

UF0571: Programas informáticos en  
eficiencia energética en edificios

Elaborado por: ose Miguel Vives Martínez

Edición: 6.0

**EDITORIAL ELEARNING S.L.**

ISBN: 978-84-16424-39-9 • Depósito legal: MA 604-2015

No está permitida la reproducción total o parcial de esta obra bajo cualquiera de sus formas gráficas o audiovisuales sin la autorización previa y por escrito de los titulares del depósito legal.

Impreso en España - Printed in Spain

# Presentación

## Identificación de la Unidad Formativa

Bienvenidos a la Unidad Formativa **UF0571: Programas informáticos en eficiencia energética en edificios**. Esta Unidad Formativa pertenece al Módulo Formativo **MF1195\_3: Certificación energética de edificios**, que forma parte del Certificado de Profesionalidad **ENAC0108: Eficiencia Energética de Edificios** de la familia profesional Energía y Agua.

## Presentación de los contenidos

La finalidad de esta unidad formativa es enseñar al alumno a realizar la calificación energética de edificios mediante la utilización de programas informáticos. Para ello, en primer lugar se explicará detalladamente cómo se realiza la simulación energética de edificios, para después pasar al cálculo de la limitación de la demanda energética y a la calificación energética mediante programas informáticos.

## Objetivos de la Unidad Formativa

Al finalizar esta Unidad Formativa aprenderás a:

- Utilizar programas informáticos oficiales u homologados para el cálculo de la limitación de la demanda energética de edificios.
- Utilizar programas informáticos oficiales u homologados para el proceso de calificación energética de edificios.

# Índice

UD1. Simulación energética de edificios .....	7
1.1. Modelado de transferencia térmica y de masa de edificios .....	9
1.1.1. Procesos de transferencia de calor y de masa en edificios.....	12
1.1.2. Transferencia de calor en muros exteriores y techos (método numérico).....	43
1.1.3. Transferencia de calor en acristalamientos.....	54
1.1.4. Permeabilidad e infiltración al aire .....	68
1.2. Comportamiento dinámico de los edificios .....	72
1.2.1. Condiciones de contorno de las superficies externas...	74
1.2.2. Condiciones de contorno de las superficies internas....	79
1.2.3. Fuentes de calor interno .....	86
1.2.4. Balance de energía en las superficies externas e internas.....	88
1.2.5. Balance de energía del aire interior.....	89
1.3. Tipos de sistemas de ecuaciones para sistemas de edificio...	90
1.4. Software de simulación energética de edificios.....	94
1.4.1. Estructura de programas de simulación energética ....	100

1.4.2. Parámetros característicos.....	101
1.4.3. Pasos de modelización .....	102
1.4.4. Programas de simulación energética de edificios.....	106
1.4.5. Precisión en la simulación energética de edificios .....	108
1.4.6. Aplicación práctica.....	110
<b>UD2. Cálculo de la limitación de la demanda energética mediante programas informáticos .....</b>	<b>135</b>
2.1. Creación y descripción de un proyecto.....	137
2.2. Bases de datos de materiales productos y elementos constructivos .....	156
2.3. Definición del edificio.....	217
2.4. Cálculos, resultados y generación del informe de verificación	265
2.5. Aplicación práctica de la opción general .....	269
<b>UD3. Calificación energética mediante programas informáticos .....</b>	<b>285</b>
3.1. Limitaciones de la Aplicación.....	287
3.2. Sistemas energéticos incluidos.....	294
3.3. Consumos y emisiones.....	312
3.4. Resultados. Indicadores de etiquetado .....	314
3.5. Aplicación práctica de la opción general en vivienda y pequeño terciario.....	315
3.6. Aplicación práctica de la opción general en Gran Terciario ...	345
<b>Glosario .....</b>	<b>391</b>
<b>Soluciones .....</b>	<b>395</b>

