

Eficiencia energética

Manual práctico de cálculos térmicos de edificios

Óscar Redondo Rivera



Este manual cuenta con material complementario asociado.
Escanea el código QR o accede en el siguiente enlace:
<http://goo.gl/BuQTc>

Introduce las claves:

Usuario: calculotermico

Contraseña: calculotermico

Además, a lo largo del texto encontrarás distintas URL para el acceso a los anexos concretos.












1ª edición: enero 2013

© Óscar Redondo Rivera
© Fundación Laboral de la Construcción
© Tornapunta Ediciones, S.L.U.
ESPAÑA

Edita:
Tornapunta Ediciones, S.L.U.
Av. Alberto Alcocer, 46 B Pª 7
28016 Madrid
Tél.: 900 11 21 21
www.fundacionlaboral.org

ISBN: 978-84-15205-69-2
Depósito Legal: M-327-2013

ÍNDICE

		Presentación	4
		Objetivos generales	5
UD1		El edificio como sistema energético	6
UD2		Confort higrotérmico y cálculo de ganancias internas	30
UD3		Condiciones exteriores y cálculo de ganancias por radiación solar	46
UD4		Teoría básica de la transferencia del calor en edificios, cálculo de pérdidas por transmisión y valores límite	90
UD5		Cálculo de pérdidas o ganancias por ventilación	142
UD6		Balance térmico del edificio	164
UD7		Instalaciones térmicas en edificios	174
		Caso práctico	199
		Referencias legislativas	224



PRESENTACIÓN

¿Cuánta energía consume un edificio?

Esta sencilla pregunta resume mejor que ninguna otra la inquietud que en la actualidad suscitan los aspectos energéticos en el sector de la edificación, donde las instalaciones térmicas proveedoras de calefacción, agua caliente y refrigeración, adquieren un papel protagonista, al ser las responsables de la mayor parte del consumo de energía.

Este “repentino” interés surge del impulso proporcionado desde las distintas administraciones en el desarrollo de normativas técnicas basadas en la reducción de la demanda energética, es decir, de la cantidad de energía que precisan los edificios, así como en la aplicación de fuentes renovables de suministro. A todo ello se une el creciente aprecio del consumidor final por disponer de un edificio cuyo mantenimiento sea el más reducido posible, sin renunciar en ningún momento al confort y bienestar térmico.

Son, por tanto, los intereses medioambientales, relacionados con la reducción de emisiones de gases invernadero, y los económicos, vinculados a la reducción de la factura energética de los países, los grandes impulsores de las medidas de ahorro energético.

Tras ser capaces de responder a la primera pregunta cabría abordar una segunda cuestión:

¿Consume mi edificio la energía que debe, o tendría que consumir menos?

La respuesta implica la necesidad de establecer un sistema de medición y control del consumo energético, un sistema que establezca si nuestro edificio es “mejor o peor” que los que nos rodean.

Este sistema no es otro que la certificación energética de los edificios, en la que se considera al inmueble un consumible más que, como si de un electrodoméstico se tratara, al ser adquirido por su propietario, público o privado, debe informar del gasto mensual que supondrá mantenerlo en condiciones de habitabilidad.

Sin embargo, los programas de cálculo y procedimientos que permiten obtener la mencionada calificación energética son complejos y costosos en tiempo para el profesional interesado en realizar una mera aproximación al resultado final de manera rápida y sencilla, como paso previo al cálculo definitivo y tanteo de posibles alternativas en el diseño del edificio.

Por todo ello, el presente Manual se ha creado con el objetivo práctico de obtener una aproximación al fenómeno del consumo energético en los edificios, no un resultado exacto, invirtiendo la menor cantidad de tiempo posible en el cálculo y sirviendo como paso previo al empleo de complejos programas de cálculo que distraen la mente de lo realmente importante: entender qué estamos calculando y por qué.



