



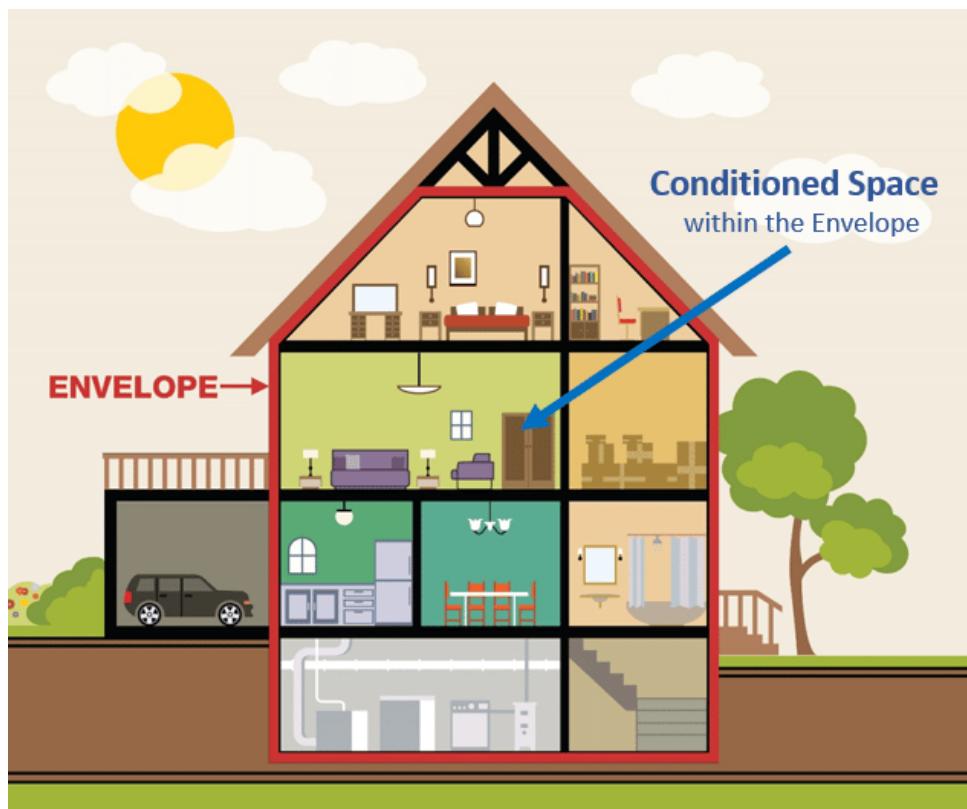
Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

Proyecto Erasmus+ ID: 2023-1-ES01-KA220-HED-000156652

Este proyecto Erasmus+ ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión Europea y las agencias nacionales Erasmus+ no se hacen responsables del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella.

Proyecto BIM4Energy

Título: Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica de los edificios





Resumen

Título: Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica de los edificios.....	1
1 – Objetivos	3
2 - Metodología de aprendizaje	3
3 - Duración del tutorial.....	4
4 – Recursos didácticos necesarios	4
5 – Contenidos y tutorial	4
5.1 – La envolvente del edificio	4
5.2 – Tipos comunes de fachadas, paredes y cubiertas	5
5.3 – Transferencia de calor a través de la envolvente térmica	11
5.4 – Conductividad térmica y productos aislantes para edificios.....	14
5.5 – Propiedades térmicas de una pared	16
5.6 – Propiedades térmicas de las ventanas.....	18
5.7 – Requisitos del código de envolvente térmica.....	22
Referencias.....	26
6 - Resultados.....	26
7- Lo que hemos aprendido.....	26



1 – Objetivos

El objetivo principal de este tutorial es mostrar qué es la envolvente térmica de un edificio y cómo funciona en la tarea de mantener el confort en los espacios interiores del edificio. Los objetivos principales de este tutorial suelen ser los siguientes:

Los objetivos de este tutorial sobre la envolvente térmica de los edificios son los siguientes:

- Conocer la definición de envolvente térmica de los edificios.
- Conocer los elementos de la envolvente térmica de los edificios y cómo funcionan.
- Conocer ejemplos de distintos tipos de fachadas, muros medianos y cubiertas.
- Comprender los diferentes mecanismos de transferencia de calor a través de la envolvente térmica: conducción, convección y radiación.
- Conocer los diferentes materiales utilizados en la capa de aislamiento térmico de un elemento de la envolvente térmica de un edificio.
- Comprensión de las propiedades térmicas de las paredes (transmitancia e inercia térmica).
- Comprender las propiedades térmicas de las ventanas (factor solar, transmitancia, transmisión luminosa).
- Conocer los requisitos técnicos de las normas de ahorro energético en edificios en la envolvente térmica.

2 - Metodología de aprendizaje

El profesor dará una explicación sobre la envolvente térmica de un edificio de unos 30 minutos de duración.

Los alumnos leerán este tutorial y seguirán los pasos que se indican en él, a saber:

- La envolvente del edificio
- Tipos comunes de fachadas, paredes y cubiertas
- Transferencia de calor a través de la envolvente térmica
- Conductividad térmica y productos aislantes para edificios
- Propiedades térmicas de una pared
- Propiedades térmicas de las ventanas
- Requisitos del Código de Envoltura Térmica

Para evaluar el éxito de la aplicación, se realizará un cuestionario a los alumnos.



3 - Duración del tutorial

La implementación descrita en este tutorial se llevará a cabo a través del sitio web del proyecto BIM4ENERGY mediante autoaprendizaje.

Se recomiendan 3 horas lectivas para esta formación.

4 - Recursos didácticos necesarios

Sala de informática con ordenadores con acceso a Internet.

Software necesario: Microsoft Office.

5 – Contenidos y tutorial

5.1 – La envolvente del edificio

La envolvente térmica del edificio (también denominada capa de control del flujo de calor) comprende aquellos elementos de un edificio, tales como los muros del sótano, los muros exteriores, los suelos, los tejados, las capas aislantes, las ventanas, las puertas y las barreras contra el aire y el vapor, que separan el espacio interior acondicionado de los entornos no acondicionados o exteriores y controlan la transferencia de calor, aire y humedad [1].

Otra definición:

El término « **envolvente térmica del edificio**» se define como «**las paredes del sótano, las paredes exteriores, el suelo, el techo y cualquier otro elemento del edificio que encierra los espacios acondicionados**». Este límite también incluye el límite entre el espacio acondicionado o proporciona un límite entre el espacio acondicionado y el espacio exento o no acondicionado.