# UD1

Simulación energética  
de edificios

- 1.1. Modelado de transferencia térmica y de masa de edificios
  - 1.1.1. Procesos de transferencia de calor y de masa en edificios
  - 1.1.2. Transferencia de calor en muros exteriores y techos (método numérico)
  - 1.1.3. Transferencia de calor en acristalamientos
  - 1.1.4. Permeabilidad e infiltración al aire
- 1.2. Comportamiento dinámico de los edificios
  - 1.2.1. Condiciones de contorno de las superficies externas
  - 1.2.2. Condiciones de contorno de las superficies internas
  - 1.2.3. Fuentes de calor interno
  - 1.2.4. Balance de energía en las superficies externas e internas
  - 1.2.5. Balance de energía del aire interior
- 1.3. Tipos de sistemas de ecuaciones para sistemas de edificio
- 1.4. Software de simulación energética de edificios
  - 1.4.1. Estructura de programas de simulación energética
  - 1.4.2. Parámetros característicos
  - 1.4.3. Pasos de modelización
  - 1.4.4. Programas de simulación energética de edificios
  - 1.4.5. Precisión en la simulación energética de edificios
  - 1.4.6. Aplicación práctica

## 1.1. Modelado de transferencia térmica y de masa de edificios

### Objetivo

Iniciamos este módulo recordando algunos conceptos básicos de transferencia de calor en edificios que posteriormente nos servirán para utilizar con mayor eficacia el software de simulación para el cálculo de la limitación de la demanda energética, como también para la calificación energética del edificio.

El interés por esta disciplina de la eficiencia energética de los edificios es cada vez mayor tanto entre los profesionales o técnicos que se dedican a ella, en los propietarios de las viviendas o edificios que ven en la eficiencia una salida a los altos costes que los consumos en energía de estas tienen para poder ser mantenidas en condiciones habitables, sobre todo en épocas más severas como el verano o el invierno, y por último también entre los fabricantes de sistemas y de materiales (o sistemas constructivos) para utilizar en la construcción o rehabilitación.

El cuidado al medioambiente está en el centro de este interés por parte de los gobiernos y las distintas administraciones. Efectos como la contaminación, el efecto invernadero provocado por la emisión de gases ( $CO_2$ ) y otros factores que contribuyen cada día al calentamiento global, han puesto a los gobiernos en la situación de poner coto a ciertas prácticas que se suman a estos efectos perniciosos.

El sector residencial es el responsable del 33% de la generación de gases de efecto invernadero.

La normativa actual en España es resultado directo de la transposición de la directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la eficiencia energética.

Otra directiva importante es la 2010/31/UE donde quedan establecidos muchos de los requisitos y condiciones para el consumo de energía en el sector residencial.

Partiendo de estas directivas europeas, en España se ha creado un marco legislativo que apoye el uso eficiente de la energía en los edificios.

En concreto, es el Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía, así como el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

Este último, además, propone meta prioritaria y paso previo a las actuaciones energéticas, la obtención de la certificación y clasificación energética del parque inmobiliario.

Este marco normativo está extendido a las administraciones autonómicas y locales.

### Esquema a seguir

Los conceptos a los que dedicaremos este apartado son los siguientes:

- Procesos de transferencia de calor y de masa en edificios
- Transferencia de calor en muros exteriores y techos (método numérico)
- Transferencia de calor en acristalamientos
- Permeabilidad e infiltración al aire

Dedicamos este apartado a asentar los conceptos básicos necesarios para poder utilizar de forma eficiente y con orientación el software de simulación.

Es importante recalcar antes de comenzar, que la calificación energética de un edificio, así como su cálculo de la limitación de demanda y demás cálculos necesarios, los haremos nosotros como técnicos, y no un software. Es decir, nosotros nos vamos a ayudar de un software pero seremos nosotros en todo caso, los que con nuestro conocimiento, llevaremos siempre la batuta de lo que va sucediendo en la aplicación. E incluso podremos juzgar si la aplicación ha podido cometer un error.

Se trata en definitiva de formarnos como profesionales en la certificación energética de edificios. He aquí la verdadera razón de adquirir estos conceptos previos. Vamos ya, pues, a comenzar con el temario.



Existe un compromiso de los países miembros de la Unión Europea de que en año 2020 todos los edificios sean de consumo casi nulo.

---



Edificio de consumo casi nulo (ECCN). La Directiva 2010/31/UE lo define, en su Artículo 2, como un “edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno.”

En el Anexo I de esta misma directiva, se establece que “La eficiencia energética de un edificio se determinará partiendo de la cantidad, calculada o real, de energía consumida anualmente para satisfacer las distintas necesidades ligadas a su utilización normal, que refleje la energía necesaria para la calefacción y la refrigeración (energía necesaria para evitar un calentamiento excesivo) a fin de mantener las condiciones de temperatura previstas para el edificio y sus necesidades de agua caliente sanitaria.”