OBJETIVOS GENERALES

Al finalizar el curso el alumno será capaz de:

- Entender los factores que determinan el consumo energético y el balance térmico del edificio.
- Entender la importancia de los agentes externos (sol, clima, humedad, etc.) en el *comfort* térmico de los edificios.
- Comprender el efecto de los puentes térmicos en el comportamiento térmico global del cerramiento.
- Conocer los factores que influyen en la formación de condensaciones y las estrategias para evitarlas.
- Calcular la demanda mensual de energía de un edificio residencial.
- Calcular la demanda mensual por producción de agua caliente sanitaria de un edificio residencial.
- Establecer los distintos rendimientos de los sistemas de calefacción, refrigeración y producción de ACS del edificio.
- Calcular el consumo energético y la producción de CO₂ anual de un edificio residencial.

Unidad didáctica 1.

El edificio como sistema energético



UD1



INTRODUCCIÓN

Entender el edificio como un sistema energético sin duda ayuda a simplificar la complejidad con la que las distintas instalaciones térmicas son capaces de mantenernos en razonables condiciones de confort térmico, sean cuales sean las condiciones exteriores.



Si nos paramos a pensar en lo que esto implica, un sistema no es más que una cadena de elementos, un conjunto de componentes relacionados entre sí que deben su éxito a su funcionamiento en conjunto.

Por ello el dimensionado de las instalaciones térmicas, ya sean de calefacción o refrigeración, comienza por las condiciones climatológicas de la localidad en la que nos ubiquemos y por las características constructivas del edificio, sin olvidarnos de completar la ecuación con la influencia que la actividad humana ejerce sobre el balance final de consumo energético, que en resumen determinará la emisión de distintos gases a la atmósfera.

En esta unidad se abordarán los conceptos de demanda, consumo o rendimiento, elementos básicos para poder adentrarnos posteriormente en el análisis de cada uno de los componentes del sistema energético de cualquier edificio.

UD1. El edificio como sistema energético

CONTENIDOS

1. Consumo de energía	10
2. Energía final y energía primaria	12
3. Emisiones asociadas al consumo	13
4. Diferencia entre carga y demanda	15
5. Unidades de medida	16
6. Demanda de energía	18
7. Rendimiento de los sistemas térmicos	21
8. Consumo de energía primaria	25
9. Balance energético del edificio	26
 Resumen	28
 Terminología	29