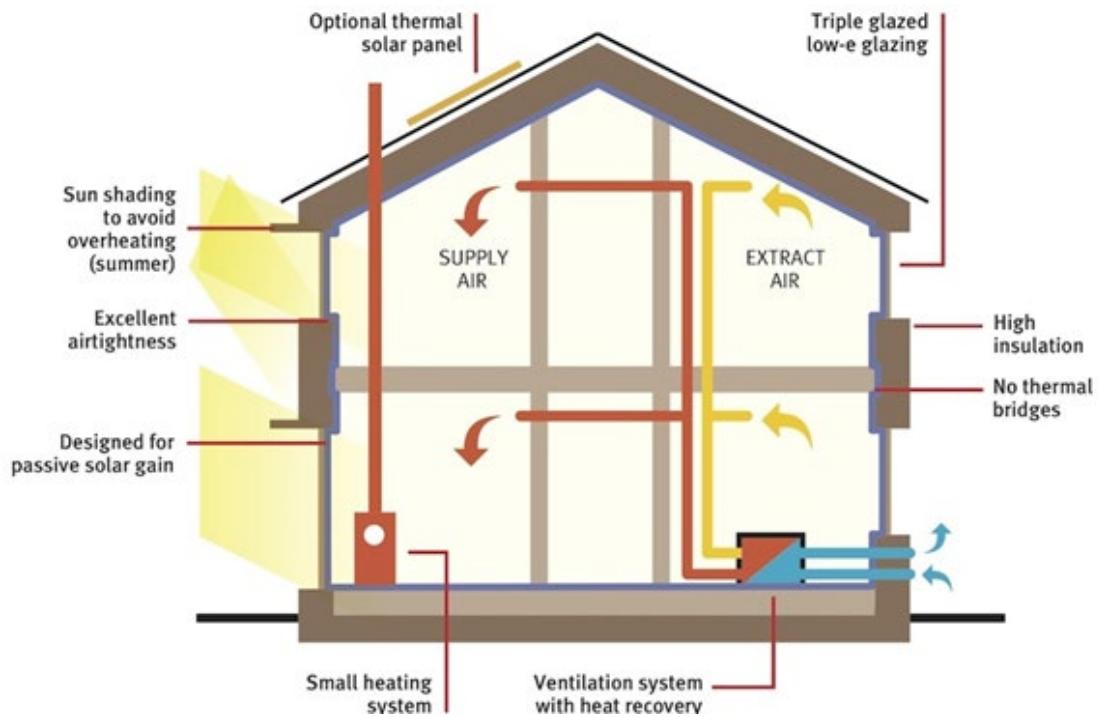


Figura 1. Envolvente térmica de un edificio

5.2 – Tipos comunes de fachadas, paredes y techos

5.2.1 Tipo de fachada I: Fachada con doble muro de ladrillo

Una fachada de doble pared de ladrillo consta de dos capas separadas de mampostería —una pared exterior y otra interior— separadas por una cavidad que suele incluir un espacio de aire y una capa de aislamiento térmico. La capa aislante, colocada contra la pared interior o exterior, reduce la transferencia de calor por conducción, lo que ayuda a mantener una temperatura interior estable y a mejorar la eficiencia energética. La cámara de aire actúa como zona tampón, limitando la penetración de la humedad y permitiendo que el agua que se infiltra en la pared exterior se drene o se evapore. Esta combinación de materiales y capas proporciona un excelente rendimiento térmico y acústico, al tiempo que mejora la durabilidad y la resistencia a la intemperie de la envolvente del edificio.



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

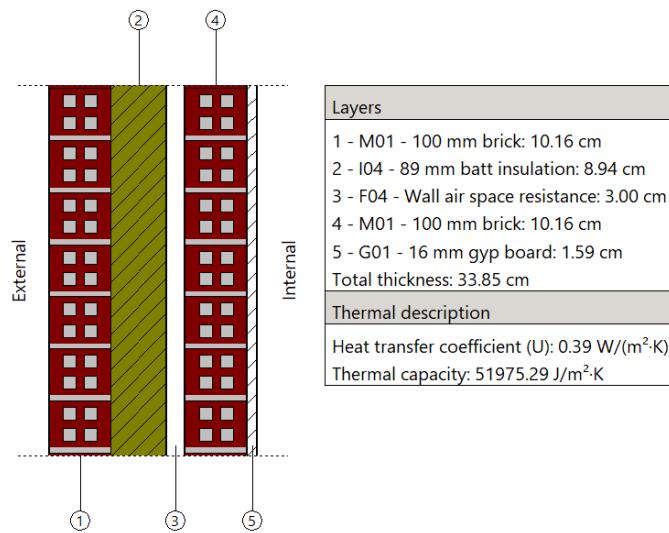


Figura 2: Fachada con doble pared de ladrillo

5.2.2 Fachada tipo II: Fachada ventilada

Una fachada ventilada con un revestimiento exterior de paneles de piedra caliza funciona como un sistema de envolvente de alto rendimiento que mejora la regulación térmica y el control de la humedad. El revestimiento exterior de piedra caliza actúa como una piel protectora y estética, protegiendo la estructura de la exposición directa a la intemperie. Detrás de él, una cámara de aire ventilada permite un flujo de aire continuo, lo que ayuda a eliminar la humedad, reduce los puentes térmicos y evita la acumulación de calor en climas más cálidos. Dentro de la cavidad, una capa de aislamiento térmico minimiza la transferencia de calor entre el interior del edificio y el entorno exterior, mejorando la eficiencia energética. La estructura interior consiste en un muro de ladrillo que proporciona soporte mecánico e integridad estructural, seguido de una capa de acabado interior que completa la envolvente interior del edificio. Este sistema multicapa ofrece una excelente durabilidad, confort térmico y protección contra los elementos ambientales.

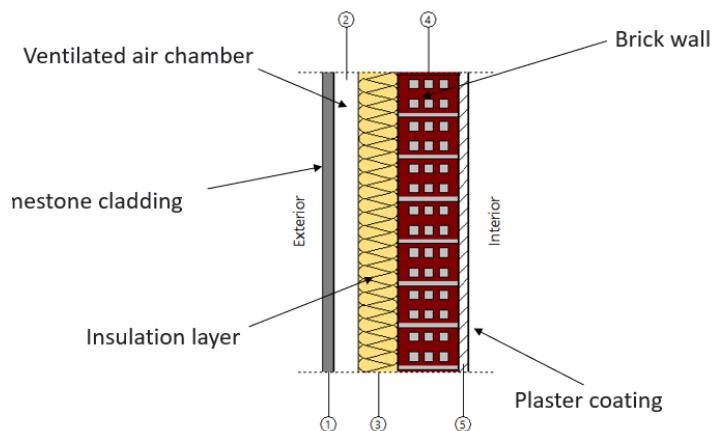


Figura 3: Fachada ventilada



5.2.3 Fachada tipo III: Fachada con pared de madera

Este sistema de fachada cuenta con una estructura de madera maciza que utiliza paneles de madera contralaminada (CLT), que sirven tanto como elementos estructurales primarios como de soporte de carga. En el lado exterior de la pared CLT se instala una capa de aislamiento de lana mineral, que proporciona un excelente rendimiento térmico y acústico, al tiempo que mantiene la permeabilidad al vapor para evitar problemas de humedad. Se fijan listones de madera dentro de la capa de aislamiento, que sirven como elementos estructurales intermedios que crean una cavidad ventilada y una rejilla de soporte para el revestimiento exterior. Se integra un sellado vertical para garantizar la estanqueidad al viento, reduciendo la infiltración de aire y mejorando la eficiencia energética.

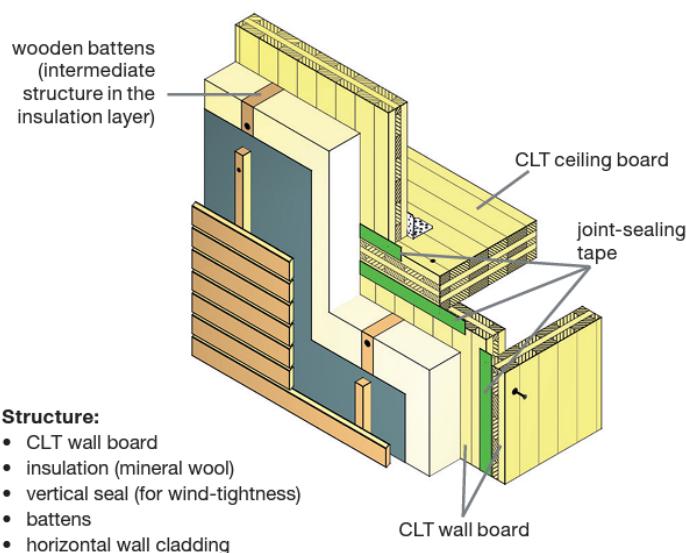


Figura 4: Fachada con pared de madera

Sobre los rieles se montan paneles horizontales de revestimiento de madera como acabado exterior, que ofrecen protección contra las inclemencias del tiempo y contribuyen al atractivo estético de la fachada. El sistema incluye cinta sellante entre los paneles CLT y en las conexiones para garantizar la hermeticidad y minimizar los puentes térmicos. El panel de techo CLT se conecta a la perfección con los elementos de la pared, manteniendo la continuidad de las capas térmicas y herméticas. Este diseño multicapa combina la belleza natural y la sostenibilidad de la madera con un alto rendimiento térmico, lo que da como resultado una envolvente del edificio moderna, energéticamente eficiente y duradera.