---



El uso de las energías en eficiencia energética hace referencia a aquellos elementos o instalaciones para mantener al edificio en condiciones habitables, como aire acondicionado, calefacción, generación de agua caliente sanitaria, etc. Los fogones de la cocina no entran en este concepto.

---

### 1.1.1. Procesos de transferencia de calor y de masa en edificios

#### La transferencia térmica en un edificio

Un edificio, como cualquier otro sistema, intercambia energía en forma de calor con su entorno.



Un **sistema** es una cantidad de materia o una región del espacio, que se elige para ser estudiada. La masa o región que queda fuera del sistema definido recibe el nombre de **alrededores**.

En nuestro caso, el edificio será nuestro sistema de estudio, y será a través de sus fronteras (envolvente) donde se producirá dicho intercambio de energía. Y este sistema (edificio) será capaz de intercambiar energía porque no es adiabático. Y será capaz de intercambiar masa porque es un sistema abierto.



Calor: Forma de energía que se transfiere entre dos sistemas (o un sistema y sus alrededores) debido a una diferencia de temperatura.

Sistema abierto  
(edificio)

- **Estáticas**
- **Dinámicas**



Sistemas no adiabáticos: Aquel que no intercambia calor con su entorno.

---



La palabra adiabático proviene del griego **adiabatos**, que significa no dejar pasar.

Sistemas abiertos: Sistema en el que tanto la masa como la energía pueden atravesar la superficie de control o envolvente. Es el caso de un edificio.

---

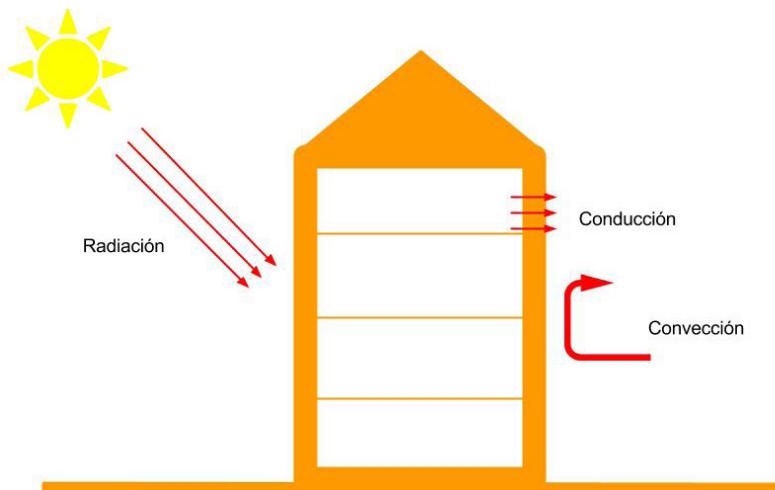
Las relaciones termodinámicas que existen en sistemas abiertos o cerrados son diferentes. Por eso es muy importante antes de comenzar, reconocer el tipo de sistema que vamos a estudiar, antes de empezar siquiera con la fase de análisis.

En el caso del edificio, el sistema de estudio será abierto y no adiabático.

### Mecanismos de transferencia de calor en edificios

Existen tres mecanismos por los que un edificio intercambia calor con su entorno. Son los siguientes:

- Conducción
- Convección
- Radiación



*Mecanismos de Transmisión de Calor*

Estos tres tipos de formas de intercambio suelen presentarse de forma mixta o simultánea, es decir, será difícil encontrar que un edificio intercambie calor sólo en una de ellas. Más bien lo hará con una mezcla de ellas. Por ejemplo en una caldera el calor se transfiere al fluido que circula por los conductos a través de los tres mecanismos citados.

De la misma forma, en la práctica casi siempre encontraremos que la forma en la que se produce la transmisión de calor o energía, será igualmente un sistema mixto de estos tres mecanismos.



En un edificio no sólo se pueden transmitir energía entre este y el exterior sino también masa. Cuando se habla de transferencia de masa hacemos referencia al aire que está dentro de nuestro edificio, calentado (o enfriado) convenientemente, y que por algún sistema pasa al exterior llevándose con él parte del calor de aquél.