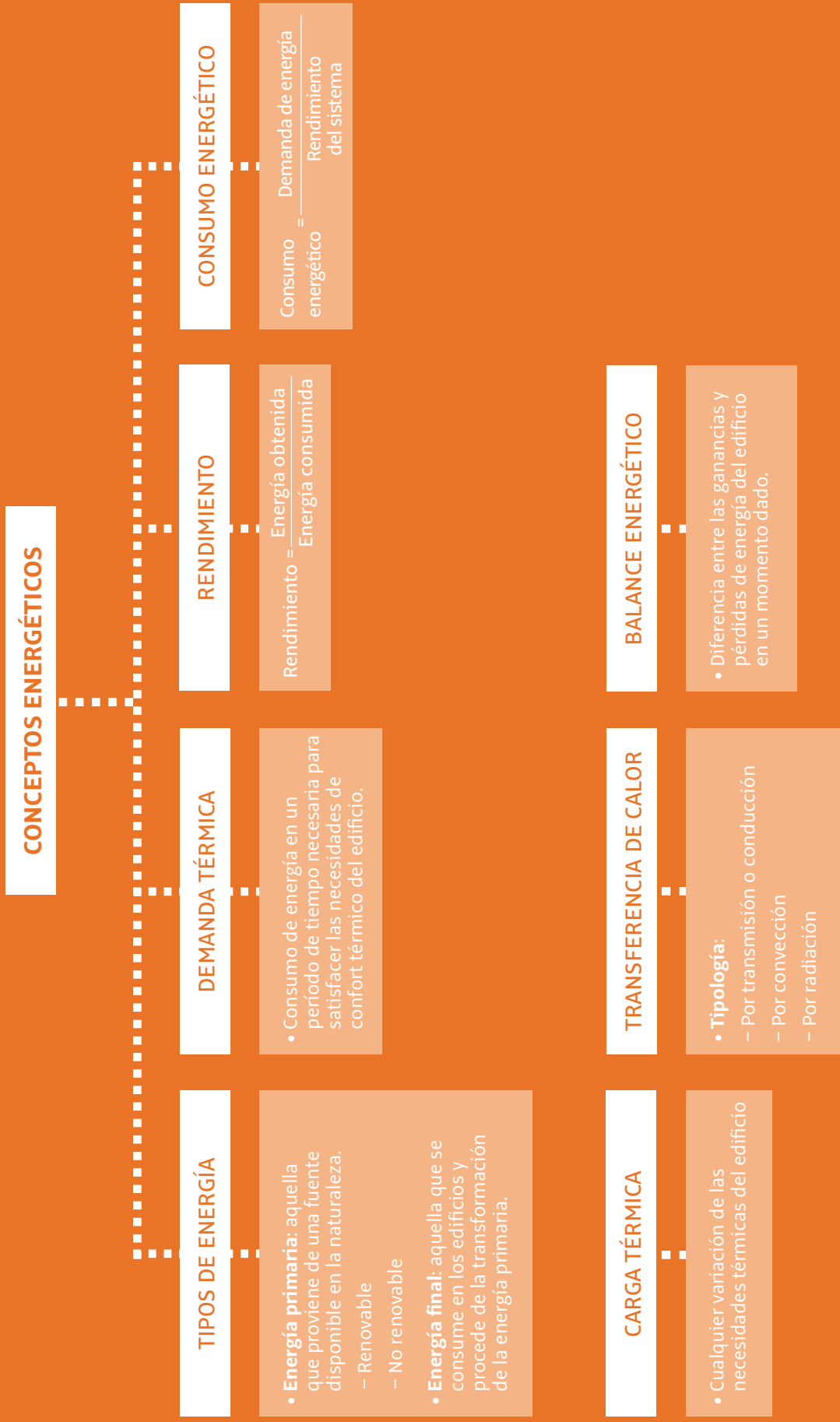
OBJETIVOS

Al finalizar la Unidad Didáctica, el alumno será capaz de:

- Entender los factores que determinan el consumo energético y el balance térmico del edificio.
- Distinguir entre energía primaria y energía final.
- Distinguir entre demanda térmica y carga térmica.
- Comprender las distintas formas de transferencia del calor.



MAPA CONCEPTUAL



1. CONSUMO DE ENERGÍA

El consumo de energía ya sea de calefacción, refrigeración o agua caliente sanitaria de un edificio para atender a la demanda de los usuarios, viene dado por una sencilla expresión:

$$\text{Consumo Energético} = \frac{\text{Demanda de energía}}{\text{Rendimiento del Sistema}}$$

De esta fórmula podemos extraer como primera conclusión que para disminuir el consumo de energía en el edificio podemos actuar de distintas maneras:

- Disminuir la demanda de energía.
- Aumentar el rendimiento del sistema.
- Actuar de forma conjunta sobre demanda y rendimiento del sistema.

RECUERDA



En realidad, al dividir la demanda entre el rendimiento no estamos sino corrigiendo (aumentando o disminuyendo) la cantidad de energía que precisamos en función de si el rendimiento de los sistemas es superior o inferior a la unidad.



Figura 1. Instalaciones de climatización. Grupo Ortiz.
Fuente: Fundación Laboral de la Construcción

EJEMPLO



Supongamos una vivienda de 90 m², que demanda de calefacción en torno a 7,5 kWh de energía al año y dispone para ello de una caldera de gas con un **rendimiento medio estacional** del 0,91. En realidad la energía que consumirá el sistema será de $7,5 / 0,91 = 8,24$ kWh, es decir, consume más energía de la que demanda porque el sistema de calefacción tiene un rendimiento de 0,91, que equivale a $100\% - 91\% = 9\%$ de pérdidas.

RECUERDA



Para disminuir el consumo de energía en el edificio podemos actuar de distintas maneras: disminuyendo la demanda de energía, aumentando el rendimiento del sistema, o bien actuando de forma conjunta sobre demanda y rendimiento del sistema.

2. ENERGÍA FINAL Y ENERGÍA PRIMARIA

Llegados a este punto cabe destacar la diferencia entre energía **primaria** y **energía final**.

La energía primaria es aquella que proviene de una fuente disponible en la naturaleza, mientras que la energía final es la que consumimos en nuestros edificios y que por tanto procede de la transformación de la energía primaria.



