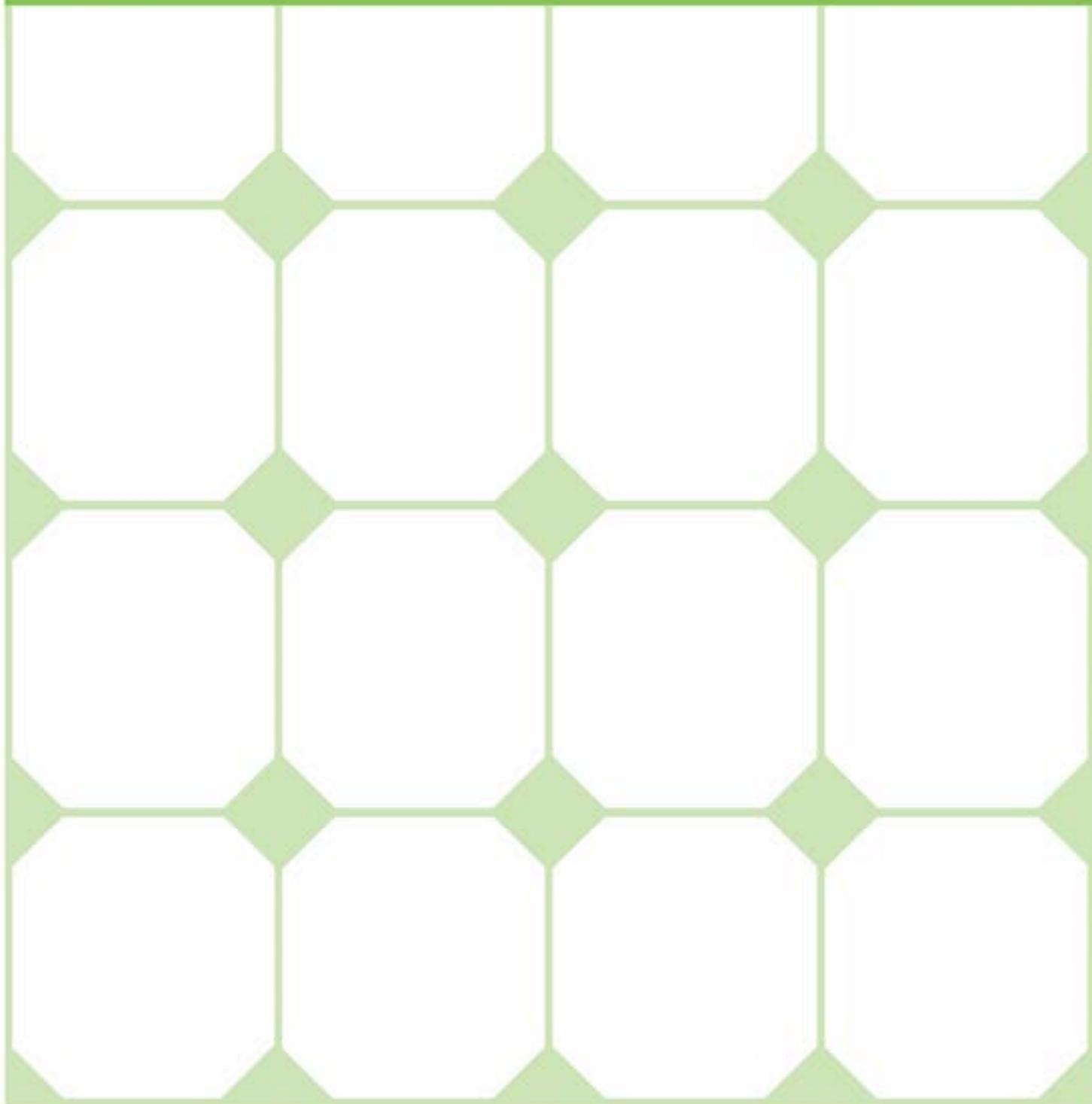


CONSTRUYE
2020



Eficiencia energética
en edificios. Volumen I



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
ESPAÑA

Imprime:
Tornapunta Ediciones
C/ Rivas, 25
28052 Madrid
Tel.: 900 11 21 21
www.fundacionlaboral.org

Depósito Legal: M-19839-2015

UNIDAD 1

Conceptos generales

ÍNDICE

1. Lenguaje y terminología relacionada con la eficiencia energética
2. El edificio como sistema energético
3. Marco normativo
4. Características de los materiales relacionadas con la eficiencia energética

Resumen



Objetivos

- Comprender el funcionamiento del edificio como un sistema energético y conocer los conceptos básicos relacionados con la eficiencia energética.
- Diferenciar la zona climática de cada localidad y su implicación de cara al cálculo térmico y exigencias impuestas por la normativa.
- Tener un conocimiento general de la normativa así como una percepción ordenada de su evolución hasta el momento actual y su repercusión en el diseño actual de edificios.
- Comprender cómo se produce el fenómeno de transferencia del calor a través de los elementos monocapa.

1. LENGUAJE Y TERMINOLOGÍA RELACIONADA CON LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

1.1 Temperatura y transmisión de calor

El proceso de transmisión de calor es posiblemente uno de los más intuitivos que se producen en la naturaleza. Desde las primeras fuentes de energía que se conocen el hombre ha entendido que acercarse al fuego le calentaba, y al alejarse de él se enfriaba.

Con este gesto tan sencillo estamos asumiendo que dos cuerpos cercanos intercambian calor cuando sus temperaturas son distintas, como ocurre en nuestros edificios cuando los espacios del interior (salones, dormitorios, oficinas, etc.) están en contacto con el exterior separados tan solo por una fachada.



Ejemplo

Para entender el proceso comenzaremos por un ejercicio muy simple imaginando dos puntos, uno en el interior del edificio (A) y otro en su exterior (B), y entre ambos un material cuyas propiedades no hacen sino darnos una idea de su comportamiento frente al paso del calor, o lo que es lo mismo, su grado de aislamiento.

En invierno la temperatura del punto A (interior) es superior a la del punto B (exterior), por lo que se producirá un flujo espontáneo de calor en la dirección A-B que por tanto atravesará nuestro material, es decir, nuestro edificio en invierno pierde calor hacia el exterior.

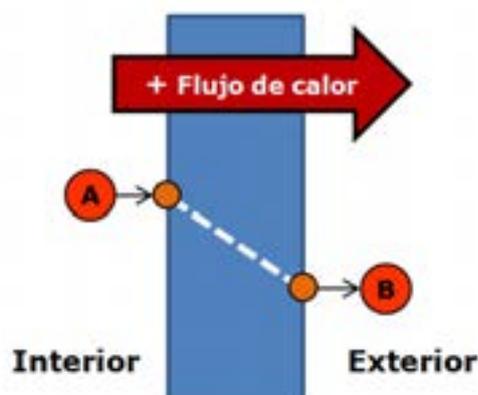


Figura 1. Flujo de calor a través de un material

La conclusión que podemos alcanzar es cómo la transmisión de calor dependerá del material que atraviese, es decir, que el comportamiento de las fachadas, cubiertas y demás componentes de la envolvente del edificio depende de las propiedades físicas de los materiales que la componen.



Recuerda

El comportamiento de las fachadas, cubiertas y demás componentes de la envolvente del edificio depende de las propiedades físicas de los materiales que la componen.

Una forma práctica de representarlo es mediante dos vasos de agua comunicados:

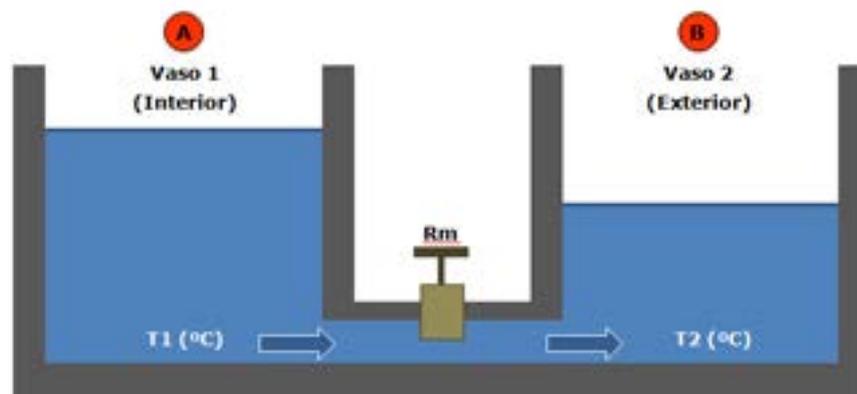


Figura 2. Esquema de flujo por gradiente

En ambos recipientes el nivel de agua marca su mayor o menor temperatura.

Cuando los comunicamos, el agua pasa de forma espontánea de un recipiente al otro hasta que se igualan los niveles, es decir las temperaturas. Si las condiciones no cambian es inevitable que esto suceda, tan solo resta saber en cuánto tiempo, es decir, el ritmo al que se produce el trasvase de agua de un vaso al otro.

El grado de aislamiento del material viene a ser representado en la figura superior como una llave de paso en la tubería que comunica los recipientes (R_m). Según la regulemos pasará más o menos caudal de agua, y por tanto el tiempo de nivelación será mayor. Cuanto más cerrada esté la llave, mayor resistencia al paso, sin poder llegar a cerrarse del todo, ya que supondría que no se produce intercambio térmico entre ambos espacios (el aislamiento sería infinito, algo en principio imposible de alcanzar).

¿Cómo podemos evitar que el vaso 1 se vacíe si es inevitable que traspase agua al vaso 2?

