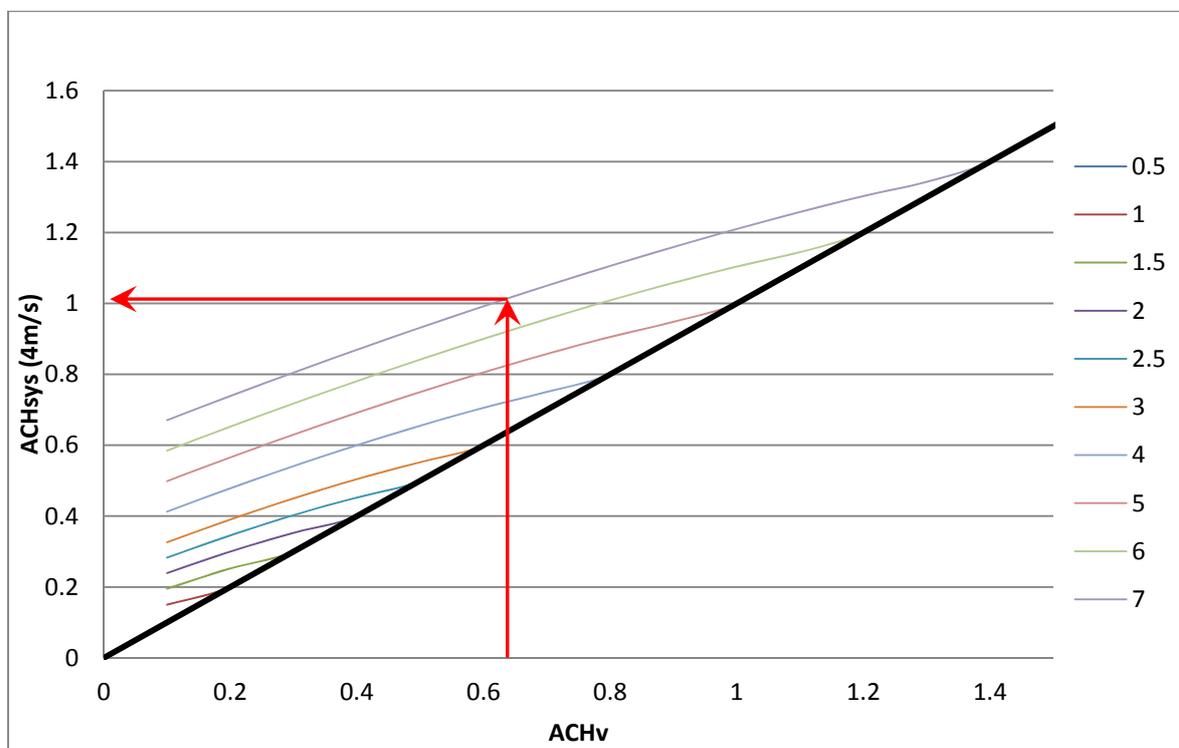


Ilustración 8. Tasa equivalente de ventilación e infiltración a 4m/s

$$\overline{ACH}_{sys} = \frac{ACH_{sys}(0m/s) + ACH_{sys}(4m/s)}{2} = \frac{0,65 + 1,00}{2} = 0,83 \text{ ren/h}$$

Para reducir la tasa equivalente de ventilación e infiltración se puede optar por dos métodos: por un lado reducir la permeabilidad global del edificio (n50), mejorando la calidad de los elementos que componen la envolvente, lo que permite moverse por el eje de ordenadas de la gráfica; y por otro reducir el caudal de ventilación, adaptando las necesidades de ventilación a la ocupación real del edificio, mediante el uso de diferentes tecnologías de ventilación, moviéndonos en el eje de abscisas de la gráfica. Teniendo en cuenta que el efecto de la reducción de la permeabilidad global del edificio tiene un efecto límite, hasta el momento de cruce con la diagonal. Por lo tanto el uso de diferentes tecnologías está asociado a un valor óptimo de la permeabilidad global del edificio.