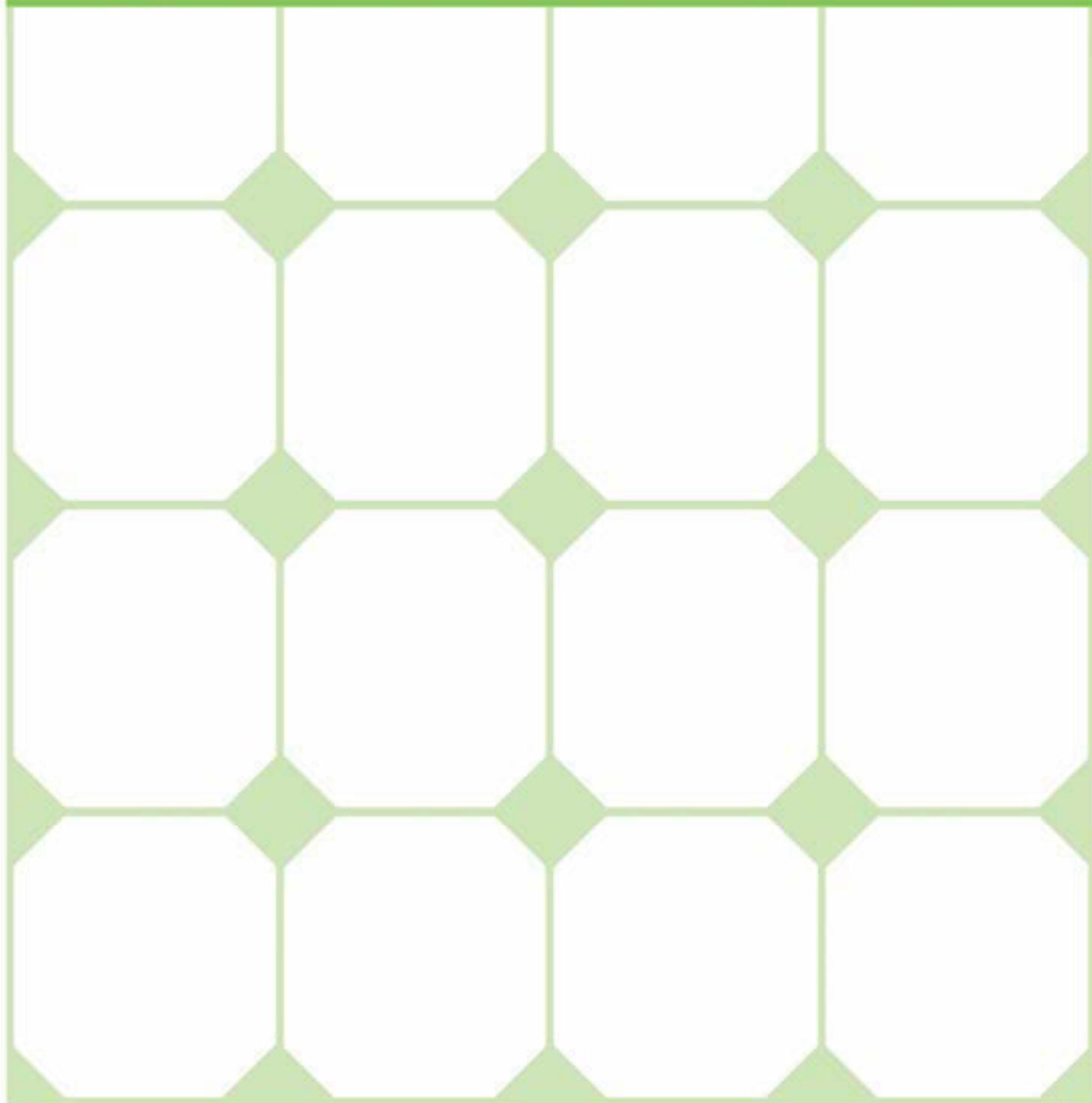


CONSTRUYE  
2020



Eficiencia energética  
en edificios. Volumen II



El presente proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación (comunicación) es responsabilidad exclusiva de su autor. La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.

1ª edición: junio 2015

© Óscar Redondo Rivera  
© Fundación Laboral de la Construcción  
© Tornapunta Ediciones

ESPAÑA

Edita:

Tornapunta Ediciones

C/ Rivas, 25

28052 Madrid

Tel.: 900 11 21 21

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

Depósito Legal: 19839-2015

# Índice

---

- 2. La eficiencia energética en el proyecto de construcción.....5
- 3. La eficiencia energética en la ejecución de la obra..... 15



## UNIDAD 2

# La eficiencia energética en el proyecto de construcción

### ÍNDICE

1. Parámetros de eficiencia energética en el proyecto de construcción
2. Evaluación de soluciones alternativas

### Resumen



#### Objetivo

- Conocer los documentos principales del proyecto, con el fin de localizar la información relativa a los elementos que se van a instalar y ejecutar y comprobar que su calidad térmica se corresponde con lo especificado en el proyecto.
- Comprender cómo se produce el fenómeno de transferencia del calor a través de los elementos multicapa.
- Conocer el comportamiento térmico de elementos semitransparentes del edificio.
- Alcanzar un mejor conocimiento de influencia del Sol en el comportamiento energético del edificio con el fin de comprender la importancia de los elementos para su control en verano y aprovechamiento en invierno.

## 1. PARÁMETROS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

Como hemos podido comprobar modificar los materiales con los que el edificio ha sido proyectado o el sistema constructivo previsto, puede alterar de forma considerable la previsión de consumo de energía y con ello la calificación energética que se alcance al finalizar la obra.

No se trata de no realizar cambios en el proyecto, sino de controlarlos y asegurarse que corresponden a la calidad térmica proyectada, lo cual podemos comprobar analizando los datos que contengan tres de los documentos principales del proyecto:

### - Memoria de proyecto

Sobre todo los apartados de memoria constructiva y cumplimiento del CTE-HE1, en los que se reflejarán los sistemas y materiales previstos en la obra y sus características (conductividad, espesor, disposición en obra, etc.).

### - Planos de proyecto

Reflejará de forma gráfica lo expuesto en la memoria, ampliando información sobre los detalles constructivos y la forma de instalación en obra.

### - Pliego de condiciones

Establece cómo debe recepcionarse un material, qué ensayos son necesarios y qué datos y certificados debe contener la ficha técnica que establezca sus propiedades.

El proyecto arquitectónico está compuesto por una gran cantidad de documentación, y si bien sería deseable que no entrara en contradicciones o que definiera por completo todas las partidas a ejecutar, lo cierto es que resulta frecuente encontrarse con situaciones que, o bien no quedan aclaradas o reciben respuestas dispares según qué documento de proyecto se esté analizando.

En estos casos recordar que la interpretación del proyecto recae únicamente en la Dirección de Obra, que es por lo tanto la que debe resolver estos conflictos o aportar la documentación que sea precisa para la buena marcha de la obra.

Recalcar que entre los documentos citados no se encuentra el presupuesto, ya que su misión debe ser establecer el coste de la obra proyectada, pero en ningún caso condicionar su calidad.

## 2. EVALUACIÓN DE SOLUCIONES ALTERNATIVAS

### 2.1 Transferencia del calor en elementos multicapa

Mientras que las fachadas de los edificios antiguos presentaban un solo material en grandes espesores, en la actualidad lo habitual es encontrarnos con fachadas compuestas de varias capas: la exterior que aporta rigidez y asegura la impermeabilidad del cerramiento y un elemento intermedio encargado del control térmico y una capa interior de acabado.

En las cubiertas la evolución es similar desde las tradicionales cubriciones de teja cerámica sobre tabiques palomeros o vigas de madera a las actuales, generalmente sobre forjados planos con varias capas especializadas (pendiente, impermeabilización, aislamiento, etc.).