La respuesta es sencilla: rellenándolo de agua, lo que en el ejemplo equivale a encender la calefacción de nuestro edificio, es decir, mientras menos energía perdamos menos tendremos que encender la calefacción.

Esta última es la idea principal de la eficiencia energética, pues no se trata de no encender la calefacción para ahorrar energía, sino de reducir lo más posible su uso aumentando la capacidad del edificio para mantener en su interior una temperatura adecuada, ya sea en invierno o verano.

Podemos pensar que esto se logra únicamente mediante el aislamiento del edificio, pero nos falta un elemento en nuestro esquema. Analicemos el siguiente ejemplo:



Ejemplo

Supongamos un día de invierno en el que nos encontramos con un simple jersey en el interior de un espacio acondicionado a 21 °C. Si salimos a la calle, a una temperatura, por ejemplo 6 °C, nuestro cuerpo intercambiará calor con el medio y pasaremos frío.

Sin embargo esto no sucederá de forma instantánea, sino de manera gradual, es decir retardada en el tiempo, debido a que el flujo de calor entre mi cuerpo y el medio exterior se verá amortiguado por la presencia del jersey que llevo puesto.

El jersey primero amortigua, puesto que sirve de aislamiento, pero también retarda, ya que antes de perder temperatura mi cuerpo, debe perderla el jersey.

Si en lugar de un jersey, nos ponemos un abrigo encima, el retardo y amortiguamiento será mayor, pero aun así, si pasamos el tiempo suficiente en el exterior, llegará un momento en que nuestro cuerpo termine por perder calor hacia el medio, puesto que el flujo natural de la energía así lo establece.

Continuando con nuestro esquema de vasos de agua, lo expuesto equivale a que existe un recipiente intermedio que permite almacenar el calor, de manera que antes de pasar el agua del vaso 1 al 2, debe acumular una parte en el vaso 3.

Este proceso implica dos efectos:

- Amortiguación de la cantidad de agua trasvasada al vaso 2. No toda el agua llega al vaso “exterior”, una parte se queda en el intermedio.
- Retardo en el tiempo de nivelación entre el recipiente interior y exterior, ya que antes de pasar el agua (temperatura) del vaso 1 al 2, debe llenar el vaso 3.

Cuanto mayor sea el depósito intermedio, mayor efecto tendrá en el conjunto.

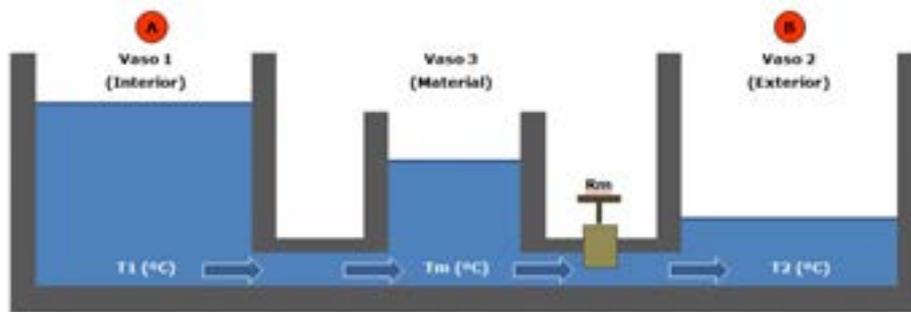


Figura 3. Esquema de flujo por gradiente con acumulación intermedia

Con este ejemplo estamos describiendo a grandes rasgos lo que se denomina **inercia térmica**, y aunque nunca nos lo hayamos planteado, es el principal concepto térmico empleado en la arquitectura tradicional, donde el aislamiento del edificio se confiaba al espesor del muro, que en el ejemplo viene a ser el tamaño del depósito intermedio.

1.2 Unidades de medida

Lo cierto es que el término **kilovatio-hora (kWh)** a pesar de venir reflejado en todas las facturas de calefacción o electricidad que recibimos en nuestros hogares sigue siendo un gran desconocido para la mayoría de consumidores.

En muchas ocasiones incluso se confunde la potencia de los equipos (expresada en kW) con el consumo de energía (en este caso expresado en kWh).

La caldera que tenemos en una vivienda habitualmente cuenta con 25 a 30 kW de potencia.

Sin embargo, cuando recibimos la factura de energía se expresa en kWh, es decir, en términos de potencia multiplicada por tiempo.

La diferencia se encuentra en que la potencia de la caldera es el máximo que puede llegar a producir, lo que no quiere decir que durante todo el año lo esté empleando.

La factura está representando la potencia acumulada que has empleado en un período de tiempo, por ejemplo un mes, un trimestre o un año.


Recuerda

Concepto	Descripción	Unidad
Energía	Capacidad de realizar un trabajo	Julios kWh kcal
Carga térmica	Potencia del sistema (Por ejemplo de una caldera)	kW kcal/h
Demanda térmica	Consumo de potencia en un período de tiempo (equivalente a energía consumida)	kWh kcal

1.3 Propiedades térmicas de los materiales que pueden encontrarse en las fichas técnicas de los fabricantes

Del apartado anterior podemos intuir que el grado de aislamiento de nuestras fachadas o cubiertas dependerá de dos factores: sus propiedades como material aislante y su espesor.

El desarrollo de los proyectos, así como la correcta recepción en obra, impone la necesidad de comprobar las características de los materiales que empleamos, para lo que tendremos que identificar en sus correspondientes fichas técnicas los parámetros que más nos interesen desde el punto de vista térmico.

Los parámetros térmicos más relevantes son:

Conductividad térmica (λ) W/mK

Mide el ritmo al que se transmite el calor a través de un material, propiedad de la que depende su eficacia como aislamiento térmico. Cuanto más baja sea la conductividad, más aislante es el material.


Conductividad térmica

Mide el ritmo al que se transmite el calor a través de un material.

Podemos decir que la conductividad mide la capacidad de un material para “conducir” calor. Sin embargo en el análisis de la demanda térmica suele

interesarnos hablar de los materiales según su capacidad de aislamiento, para lo que empleamos el término de **resistividad térmica** (r):

$$\text{Resistividad térmica} = \frac{1}{\text{Conductividad térmica}} \quad r \text{ (mK/W)} = \frac{1}{\lambda \text{ (W/mK)}}$$

Un material es más aislante cuanto mayor es su resistividad térmica, y en consecuencia menor su conductividad.



Recuerda

Si dudas del dato que están aportando, fijate en las unidades en las que viene expresado:

- W/mK conductividad térmica
- mK/W resistividad térmica

Densidad (ρ) kg/m³

Representa la cantidad de masa (kg) contenida por unidad de volumen de material (1 m³), o lo que es lo mismo, la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.



Densidad

Mide la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.

Se trata por tanto de una propiedad tridimensional expresada en kg/m³, mientras que nuestros edificios solemos emplear materiales con espesores mucho menores que su superficie.

Por ello es habitual utilizar el concepto de **masa superficial** para referirnos al peso de un elemento de espesor conocido por unidad de superficie:

$$\text{Masa superficial (kg/m}^2\text{)} = \text{densidad (kg/m}^3\text{)} \cdot \text{espesor (m)}$$

Ambos conceptos están por lo tanto relacionados, e inciden de forma directa en la inercia térmica y propiedades acústicas del material.

Permeabilidad al vapor de agua

Propiedad que indica la cantidad de vapor de agua que es capaz de atravesar un material en función de su superficie, espesor y diferencia de presiones a ambos lados del material.

Aunque no tiene una relación directa con el balance térmico, sí que merece ser tomada en cuenta ya que regula de forma directa la formación de condensaciones en los cerramientos del edificio.

Suele expresarse mediante un factor adimensional que mide la **resistencia a la difusión del vapor del agua** (μ), de manera que un valor elevado del mismo indica que el material es “impermeable”, es decir, constituye una excelente barrera de vapor.

De esta forma un plástico como el polietileno presenta un factor de difusión al vapor de agua de 100.000, mientras que en un aislamiento tradicional como la lana mineral ese mismo factor es de 1. Lógicamente el segundo material será mucho más propenso a la formación de condensaciones que el primero.



Ejemplo

La obtención de las propiedades físicas de los materiales implica procedimientos estandarizados recogidos en distintas normas UNE que garantizan que todos los fabricantes miden la conductividad o densidad de sus productos en similares condiciones.

Comparemos las características de dos materiales comunes en la construcción, hormigón armado y una fábrica de 1 pie de ladrillo perforado de 7 cm de altura:

	Conductividad (W/mK)	Densidad (kg/m ³)	Factor difusividad vapor agua
Hormigón armado d > 2500	2,5	2.600	80
1 pie LP 60 mm < G < 80 mm	0,567	1.150	10

Podemos concluir que el hormigón es un material más pesado, con mejores condiciones acústicas y mayor inercia térmica, ya que el calor específico en ambos materiales es similar pero la densidad del hormigón es mucho mayor.

La fábrica de ladrillo sin embargo es mejor aislante, puesto que su conductividad es menor.

Desde el punto de vista de la formación de condensaciones, ninguno de los dos materiales sería capaz de evitarlas por su bajo factor de difusividad, si bien la respuesta del hormigón sería más favorable que la del ladrillo.

1.4 Demanda y consumo de energía

En apartados anteriores hemos empezado a intuir la diferencia entre “demandar” energía y “consumir energía”.



Demanda energética

La demanda energética representa la cantidad de energía útil que el edificio precisa para mantener condiciones internas de confort.