5.2.4 Pared medianera: pared con aislamiento interior y revestimiento de placas de yeso



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

Un ejemplo de construcción de muro medianero es un muro estructural existente de hormigón o ladrillo, que sirve de soporte principal y separación entre espacios o viviendas adyacentes. Se fija un armazón de perfiles de acero galvanizado (montantes en C) a la cara interior de este muro estructural, creando una cavidad en la que se instala una capa de aislamiento térmico, normalmente lana mineral o paneles de espuma rígida. Este aislamiento mejora el rendimiento térmico del muro, reduciendo la pérdida o ganancia de calor e entre las unidades y contribuyendo al aislamiento acústico. El sistema se completa con una capa de cartón yeso (paneles de yeso) atornillada a los perfiles de acero, formando un acabado interior liso y listo para pintar.

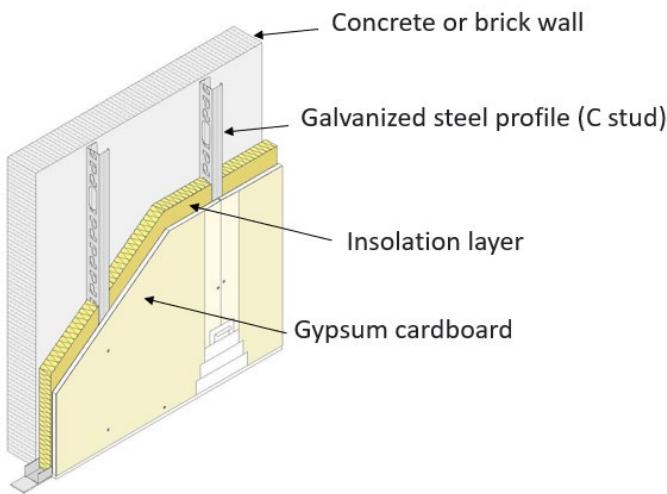


Figura 5: Tabique con aislamiento interior y revestimiento de placas de yeso

Para evitar problemas de condensación y humedad en el interior del conjunto de la pared, es esencial colocar una **barrera de vapor** en el lado cálido de la capa aislante, es decir, directamente detrás del cartón de yeso pero antes del aislamiento, especialmente en climas con inviernos fríos. Esta colocación impide que el aire cálido y húmedo del interior penetre en la capa aislante más fría, donde podría condensarse y provocar moho o daños estructurales. Al mantener la humedad fuera del aislamiento, la barrera de vapor garantiza la longevidad y el rendimiento del sistema de pared.

5.2.5 Tipo de techo I: techo plano invertido

Este sistema de techo plano (Figura 6) está compuesto por varias capas instaladas sobre una losa estructural de hormigón. En primer lugar, se aplica una solera con pendiente (solera inclinada) para dirigir el agua hacia los puntos de drenaje, evitando que se acumule. Sobre la solera, una capa impermeabilizante protege el edificio contra la entrada de agua. Por encima de la impermeabilización, se instalan paneles aislantes de poliestireno extruido (XPS) para proporcionar una excelente resistencia térmica y minimizar la pérdida de calor a través del techo. A continuación, se coloca una capa reductora del flujo de agua para ralentizar el movimiento del agua a través de la superficie del techo. Por último, el sistema se remata con balasto de grava o losas de

Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

pavimento colocadas sobre almohadillas espaciadoras, que protegen las capas inferiores de la exposición a los rayos UV y los daños mecánicos, al tiempo que proporcionan una superficie transitable o utilizable.

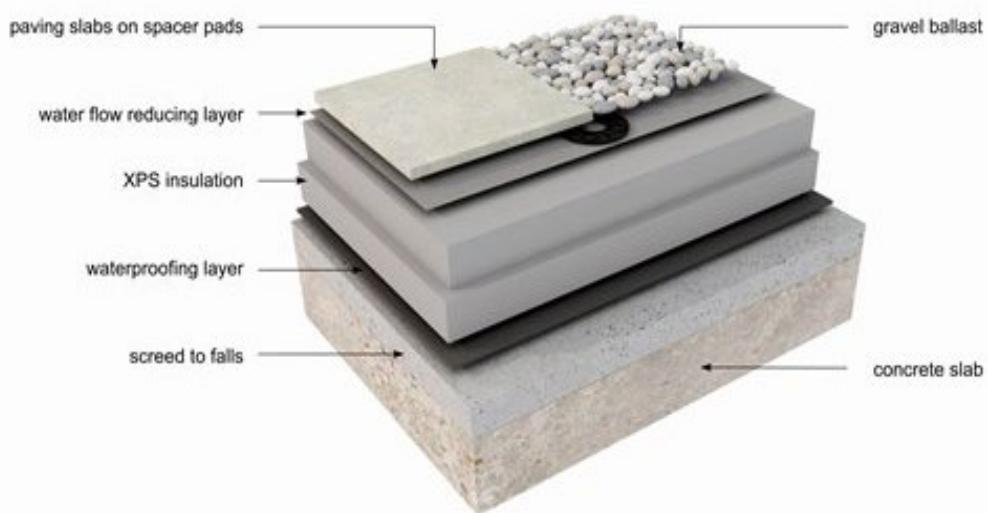


Figura 6: Cubierta plana invertida

Desde el punto de vista hidrotérmico, se trata de un **sistema de cubierta invertida** (también denominado cubierta de membrana protegida), en el que el aislamiento térmico se encuentra por encima de la capa impermeabilizante. Esta disposición mantiene la capa impermeabilizante a una temperatura más estable, minimizando los ciclos térmicos y prolongando su vida útil. La estructura de célula cerrada del aislamiento XPS resiste la absorción de agua, manteniendo el rendimiento del aislamiento incluso en condiciones de humedad. La capa de lastre o pavimento evita que el viento levante el sistema y protege el aislamiento de la luz solar y los impactos mecánicos. La humedad que penetra en el lastre o las juntas puede drenarse a través de la capa reductora del flujo de agua, mientras que la pendiente la dirige hacia los desagües. Este diseño higrotérmico gestiona eficazmente el calor y la humedad, garantizando la eficiencia energética y protegiendo la estructura del tejado de los daños relacionados con el agua.

5.2.6 Tipo de cubierta II: Cubierta de tejas con paredes de ladrillo

Un tejado de tejas sobre muros de ladrillo (Figura 7) suele comenzar con una losa estructural de hormigón que sirve como componente principal de soporte de carga del sistema de tejado. Sobre esta losa se instala una capa de aislamiento térmico para reducir la transferencia de calor y mejorar la eficiencia energética del edificio. Por encima del aislamiento, se construyen tabiques ligeros de ladrillo hueco para crear la estructura inclinada del tejado a dos aguas. Estos tabiques soportan un tablero cerámico, que actúa como base rígida para la capa de solado. Se incorpora una cámara

Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

de aire ventilada por encima del tablero cerámico, lo que permite la circulación del aire por debajo de las tejas.