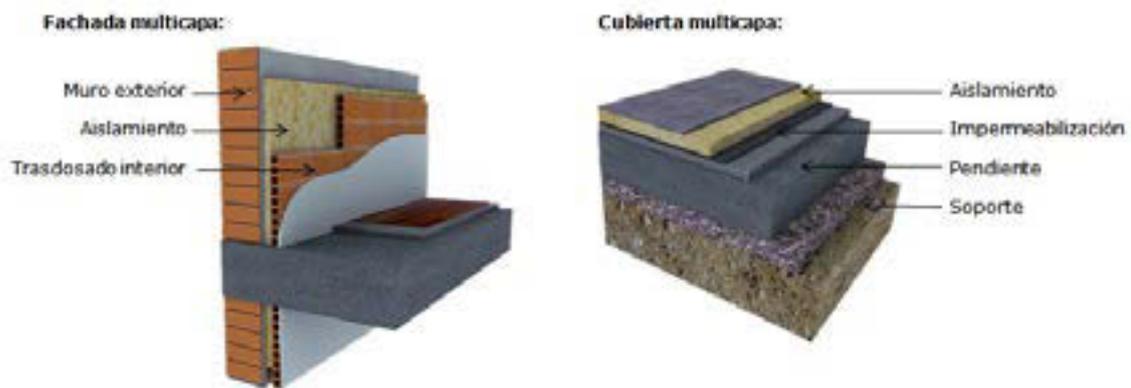


Figura 1. Fachadas y cubiertas multicapa

Las características térmicas de un elemento complejo como los descritos no es más que la suma de las prestaciones de todas sus capas, incluidas la superficie interior y exterior. Expresado en términos de resistencia térmica:

$$Rm(m^2K/W) = Rse + \sum \frac{e}{\lambda} + Rsi \quad ; \quad Um(W/m^2K) = \frac{1}{Rm}$$

Donde  $\sum \frac{e}{\lambda}$  representa la suma de las resistencias parciales de cada capa del elemento.



### Ejemplo

#### Ejemplo de cálculo 2

Calcular la transmitancia  $U_m$  ( $W/m^2K$ ) que caracteriza la fachada de un edificio, compuesto por las siguientes capas (de exterior a interior):

- ½ pie de ladrillo perforado de 7 cm de altura.
- Revoco de mortero de cemento de alta densidad ( $1800 < d < 2000$ ) de 1,5 cm.
- Aislante térmico mediante 4 cm de poliuretano proyectado (PUR 0,035).
- Cámara de aire sin ventilar de 2 cm.
- Trasdoso fábrica ladrillo hueco sencillo gran formato (4 cm).
- Guarnecido y enlucido interior de 1,5 cm.

#### Datos iniciales

Las propiedades de conducción de los materiales las obtendremos de los catálogos del fabricante:

	Conductividad de los materiales
1/2 pie LP métrico o catalán 60 mm < G < 80 mm	0,567 W/m K
Mortero de cemento revoco/enlucido 1800 < d < 2000	1,300 W/m K
PUR Proyección con CO <sub>2</sub> celda cerrada 0.035 W/mK	0,035 W/m K
Tabique de LH sencillo Gran Formato 40 mm < E < 60 mm	0,228 W/m K
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,527 W/m K

#### Desarrollo del cálculo

1. Obtenemos la resistencia al paso de calor para cada capa de material mediante la ecuación:

$$R \text{ (m}^2\text{K/W)} = \frac{e(m)}{\lambda(W/mK)}$$

2. Empleamos los datos de resistencias superficiales al igual que en ejemplo de cálculo 1:

Resistencias superficiales	
Rse= 1/h superficial exterior	0,04 m <sup>2</sup> K/W
Rsi= 1/h superficial interior	0,13 m <sup>2</sup> K/W

3. Para el valor de resistencia de la cámara de aire, empleamos un valor según normativa de R=0,17.

4. Para obtener la resistencia total de la fachada (Rm total), sumamos los resultados de resistencia (R) de cada capa, incluidas las superficiales y cámaras de aire.

Resultados:

	Conductividad (W/mK)	espesor (m)	R capa (m <sup>2</sup> K/W)	% R capa
Resistencia superficial exterior			0,040	2,11%
1/2 pie LP métrico o catalán 60 mm < G < 80 mm	0,567	0,115	0,203	10,68%
Mortero de cemento revoco/enlucido 1800 < d < 2000	1,300	0,015	0,012	0,61%
PUR Proyección con CO2 celda cerrada [ 0.035 W/[mK]]	0,035	0,040	1,143	<b>60,18%</b>
Cámara de aire sin ventilar vertical 2 cm	---	0,020	0,170	8,95%
Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	0,228	0,040	0,175	9,24%
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,570	0,015	0,026	1,39%
Resistencia superficial interior			0,130	6,85%
		<b>Rm total</b>	<b>1,899</b>	
		<b>Um total</b>	<b>0,527</b>	

Rm= 1,899 m<sup>2</sup>K/W, por lo tanto, Um=1/Rm= 0,527 W/m<sup>2</sup>K

## Conclusiones

Podemos extraer tres conclusiones importantes:

1. El aislante (poliuretano proyectado en este caso) supone un 60% del aislamiento de la fachada (ver columna % R capa). Su presencia por tanto es de vital importancia en el comportamiento térmico de la fachada. Analicemos que ocurriría sin su presencia:

	Conductividad (W/mK)	espesor (m)	R capa (m <sup>2</sup> K/W)	% R capa
Resistencia superficial exterior			0,040	5,29%
1/2 pie LP métrico o catalán 60 mm < G < 80 mm	0,567	0,115	0,203	26,82%
Mortero de cemento revoco/enlucido 1800 < d < 2000	1,300	0,015	0,012	1,53%
Cámara de aire sin ventilar vertical 2 cm	---	0,020	0,170	22,48%
Tabique de LH sencillo Gran Formato [40 mm < E < 60 mm]	0,228	0,040	0,175	23,20%
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,570	0,015	0,026	3,48%
Resistencia superficial interior			0,130	17,19%
		<b>Rm total</b>	<b>0,756</b>	
		<b>Um total</b>	<b>1,323</b>	

Como podemos observar la resistencia térmica del conjunto es un 60% menor, y la labor de aislamiento recae casi a partes iguales entre los elementos de ladrillo y

la cámara de aire. Por lo tanto la presencia de una capa específica de material aislante con una conductividad entre 0,05 y 0,025 resulta fundamental.

2. La transmitancia en un elemento opaco nunca puede ser nula, ya que siempre se produce una resistencia superficial en las caras del material.

3. La transmitancia es **conmutativa**. Al ser el resultado de la suma de la resistencia de todos sus elementos, el orden de las capas no altera el resultado.

Tras el ejercicio anterior queda patente que el verdadero salto cualitativo en la resistencia térmica de una fachada lo representa el contar o no con una capa de aislamiento en torno a 3-4 cm, indistintamente de la posición que ocupe.



Figura 2. Transmisión térmica según la posición del aislamiento

## 2.2 Comportamiento térmico de elementos semitransparentes



### Elementos semitransparentes

Por elementos semitransparentes entendemos los compuestos de un parte traslúcida (vidrios) y otra opaca (carpintería o marco).

En **invierno** debemos controlar la fuga de calor a través de los huecos del edificio (ventanas y puertas), puntos débiles de la envolvente térmica que pueden llegar a suponer un 20% de las pérdidas de calefacción.

Como contraprestación, las superficies acristaladas bien orientadas suponen una excelente medida de ahorro energético gracias a la captación de la radiación solar.

En régimen de invierno nos interesará por tanto limitar las pérdidas energéticas, es decir, disminuir la **transmitancia térmica del hueco**.