Si estuviéramos en nuestra vivienda en invierno, la demanda de energía sería la energía que pediríamos a la caldera que aportara para mantener la temperatura en nuestro salón.

Sin embargo todo sistema de calefacción o refrigeración funciona como un coche: para desplazarse precisa de combustible y su motor tiene un rendimiento, es decir, no todo el combustible que consume es capaz de transformarlo en energía útil.

El consumo de energía para atender a la demanda de los usuarios tiene una directa relación con la calificación energética alcanzada, y responde a una sencilla expresión:

$$\text{Consumo energético} = \frac{\text{Demanda de energía}}{\text{Rendimiento del sistema}} - \text{Aporte energías renovables}$$

De esta fórmula podemos extraer como primera conclusión que para disminuir el consumo de energía en el edificio, y con ello mejorar la calificación energética del mismo, podemos actuar de distintas maneras:

1.- Disminuir la demanda de energía, mejorando térmicamente el edificio mediante seis grandes grupos de estrategia, lo que se conocen como medidas **pasivas**, puesto que no requieren consumo de energía:

- Adaptación del edificio a su entorno (orientación, captación solar, viento, etc.).
- Condiciones de uso del edificio: control y gestión de la energía bien por medios manuales dependientes del usuario o automatizados (domótica).
- Comportamiento de la envolvente térmica (fachadas, cubiertas, suelos, etc.).
- Control de la radiación solar (vidrios con protección, aleros, sombras arrojadas, etc.).

- Control de la renovación de aire (mejora de la infiltración por ventanas intercambiadores de calor, etc.).
- Eficiencia de las instalaciones de iluminación (aprovechamiento solar, sistemas de bajo consumo, etc.). Apartado que si bien tiene menos peso en los edificios residenciales, resulta fundamental en los de uso terciario.

2.- Aumentar el rendimiento del sistema, lo que corresponde a los equipos de climatización del edificio, es decir, la parte que precisa de un consumo de energía y que se conocen como parte **activa** del edificio.

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.

3.- Aumentar la aportación de las energías renovables, bien en apartado de consumo térmico (paneles solares térmicos, calderas de biomasa, etc.) o eléctrico (paneles fotovoltaicos, sistemas de cogeneración, etc.).



Ejemplo

Una forma sencilla de diferenciar entre medidas **pasivas** y **activas** es pensar en la forma más sencilla de mantener caliente el café: mediante un termo o una cafetera. Un termo mantiene el café caliente impidiendo que se enfríe, es decir, aislándolo del exterior, pero sin consumo de energía. Se trata por tanto de un sistema pasivo. Una cafetera sin embargo no dispone de aislamiento, pero sí de una resistencia que consumiendo electricidad es capaz de mantener la temperatura del café calentándolo. En este caso el sistema es activo.

Parece lógico pensar que el sistema ideal está en un punto medio entre ambos, es decir, aquel que evita que el café se enfríe aislándolo del exterior pero que pueda emplear un sistema de calentamiento cuando la temperatura exterior sea tan baja que con aislar no sea suficiente.

Este es el planteamiento de la eficiencia energética, consumir tan solo lo que realmente necesites.

El siguiente paso sería que la poca energía que consumiera provenga de una fuente bajo coste y emisiones de CO₂ nulas, es decir, una energía renovable.

1.5 Certificación y etiqueta energética

La certificación energética es un método de comparación, lo que implica tomar dos decisiones: qué se compara y a qué se compara.

En el procedimiento de certificación se comparan diversos valores o indicadores intermedios de cada uno de los principales sistemas implicados en el consumo de energía:

- Calefacción.
- Agua Caliente Sanitaria (ACS).
- Refrigeración.
- Iluminación (tan solo en edificios de uso terciarios).

Sin embargo de todos ellos dos son los reflejados en el resultado final de la etiqueta energética:

- El consumo de energía primaria (kWh/m² año).
- Las emisiones de CO₂ (kgCO₂/m² año).

El escenario de comparación se plasma en forma de una escala de calificación energética (A hasta G), siendo la A el escalón de mayor eficiencia.

Queda una última cuestión por resolver: cómo ha de realizarse dicha comparación, es decir, qué procedimientos de comparación y cálculo de los indicadores son válidos y cuáles no.

La certificación energética tal y como está establecida en nuestra normativa, se realiza a través de un procedimiento de cálculo reconocido por el Ministerio de Industria en base a coeficientes estándar de operación y funcionamiento del edificio.

Por último, la validez del procedimiento de cálculo empleado debe ser asumida por un técnico competente, que firma la calificación energética y la convierte en certificado, reflejado en última instancia mediante la denominada etiqueta energética del edificio, posiblemente la parte más reconocible de todo el proceso.

¿Qué ocurre cuando cambiamos los materiales de proyecto durante la ejecución de la obra?

Que debemos actualizar la certificación energética del edificio, de manera que la etiqueta final que se proporcione refleje la realidad de lo construido, no lo proyectado.

Por ello los cambios de materiales, sistemas constructivos o equipos de climatización tienen tanta relevancia y deben ser siempre autorizados por la Dirección Facultativa de la obra que posteriormente firmará el certificado energético del edificio.

Dos apuntes sobre la certificación energética:

- 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 una buena certificación energética en la escala de emisiones.
- Las energías renovables tienen asociado un factor de emisiones de CO₂ nulo o neutro, por lo tanto su uso es recomendable en aquellos edificios que pretendan optar a las calificaciones energéticas más elevadas (A o B).



Recuerda

La escala de certificación energética desde Junio de 2013 es doble: Consumo de energía primaria (kWh/m² año) y emisiones de CO₂ (kg CO₂/m² año).



Figura 4. Etiqueta Energética con doble escala de calificación. La primera columna corresponde al consumo de energía primaria y la segunda a las emisiones de CO₂.

2. EL EDIFICIO COMO SISTEMA ENERGÉTICO

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.

Todo edificio aspira a alcanzar y mantener en su interior condiciones óptimas de salubridad, entre las que se encuentran las relacionadas con el bienestar térmico de sus ocupantes del edificio: se trata de reducir el consumo energético sin renunciar a la “comodidad” de poder gozar de una temperatura y humedades adecuadas en cada momento.

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.

2.1 Confort higrotérmico

El objetivo de los sistemas térmicos del edificio es mantenernos en situación de confort en su interior, por lo que lo primero que tendremos que definir son las condiciones que acotan dicho estado.



Confort higrotérmico

El confort higrotérmico es la sensación subjetiva de la persona respecto a la combinación de condiciones de temperatura, humedad y viento que le rodean.

Parece lógico pensar que la sensación térmica que cada persona pueda percibir depende en gran medida de la actividad física que esté desarrollando en ese momento, pues no es lo mismo estar sentado que practicando deporte, o de factores como la vestimenta que lleve puesta o simplemente de su edad, peso o complexión.

Si asimilamos el cuerpo humano a una “máquina” que genera calor por su metabolismo, podemos entender la sensación de confort como un equilibrio térmico entre el calor generado por el cuerpo humano y el ambiente que le rodea: cuando el balance se rompe, bien porque perdemos calor en exceso o porque no somos capaces de disiparlo, el individuo percibe una sensación de incomodidad.

Sin embargo ante la situación antes descrita el individuo puede reaccionar y adaptarse a su entorno de formas distintas según su edad, hábitos, recursos disponibles, etc., Puede decirse que está “acostumbrado” a ciertas condiciones de temperatura y humedad que sin embargo a nosotros nos pueden parecer incómodas.



Ejemplo

Un habitante del centro de la Península suele tardar días en adaptarse a la humedad de las zonas costeras en verano, y viceversa.

La normativa actual lo que pretende es establecer unas condiciones básicas para todo el mundo que nos permitan diseñar edificios con la certeza de que la mayor parte de sus inquilinos alcanzarán el confort en su interior.

Para ello el Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE) marca los siguientes parámetros:

Estación	Temperatura operativa (°C)	Humedad Relativa (%)
Verano	23-25	45-60
Invierno	21-23	40-50

2.2 Zonas climáticas

Si el edificio precisa de sistemas de calefacción o refrigeración es simplemente porque el medio externo no proporciona la temperatura y humedad que sus ocupantes demandan.

A la hora de dar respuesta con el diseño del edificio, parece lógico pensar que no puede ser lo mismo proyectar un iglú en el Polo Norte que una tienda en el desierto. El primero deberá protegernos de las bajas temperaturas y vientos helados mediante muros gruesos de alta inercia térmica, mientras que en el segundo deberemos obstruir la radiación solar y aprovechar la bajada nocturna de la temperatura para disipar el calor, por lo que en ese caso nos interesa un edificio ligero, capaz de enfriarse con facilidad.

Con este ejemplo, quizás un tanto extremo, queda claro que el balance energético comienza por conocer y caracterizar las condiciones exteriores a las que nos enfrentamos para posteriormente poder dimensionar los medios con los que hacerle frente.

En general la temperatura del aire tiene dos factores determinantes, la radiación solar, ya sea directa o acumulada en el terreno, y la velocidad del viento, ambos responsables de la oscilación de las temperaturas a lo largo del día.



Ejemplo

En días nublados la temperatura del aire es menor, pero más estable, sin grandes oscilaciones.

En días soleados la temperatura varía a lo largo del día en función de la radiación solar.

Sin embargo, incluso en días soleados, si la velocidad del aire es elevada su efecto prevalece disipando energía (calor) y reduciendo la temperatura percibida.