Se aplica una capa de mortero sobre el panel cerámico para crear una superficie lisa y proporcionar la pendiente necesaria para el drenaje a lo largo del techo inclinado. A continuación, se colocan tejas de arcilla u hormigón sobre la cavidad ventilada y el mortero, completando la capa exterior impermeable del techo. La cavidad de aire ventilada convierte el sistema en un techo ventilado, lo que permite que el aire caliente escape y reduce la acumulación de calor bajo las tejas. Este diseño ventilado de varias capas no solo garantiza el rendimiento térmico y la estabilidad estructural, sino que también proporciona una protección eficaz contra las inclemencias del tiempo.



Figura 7: Tejado de tejas con paredes de ladrillo

En climas cálidos, un techo de tejas ventilado ofrece ventajas significativas: la cavidad de aire ventilada permite un flujo de aire continuo, lo que ayuda a disipar el calor acumulado en la superficie del techo antes de que pueda llegar al interior. Esto reduce las temperaturas interiores y las cargas de refrigeración, mejorando el confort y la eficiencia energética al minimizar la necesidad de aire acondicionado. Además, la ventilación ayuda a eliminar la humedad, reduciendo el riesgo de condensación y prolongando la vida útil de los materiales del techo.

5.2.7 Tipo de techo III: Techo de tejas con estructura de madera

Un techo a dos aguas con estructura de madera (Figura 8) suele consistir en un armazón de vigas y vigas de madera que forman los dos planos inclinados del techo. Entre las vigas de madera, se instala aislamiento sobre o entre las tablas de la cubierta estructural, lo que proporciona una barrera térmica eficaz directamente dentro de la estructura de madera. Sobre el aislamiento y el entarimado se fijan tablas o listones de madera adicionales en horizontal o en diagonal para crear una superficie de apoyo para las tejas. A continuación, se colocan tejas de arcilla o hormigón sobre estos listones, completando así el conjunto del tejado inclinado y ventilado. Esta estructura

Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

de madera permite una construcción ligera y flexible que se adapta fácilmente a diferentes luces y estilos arquitectónicos.

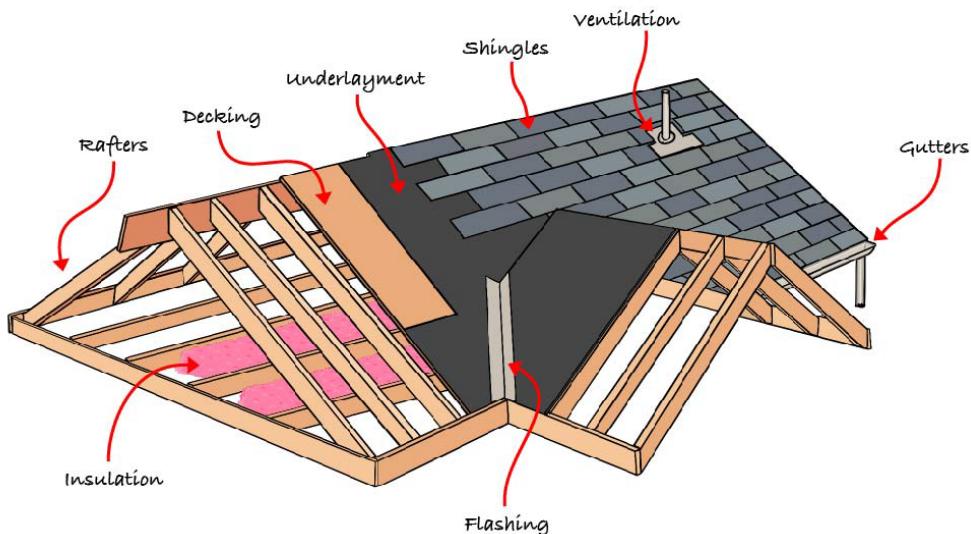


Figura 8: Tejado de tejas con estructura de madera

En comparación con los techos de tejas sobre muros de ladrillo, los techos a dos aguas con estructura de madera ofrecen una construcción más rápida, un peso reducido sobre los muros de carga del edificio y una mayor flexibilidad para geometrías de techo complejas. El uso de la madera simplifica la formación de buhardillas, claraboyas u otros elementos del techo. Además, al colocar el aislamiento dentro o encima de la estructura de madera, la envolvente térmica puede seguir más fácilmente la forma del techo, lo que reduce los puentes térmicos y mejora el rendimiento energético. Estas ventajas hacen que los techos a dos aguas de madera sean especialmente adecuados para edificios residenciales en zonas donde la construcción ligera y la flexibilidad del diseño son prioritarias.

5.3 – Transferencia de calor a través de la envolvente térmica

La capacidad de mantener la temperatura del aire interior al nivel deseado se ve afectada por los tres métodos de transferencia de calor:

- Conducción
- Convección
- Radiación

5.3.1 Conducción

La conducción térmica es el proceso por el cual el calor se transfiere a través de un material sólido desde una región de mayor temperatura a una región de menor temperatura, sin que se produzca ningún movimiento del material en sí. Esto ocurre cuando las partículas más energéticas (más calientes) del interior del material chocan



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

con las partículas vecinas menos energéticas (más frías), transmitiéndoles su energía térmica. La eficiencia de este proceso depende de la conductividad térmica del material: los metales, por ejemplo, son buenos conductores del calor, mientras que los materiales aislantes como la lana mineral o el poliestireno tienen una baja conductividad térmica y ralentizan significativamente la transferencia de calor por conducción.

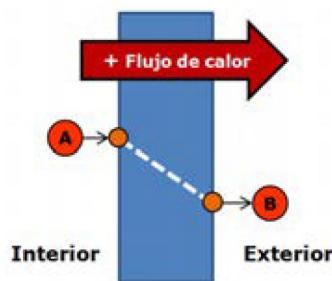


Figura 9: Flujo de calor por conducción

- Requiere que las superficies estén en contacto para que se produzca la transferencia de calor entre sólidos.
- Debido a que los diferentes materiales de un conjunto aislado están en contacto entre sí, se produce una pérdida de calor por conducción a través de los componentes sólidos de la envolvente del edificio.
- Por ejemplo, el calor fluye por conducción desde las zonas cálidas hacia las zonas más frías de las losas de hormigón, los cristales de las ventanas, las paredes, los techos y otros materiales sólidos.

5.3.2 Convección

La convección térmica es el proceso de transferencia de calor a través de un fluido (líquido o gaseoso) causado por el movimiento del propio fluido. Se produce cuando las regiones más cálidas y menos densas del fluido ascienden, mientras que las regiones más frías y densas descienden, creando un patrón de circulación continuo conocido como corriente de convección. Este movimiento distribuye el calor por todo el fluido. La convección puede ser natural, impulsada únicamente por las diferencias de temperatura (como el aire caliente que se eleva en una habitación), o forzada, cuando un mecanismo externo, como un ventilador o una bomba, mueve el fluido. La convección es un mecanismo clave en la calefacción, la ventilación y muchos fenómenos naturales, como las corrientes oceánicas y la circulación atmosférica.

En resumen:

- Transferencia de calor de un lugar a otro mediante el movimiento molecular a través de fluidos como el agua o el aire.



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

- La pérdida de calor por convección suele ser el resultado de la exfiltración o la fuga de aire.
- La pérdida de calor por convección se produce cuando el aire caliente es expulsado, normalmente del edificio (exfiltración), por el aire frío que entra, normalmente en la parte inferior (infiltración).
- La velocidad de transferencia aumenta cuando el viento sopla contra el edificio o cuando aumenta la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior.



Figura 10: Fuga de aire hacia el interior/exterior de la vivienda[3].