En **verano** sin embargo las ventanas del edificio permiten el paso de la radiación solar al interior del edificio, aumentando las cargas que el sistema de refrigeración debe vencer, por lo que resulta fundamental el control solar mediante elementos tales como aleros, persianas, parteluces, etc.

Como contraprestación los huecos de fachada y la cubierta permiten por la noche disipar la energía (calor) acumulado durante las horas de Sol, obteniendo un enfriamiento gratuito del edificio.

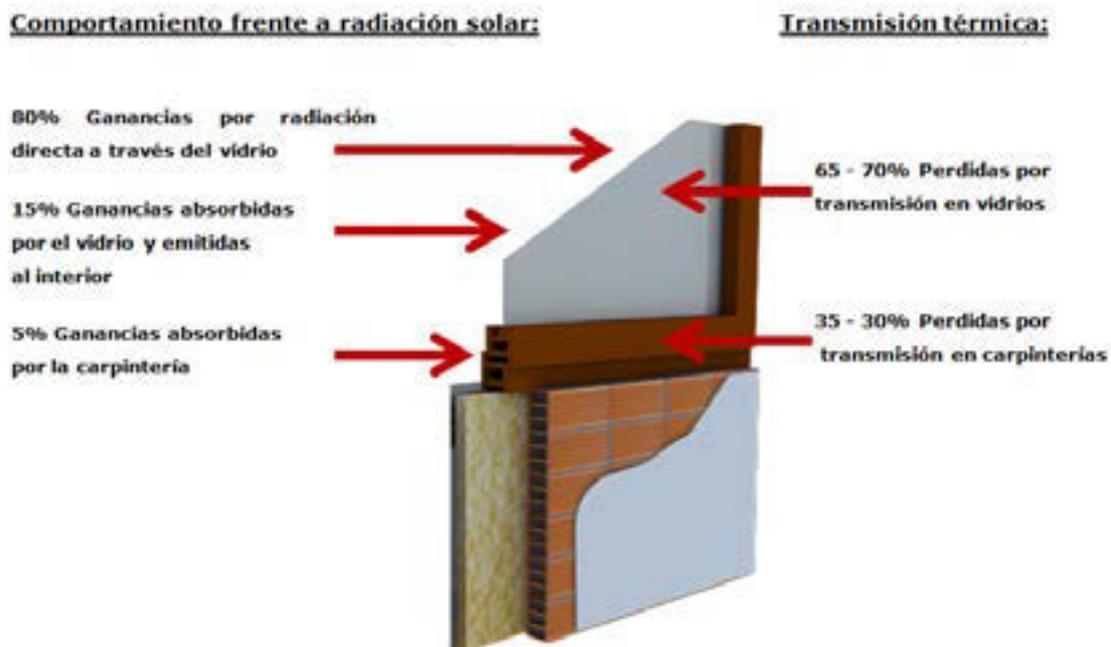


Figura 23. Comportamiento de elementos semitransparentes



**Recuerda**

En régimen de invierno interesa disminuir la transmitancia térmica del hueco.

En verano aumenta la carga del sistema de refrigeración.

**Transmitancia térmica del hueco**

Podemos caracterizar un elemento semitransparente como la suma de una parte opaca (marco) y otra translúcida (vidrio), por lo que tendremos que comenzar por establecer qué porcentaje corresponde a cada uno.

Recuperamos para ello el concepto de Factor de Marco (FM), que recordemos representa la parte de la superficie total ocupada por la carpintería. Se cumple por tanto que:

$$FM = \frac{\text{Superficie de la carpintería}}{\text{Superficie del hueco}}$$

$$\text{Superficie de la carpintería} = FM \cdot \text{Superficie hueco}$$

$$\text{Superficie del vidrio} = (1 - FM) \cdot \text{Superficie hueco}$$

A partir de establecer la superficie que ocupa cada elemento en el hueco, su transmitancia térmica se formula como la suma de las condiciones del vidrio y el marco:

$$U_h(\text{W/m}^2\text{K}) = (1 - FM) \cdot U_{h,v} + FM \cdot U_{h,m}$$

Donde:

$U_h$ , es la transmitancia media del hueco en  $\text{W/m}^2\text{K}$ .

$(1-FM)$ , es la fracción de la superficie del hueco ocupada por el vidrio.

$U_{h,v}$  es la transmitancia del vidrio en  $\text{W/m}^2\text{K}$ .

$FM$ , es la fracción de la superficie del hueco ocupada por el marco.

$U_{h,m}$  es la transmitancia del marco en  $\text{W/m}^2\text{K}$ .

Se trata por tanto de una media ponderada entre la energía que transmite al exterior del edificio el vidrio y la que se pierde a través del marco del hueco, en función de la superficie que ocupa cada uno de ellos.



### Ejemplo

#### Ejemplo de cálculo 3

Supongamos una ventana de la fachada de un edificio de viviendas con carpintería de aluminio estándar, sin rotura de puente térmico y un vidrio con cámara 4/12/6.

A falta de datos concretos, se suele asumir un factor de marco sobre 0,30 en edificios posteriores al CTE con carpinterías con rotura de puente térmico, mientras que en edificios con carpinterías simples estas suelen alcanzar tan solo el 20% del hueco ( $FM=0,20$ ).

En nuestro caso adoptaremos un  $FM=0,3$ .

**Datos de los materiales aportados por los fabricantes:**

	Transmitancia de los materiales
Carpintería vertical metálica SIN rotura de puente térmico	5,7 W/m <sup>2</sup> K
Vidrio vertical doble 4/12/6	2,8 W/m <sup>2</sup> K

**Desarrollo del cálculo**

Calculamos la transmitancia del hueco mediante la fórmula:

$$U_h = (1 - FM) \cdot U_{h,v} + FM \cdot U_{h,m}$$

$$U_h = (1 - 0,30) \cdot 2,8 + 0,30 \cdot 5,7$$

$$U_h = 1,96 + 1,71$$

$$U_h = 3,67 \text{ W/m}^2\text{K}$$

**Conclusiones**

Podemos extraer como conclusión que la transmitancia de la ventana depende por lo general del elemento que más superficie ocupe, normalmente el vidrio, por lo que si queremos disminuir las pérdidas energéticas por los huecos de fachada deberemos actuar sobre ellos.

Es igualmente reseñable que el cálculo de la transmitancia del hueco es independiente de la superficie del mismo, ya que se expresa en W/Km<sup>2</sup>.

Si posteriormente quisiéramos establecer el flujo de calor, deberíamos emplear el dato de su superficie:

$$\text{Energía (Wh)} = U_m(\text{W/m}^2\text{K}) \cdot \text{n}^\circ \text{ horas} \cdot \Delta T \cdot \text{Superficie hueco (m}^2\text{)}$$

## RESUMEN

- **Elementos semitransparentes:** por elementos semitransparentes entendemos los compuestos de un parte traslúcida (vidrios) y otra opaca (carpintería o marco).
- En régimen de invierno interesa disminuir la transmitancia térmica del hueco.
- En verano aumenta la carga del sistema de refrigeración.

## UNIDAD 3

# La eficiencia energética en la ejecución de la obra

### ÍNDICE

1. Evolución de los sistemas constructivos
2. La eficiencia energética en el aislamiento del edificio
3. La eficiencia energética en la ejecución de ventanas y lucernarios
4. La eficiencia energética en la ejecución de encuentros constructivos
5. La eficiencia energética en los sistemas de ventilación

### Resumen



#### Objetivo

- Diferenciar, de un modo generalista, las propiedades de un material aislante de cara a su selección y puesta en obra.
- Entender los procesos físicos que determinan la formación de condensaciones y cómo evitarlas.
- Comprender los parámetros que determinan las prestaciones energéticas de las ventanas y su repercusión en la eficiencia energética global del edificio.
- Conocer y analizar los elementos singulares y encuentros entre los distintos elementos constructivos a los que puede enfrentarse en el ejercicio de su profesión y los requisitos que determinan su adecuado comportamiento térmico.
- Comprender la incidencia de la ventilación en el consumo de energía así como de los medios para controlar su caudal.