Intentar atender a las continuas variaciones climáticas resultaría completamente inabarcable, y dado que el clima en una localidad suele responder a las mismas pautas año tras año, se establece un conjunto de condiciones climatológicas o año tipo meteorológico característico para cada localidad, considerándose representativo el balance de al menos 10 años, pero siendo lo ideal un período de 20 a 30 años.

Nace de esta forma el concepto de **zona climática**, definido como un conjunto de localidades para las que se establecen unas solicitaciones exteriores comunes (clima de referencia), empleadas a efectos normativos para el cálculo de la demanda energética de los edificios.



Zona climática

Definida como un conjunto de localidades para las que se establecen unas solicitaciones exteriores comunes (clima de referencia), empleadas a efectos normativos para el cálculo de la demanda energética de los edificios.

En total nuestra actual normativa (CTE-HE1) en su primera edición de 2006 presentó 12 zonas climáticas identificadas con una letra, correspondiente a la severidad climática de invierno, y un número, correspondiente a la severidad climática de verano, que no hacen sino responder a la variedad de climas de la Península Ibérica (mediterráneo, continental y atlántico).



Figura 5. Zonas climáticas según el CTE-HE1 2006



Ejemplo

¿Qué condiciones exteriores podemos esperar en una localidad clasificada como E1?

Inviernos muy fríos y veranos muy suaves. Por ejemplo Ávila, León o Soria

¿Y en una localidad A4?

Inviernos suaves y veranos muy cálidos. Por ejemplo Almería.

¿Y en una localidad B3?

Temperaturas suaves todo el año. Corresponde a localidades costeras mediterráneas como Valencia, Castellón, etc.

Podemos observar que en la Península, la mayor severidad climática en invierno se da en las provincias del interior, sobre todo en el norte de España. Los climas más templados por el contrario se producen en provincias limítrofes con el mar, especialmente en el sur de la Península.

ZONAS CLIMÁTICAS		ZONA CLIMÁTICA DE INVIERNO				
		A	B	C	D	E
ZONA CLIMÁTICA DE VERANO	4	Almería	Alicante, Córdoba, Huelva, Sevilla	Badajoz, Cáceres, Jaén, Toledo		
	3	Cádiz, Málaga, Melilla, Las Palmas, Santa Cruz	Castellón, Céuta, Murcia, Mallorca, Tarragona, Valencia	Granada	Albacete, Ciudad Real, Guadalajara, Lleida, Madrid, Zaragoza	
	2			Barcelona, Girona, Ourense	Cuenca, Huesca, Logroño, Salamanca, Segovia, Teruel, Valladolid, Zamora	
	1			Bilbao, A Coruña, Donostia, Oviedo, Pontevedra, Santander	Lugo, Palencia, Pamplona, Gasteiz	Ávila, Burgos, León, Soria

Tabla D1. He-1 del Código Técnico de la Edificación

Figura 6. Correspondencia entre localidades y zonas climáticas. CTE-HE1 2006

2.3 Perfiles de uso del edificio

Todos los valores que venimos aportando están referidos a un instante de tiempo y se encaminan al cálculo de las instalaciones térmicas, pero en realidad el uso del edificio puede ir variando a lo largo del día o de la semana y con ello las cargas internas y las necesidades térmicas. Es lo que se conoce como **condiciones operacionales** del edificio.

En el caso de edificios residenciales las variaciones son menores y el patrón de uso está más estandarizado con leves variaciones entre los días de diario y los fines de semana o festivos. Podemos incluso llegar a considerar estables los valores de temperatura y humedad interna, ya que el uso del edificio es continuo y homogéneo.

En edificios de otros usos sin embargo la demanda de climatización obedece al horario de uso del local, lo que puede variar notablemente su demanda energética y hace necesario un estudio particular de cada caso.



Ejemplo

Mientras que una vivienda debe estar siempre disponible para ser “habitada”, una biblioteca pública está sujeta a un horario de uso en el que sus sistemas de climatización estarán funcionando.

Paradójicamente se puede llegar a la situación de un local o edificio que no precise climatizarse durante un largo período de tiempo, por ejemplo un edificio de oficinas en fin de semana.

Si en este caso dejáramos al edificio libre del aporte que suponen los sistemas de climatización, llegaría a enfriarse o calentarse en exceso, y esa carga debería ser afrontada cuando el edificio volviera a su uso habitual (en el ejemplo anterior, el lunes). Es lo que se denomina **carga de reposición**.

Para evitar esta situación se suele fijar una temperatura de consigna mínima, generalmente es tan solo en invierno y en torno a los 15-17 °C, que evita que el sistema de calefacción tenga que hacer un esfuerzo innecesario de reposición de las condiciones de confort en el interior del edificio.



Ejemplo

Siguiendo con el ejemplo de la biblioteca, fuera del horario de uso, deberemos evitar en la medida de lo posible que el edificio pierda demasiado calor, ya que al día siguiente tendremos que recuperarlo de nuevo.

Sin embargo en ese período de tiempo en el que el edificio está desocupado, las instalaciones térmicas, y con ello su consumo, no tienen que atender a criterios de bienestar térmico, sino a otros parámetros mucho menos exigentes.

El patrón operacional de temperaturas en régimen de invierno para la biblioteca propuesta podría ser el siguiente:

	L	M	X	J	V	S	D
8 – 19 h	21 °C	17 °C					
19 – 8 h	17 °C						

Es decir, una temperatura de 21 °C en horario de atención al público y de 17 °C fuera del mismo.

2.4 Ganancias internas del edificio

Conocidas las condiciones de diseño del edificio y su búsqueda del patrón de confort llega el momento de abordar qué puede hacer el edificio para calentarse por sí mismo.

Cabe destacar que si bien la mayor parte del calor no generado por los sistemas térmicos proviene de la radiación solar, también las ganancias internas contribuyen a proporcionar calentamiento gratuito, ya que son una fuente de calefacción en invierno, convirtiéndose sin embargo en una carga de refrigeración a vencer en verano.

Su origen puede ser muy diverso, aunque en general se agrupan en:

Ganancias por personas

Depende directamente de la ocupación (que podemos calcular según el CTE-SI) y actividad metabólica. Tendrá una componente de calor sensible asociado a la radiación y convección del cuerpo y otra latente asociada al vapor de agua procedente de la respiración, que influye en la humedad del ambiente.

Sistemas de iluminación

Los sistemas de iluminación son por norma general eléctricos, por lo que la potencia consumida en Vatios (W) termina disipándose en el ambiente en forma de calor sensible, es decir, sin alterar la humedad del entorno.

Por ello suele asimilarse la potencia térmica a la potencia eléctrica instalada, con algunas peculiaridades como el uso de fluorescentes, en los que las reactivancias del cebador disipan en torno al 20% de la potencia eléctrica sin que tenga su repercusión en forma de calor.

Equipamiento

Su origen es diverso: ordenadores, impresoras, cocinas, termos, etc. por lo que debe analizarse de forma individualizada para cada edificio, tanto en su componente de calor sensible como latente, aunque esta última salvo en casos concretos (cocinas, industrias, etc.) es despreciable.

En los usos administrativos, por poner un ejemplo, el mayor aporte de calor proviene de los ordenadores y pantallas.

2.5 Orientación y ganancias por radiación solar

El Sol es sin duda el elemento fundamental de nuestro clima.

Su presencia o ausencia determina las condiciones de temperatura e iluminación de las ciudades, y con ello las distintas estrategias de ahorro energético, fijando desde los horarios de trabajo hasta las tipologías constructivas.

Desde el punto de vista del balance energético del edificio, el Sol, o para ser más precisos la radiación solar, tiene una doble vertiente, siendo un importante aliado en invierno y el principal factor a combatir por los sistemas de refrigeración en verano.

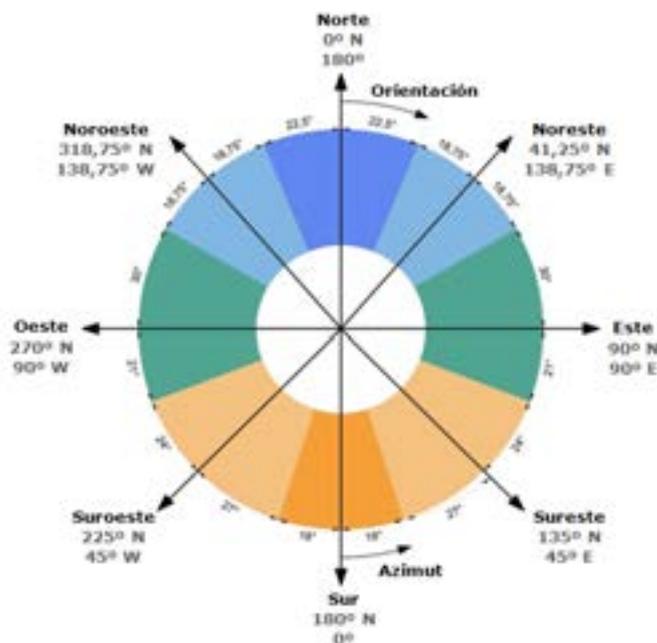
De la cantidad máxima de radiación solar que podríamos recibir según nuestra posición respecto al Sol debemos descontar las pérdidas generadas por orientación y obstrucción.



Recuerda

La cantidad de radiación recibida depende de la orientación del elemento considerado, ya sea cerramiento o ventana, y por tanto de su posición relativa respecto al Sol.