5.3.3 Radiación

- La radiación es la transferencia de calor por ondas electromagnéticas de una superficie más caliente a otra más fría.
- La transferencia del calor del sol a un tejado o el calor de una persona situada cerca de un horno de vidrio son ejemplos de transferencia de calor por radiación.

La radiación solar puede afectar significativamente al confort térmico dentro de una vivienda al aumentar directamente la temperatura interior, especialmente a través de las ventanas y de paredes o techos mal aislados. Cuando la luz solar entra a través de los acristalamientos, puede calentar las superficies interiores, provocando un aumento de la temperatura ambiente y creando un sobrecalentamiento localizado, especialmente en verano o en edificios con grandes aberturas orientadas al sur. Sin un sombreado, un aislamiento térmico o unos materiales reflectantes adecuados, esta



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

ganancia de calor puede provocar incomodidad, una mayor dependencia del aire acondicionado y un mayor consumo de energía. El control de la radiación solar mediante dispositivos de sombreado exterior, revestimientos reflectantes y una orientación adecuada es esencial para mantener un clima interior estable y confortable.

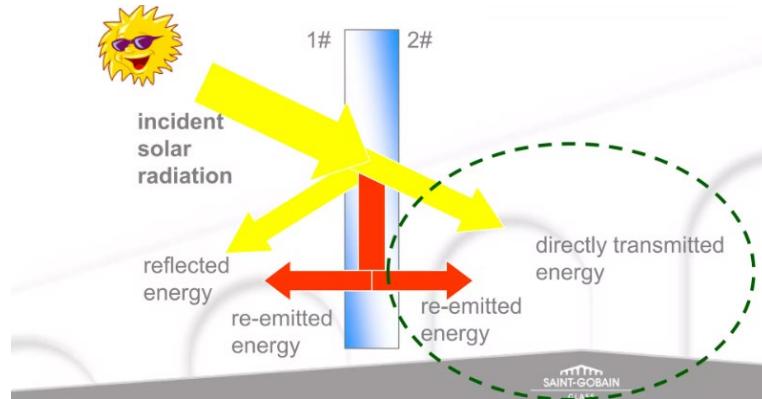


Figura 11: Radiación solar a través de las ventanas [4].

5.4 – Conductividad térmica y productos de aislamiento para edificios

La **conductividad térmica** de un material es una medida de su capacidad para conducir el calor. Se suele denotar con k , λ o κ y se mide en W/m·K.

Esta propiedad es **independiente del espesor** del material. La transferencia de calor se produce a una velocidad menor en materiales de baja conductividad térmica que en materiales de alta conductividad térmica.

La tabla 1 muestra la conductividad térmica de diversos materiales de construcción.

Tabla 1: Consistencia térmica de los materiales de construcción.

No	Building Material	Density (kg/m ³)	K (W/m.K)
1	Concrete	2.400	1,448
2	Aerated Concrete	960	0,303
3	Plastered Clay Brick	1.760	0,807
4	Exposed Clay Brick		1,154
5	Glass	2.512	1,053
6	Gypsum board	880	0,170
7	Steel	7.840	47,6
8	Granite	2.640	2,927
9	Marble/Ceramic/Terazzo	2.640	1,298

Source: SNI 03- 6389- 2000



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

Los **productos** que se utilizan **en la capa de aislamiento térmico** de la envolvente térmica de un edificio se caracterizan por tener una conductividad muy baja. Todos los productos tienen una conductividad similar, por lo que a la hora de elegir un material hay que tener en cuenta principalmente los siguientes factores: espesor, precio y sostenibilidad.

La siguiente lista muestra los materiales más utilizados para aislar térmicamente un edificio:

- Aislamiento de lana mineral (alto rango de densidad aparente) $\lambda = 0,038 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- Panel aislante con núcleo de poliuretano rígido (PIR) $\lambda = 0,022 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- Espuma de poliuretano en spray para aislamiento térmico $\lambda = 0,02 - 0,03 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- Espuma de poliestireno expandido (EPS) $\lambda = 0,035-0,037 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- Paneles de poliestireno extruido o espuma de poliestireno (XPS) $\lambda = 0,024 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- Aislamiento de fibra de celulosa $\lambda = 0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- Paneles de aislamiento térmico a base de corcho $\lambda = 0,037 - 0,040 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

La figura 12 muestra imágenes de estos materiales aislantes.



(a) Lana mineral



(b) Poliuretano rígido



©Espuma de poliuretano proyectada



(d) Espuma de poliestireno expandido (EPS) o poliestireno extruido o espuma de poliestireno (XPS)



(e) Aislamiento de fibra de celulosa



(f) Paneles a base de corcho



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

Figura 12: Materiales de aislamiento térmico

5.5 – Propiedades térmicas de una pared

Las dos propiedades fundamentales que explican el comportamiento térmico de una pared son la **transmitancia térmica** y la **inercia térmica**.

5.5.1 Conductancia (o transmitancia térmica, o valor U) de un elemento (pared o ventana).

La **transmitancia térmica** (también conocida como **valor U**) de una pared o una ventana es la tasa de transferencia de calor a través de la pared por unidad de superficie y por unidad de diferencia de temperatura entre el ambiente interior y el exterior. Se expresa en **vatio por metro cuadrado e o por kelvin (W/m²·K)**, y los valores más bajos corresponden a un mejor rendimiento del aislamiento.

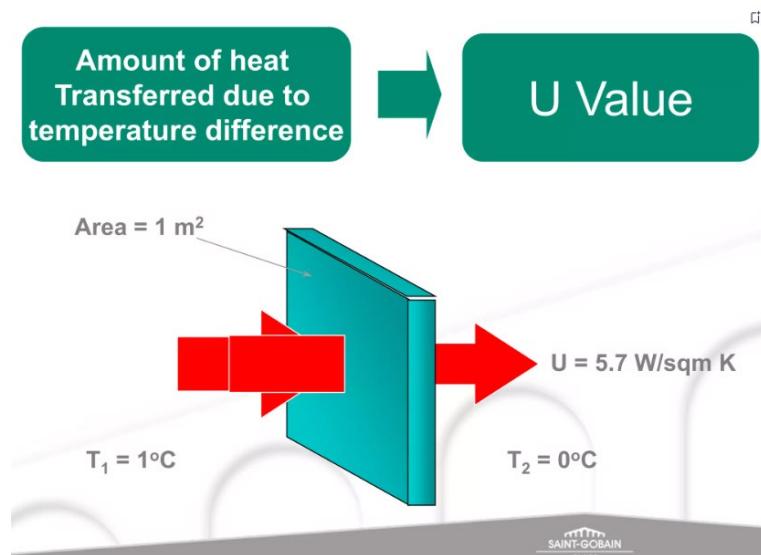


Figura 13: Definición del valor U [4].

Cómo calcular el **valor U** de una pared:



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

The thermal transmittance U ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) is given by the following expression:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (1)$$

R_T the total thermal resistance of the wall [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (2)$$

$R_1, R_2 \dots R_n$ the thermal resistances of each layer defined according to expression (3) [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$];

R_{si} and R_{se} are the surface thermal resistances corresponding to indoor and outdoor air respectively, taken from codes according to the position of the enclosure, direction of heat flow and its location in the building [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$].

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (3)$$

R thermal resistance of a layer; e thickness of the layer; λ conductivity of the layer material



5.5.2 Inercia térmica

La masa térmica es una propiedad de la masa de un edificio que le permite almacenar calor y proporcionar inercia frente a las fluctuaciones de temperatura.