## 1. EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

Resulta evidente con solo pasear por el centro de una ciudad que los edificios han ido evolucionando al mismo tiempo que la capacidad tecnológica de la sociedad.

Las construcciones características de principios de S.XX, con muros masivos que realizaban funciones estructurales y de cerramiento al mismo tiempo, han ido evolucionando hacia sistemas más complejos en los que cada capa de la fachada o cubierta tiene una función específica, y con ello un material de propiedades acordes a la labor que desempeña.

No hay nada más que ver cómo la superficie acristalada ha ido ganando paulatinamente espacio a los cerramientos opacos, y hemos pasado de ventanas que intentaban “perforar” el muro lo menos posible a edificios en los que la estructura es completamente independiente de una fachada de vidrio.

Por ello no es comparable un edificio actual (o futuro) con otro con décadas de diferencia, y no podemos exigir a un bloque de viviendas construido en 1970 cumplir las condiciones de aislamiento actual.

Sin embargo la escala de certificación energética intenta reunir el parque inmobiliario de nuestro país bajo un mismo procedimiento en el que tengan cabida tanto los edificios anteriores al CTE como los actuales, lo que conlleva asumir un rango de escala muy amplio (A-G).

En la actualidad el parque inmobiliario español está en claro envejecimiento, lo que convierte a la rehabilitación energética en un elemento eficaz para combatir el exceso de consumo de energía en nuestros edificios.



Edificio residencial 1915



Edificio residencial 1970

Figura 1. Evolución constructiva de edificios residenciales

## 2. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL AISLAMIENTO DEL EDIFICIO

A continuación se enumerarán los sistemas más habituales para el aislamiento de fachadas, medianerías y cubiertas, así como sus ventajas, puntos débiles y posibilidades de mejora.

### 2.1 Aislamiento con cámaras de aire

Se trata del sistema más antiguo de aislamiento tanto en fachadas como cubiertas y se basa en la resistencia térmica que ofrece un espacio de aire lo más estancado posible.

Su principal ventaja es la facilidad de montaje y bajo coste. Por el contrario presenta un nivel de aislamiento térmico muy bajo en relación con los materiales actuales.

Su rehabilitación energética puede llevarse a cabo mediante la inyección de materiales aislantes en el interior de la cámara.



Figura 2. Cámara de aire. Evaluación de funcionamiento y eficacia en la disposición en obra

## 2.2 Lanas minerales

Uno de los primeros materiales en emplearse como aislamiento térmico basa su eficacia en el efecto de una serie de láminas de material que atrapan porciones de aire estancado entre ellas, como si de un “jersey” se tratara.

Puede presentarse en rollos para fijar a un soporte rígido, por ejemplo las fábricas de ladrillo, o en paneles para sistemas de placas de yeso.

Su principal virtud es la facilidad de montaje y el aislamiento acústico, mientras que su carencia se manifiesta en el control de las humedades al ser un material especialmente permeable al vapor de agua.

Por ello en las regiones frías es recomendable suplementar en la cara interior del aislamiento una barrera de vapor para evitar que el aislamiento “empape” por las condensaciones y pierda sus propiedades.



Figura 3. Lana mineral. Evaluación de funcionamiento y eficacia en la disposición en obra

## 2.3 Poliuretano proyectado (PUR)

Posiblemente el material que mayor aislamiento térmico aporta por centímetro de espesor. Su gran virtud es al mismo tiempo su hándicap, ya que al tratarse de un producto proyectado es capaz de resolver los encuentros de fachadas con carpinterías o forjados en mejores condiciones que materiales rígidos como las anteriores lanas minerales.

Sin embargo su proyección requiere de medios auxiliares y una intendencia de equipos mucho mayor que pueden elevar su coste.

UD3. La eficiencia energética en la ejecución de obra



Figura 4. Poliuretano proyectado. Evaluación de funcionamiento y eficacia en la disposición en obra

## 2.4 Poliestireno expandido (EPS)

Su principal baza es un bajo precio y versatilidad de espesores. Por el contrario su punto débil es el montaje y la baja resistencia mecánica que presenta, lo que no le hace recomendable para los exteriores de fachadas a la altura de público (salvo refuerzo) o para su uso en cubiertas transitables.

Se trata de un material muy empleado en la mejora energética de edificios existentes aplicado en el exterior de las fachadas (sistema SATE).



Figura 5. Poliestireno expandido. Evaluación de funcionamiento y eficacia en la disposición en obra

## 2.5 Poliestireno extruido (XPS)

Se trata de una mejora del anterior con una fabricación que aporta mayor resistencia mecánica, lo que le convierte en el aislamiento de cubiertas y suelo más empleado.



Figura 6. Poliestireno extruido. Evaluación de funcionamiento y eficacia en la disposición en obra

## 2.6 Aislamientos reflectivos

Se trata de materiales de baja emisividad, generalmente de aluminio, plata o cobre, con un principio de funcionamiento muy básico: reducir la emisión de calor por radiación.

Para ello la condición imprescindible es que se esté produciendo una transmisión por radiación, lo cual tan solo ocurre en dos situaciones:

- Superficies de los materiales.
- Superficies de una cámara de aire.

Dado que el primer caso implicaría recubrir el interior o exterior del edificio de materiales de aspecto metálico (algo viable, pero poco usual en edificación), este tipo de aislamientos tiene su campo de aplicación asociado a cámaras de aire o fachadas ventiladas.

UD3. La eficiencia energética en la ejecución de obra



Figura 7. Aislamientos reflectivos. Evaluación de funcionamiento y eficacia en la disposición en obra

### 2.7 Aislamiento por acumulación

El sistema más tradicional de aislamiento por acumulación se basa en un muro de gran inercia térmica, lo que generalmente implica un gran espesor.

En la actualidad se están desarrollando materiales que gracias a sus propiedades físicas son capaces de acumular energía en menores espesores (aislamiento por cambio de fase).



Figura 8. Aislamientos por acumulación. Evaluación de funcionamiento y eficacia en la disposición en obra

### 3. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EJECUCIÓN DE VENTANAS Y LUCERNARIOS

Las medidas más comunes para mejorar la transmitancia de los huecos de fachada pasan por aumentar su capacidad de aislamiento, lo cual podemos lograr mediante:

- Carpinterías de menor transmitancia térmica, bien empleando materiales plásticos como el PVC o mediante carpinterías con rotura de puente térmico, que no es más que una pieza de material aislante (generalmente plástico) situada entre la cara interior y exterior de la cerrajería, de modo que disminuye la transmisión directa de calor entre ambas superficies.