Figura 2. *Relación entre energía primaria y energía final*

La Ley de la conservación de la energía postula el famoso principio de que “la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma”.

Sin embargo, aunque la energía siempre es la misma, ésta no tiene el mismo “formato” es decir, existen distintos tipos de energía (eléctrica, térmica, cinética, etc.), dicho de otro modo, no toda la energía interna de un recurso natural en bruto puede ser aprovechada, y es la eficacia de los distintos sistemas de producción la que nos permite un mayor o menor aprovechamiento de los de la energía disponible en la naturaleza.

EJEMPLO



Si bien la electricidad es la energía final que consumimos en nuestros hogares, la energía primaria de la que procede puede tener distintos orígenes, desde el carbón a los derivados del petróleo, pasando por las energías renovables (eólica, solar, geotérmica, etc.).

La electricidad es la energía final de mayor coste económico al ser la que posee, por noma general, menores rendimientos en su transformación de energía primaria a energía final.

3. EMISIONES ASOCIADAS AL CONSUMO

Del anterior apartado podemos extraer una primera clasificación de las energías primarias en renovables y no renovables, y con ello adentrarnos de lleno en el apartado de emisiones asociadas a cada tipo de combustible.

En realidad este es el punto determinante de la calificación energética que puede alcanzar un edificio ya que, al contrario de lo que se pueda pensar, el objetivo último de la normativa no es poder estimar el consumo energético del edificio, sino el tipo de energía primaria consumida y su conversión en kilogramos de CO₂ no renovables emitidos a la atmósfera.

El principio que rige la escala de certificación energética es sencillo: cuanto más CO₂ produzcamos, menor calificación energética obtendremos, estableciendo la normativa un límite de producción de CO₂ por encima del cual el edificio no debe estar.

Para el cómputo de emisiones de CO₂ se emplean los coeficientes de paso de energía final ($K_{\text{Emission CO}_2}$), tabulados como se muestran a continuación:

ENERGÍA TÉRMICA	EMISIONES
GAS NATURAL	204 gr CO ₂ /kWh _t
GASÓLEO c	287 gr CO ₂ /kWh _t
GLP (PROPANO, BUTANO...)	244 gr CO ₂ /kWh _t
CARBÓN DE USO DOMÉSTICO	347 gr CO ₂ /kWh _t
BIOMASA	Neutro
BIOCARBURANTES	Neutro
SOLAR TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA	0

ELECTRICIDAD	EMISIONES
CONVENCIONAL PENINSULAR	649 gr CO ₂ /kWh _t
CONVENCIONAL EXTRA-PENINSULAR (CANARIAS, BALEARES, CEUTA Y MELILLA)	981 gr CO ₂ /kWh _t
SOLAR FOTOVOLTAICA	0
CONVENCIONAL EN HORAS VALLE NOCTURNAS (0H-8H) PARA SISTEMAS DE ACUMULACIÓN ELÉCTRICA PENINSULAR	517 gr CO ₂ /kWh _t
CONVENCIONAL EN HORAS VALLE NOCTURNAS (0H-8H) PARA SISTEMAS DE ACUMULACIÓN ELÉCTRICA EXTRAPENINSULAR	981 gr CO ₂ /kWh _t

Figura 3. Coeficientes de paso de energía final ($K_{\text{Emission CO}_2}$). Fuente: Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Anexo VI. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Mayo 2009

La conversión de energía final a producción de CO₂ obedece a la siguiente relación:

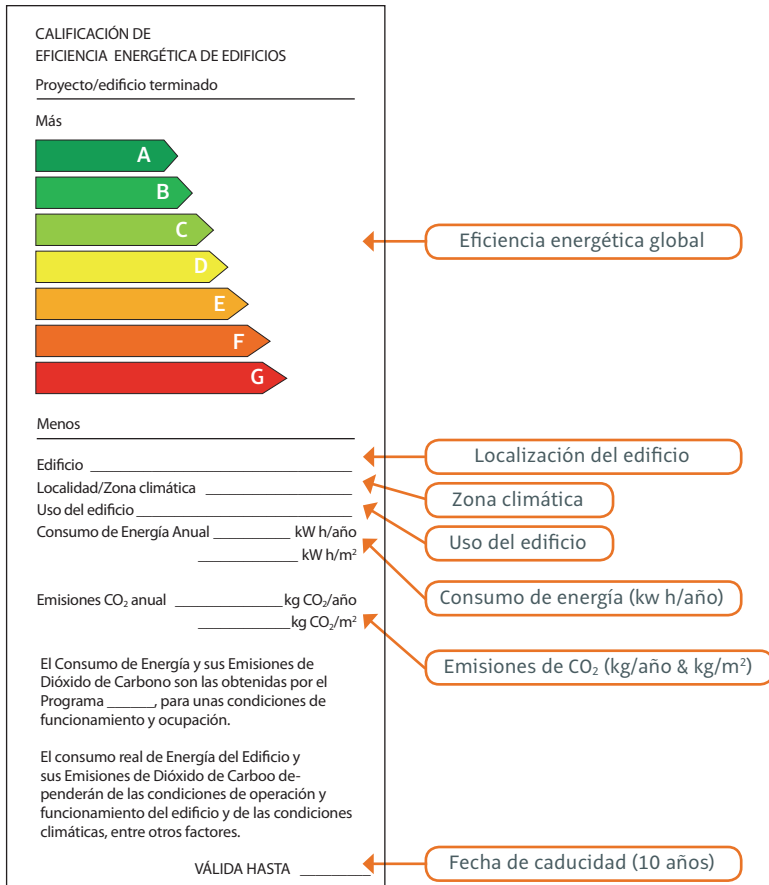
$$\text{Emisiones CO}_2 = \text{Consumo Energía final} \times \text{Coeficiente emisiones CO}_2$$

De los datos anteriores, y teniendo en cuenta que a mayor producción de CO₂ menor certificación energética obtendremos, podemos extraer varias conclusiones:

- La energía final que más CO₂ produce es la eléctrica en cualquiera de sus formas, por lo que su empleo está muy penalizado de cara a obtener buena certificación energética.
- El uso de energías renovables disminuye la producción de CO₂ y por lo tanto su uso es recomendable en aquellos edificios que pretendan optar a las calificaciones energéticas más elevadas (A o B).



El principio que rige la escala de certificación energética es sencillo: cuanto más CO₂ produzcamos, menor calificación energética obtendremos, estableciendo la normativa un límite de producción de CO₂ por encima del cual el edificio no puede estar.



4. DIFERENCIA ENTRE CARGA Y DEMANDA

Hasta fechas recientes los principales actores implicados en la eficacia energética de los edificios (promotores, arquitectos, ingenieros, etc.) tan solo se ocupaban de establecer el “tamaño” de la instalación, es decir, su dimensionado en base a las condiciones más adversas a las que estadísticamente podrían enfrentarse los sistemas de calefacción, agua caliente sanitaria y refrigeración del edificio, que en realidad representan un porcentaje mínimo del tiempo de funcionamiento de los sistemas energéticos del edificio.

Es lo que se conoce como estudio de las **cargas térmicas**, entendidas como cualquier variación de las condiciones térmicas del edificio. La combinación de las peores condiciones de carga determina la potencia de la instalación térmica.

En la actualidad sin embargo cobra importancia no solo la potencia de los equipos que forman el sistema, sino también cuál es su consumo energético, es decir, la **demanda energética**, basada en el estudio de la variación de las cargas térmicas a lo largo de un período de tiempo, generalmente anual.

Si consideramos que los sistemas de calefacción y refrigeración tratan de suministrar o extraer del interior del edificio la cantidad de calor que nos permita alcanzar las condiciones deseables de habitabilidad, a esa cantidad de calor se le denomina carga térmica de calefacción o refrigeración.

Sin embargo la carga térmica es variable en el tiempo, ya que las condiciones internas y externas varían, por lo que la demanda de energía se expresa como la suma de las cargas a lo largo de un período de tiempo.