En nuestra normativa (CTE-HE1) se establecen las posiciones que pueden adoptar cada uno de los elementos de fachada mediante un rango de posición relativa al Norte geográfico (orientación), que fácilmente podemos traducir a su equivalente respecto al sur (azimut), tal y como se muestra en la figura:



	Rango de Orientación	Rango de Azimut
Norte	0 - 22,5°	157,5° E - 180° E
Noreste	22,5° - 60°	120° E - 157,5° E
Este	60° - 111°	69° E - 120° E
Sureste	111° - 162°	18° E - 69° E
Sur	162° - 198°	18° E - 18° W
Suroeste	198° - 249°	18° W - 69° W
Oeste	249° - 300°	69° W - 120° W
Noroeste	300° - 337,5°	120° W - 157,5° W
Norte	337,5° - 360°	157,5° W - 180° W

Gráfico 7. Posibles orientaciones según el CTE-HE1

Cada orientación presenta un rango de ángulos asumiendo, por ejemplo, que una orientación Sur no es solamente un azimut 0°, sino un margen entre +18° y -18°.

Dado que cada orientación establece una distinta relación con el Sol, cabe preguntarse qué orientación es la mejor, algo que suele interesar a toda persona que pretende adquirir una vivienda.

En realidad no existe una orientación “perfecta”, y cada una conlleva una serie de contrapartidas a los beneficios que otorga, según el clima de la localidad en la que se sitúe.

El siguiente gráfico muestra la variación de la radiación solar a lo largo del año según la orientación de la fachada para una latitud 40° N, que podemos entender como la media en la Península Ibérica.

Comparación de la radiación incidente a lo largo de un año a 40° de latitud norte en huecos de fachada con las cuatro orientaciones y en cubierta plana

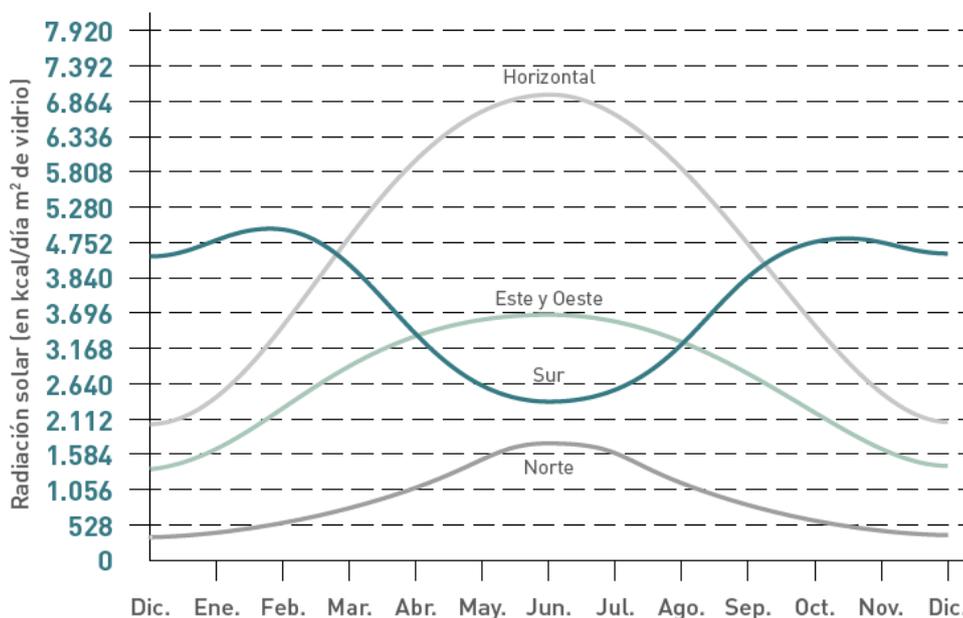


Gráfico 8. Radiación solar para Latitud 40° N según la orientación de la fachada. Guía de recomendaciones de eficiencia energética programa CE3. Original de Edward Mazia. El libro de la energía solar pasiva

Observamos que en los meses de invierno (noviembre a febrero) son óptimas las fachadas orientadas a Sur y las cubiertas horizontales frente a cualquier otra orientación posible, ya que son las mayores perceptoras de radiación solar y con ello de calor gratuito para el edificio en el período del año que más falta hace.

En verano sin embargo, las fachadas orientadas al Sur son las que menos radiación reciben, ya que el Sol se mantiene menos tiempo en esa posición (azimut $\pm 18^{\circ}$) y su altura solar es tan elevada (sobre 70°) que la radiación se sitúa casi en paralelo a la fachada.

Las superficies más soleadas sin embargo son las fachadas Este y Oeste, y sobre todo la cubierta horizontal del edificio, donde la captación es máxima.

Podemos concluir que desde el punto de vista de la radiación solar, la fachada más beneficiada es la Sur, ya que recibe menos radiación en verano y más en invierno.

En climas fríos debe evitarse la fachada Norte, mientras que en climas cálidos son las fachadas Este y Oeste las más afectadas por las ganancias solares. En este tipo de climas mencionadas aparte merecen las cubiertas que, con diferencia, son las mayores captadoras de radiación solar.



Ejemplo

La orientación Oeste es sin duda la más perjudicial para un edificio en verano en nuestras latitudes, ya que a una mayor cantidad de radiación solar, tal y como indica el gráfico, se une el calentamiento que durante el día ha recibido el aire que rodea la fachada, por lo que la temperatura exterior, a igualdad que la irradiación, es superior a la de la fachada con orientación Este.

Este efecto es fácilmente comprobable, ya que aunque la radiación solar sea similar a las 10 h que a las 14 h en un día de verano, la temperatura exterior es notablemente distinta.

3. MARCO NORMATIVO

3.1 Antecedentes normativos

La preocupación por el consumo energético de nuestros edificios data del año 1939, fecha en la que aparecen las primeras normas técnicas aplicables a edificios de viviendas acogidos a régimen de protección oficial.

No es sin embargo hasta la crisis mundial de suministro y encarecimiento del combustible en 1973 cuando se aborda el asunto de forma general y común para todo el territorio español mediante el RD 1490/1975.

Este primer Real Decreto tenía como objetivo reducir el consumo en las edificaciones a través de medidas que hoy en día nos parecen esenciales, como limitar las pérdidas máximas de energía del edificio según su compacidad y zona climática, establecer como obligatorio el aislamiento de tuberías de calefacción o limitar la permeabilidad de las ventanas.

El contenido del RD 1490/75 fue recogido y ampliado en el año 79 por la primera normativa de ámbito estatal en materia de energía, la **NBE-CT 79**, vigente hasta la aparición de Código Técnico de la Edificación en Septiembre de 2006.

En el período de tiempo entre la NBE-79 y el CTE-2006 la normativa más notable desarrollada en España fue la Ley de Ordenación de la Edificación (**LOE**) en el año 1999. En ella se establecen por primera vez los requisitos básicos de calidad que debe reunir un edificio para ser considerado como tal: funcionalidad, seguridad y habitabilidad.

Dentro de este último requisito, habitabilidad, se incluye de forma específica el “ahorro de energía y aislamiento térmico, de tal forma que se consiga un uso racional de la energía necesaria para la adecuada utilización del edificio.” Se trata por tanto de reducir el consumo de energía pero sin renunciar al confort térmico.

La propia LOE anunciaba ya en el año 1999 el Código Técnico de la Edificación (**CTE**) como el marco normativo donde se establecerían las exigencias básicas de calidad de los edificios y de sus instalaciones.

De forma paralela los compromisos adquiridos en el protocolo de Kioto (1997) por la Unión Europea derivan en la Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios (conocida por sus siglas en inglés **EPBD 2002**: *Energy Performance of Buildings Directive 2002*), que marca las pautas que deben seguir los distintos países miembros de la Unión Europea, entre ellos España.

La unión de los requisitos establecidos en la legislación Española (LOE 1999) y la necesidad de trasponer las directivas europeas aprobadas (EPBD 2002) dan lugar a una estrategia energética en nuestro país que se concreta con la redacción de 3 grandes documentos reglamentarios:

- El documento básico de ahorro de energía: **CTE-DB-HE 2006**.
- La modificación del reglamento de instalaciones térmicas en los edificios: **RITE 2007**.
- El real decreto de certificación energética de edificios: **RD 47/2007**.

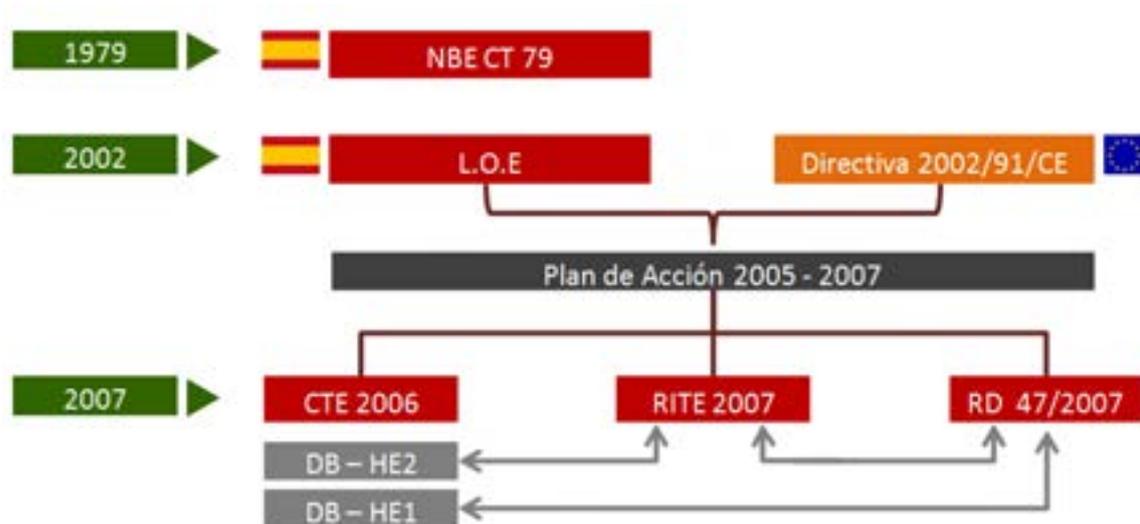


Figura 9. Esquema de desarrollo normativo hasta el año 2007

Cada una de las normativas mencionadas intenta regular alguno de los grandes apartados de la ecuación general de consumo de energía térmica:

$$\text{Consumo energético} = \frac{\text{Demanda de energía}}{\text{Rendimiento del sistema}} - \text{Aporte energías renovables}$$

El CTE-HE1 se encarga de limitar la demanda de energía en el edificio, mientras que el RITE 2007 regula los rendimientos mínimos de los sistemas térmicos que proporcionan la calefacción, refrigeración y el consumo de agua caliente.