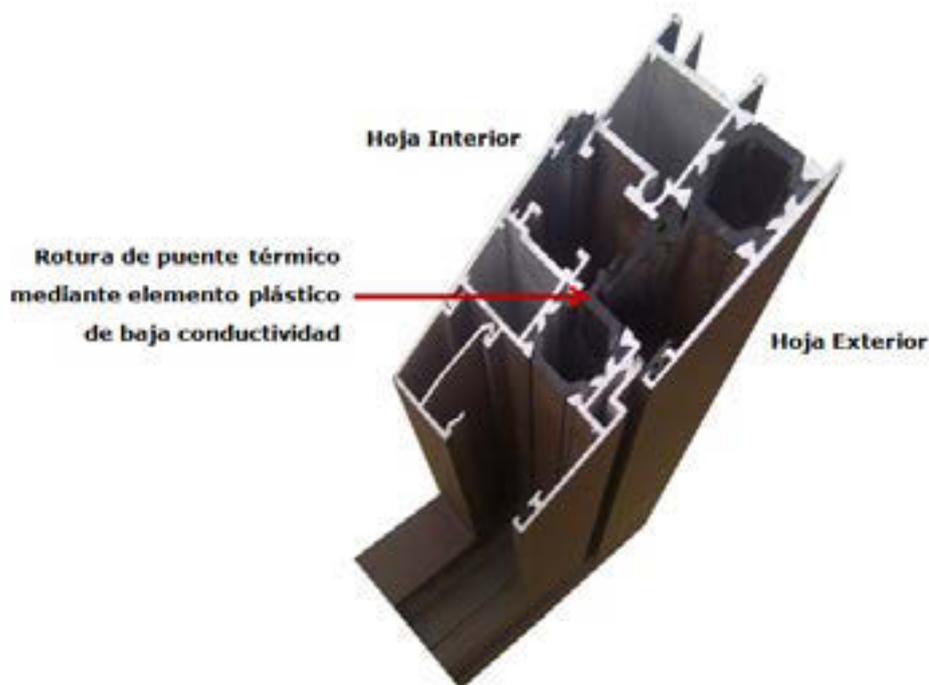


Figura 9. Carpintería metálica con rotura de puente térmico

- Empleo de vidrios de baja emisividad, como los descritos en la unidad anterior, cuyo coeficiente de transmisión térmica es mucho mayor que en el caso de vidrios dobles estándar.

Composición (exterior a interior)	Transmitancia térmica U(W/m <sup>2</sup> K)			
	Cámara estándar	Emisividad 0,10 a 0,20	Emisividad 0,10 a 0,03	Emisividad <0,03
4/6/4	3,30	2,70	2,60	2,50
4/9/4	3,00	2,30	2,10	1,90
4/12/4	2,80	2,00	1,80	1,60
4/15/4	2,70	1,80	1,60	1,40
4/20/4	2,70	1,80	1,60	1,40

En la tabla superior se marcan los vidrios que preferentemente han de usarse para el cumplimiento de la normativa en zonas climáticas frías C-D-E (color rojo) y en zonas cálidas A-B (color naranja).



#### Ejemplo

Supongamos el mismo hueco que en el ejemplo de cálculo 3 cambiando la carpintería por una con rotura de puente térmico >12 mm y el vidrio por uno de baja emisividad (0,03 a 0,1).

	Transmitancia de los materiales
Carpintería vertical metálica con rotura de puente térmico mayor de 12 mm	3,2 W/m <sup>2</sup> K
Vidrio vertical doble 4/12/6 bajo emisivo 0,03-0,1	1,8 W/m <sup>2</sup> K

$$U_h = (1 - FM) \cdot U_{h,v} + FM \cdot U_{h,m}$$

$$U_h = (1 - 0,30) \cdot 1,8 + 0,30 \cdot 3,2$$

$$U_h = 1,26 + 0,96$$

$$U_h = 2,22 \text{ W/m}^2\text{K}$$

El cambio realizado supone una mejora del 65% en las prestaciones térmicas de la ventana.

## 4. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EJECUCIÓN DE ENCUENTROS CONSTRUCTIVOS

### 4.1 Puentes térmicos en los encuentros constructivos

Un puente térmico puede considerarse como un “punto débil” en el aislamiento del edificio, caracterizado por dos circunstancias:

- La disminución o ausencia de aislamiento en un punto concreto de la envolvente, consecuencia generalmente del sistema constructivo empleado.
- El encuentro entre materiales o elementos constructivos que dan lugar a una singularidad en la que estimar la transmisión en una sola dirección del calor no es suficiente, por lo que se precisan métodos alternativos de análisis.

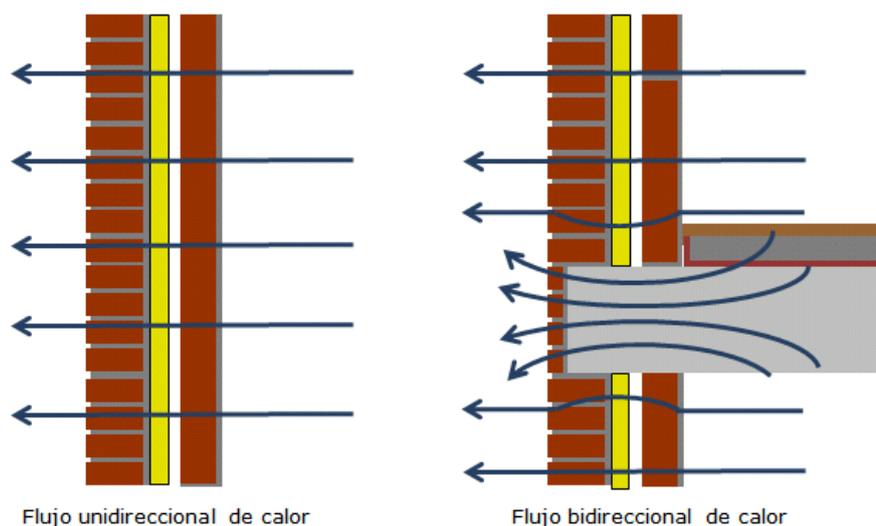


Figura 10. Flujo unidireccional de calor (izquierda) frente a flujo bidireccional (derecha)

Aunque la variedad y complejidad de los puentes térmicos que puede albergar la envolvente térmica de un edificio es tan variada como su propio diseño, es habitual asociarlo a los siguientes elementos:

- Elementos de contorno de huecos y lucernarios, como son jambas laterales, alfeizar y caja de persiana, en los que el aislamiento es habitualmente reducido o eliminado. Se conocen como puentes térmicos integrados.
- Puentes térmicos asociados a la interacción de los cerramientos con la estructura del edificio, en particular pilares embebidos en fachada y cantos de forjado sin aislar.

- Puentes térmicos producidos por el cambio de espesor o composición de los cerramientos, como espacios entre ventanas u hornacinas para ubicar emisores de calor.



Figura 11. Puentes térmicos por pilares en fachada

Los puentes térmicos suponen un aumento en las pérdidas térmicas del edificio en torno a un 30% en edificios construidos con la actual normativa y de un 10% en edificios sin aislamiento en fachadas.

Las estimaciones anteriores corresponden al caso de puentes térmicos sin aislamiento, por lo que igualmente resulta interesante estimar cuál es el reparto que se puede establecer en un edificio de viviendas tipo entre cada uno de los puentes térmicos habituales:

<b>Contorno de huecos y lucernarios</b>	<b>70% del total</b>
Jambas de ventana	30%
Alfeizar de ventana	15%
Caja de persiana sin aislar	25%
<b>Interacción envolvente - estructura</b>	<b>30% del total</b>
Pilares embebidos en fachada	10%
Cantos de forjado	20%

#### 4.2 Mejora de puentes térmicos

Un buen diseño constructivo debe intentar preservar las condiciones térmicas de la fachada en todos sus puntos, y dado que como hemos visto en apartados anteriores recaen en más de un 60% sobre la capa de aislamiento, gran parte del éxito depende de mantener la continuidad y espesor del aislamiento incluso en los encuentros, tal y como se muestra en las siguientes figuras:

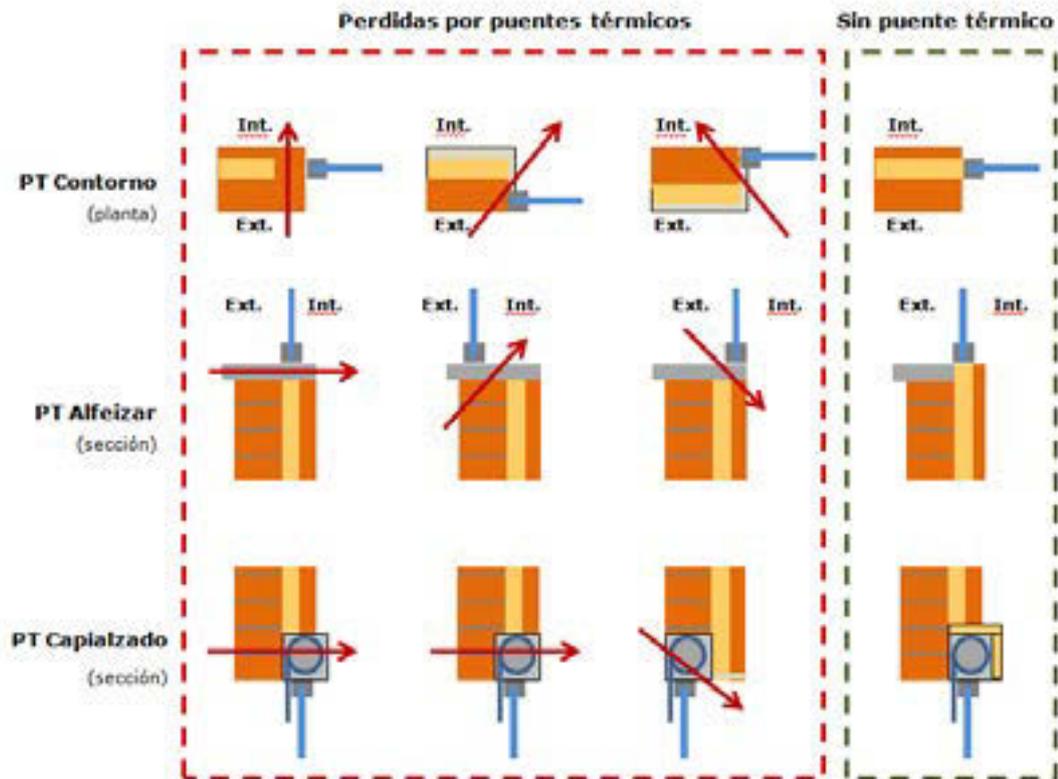


Figura 12. Mejora de puentes térmicos en contorno de huecos

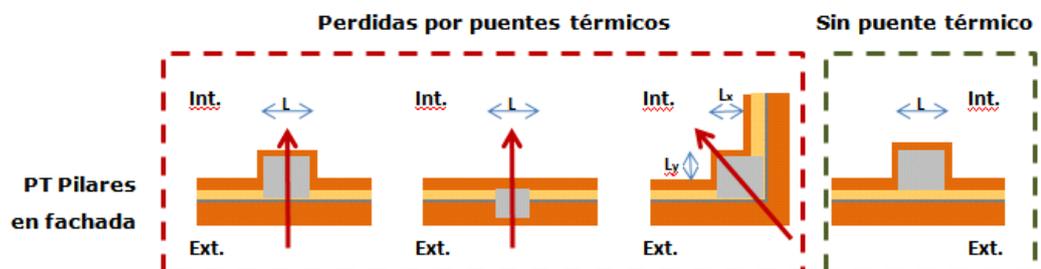


Figura 13. Mejora de puentes térmicos por pilares en fachada

UD3. La eficiencia energética en la ejecución de obra

Eliminar por completo un puente térmico en ocasiones es constructivamente poco viable, ya que en su propia definición se incluye la transmisión bidireccional del calor y por lo tanto tan solo podemos aspirar a paliar parte de su efecto.

Sin embargo la mayor parte corresponde a malas prácticas constructivas, como la interrupción del aislamiento o la falta de recubrimiento de las estructuras en fachada, por lo que resultan fácilmente evitables.



Puentes térmicos estructurales en pilares y cantos de forjados



Puentes térmicos por interrupción de aislamiento para el paso de instalaciones

Figura 14. Ejemplos de puentes térmicos

## 5. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN

Es habitual en nuestras latitudes no considerar como es debido el efecto de la ventilación en el consumo energético del edificio. No en vano nuestro clima, y ciertas costumbres arraigadas, nos incitan a no establecer una relación entre abrir cada mañana las ventanas de nuestra casa para “ventilarla” y el consumo de energía que conlleva tanto en verano como en invierno, algo impensable en otras latitudes del centro y norte de Europa.

### 5.1 Necesidad de la ventilación

Todo edificio debe garantizar unas condiciones mínimas de salubridad del aire interior mediante su continua renovación, asegurando no solo su caudal sino también su calidad (olores, humos, contaminantes, etc.).

Ventilar el edificio es por lo tanto una necesidad cuya ausencia puede acarrear el denominado “síndrome del edificio enfermo”, que se relaciona de forma directa con la irritación de la vías respiratorias piel y ojos, proliferación de las alergias, jaquecas, mareos, resfriados, etc.



#### Síndrome del edificio enfermo

Según la OMS es el conjunto de enfermedades originadas o estimuladas por la contaminación del aire en espacios cerrados.

Al mismo tiempo la ventilación del edificio permite regular la humedad interior, disminuyendo las posibilidades de condensación, la concentración de partículas en suspensión, las cargas iónicas y electromagnéticas, los gases y vapores.

Incluso su uso en período nocturno durante la temporada de verano ayuda a disminuir la temperatura del edificio y reducir con ello la demanda de refrigeración.

Pero no todo son ventajas. El caudal de aire que se introduzca en el edificio para hacer posible esta renovación posee las condiciones de temperatura y humedad del ambiente exterior, y por tanto tendrá que ser calentado o enfriado según el período estacional en el que nos encontremos, lo que conlleva un importante gasto energético, en torno al 30% de la calefacción en edificios residenciales (siempre dependiendo de la calidad constructiva y grado de aislamiento).

Se trata de establecer un equilibrio entre el caudal de renovación de aire para garantizar las condiciones de salubridad y la demanda energética asociada.

Para conseguirlo es necesario evolucionar desde los tradicionales sistemas de ventilación basados en infiltraciones y ventanas practicables a edificios cada vez más estancos, en los que el caudal de aire se introduce de forma controlada.



### Recuerda

La ventilación del edificio permite garantizar la salubridad del aire que respiramos, pero su exceso puede producir un gasto energético innecesario. Por ello el caudal de aire renovado debe ser controlado.

## 5.2 Tasa de renovación de aire

La renovación de aire se puede realizar por diversos mecanismos, pero todos ellos actúan expulsando el volumen de aire del edificio  $V(m^3)$  y sustituyéndolo por un caudal de aire exterior  $Q(m^3/h)$

Podemos relacionar ambos términos mediante el concepto de **tasa de renovación** de la siguiente forma:

$$\text{Tasa de renovación} = \frac{\text{Caudal de renovación}}{\text{Volumen interior}} \quad n(1/h) = \frac{Q(m^3/h)}{V(m^3)}$$

La tasa de renovación  $n(1/h)$  mide la cantidad de aire que entra en un edificio por hora y unidad de volumen, de manera que permite comparar de forma sencilla edificios de distintos tamaños.



### Ejemplo

Disponemos de dos edificios.

- En el primero, de  $500 m^3$  de volumen, el sistema de ventilación introduce un caudal de  $250 m^3$  a la hora.
- En el segundo, el volumen es de  $1.500 m^3$  y la ventilación proporciona un caudal de  $500 m^3$  a la hora.

La pregunta sería ¿cuál de los dos posee una mayor ventilación?

Para compararlos calculamos sus respectivas tasas de ventilación:

Edificio 1:  $n=250/500=0,50$  renovaciones a la hora

Edificio 2:  $n=500/1500=0,33$  renovaciones a la hora

Es decir, aunque en el edificio 1 entra menos caudal de aire, su ventilación es mayor, ya que su tasa de renovación es más elevada.