EJEMPLO



Una vivienda tipo de 90 m² en el centro de la península con calefacción y producción de agua caliente sanitaria (ACS) individual, cuenta por norma general con una caldera de unos 25 kW de potencia, calculada para dar respuesta a condiciones de temperatura extremas, por debajo de los 0 °C, así como al suministro de agua de forma simultánea a distintos puntos de consumos de la vivienda.

Esa misma caldera presentará a lo largo del año breves instantes en los que requiera el 100% de su capacidad (25 kW), por ejemplo durante una ola de frío, mientras que lo habitual es emplear tan solo una parte de su potencia o incluso estar apagada, por lo que su consumo anual no está asociado a la potencia nominal de la caldera (25 kW), sino a la suma de la demanda de energía real que solicite hora a hora, que podrá variar entre 0 y 25 kW.

5. UNIDADES DE MEDIDA

Cabe pararse a establecer una clara diferencia entre las unidades de medida que deben emplearse en el **balance energético** de los edificios.

Si bien la **energía** consumida por el sistema se expresa, según el Sistema Internacional, en Julios, y corresponden la capacidad de realizar un trabajo, la **potencia** no es otra cosa que el ritmo al que se desarrolla ese trabajo, y por tanto incorpora la variable del tiempo, midiéndose en *Julios/Segundo*, o lo que viene a ser lo mismo, en *Vatios (W)*.

$$W = \frac{\text{Julio}}{\text{segundo}}$$

En ocasiones encontraremos, sin embargo, la energía expresada en términos de potencia a lo largo del tiempo, expresando la cantidad de energía que es capaz de producir el sistema y mantener durante ese período de tiempo.

EJEMPLO



1 kWh es la energía correspondiente a mantener la potencia de 1 kW durante una hora, unidad a la que seguramente estaremos más habituados en nuestra facturas de la luz y el gas.

Realizando la anterior conversión:

$$1\text{kWh} = 1.000 \frac{\text{Julios}}{\text{segundo}} \times 3.600 \text{ segundos} = 3.600.000 \text{ Julios}$$

Por tanto la carga térmica, al ser instantánea, se mide en términos de potencia (W, kW o Kcal/h), mientras que la demanda se mide en términos de energía (J, kWh o Kcal).



RESUMEN

- Para disminuir el consumo de energía en el edificio podemos actuar de distintas maneras: disminuyendo la demanda de energía, aumentando el rendimiento del sistema, o bien actuando de forma conjunta sobre demanda y rendimiento del sistema.
- El principio que rige la escala de certificación energética es sencillo: cuanto más CO₂ produzcamos, menor calificación energética obtendremos, estableciendo la normativa un límite de producción de CO₂ por encima del cual el edificio no debe estar.
- La transmisión o conducción se trata posiblemente de la forma más intuitiva de transferencia de energía térmica: cuando ponemos en contacto dos cuerpos con distinta temperatura se produce una transferencia de energía de uno al otro hasta equilibrarse la temperatura.
- **El Consumo Energético es igual a la Demanda de Energía dividido por el Rendimiento del Sistema**

La demanda de energía de un edificio no depende de las instalaciones térmicas que tenga.

Los factores que intervienen en el cálculo de la demanda energética son:

- Condiciones climáticas externas.
- Características ocupacionales y funcionales del edificio.
- Características de la envolvente térmica del edificio.

Sin embargo la demanda térmica sí que influye en el rendimiento de las instalaciones del edificio, aumentando o disminuyendo el consumo de energía.

Los factores que intervienen en el rendimiento de los sistemas del edificio (climatización, producción de agua caliente o iluminación) son:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Energía obtenida}}{\text{Energía consumida}}$$

- El balance energético de un edificio es la diferencia entre las ganancias y pérdidas de energía del edificio en un momento dado.

La diferencia entre ambas equivale a la cantidad de energía que los sistemas de calefacción o refrigeración deberán aportar al edificio para alcanzar el confort térmico en su interior.



TERMINOLOGÍA

Balance energético:

Es la diferencia entre las distintas ganancias y pérdidas de energía del edificio en un momento dado.

Rendimiento medio estacional:

Porcentaje de energía aprovechada por una caldera resultante de deducir las pérdidas, tanto en los periodos de demanda de calor útil como durante las paradas del quemador.