De la misma forma, y como veremos a lo largo de este manual, las corrientes de aire son buenas para ventilar, pero son negativas para el eficiencia energética. El binomio Ventilación-Eficiencia Energética es un matrimonio a la riña continua en el proceso edificatorio.



Los edificios siempre intercambian calor en forma de energía con su entorno. Por ello, los mecanismos mediante los cuales se producen estos intercambios energéticos, son de gran interés para su estudio y comprensión.

---

### Masa térmica de un edificio

Un edificio intercambia energía con su entorno, el ambiente exterior sobre todo, a través de la envolvente o envuelta, que está formada por los cerramientos exteriores, incluyendo la cubierta. Estos cerramientos son los que separan al edificio del exterior y es mediante los cuales se lleva a cabo la mencionada transferencia de energía.

Estos cerramientos se denominan parte opaca o masa térmica.



**Masa térmica:** Es la capacidad que tiene cualquier cerramiento de almacenar energía en forma de calor. Es distinta de la masa del cerramiento del propio cerramiento.

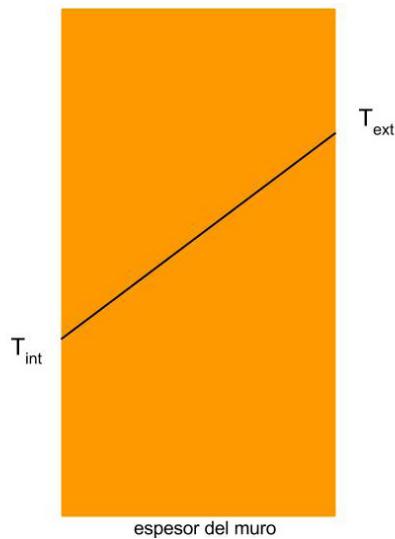
---

Cuando existe una diferencia de temperatura entre las dos caras de un cerramiento, se produce un flujo de calor desde la cara más cálida o de mayor temperatura a la de menor temperatura.

Dicho flujo de calor (flujo de energía) pasará por un estado transitorio en el que irá disminuyendo la temperatura hasta alcanzar la nueva temperatura en la cara interior del muro o cerramiento. En este nuevo estado, llamado permanente, es donde ambas caras del cerramiento están en equilibrio y así permanecerán hasta que suceda un nuevo cambio de temperatura en alguna de sus caras.

Mientras se conserve el estado permanente, el flujo de calor también lo será.

La variación que sufre la temperatura es lineal y está representada en el siguiente gráfico:



*Variación de la temperatura dentro de un muro*

Cabe destacar que la temperatura es distinta en cada punto del elemento, en función de su distancia a la cara del mismo y del su transmitancia térmica.

La temperatura media está dada por la siguiente ecuación:

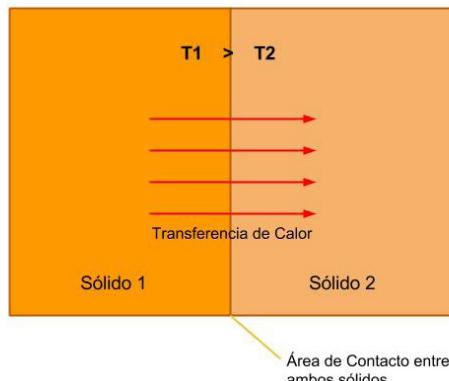
$$T_{\text{media}} = \frac{T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}}{2}$$

## Conducción

La conducción es un mecanismo de transferencia de energía asociado al movimiento microscópico molecular, originado por la variación de energía interna de rotación y vibración de las moléculas, el cual se transmite a las moléculas vecinas por colisiones entre las mismas.

Podemos decir que en la conducción no existe desplazamiento global de materia y que necesita que el medio sea material y continuo.

Es decir, este tipo de transferencia se produce “por contacto”. Cuando dos materiales entran en contacto se produce entre ellos una transferencia de calor por el mero y simple hecho de entrar ambos en contacto.



*Transferencia de Calor por Conducción*



La transmisión de calor por conducción se produce al entrar en contacto dos cuerpos a distintas temperaturas. Es decir, se produce principalmente en materiales sólidos, aunque también puede darse en líquidos y gases.

El proceso de conducción de debe principalmente al cambio de la energía cinética de las moléculas sin necesidad de que haya movimiento de masa alguno.



Gradiente de temperatura: Camino más corto y rápido por el que se produce el intercambio de calor a través de un elemento.