### 5.3 Infiltraciones por permeabilidad

Las infiltraciones por permeabilidad se definen como el caudal involuntario de aire en  $m^3/h$  que se introduce en el edificio debido a la diferencia de presiones entre interior y exterior. A mayor diferencia de presión, mayor caudal se infiltrará.

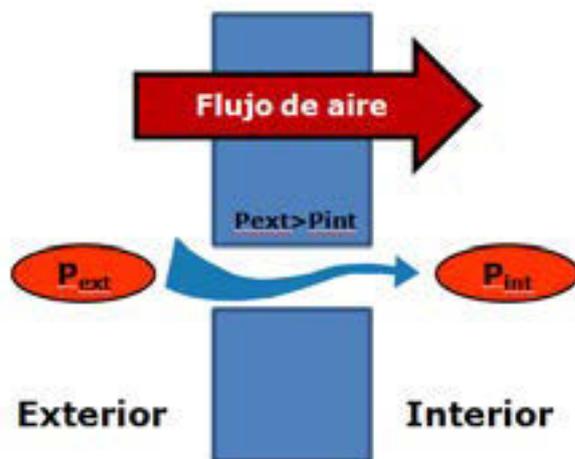


Figura 15. Gradiente de presiones exterior - interior

Como muestra la figura superior, al igual que ocurría en el caso de intercambio de calor, se necesita un desequilibrio de presiones para que se produzca el flujo espontáneo de aire ( $P_{ext} > P_{int}$ ). Son varios los factores que afectan a dicho diferencial, entre los que destacan la temperatura y sobre todo la velocidad del viento.

De este modo la velocidad del viento favorece la infiltración de aire por las fisuras de la envolvente del edificio y su salida por la fachada opuesta, generando una corriente natural de aire que favorece la renovación interior.

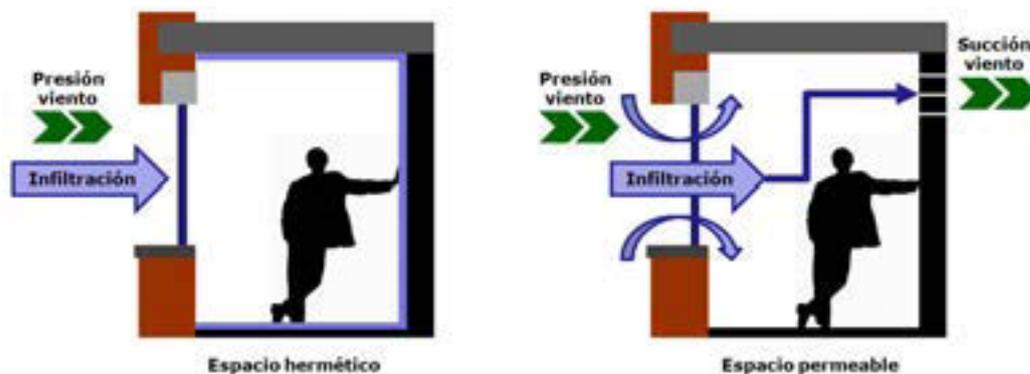


Figura 16. Esquemas de funcionamiento de las infiltraciones en un edificio

## 5.4 Ventilación

La ventilación se diferencia de la infiltración en que se trata de un caudal de renovación provocado por el usuario, bien de forma natural (apertura de ventanas) o mecánica (sistemas de ventilación mecánicos o híbridos).

### Ventilación natural

Mientras que en los edificios terciarios (comerciales, administrativos, etc.) es habitual aumentar la estanquidad del edificio y contar con sistemas de ventilación mecánicos, los edificios residenciales tradicionalmente han empleado la combinación de infiltraciones y ventilación natural para satisfacer las necesidades de renovación de aire.

Los caudales naturales pueden resultar efectivos, pero son completamente incontrolables, ya que el aire que entra por una ventana al abrirla depende nuevamente de la diferencia de presiones interior – exterior, cuyo valor no puede garantizarse.

Este es el caso habitual de la ventilación de edificios a través de los tradicionales *shunt* que aprovechan la diferencia de temperaturas y altura entre el interior de las viviendas y la cubierta para generar una diferencia de presiones y con ello el flujo de ventilación. Es lo que se conoce como **tiro térmico**:

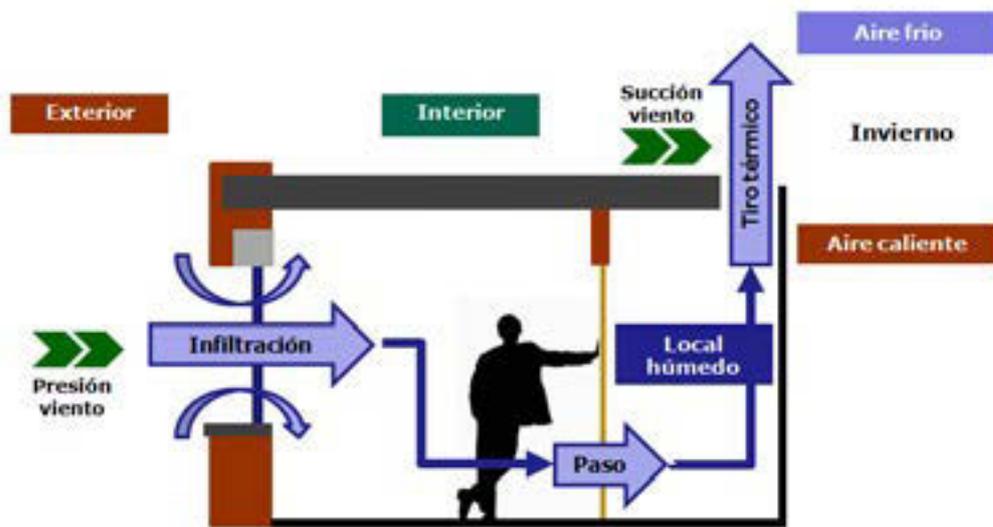


Figura 17. Esquema ventilación natural por diferencia de temperaturas

Sin embargo este efecto en ocasiones se invierte, ya que en verano las temperaturas exteriores son superiores a las interiores, y el aire frío al ser más denso su “peso” es mayor, y por lo tanto se queda estancado en las estancias, generalmente en los cuarto húmedos.



Ejemplo

Un caso habitual de este efecto son los malos olores que se generan en los cuartos de baño de las viviendas en verano, producidos por la inversión del flujo de ventilación.

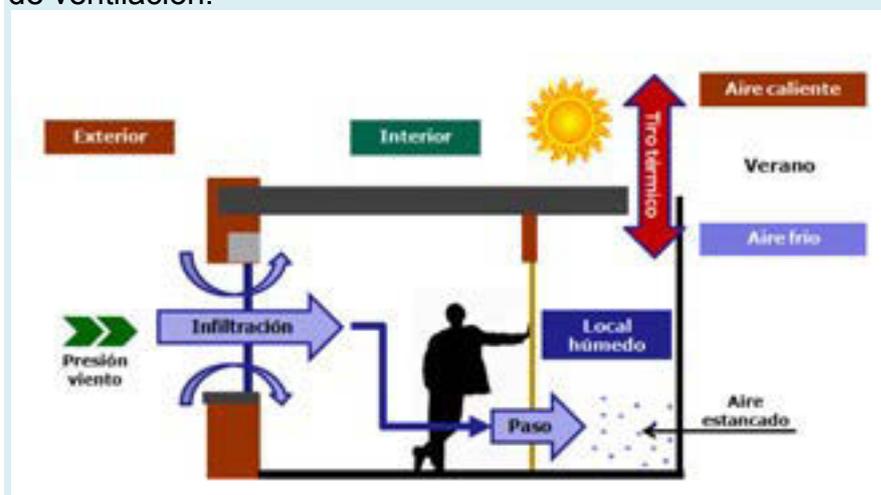


Figura 18. Inversión del tiro natural de ventilación con elevadas temperaturas exteriores

Dentro de este apartado también se incluye la ventilación natural regulable mediante la apertura de ventanas con la que todo edificio de viviendas debe contar, recogida en la mayor parte de las normas urbanísticas de nuestros municipios en función de la superficie útil de las estancias habitables (dormitorios, salones y cocinas).