El aporte mínimo de energías renovables queda recogido en el CTE-HE4 (energía térmica), mientras que todo el procedimiento debe encontrarse dentro de los límites de emisiones marcado en la reglamentación de certificación energética (Real Decreto 47/2007).

En cierto modo podemos reescribir la anterior ecuación de la siguiente forma:

$$\text{Límites RD 47/2007} = \frac{\text{Límites de demanda CTE/HE1}}{\text{Rendimiento mínimo RITE/2007}} - \text{Aporte renovable mínimo CTE/HE4}$$

En edificios de uso terciario se tiene en cuenta para la certificación energética el consumo eléctrico por iluminación, cuya demanda limita el CTE-HE3.

Así mismo en este tipo de edificios, según su tamaño y uso, se establece un aporte mínimo de energía eléctrica mediante fuentes renovables, marcado en este caso por el CTE-HE5.

La normativa creada se marca de esta forma una escala de prioridades:

- 1.- Reducir la demanda de energía necesaria para mantener el confort en el edificio.
- 2.- Disminuir el consumo de combustible convencional, aumentando el rendimiento de los sistemas térmicos.
- 3.- Cuando no sea posible reducir el consumo (ACS e iluminación en grandes terciarios), emplear en la mayor medida posible fuentes de energías renovables.



Figura 10. Esquema de estrategia normativa en materia de energía



Ejemplo

La primera normativa de energía con ámbito nacional fue la NBE-CT-79, vigente hasta la aparición de Código Técnico de la Edificación en Septiembre de 2006.

El CTE-HE 2006 es fruto de las exigencias establecidas en la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE 1999) y la Directiva Europea 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios (EPBD 2002).

3.2 Marco normativo actual

Mientras en España se estaba llevando a cabo la consolidación del nuevo marco normativo en materia de energía, en Europa el planteamiento iba más allá.

La Directiva de Energía del año 2002 marcaba las pautas a seguir por todos los países miembros de la UE, pero no el objetivo que debían perseguir, más allá de la progresiva reducción del consumo de energía.

En 2007 se presenta la iniciativa 20/20/20, un ambicioso plan que se marca como meta para el año 2020 tres grandes frentes:



Figura 11. Estrategia 20/20/20

Tener un nuevo objetivo implica redirigir el camino planteado, para lo cual se procede a revisar la Directiva EPBD 2002, y lo que comienza siendo una revisión de la normativa termina convirtiéndose en un documento prácticamente nuevo, la Directiva 2010/31/UE, conocida nuevamente por sus siglas en inglés, **EPDB 2010**.

Su objetivo es fomentar la eficiencia energética de los edificios de la Unión Europea, lo que supone en torno al 40% de su consumo de energía total, consiguiendo que para el año 2020 que todos los edificios de nueva construcción alcancen un **consumo de energía casi nulo** conocidos por sus siglas en inglés **nZEB** (*nearly Zero Energy Building*).

Nuestra normativa aún no cuantifica un nivel específico de consumo de energía (kWh/m² año) asociado al concepto de **consumo casi nulo**, si bien puede intuirse que corresponde a una certificación en energía primaria de clase A o superior.

Dado que cada país de la UE es distinto, el ajuste para alcanzar el objetivo 20/20/20 debe realizarse teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales bajo un principio de rentabilidad entre el coste de aumentar la eficiencia de los edificios y el ahorro de energía que proporciona. Nace de esta manera el concepto de **coste óptimo**.

Cada país debe revisar y ajustar los requisitos de consumo establecidos en sus edificios cada 5 años según criterios óptimos de rentabilidad, es decir, qué podemos hacer a un precio asumible.

Dado que se trata de poder comparar los resultados obtenidos por cada país, la metodología de cálculo de coste óptimo queda recogida en el Reglamento Delegado 244/2012, y su aplicación marca el nivel de mejora energética que progresivamente iremos aplicando a nuestros edificios.

Una vez marcado el objetivo (estrategia 20/20/20) y el ajuste a realizar para alcanzarlo (estudios de coste óptimo), tan solo queda trasponer las directivas europeas al ordenamiento nacional, lo cual se realizó en primera instancia mediante la Ley de Economía Sostenible (Ley 2/2011) y posteriormente con la modificación de los tres documentos creados en 2007:

- **Documento Básico DB-HE “Ahorro de energía”**, actualizado mediante la orden FOM/1635/2013.
- **RITE 2007**, modificado mediante el Real Decreto 238/2013.

- **Certificación energética**, sustituyendo el RD 47/2007 por el **RD 235/2013**, que incluye no solo a los edificios de nueva construcción, sino también a los existentes.



Figura 12. Esquema normativa actual



Recuerda

El objetivo de las políticas energéticas europeas para 2020 es alcanzar edificios de consumo casi nulo (nZEB o *nearly Zero Energy Building*), para lo que los países miembros deberán ir progresivamente revisando a la baja mediante estudios de coste óptimo los límites de consumo de energía establecidos en sus normativas. Dentro de este marco de revisión se encuentra la actualización del CTE-HE realizada en 2013.

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES RELACIONADAS CON LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

4.1 Teoría de la transferencia del calor

Volveremos a la figura inicial del manual para completar la explicación de los procesos de transmisión del calor entre los edificios y el medio externo.

En el paso de energía del punto A al B se produce la transmisión de calor de 4 formas distintas:

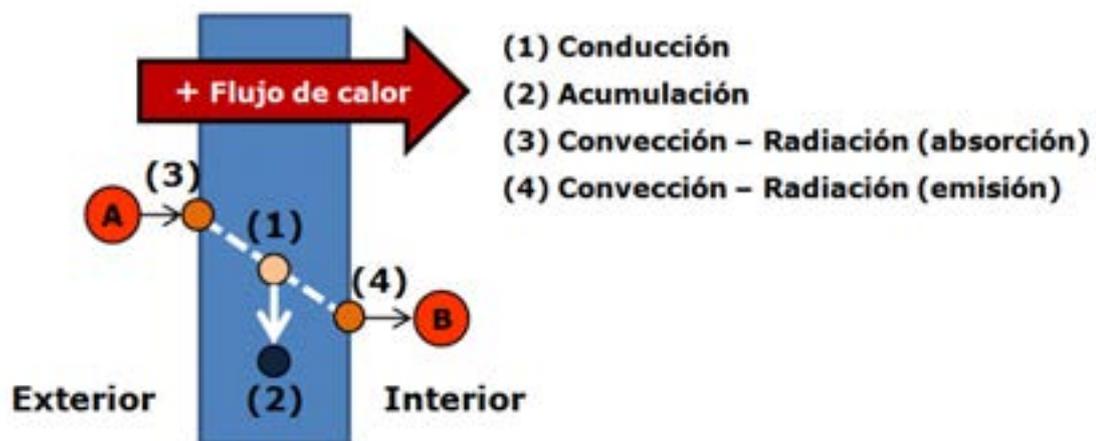


Figura 13. Procedimientos de transferencia de calor a través de un material homogéneo

El flujo de energía en forma de calor desde el punto A al B no puede evitarse por completo, pero sí amortiguarse de distintas formas:

1.- Reduciendo la conducción a través del material

En el punto (1) estaremos ante un caso de conducción de energía en el interior del material, por lo que podemos “resistirnos” a su paso mediante materiales de baja conductividad térmica. Es el caso de los **aislamientos resistivos** tradicionales basados en espumas de material plástico (poliuretano o poliestireno), lanas minerales, etc.

2.- Acumulando parte del calor en el material

En el interior del material (punto 2) podemos retrasar y reducir el calor que llega a B acumulando parte del mismo. En este caso necesitaremos materiales con **alta capacidad térmica** que permitirán poder contar con la inercia térmica del cerramiento, como en el caso de la arquitectura tradicional de muros masivos, o con aislamientos de **cambio de fase**, que emplean su calor latente para almacenar energía.

3.- Resistiendo a su absorción o emisión en la superficie del material

En los puntos 3 y 4 se desarrollará el paso del calor desde el material sólido al aire que le rodea mediante dos procedimientos: convección y radiación.

El intercambio por convección dependerá de la velocidad del aire, por lo que su valor no podemos asociarlo al material empleado.



Ejemplo

Pensemos en algo tan simple como soplar la sopa para enfriarla: en realidad lo que estamos haciendo es favorecer el intercambio entre el entorno y el líquido aumentando la velocidad del aire en su superficie.