La inercia térmica se refiere a la **capacidad** de una pared para absorber, almacenar y liberar gradualmente el calor a lo largo del tiempo, lo que desempeña un papel crucial en la mejora de la eficiencia energética de un edificio. Las paredes de los edificios con alta inercia térmica, normalmente fabricadas con materiales densos como el hormigón, el ladrillo o la piedra, pueden moderar las temperaturas interiores retrasando la transferencia de calor externo al edificio durante el día y liberando el calor almacenado durante los períodos más fríos, como por ejemplo durante la noche. Este efecto amortiguador ayuda a reducir la dependencia de los sistemas de calefacción y refrigeración, manteniendo el confort térmico con un menor consumo de energía. Como resultado, los edificios con una masa térmica bien diseñada pueden lograr climas interiores más estables y reducir la demanda de energía, especialmente en climas con grandes fluctuaciones de temperatura diarias.

Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

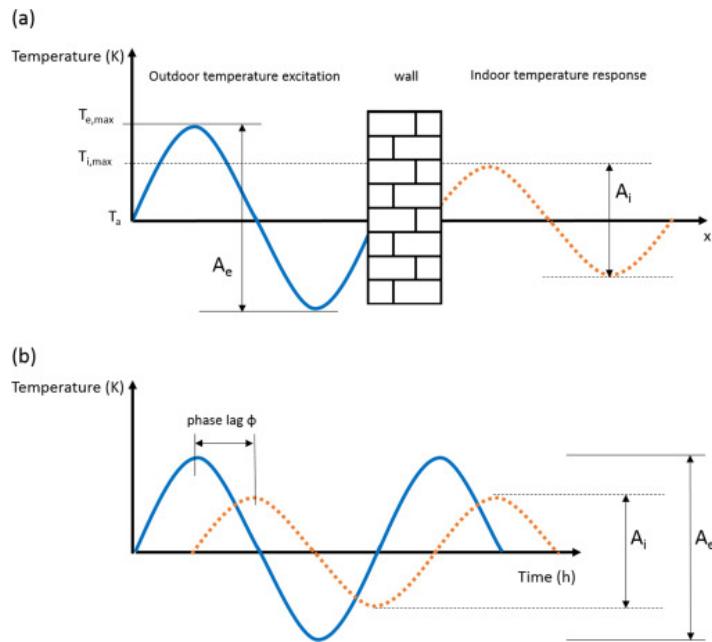


Figura 14: Efecto de la inercia térmica de la pared en la temperatura interior [4].

La siguiente ecuación (4) muestra los parámetros de los que depende la inercia térmica P

$$P = \sqrt{C \lambda} = \sqrt{c \rho \lambda}$$

P: thermal Inertia, C: Volumetric heat capacity, c: specific heat,
 λ : thermal conductivity

(4)

5.6 – Propiedades térmicas de las ventanas

Los factores clave de rendimiento en las ventanas son los siguientes:

- Ganancia total de calor / Transmisión de calor
 - SHGC o SF: Coeficiente de ganancia de calor solar o factor solar
 - Valor U
- Transmisión de la luz: porcentaje de luz incidente transmitida



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

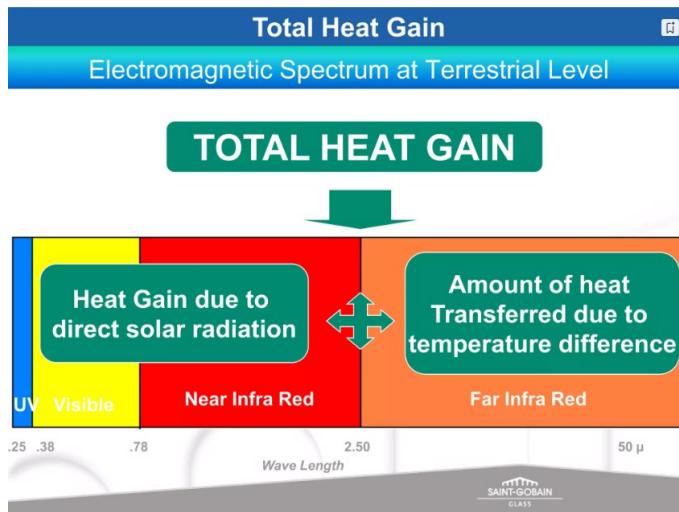


Figura 15: Ganancia de calor: espectro electromagnético.

El **coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC)**, también conocido como **factor solar**, es una medida de la cantidad de **radiación solar** que atraviesa una ventana, tanto la transmitida directamente como la absorbida y luego liberada hacia el interior, en relación con la energía solar total que incide sobre la ventana. Se expresa como un número entre **0 y 1**, donde un **SHGC más bajo** significa que entra menos calor solar en el edificio, y un **SHGC más alto** permite una mayor ganancia solar. En términos de **eficiencia energética**, el SHGC ideal depende del clima: en **climas cálidos**, las ventanas con **un SHGC bajo** ayudan a reducir las cargas de refrigeración al minimizar la ganancia de calor no deseada, mientras que en **climas fríos**, un **SHGC más alto** puede ser beneficioso al maximizar la calefacción solar pasiva y reducir la necesidad de calefacción mecánica. Por lo tanto, elegir el SHGC adecuado es clave para optimizar **el rendimiento térmico y el consumo de energía** de una vivienda durante todo el año.

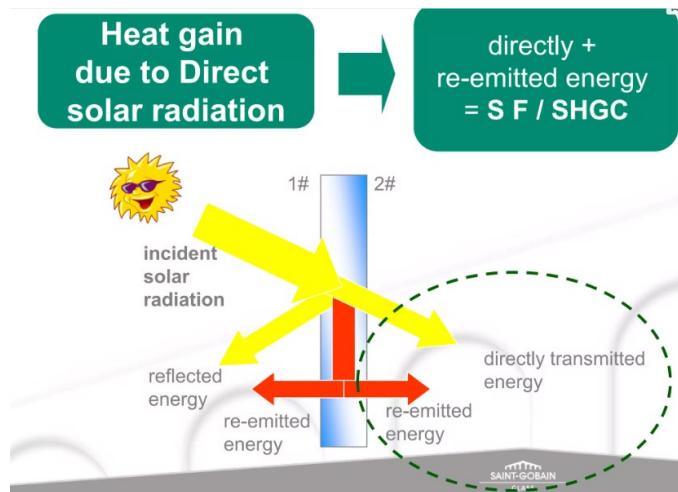


Figura 16: Concepto de factor solar (SF o SHGC).



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

El valor **U** se ha explicado en la sección 5.5.1.

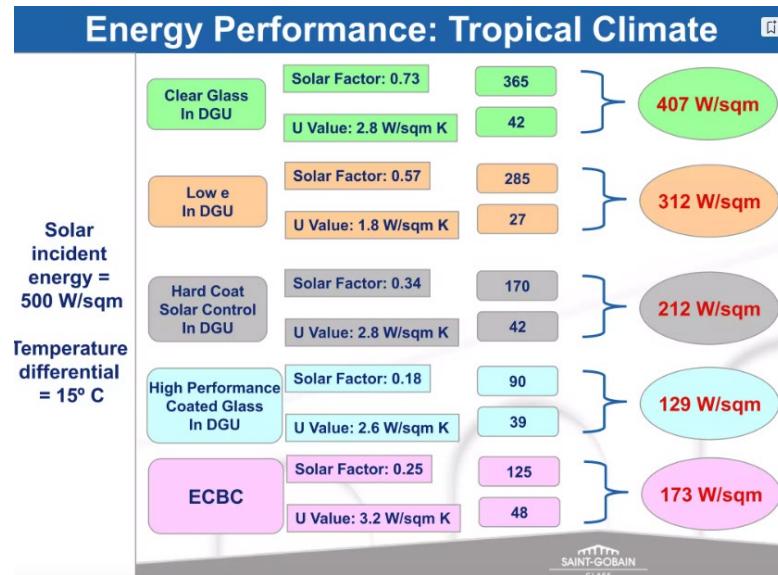
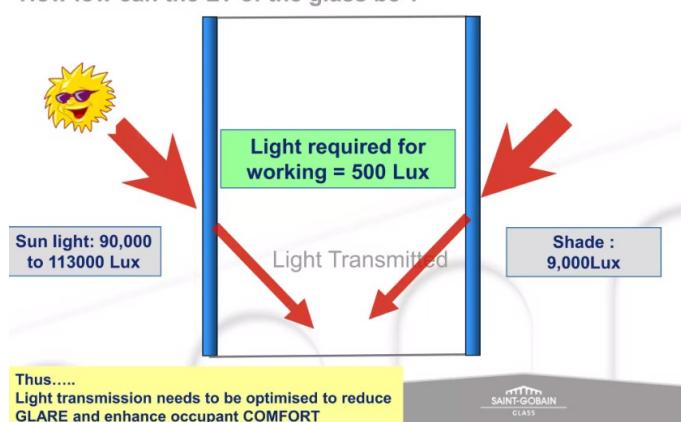