El caudal generado en este caso depende del usuario, que debe concienciarse de las consecuencias que ciertas costumbres arraigadas, como abrir las ventanas en invierno o cerrarlas en verano por la noche, conlleva en consumo energético.



#### Ejemplo

Muchos usuarios mantienen las ventanas cerradas durante las noches de verano, en las que una ventilación extra al edificio le permite disipar el calor interno almacenado.

Esta práctica supone que el edificio no disipe energía durante la noche, y que al día siguiente la temperatura de la que parte sea mayor, lo que se traduce en una mayor demanda de refrigeración.

### Ventilación mecánica

La ventilación mecánica posee la capacidad de controlar y mantener estables los caudales de ventilación, y lo que es más importante, al tratarse de un medio controlable nos permite cuantificar la cantidad de aire de renovación, y con ello estimar el consumo energético asociado.

Podemos encontrarnos con dos variantes de este sistema:

- **Ventilación híbrida**, aquella que une a una ventilación natural una sonda de control de las presiones y temperatura interior y exterior. De este modo es capaz de adelantarse a una posible inversión del flujo natural de renovación de aire y activar un sistema mecánico de extracción que complementa el efecto. Se trata por tanto de un “híbrido” entre ventilación natural y mecánica.
- **Ventilación mecánica**, en este caso los ventiladores funcionan de forma constante pudiendo trabajar por sobrepresión o depresión.



#### Sobrepresión

Trabajamos por sobrepresión cuando el ventilador impulsa aire en nuestro edificio, aumentando con ello la presión interior y provocando la salida del aire interior.

 Depresión

Trabajamos por depresión cuando extraemos caudal del interior, provocando con ello la entrada de aire del exterior.

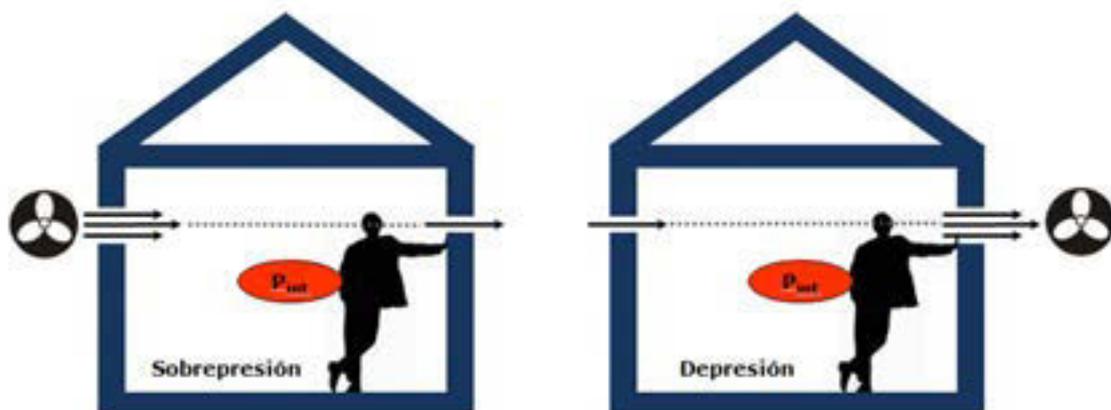


Figura 19. Ventilación mecánica por sobrepresión y depresión

Los ventiladores mecánicos pueden funcionar con un caudal constante, extrayendo siempre idéntica cantidad de aire, o variable, adaptando su velocidad a las necesidades de renovación o incluso regulando el tamaño de las aberturas de extracción según la humedad del aire.

## RESUMEN

- **Síndrome del edificio enfermo.** Según la OMS es el conjunto de enfermedades originadas o estimuladas por la contaminación del aire en espacios cerrados.
- La ventilación del edificio permite garantizar la salubridad del aire que respiramos, pero su exceso puede producir un gasto energético innecesario. Por ello el caudal de aire renovado debe ser controlado.
- **Sobrepresión:** trabajamos por sobrepresión cuando el ventilador impulsa aire en nuestro edificio, aumentando con ello la presión interior y provocando la salida del aire interior.
- **Depresión:** trabajamos por depresión cuando extraemos caudal del interior, provocando con ello la entrada de aire del exterior.



## OTRAS PUBLICACIONES QUE TE PUEDEN INTERESAR DEL PROYECTO CONSTRUYE 2020

### Libros



Sistema de energía renovables en edificios

Óscar Redondo Rivera



Instalaciones de geotermia

Rubén Munguía Rivas



Instalaciones de biomasa

Juan Ramón Sicilia Pozo



Rentabilidad en la eficiencia energética de edificios

Óscar Redondo Rivera



Instalaciones de climatización

Alejandro San Vicente Navarro



Instalación de ventanas

Fundación Laboral de la Construcción



Aislamiento térmico de edificios

Fundación Laboral de la Construcción

Estos libros los puedes descargar en:  
[www.construye2020.eu](http://www.construye2020.eu)



### AYÚDANOS A MEJORAR

Si tienes alguna sugerencia sobre nuestras publicaciones, escríbenos a [recursosdidacticos@fundacionlaboral.org](mailto:recursosdidacticos@fundacionlaboral.org)

## PERMANECE ACTUALIZADO, CONOCE NUESTROS RECURSOS WEB

Fundación Laboral de la Construcción:  
[fundacionlaboral.org](http://fundacionlaboral.org)

Información en materia de PRL:  
[lineaprevencion.com](http://lineaprevencion.com)

Gestión integral de prevención de PRL en construcción:  
[gesinprec.com](http://gesinprec.com)

Portal de la Tarjeta Profesional de la Construcción (TPC):  
[trabajoenconstruccion.com](http://trabajoenconstruccion.com)

Portal de formación:  
[ofertaformativa.com](http://ofertaformativa.com)

Buscador de empleo:  
[construyendoempleo.com](http://construyendoempleo.com)



[facebook.com/  
FundacionLaboral  
Construccion](https://facebook.com/FundacionLaboralConstruccion)



[twitter.com/  
Fund\\_Laboral](https://twitter.com/Fund_Laboral)



[youtube.com/  
user/fundacion  
laboral](https://youtube.com/user/fundacionlaboral)



[slideshare.net/  
FundacionLaboral](https://slideshare.net/FundacionLaboral)



[plus.google.com/  
+Fundacion  
laboralOrgFLC/  
posts](https://plus.google.com/+FundacionlaboralOrgFLC/posts)

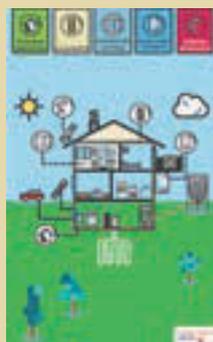


[www.linkedin.  
com/company/  
fundacion-laboral-  
de-la-construccion](https://www.linkedin.com/company/fundacion-laboral-de-la-construccion)



[blog.fundacionla-  
boral.org/](http://blog.fundacionlaboral.org/)

### App



Simulador  
Construye2020

Esta app la puedes descargar en:  
Android: <https://goo.gl/hFOZOC>  
Apple: <https://goo.gl/A2C53J>





El presente proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea.  
Esta publicación (comunicación) es responsabilidad exclusiva de su autor.  
La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.



Co-funded by the Intelligent Energy Europe  
Programme of the European Union