La parte de radiación que se absorbe o emite en las superficies del material sí que puede controlarse, bien mediante materiales con **baja absorptividad** o superficies de **baja emisividad**, como es el caso de los aislamientos reflectivos.

4.2 Transmitancia térmica (U) W/m²K

La conducción en un material sólido es el fenómeno de transmisión de energía entre las moléculas de un material debido a su vibración.

El aumento de temperatura de la superficie del material no es sino un aporte de energía a las moléculas de esa zona, que gracias a ello aumentan su velocidad (energía cinética) provocando una vibración que se transmite a su entorno.

Para poder definir el fenómeno de la conducción partimos de las propiedades del material, en este caso de su conductividad térmica (λ), definida para 1 metro de espesor de material.

Sin embargo en nuestros edificios los espesores, por noma general, son mucho menores, por lo que nos vemos en la necesidad de definir una unidad que represente la conductividad del cerramiento en función de su espesor, la **Transmitancia térmica (U)**:

$$\text{Transmitancia térmica} = \frac{\text{Conductividad}}{\text{espesor}} \quad U \text{ (W/m}^2\text{K)} = \frac{\lambda \text{ (W/mK)}}{e \text{ (m)}}$$

La transmitancia térmica representa la “facilidad” que posee un elemento homogéneo de espesor “e” (m) para transmitir calor.

Cuanto menor es la transmitancia de un cerramiento, menos calor transmite, es decir, mayor es su capacidad como aislante, por lo que al igual que con la conductividad en ocasiones se representa bajo el concepto de **Resistencia térmica (R)**:

$$\text{Resistencia térmica} = \frac{1}{\text{Transmitancia térmica}} \quad R \text{ (m}^2\text{K/W)} = \frac{1}{U \text{ (W/m}^2\text{K)}} = \frac{e \text{ (m)}}{\lambda \text{ (W/mK)}}$$



Ejemplo

Considerando un muro de 25 cm de espesor, calcularemos la transmitancia térmica de dos materiales completamente distintos:

	Conductividad (W/mK)	Espesor (m)	Transmitancia térmica (W/m ² K)	Resistencia térmica (m ² K/W)
Hormigón armado d > 2500	2,5	0,25	10	0,10
1 pie LP 60 mm < G < 80 mm	0,567	0,25	2,26	0,44

Si nos fijamos en la última columna, comprobaremos que la resistencia al paso del calor en el hormigón es menor que la que ofrece el ladrillo para un muro de 25 cm.

Realicemos la misma comprobación, pero en esta ocasión entre una pantalla de hormigón de 50 cm y el mismo cerramiento de ladrillo:

	Conductividad (W/mK)	Espesor (m)	Transmitancia térmica (W/m ² K)	Resistencia térmica (m ² K/W)
Hormigón armado d > 2500	2,5	0,50	5	0,20

Podemos observar que el ladrillo sigue siendo mejor solución térmica, pero que sin embargo las prestaciones del muro de hormigón aumentan con su espesor.

Esta es la gran diferencia entre conductividad y transmitancia: mientras que la primera es propia del material, la segunda depende en gran medida del espesor del cerramiento.

4.3 Transferencia del calor en elementos de una sola capa

Comenzaremos por el elemento más sencillo, un cerramiento de una sola capa de material homogéneo caracterizada por su espesor e (m) y su conductividad térmica λ (W/mK).

En su cara externa estará sometido a la temperatura exterior (T_e) que en un principio supondremos igual a la temperatura interior (T_i).

$$T_e (\text{°C}) = T_i (\text{°C})$$

En este estado inicial no se producirá intercambio de calor a través del material, ya que el sistema se encuentra en equilibrio y no se produce transferencia térmica.

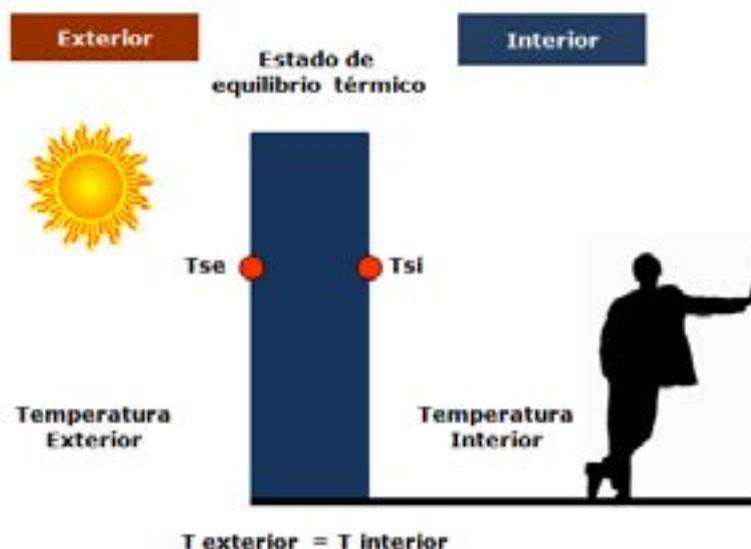


Figura 14. Estado de equilibrio térmico

Ahora supongamos que la temperatura exterior disminuye, manteniéndose la interna en su valor original, pasando a un estado de desequilibrio térmico:

$$T_e (\text{°C}) < T_i (\text{°C})$$

Como vimos en apartados anteriores el flujo espontáneo de calor se desarrollará de forma unidireccional desde los cuerpos de mayor temperatura hacia los de menor temperatura hasta lograr el equilibrio térmico del sistema.

Por tanto, si la temperatura exterior es menor que la interior se producirá de forma espontánea una transferencia de energía entre las caras de la fachada.

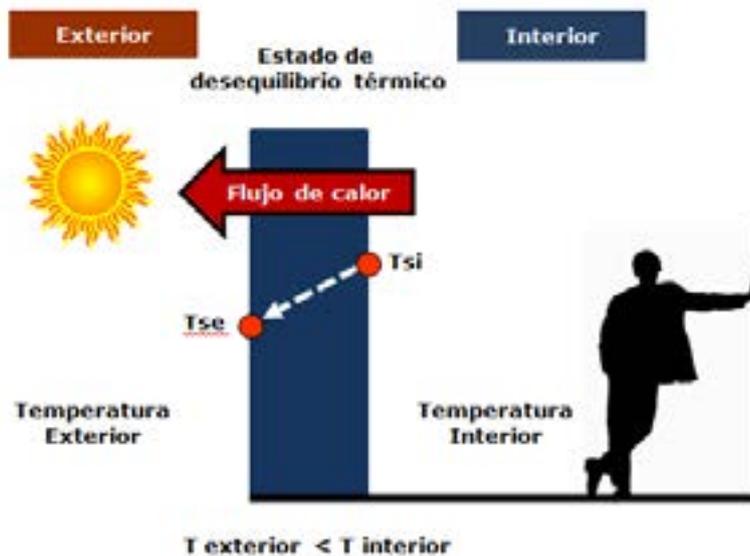


Figura 15. Estado de desequilibrio térmico

Este proceso es inevitable, salvo que aportemos energía externa al sistema, y la velocidad a la que se produzca depende de las características del material que separa ambos espacios, es decir, de su capacidad de aislamiento.



Ejemplo

Si en un día de verano llevamos bebida fría en una nevera portátil y la dejamos en el exterior el suficiente tiempo, llegará un momento en el que las bebidas se calienten, ya que se producirá un intercambio de calor entre la temperatura exterior con la interior de la nevera.

El tiempo que tarde en producirse esta transferencia dependerá de la temperatura inicial de la bebida y de la capacidad de aislamiento de la nevera.

Se trata de un mecanismo inevitable, salvo que aportemos energía al sistema, por ejemplo empleando un sistema de motor frigorífico conectado a la red eléctrica, como de hecho ocurre en las neveras de las cocinas de nuestras casas.

Ya hemos caracterizado la cantidad y dirección del flujo de energía intercambiado, falta establecer el procedimiento por el cual se lleva a cabo el intercambio, que se describen en la siguiente figura:

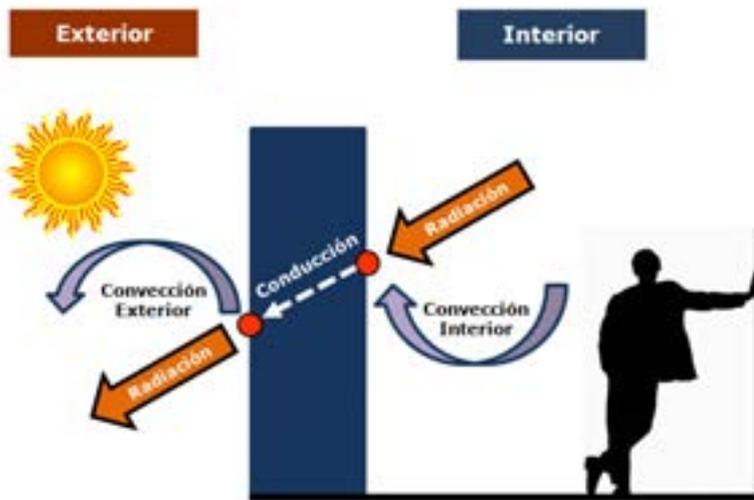


Figura 16. Mecanismos de intercambio de calor

La cara interior del material recibirá calor por radiación y convección del edificio y se transmitirá a través del material por conducción, para posteriormente intercambiarse con el medio externo nuevamente por convección y radiación.

El material ofrecerá una resistencia (R) al flujo que vendrá cuantificada por la siguiente expresión:

$$R_m \text{ (m}^2\text{K/W)} = R_{si} + R_i + R_{se}$$

Es decir, la resistencia total será la suma de las parciales que se producen en la superficie interior del muro (R_{si}), en su interior (R_i) y en la superficie exterior (R_{se}).