Figura 17: Ejemplos de ganancia de calor con diferentes tipos de cristales en climas tropicales

La transmisión de luz, a menudo denominada **transmitancia de luz visible (VLT)**, es el porcentaje de **luz visible** que atraviesa una ventana y entra en el interior de un edificio. Se expresa como un valor entre **0 y 1** (o entre 0 % y 100 %), donde los valores más altos significan que entra más luz natural en el espacio. En entornos residenciales, un nivel óptimo de transmisión de la luz es esencial para garantizar **el confort visual**, **reducir la necesidad de iluminación artificial** y crear un entorno agradable y funcional para **vivir, trabajar o relajarse**. Una transmisión de la luz demasiado baja puede hacer que los interiores parezcan oscuros y requieran más iluminación eléctrica, lo que aumenta el consumo de energía. Por el contrario, una transmisión muy alta puede causar **deslumbramiento** o sobrecalentamiento, especialmente en climas soleados. Por lo tanto, seleccionar ventanas con una VLT adecuada ayuda a equilibrar **el acceso a la luz natural, la eficiencia energética y el confort de los ocupantes**.

Light Transmission (LT): How low can the LT of the glass be ?



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

Figura 18: Concepto de transmisión de luz correcta [4].

Existen varios dispositivos y tecnologías diseñados para **optimizar la transmisión de la luz** a través de las ventanas de los edificios, mejorando tanto **la iluminación natural** como **la eficiencia energética**. **Los acristalamientos inteligentes o las ventanas electrocrómicas** pueden ajustar automáticamente su tono en función de la intensidad de la luz solar, reduciendo el deslumbramiento y el calor y manteniendo una luz natural adecuada. **Los sistemas de sombreado exterior**, como **las persianas, los toldos o los brise-soleils**, pueden bloquear el exceso de luz solar durante las horas de mayor intensidad, al tiempo que permiten la entrada de luz difusa. **Las soluciones internas**, como **las repisas luminosas y las persianas reflectantes**, ayudan a redirigir la luz natural hacia el interior de los espacios. Además, **los revestimientos de baja emisividad (low-E)** en el vidrio pueden controlar la cantidad de luz visible que se transmite, minimizando la ganancia de calor. En conjunto, estos dispositivos permiten un control dinámico de la luz natural, lo que ayuda a crear entornos cómodos y bien iluminados y a reducir la dependencia de la iluminación artificial y los sistemas de climatización.

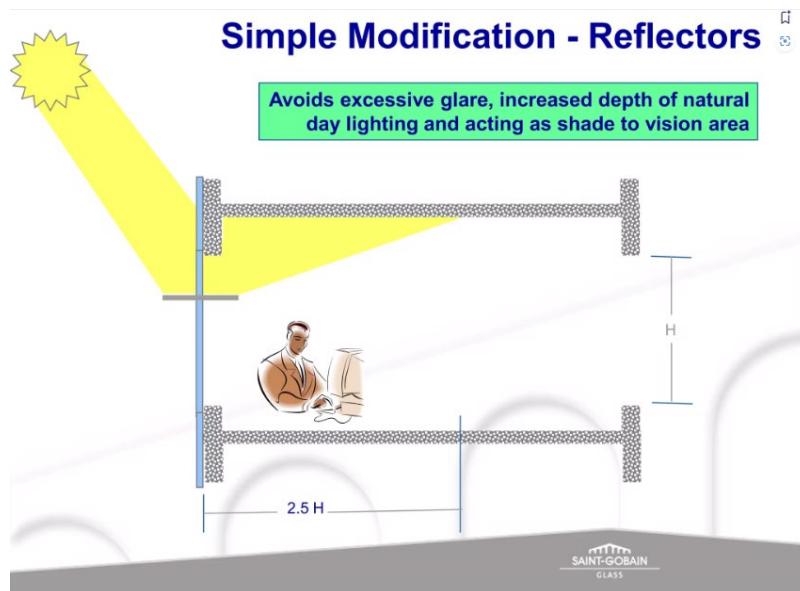


Figura 19: Reflectores [4]

Recomendaciones sobre paredes, ventanas, sombreado y ganancia solar.

- Las paredes deben diseñarse con aislamiento
- La superficie acristalada debe limitarse al 10-30 % de la superficie de la pared.
- Las ventanas deben ser muy eficientes, especialmente si ocupan más del 25 % de la superficie de la pared (tanto en protección térmica como en protección solar).
- El sombreado con voladizos debe diseñarse en función de los ángulos solares (por ejemplo, los voladizos suelen ser más eficaces en las paredes norte y sur).



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

- El sombreado con persianas exteriores móviles puede ser muy eficaz para optimizar la iluminación natural y controlar las ganancias solares.
 - Persianas
 - Persianas móviles.

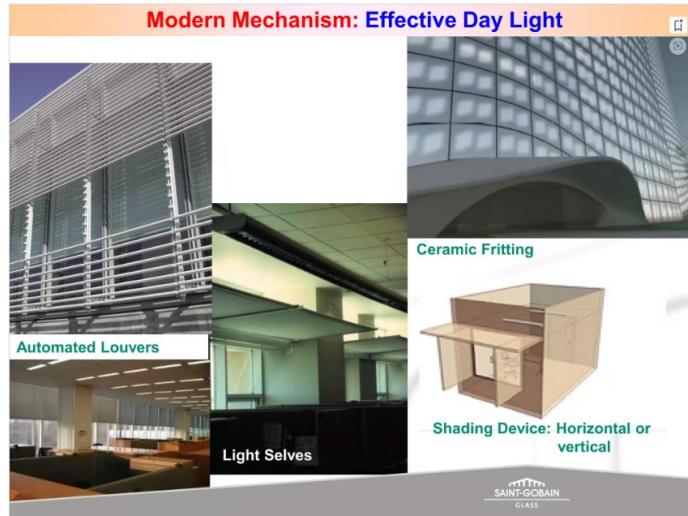


Figura 20. Sistemas de sombreado [4].

5.7– Requisitos del Código de Envolvente Térmica

Según el Código Técnico de la Edificación español, los edificios deben tener una envolvente térmica que limite sus necesidades de energía primaria en función de la zona climática, su uso y su compacidad.

Para cumplir estos objetivos, es necesario comprobar cinco aspectos:

1. Limitaciones en la **transmitancia global** de la envolvente térmica (K) y **transmitancias por elementos** (U_{lim})
2. Control solar de la envolvente térmica ($Q_{sol;Jul}$)
3. **Permeabilidad al aire** de la envolvente térmica (Q_{100} y n_{50})
4. **Desequilibrios límite entre unidades de uso** (U_{lim} tabiques interiores)
5. **Control de la condensación.**

5.7.1. Ejemplo de envolvente térmica que cumple con el código de construcción español.



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

En esta sección se describen dos ejemplos de envolvente térmica de edificios en Cartagena (España) [5]. Cartagena se encuentra en la zona climática B3 según el Código Técnico de la Edificación español.