Existen elementos que son malos conductores del calor, llamados aislantes, como puede ser el aire o los plásticos. Por el contrario, la facilidad para dejar pasar el calor se denomina conductividad térmica, en referencia directa al mismo efecto en el caso de las corrientes eléctricas.

La conductibilidad térmica es una propiedad, que indica la rapidez con la que un determinado material puede transportar energía. Al estar asociada principalmente a los sólidos, es útil entender los mecanismos generales de esta propiedad.

El flujo de calor por unidad de área que se transfiere de un cuerpo a otro por el mecanismo de conducción está determinado por la denominada Ley de Fourier:

$$q = -k(dT/dx) \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Donde:

- $q$ : Flujo de Calor por unidad de área perpendicular a la dirección de transferencia.
- $k$ : Conductividad térmica en  $\text{W/mK}$  (en el campo de la eficiencia energética, tal y como se refleja en la normativa española, se representa con la letra griega lambda:  $\lambda$ )

El calor se transmite siempre desde la cara que está a mayor temperatura hacia la cara de menor temperatura. Además, este mecanismo de transmisión de calor, mecanismo de conducción, es el único mecanismo por el que puede propagar el calor en un medio que sea sólido y además opaco, como por ejemplo en interior de un cerramiento.

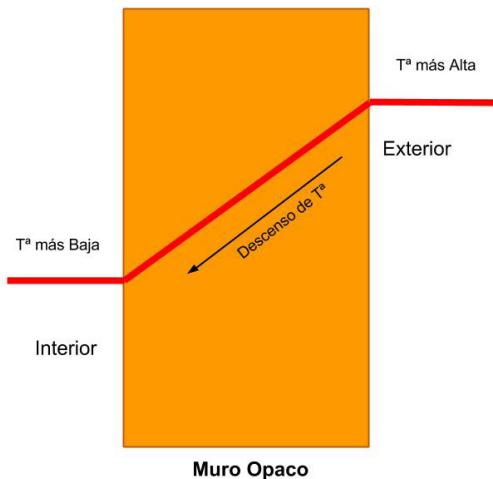


Gráfico de transmisión de calor por conducción en un cerramiento opaco desde la cara de mayor temperatura a la de menor temperatura

Dentro de un cerramiento por tanto, sólo tendremos transmisión por conducción.

Hemos advertido que la conducción se da fundamentalmente en sólido opaco, en los cuales el movimiento de masa es inexistente, pero sin embargo se puede dar también, además de en sólidos, en fluidos, es decir, en gases y líquidos.

Normalmente en este segundo caso el mecanismo de conducción aparece en combinación con el mecanismo de convección que veremos un poco más adelante.

De esta forma, lo que ahora vemos se puede aplicar perfectamente al caso del interior de cerramientos, pero también al caso donde existen fluidos pero estos están confinados y con movimiento convectivo limitado, como por ejemplo en aislamientos donde el gas se encuentra confinado y no puede apenas moverse o circular.



Algunos valores medios de la conductividad térmica ( $\lambda$ ) son los siguientes:

- Agua:  $\lambda = 0,5 \text{ W/mK}$
  - Aire:  $\lambda = 0,03 \text{ W/mK}$
  - Fábrica de Ladrillo:  $\lambda = 0,7 \text{ W/mK}$
  - Aislante:  $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
- 

### Conducción unidimensional en régimen permanente

Decimos que existe un régimen permanente cuando el sólido objeto de estudio se encuentra en equilibrio termodinámico, sin que su temperatura varíe con el tiempo. Esto implica que no existan fuentes de calor internas en el elemento, ni sumideros, y que tampoco almacene calor.

El caso más sencillo es el de sólidos con caras paralelas y que se encuentran en régimen permanente. En estos, el flujo de calor será unidireccional.

Igualmente, el flujo de calor por unidad de superficie y de tiempo es proporcional al gradiente de temperatura  $dT/dx$ .

En el caso de muros, tenemos lo que se denomina resistencia térmica, es la inversa de la conductividad térmica  $\lambda$ , y viene determinada por la siguiente expresión:

$$q = \frac{\lambda (T_1 - T_2)}{e} = \frac{(T_1 - T_2)}{e/\lambda}$$

Resistencia Térmica (RT) =  $e/\lambda$