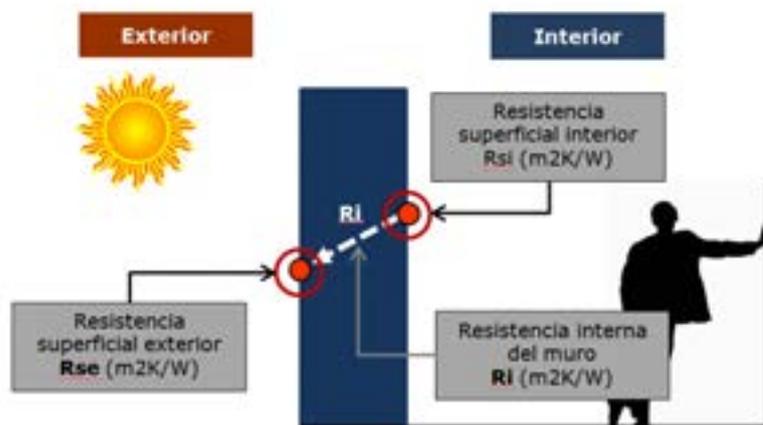


Figura 17. Componentes de la ecuación de transferencia de calor

Resistencia superficial interior (Rsi) y exterior (Rse)

La resistencia superficial de un material unifica los coeficientes de transmisión por convección y radiación en un único factor de cálculo:

$$\text{Resistencia superficial} = \frac{1}{\text{Coeficiente convección} + \text{Coeficiente radiación}}$$

$$R_s \text{ (m}^2\text{K/W)} = \frac{1}{h_c \text{ (W/m}^2\text{K)} + h_r \text{ (W/m}^2\text{K)}}$$

Como hemos visto en anteriores apartados para establecer los coeficientes de convección y radiación es necesario disponer de datos de partida que el CTE fija según la norma UNE 6946:

- Velocidad del viento 4 m/s.
- Emisividad de las superficies 0,9.
- Coeficiente de radiación de cuerpo negro (h_{ro}) evaluado a 20 °C para interiores y 0 °C para exteriores.

En función de estos valores el DA CTE-HE/1 estandariza los coeficientes de resistencia superficial (R_s) para las caras interior y exterior de un cerramiento.

Podemos asimilar el flujo horizontal a las fachadas y el vertical a las cubiertas y suelos en contacto con el exterior. En este último caso el flujo del calor será distinto en invierno que en verano, ya que la relación de temperaturas interior – exterior se invierte.

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo Horizontal	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (Techo)	0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)	0,04	0,17

Figura 18. Resistencia superficial de paramentos exteriores (R_{se}) e interiores (R_{si}) para cerramientos en contacto con el exterior. DA CTE-HE /1, Tabla 1

Resistencia interior del material (Ri)

Caracterizada por su conductividad y espesor según las ecuaciones de apartados anteriores:

$$R_i \text{ (m}^2\text{K/W)} = \frac{1}{U \text{ (W/m}^2\text{K)}} = \frac{e \text{ (m)}}{\lambda \text{ (W/mK)}}$$

Por lo tanto la resistencia total del material al flujo de calor se puede expresar como:

$$R_m \text{ (m}^2\text{K/W)} = R_{si} + \frac{e \text{ (m)}}{\lambda \text{ (W/mK)}} + R_{se}$$

Donde,

- R_{si} / R_{se} , son los valores de resistencia superficial que obtendremos de la tabla anterior.
- e , es el espesor del material expresado en metros.
- λ , es la conductividad del material expresada en W/mK obtenidos del catálogo del fabricante.

Análogamente podemos obtener la transmitancia puesto que es el inverso de la resistencia térmica del muro:

$$U_m \text{ (W/m}^2\text{K)} = \frac{1}{R_m \text{ (m}^2\text{K/W)}} \quad U_m \text{ (W/m}^2\text{K)} = \frac{1}{R_{si}} + \frac{\lambda \text{ (W/mK)}}{e \text{ (m)}} + \frac{1}{R_{se}}$$



Ejemplo

Ejemplo de cálculo 1

Analizaremos tres posibles soluciones de cerramiento para establecer cuál ofrece mejores condiciones de aislamiento para un mismo espesor de 24 cm (1 pie de fábrica):

1. Ladrillo macizo de 50 mm de altura.
2. Ladrillo perforado de 70 mm de altura.
3. Tabicón ladrillo hueco doble de 70 mm de altura (considerado como capa homogénea).

Además estableceremos la cantidad de energía (W) transmitida por una fachada de 10 m² en un período de un mes (30 días) para una temperatura interior de 21 °C y exterior de 6 °C, condiciones habituales en los meses de invierno.

Datos iniciales

Las propiedades de conducción de los materiales que obtenemos de la documentación aportada por el fabricante:

	Conductividad de los materiales
1 pie LM métrico o catalán 40 mm < G < 50 mm	1,030 W/m K
1 pie LP métrico o catalán 60 mm < G < 80 mm	0,567 W/m K
Tabicón de LH doble 60 mm < E < 90 mm	0,432 W/m K

Empleamos los datos de resistencias superficiales del DA CTE-HE /1, aportada en las tablas anteriores, en este caso para un flujo horizontal al tratarse de una fachada.

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

Desarrollo del cálculo

Ecuación de referencia para la transmisión de energía:

$$R_m \text{ (m}^2\text{K/W)} = R_{si} + \frac{e \text{ (m)}}{\lambda \text{ (W/mK)}} + R_{se} \quad U_m \text{ (W/m}^2\text{K)} = \frac{1}{R_m \text{ (m}^2\text{K/W)}}$$

	Rse (m ² K/W)	Conductividad (W/mK)	espesor (m)	Rsi (m ² K/W)	Rm (m ² K/W)	Um (W/m ² K)
1 pie LM métrico	0,04	1,030	0,24	0,13	0,403	2,481
1 pie LP métrico	0,04	0,567	0,24	0,13	0,593	1,686
Tabicón de LH doble	0,04	0,432	0,24	0,13	0,726	1,378

Cómputo de la energía transmitida:

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

La temperatura interior es de 21 °C, y la exterior de 6 °C, por lo que el diferencial de temperaturas $\Delta T = T_{int} - T_{ext} = 21 - 6 = 15$ °C

	Um (W/m ² K)	periodo (días)	periodo (horas)	Area de capatación (m ²)	ΔT (°C)	Energía (Wh)	Energía (kWh)
1 pie LM métrico	2,481	30	720	10	15	267.984	267,98
1 pie LP métrico	1,686	30	720	10	15	182.039	182,04
Tabicón de LH doble	1,378	30	720	10	15	148.851	148,85

Conclusiones

El material con menor capacidad de transmitir calor, y por lo tanto el más aislante, es el aparejo de 1 pie de ladrillo hueco doble.

Como se puede observar ante un mismo material y espesor, en este caso 24 cm de arcilla, el elemento con mejor comportamiento térmico es el que presenta menor densidad de material, o lo que es lo mismo, mayor cantidad de aire estancado en su interior, debido a que precisamente esas cavidades de aire actúan como aislamiento térmico, presentando resistencia a la transferencia del calor como si de pequeñas cámaras de aire se tratara.

Un ejemplo característico de este mecanismo físico es la termoarcilla, que pretende un uso eficaz de la cantidad de material aumentando las cavidades interiores, mejorando de este modo su comportamiento térmico.

RESUMEN

- El comportamiento de las fachadas, cubiertas y demás componentes de la envolvente del edificio depende de las propiedades físicas de los materiales que la componen.

Concepto	Descripción	Unidad
Energía	Capacidad de realizar un trabajo	Julios kWh kcal
Carga térmica	Potencia del sistema (Por ejemplo de una caldera)	kW kcal/h
Demanda térmica	Consumo de potencia en un período de tiempo (equivalente a energía consumida)	kWh kcal

- **Conductividad térmica:** mide el ritmo al que se transmite el calor a través de un material.
- Si dudas del dato que están aportando, fíjate en las unidades en las que viene expresado:
 - W/mK conductividad térmica
 - mK/W resistencia térmica
- **Densidad:** mide la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.
- **Demanda energética:** la demanda energética representa la cantidad de energía útil que el edificio precisa para mantener las condiciones internas de confort.
- **Confort higrotérmico:** el confort higrotérmico es la sensación subjetiva de la persona respecto a la combinación de condiciones de temperatura, humedad y viento que le rodean.
- **Zona climática:** el concepto de zona climática queda definido como un conjunto de localidades para las que se establecen unas solicitaciones exteriores comunes (clima de referencia), empleadas a efectos normativos para cálculo de la demanda energética de los edificios.
- La escala de certificación energética desde Junio de 2013 es doble: Consumo de energía primaria (kWh/m² año) y emisiones de CO₂ (kg CO₂/m² año).

UD1. Conceptos generales

- La cantidad de radiación recibida depende de la orientación del elemento considerado, ya sea cerramiento o ventana, y por tanto de su posición relativa respecto al Sol.
- El objetivo de las políticas energéticas europeas para 2020 es alcanzar edificios de consumo casi nulo (nZEB o *nearly Zero Energy Building*), para lo que los países miembros deberán ir progresivamente revisando a la baja mediante estudios de coste óptimo los límites de consumo de energía establecidos en sus normativas. Dentro de este marco de revisión se encuentra la actualización del CTE-HE realizada en 2013.

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