En el contexto del Código de Edificación español, la zona climática B3 se refiere a un clima mediterráneo moderado caracterizado por inviernos suaves y veranos cálidos a calurosos. La letra «B» indica la severidad del clima invernal, donde B representa condiciones invernales suaves, mientras que el número «3» se refiere a la severidad del clima estival, siendo 3 una de las categorías de verano más cálidas.

El primer ejemplo consiste en una vivienda unifamiliar de nueva construcción con las siguientes características en los elementos de la envolvente:

Descripción de las fachadas:

Capas en PAREDES:

Mortero de cemento

Ladrillo perforado

Aislamiento ($\lambda=0,032 \text{ W/m}^2$)

Ladrillo hueco doble

Descripción del tejado

Capas en las CUBIERTAS:

Tejas cerámicas

Mortero de cemento

Aislamiento ($\lambda=0,032 \text{ W/m}^2$)

Hormigón ligero

Descripción de los suelos

Capas en SUELOS:

Baldosas cerámicas

Mortero de cemento

Aislamiento ($A=0,032 \text{ Wm}^2$)

Suelo de hormigón armado

Para un edificio residencial nuevo situado en una zona climática invernal B, con los materiales descritos en la envolvente térmica, según el Código Técnico de la



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

Edificación (CTE), los elementos de la envolvente térmica deben cumplir las siguientes características (Tabla 2):

- las paredes y suelos en contacto con el aire exterior deben tener una transmitancia térmica (valor U) de 0,38 W/m²·K (al menos 7 cm de aislamiento);
- los cubiertas en contacto con el aire exterior deben alcanzar un valor U de 0,33 W/m²·K (al menos 8,5 cm de aislamiento);
- las paredes, suelos y techos en contacto con espacios no habitables o con el suelo, así como las particiones interiores dentro de la envolvente térmica, deben cumplir un valor U de 0,69 W/m²·K (al menos 3 m de aislamiento);
- y las aberturas, como ventanas y puertas, deben tener un valor U máximo de 2,0 W/m²·K. Este requisito se cumple con ventanas de carpintería metálica con rotura de puente térmico y doble acristalamiento de baja emisividad (4,10,6 mm).

Estas especificaciones garantizan el cumplimiento de los requisitos de eficiencia energética para la zona climática invernal B.

Tabla 2: Tabla orientativa para nuevas construcciones. Ejemplo 1.[5]

Element	Winter climate zone					
	a	A	B	C	D	E
Walls and floors in contact with outside air (us, um) cm of insulation	0,56 4	0,50 5	0,38 7	0,29 9,5	0,27 10,5	0,23 12,5
Covers in contact with outside air (uc) cm of insulation	0,50 5,5	0,44 6	0,33 8,5	0,23 13	0,22 13,5	0,19 16
Walls, floors and roofs in contact with non-habitable spaces or with the ground (ur) Partition walls or interior partitions belonging to the thermal envelope (umD) cm of insulation	0,80 2	0,80 2	0,69 3	0,48 5	0,48 5	0,48 5
Openings (frame, glass and, if applicable, louver box) (uh)* (UH)* (UH)* (UH) glass composition and metallic carpentry, without roller shutter drawer	2,7 BE4/8/6 SinRPT	2,7 BE4/8/6 SinRPT	2,0 BE4/10/6 RPT	2,0 BE4/10/6 RPT	1,6 BE4/12Ar/ RPT	1,5 BE4/14Ar/6 RPT



Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

El segundo ejemplo consiste en la rehabilitación energética de un edificio existente.

Este edificio tiene las mismas características de materiales en la envolvente térmica que el del ejemplo 1. También se encuentra en la zona climática B3. En este caso, los espesores de las capas de aislamiento que se deben instalar y las transmitancias límite que se deben respetar según el Código Técnico de la Edificación español se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Tabla orientativa para intervenciones en edificios existentes. Ejemplo 2. [5]

Table for interventions in existing buildings:

Element	Winter climate zone					
	α	A	B	C	D	E
Walls and floors in contact with outside air (u_s, u_m) cm of insulation	0,80 2.5	0,70 3	0,56 4	0,49 5	0,41 6.5	0,37 7
Covers in contact with outside air (u_c) cm of insulation	0,55 5	0,50 5.5	0,44 6.5	0,40 7	0,35 8	0,33 8.5
Walls, floors and roofs in contact with non-habitable spaces or with the ground (u_T) Partition walls or interior partitions belonging to the thermal envelope (u_{MD}) cm of insulation	0,90 1.5	0,80 2	0,75 2.5	0,70 2.5	0,65 3	0,59 3.5
Openings (frame, glass and, if applicable, louver box) (u_H)* (U_H)* (U_H)* (U_H) glass composition and metallic carpentry, without roller shutter drawer	3,2 4/16/6 SinRPT	2,7 BE4/8/6 SinRPT	2,3 BE4/8/6 RPT	2,1 BE4/10/6 RPT	1,8 BE4/20/6 RPT	1,80 BE4/20/6 RPT
Doors with semi-transparent surface equal to or less than 50%.				5,7		

*The window openings in units of use with commercial activity can increase the value of the u_H by 50%.

Para una intervención en un edificio existente situado en una zona climática invernal B, con los materiales descritos en la envolvente térmica, según el Código Técnico de la Edificación (CTE) español, los elementos de la envolvente térmica deben cumplir las siguientes características (Tabla 3):

- las paredes y suelos en contacto con el aire exterior deben tener una transmitancia térmica (valor U) de 0,56 W/m²·K (al menos 4 cm de aislamiento);
- los cubiertas en contacto con el aire exterior deben alcanzar un valor U de 0,44 W/m²·K (al menos 6,5 cm de aislamiento);
- las paredes, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno, así como las particiones interiores dentro de la envolvente térmica, deben cumplir un valor U de 0,75 W/m²·K (al menos 2,5 m de aislamiento);





Propiedades y comportamiento de la envolvente térmica del edificio.

- y las aberturas, como ventanas y puertas, deben tener un valor U máximo de 2,3 W/m²·K. Este requisito se cumple con ventanas de carpintería metálica con rotura de puente térmico y doble acristalamiento de baja emisividad (4,8,6 mm).

Referencias

- [1] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (s. f.). Building thermal envelope. En ASHRAE Terminology. Consultado el 3 de agosto de 2025, en <https://terminology.ashrae.org/?entry=building+thermal+envelope>.
- [2] BPC Green Builders. <https://www.bpcgreenbuilders.com/blog/your-homes-thermal-envelope-most-important-element-for-an-energy-efficient-home/>
- [3] La importancia de la envolvente del edificio. Consultado el 3 de agosto de 2025, en [La importancia de la envolvente del edificio | Eco Spray Insulation](#)
- [4] «IEA – Agencia Internacional de la Energía», IEA. Consultado el 23 de junio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org>
- [5] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2020). *Guía de aplicación del Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación (CTE)*. <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE/GuiaDBHE.pdf>

6 - Resultados

Para evaluar el éxito de la aplicación, sugerimos realizar un cuestionario a los estudiantes.

7- Lo que hemos aprendido

- La definición de envolvente térmica de los edificios.
- Los elementos de la envolvente térmica de los edificios y su funcionamiento.
- Ejemplos de distintos tipos de fachadas, muros medianeros, cubiertas.
- Transferencia de calor a través de la envolvente térmica: conducción, convección y radiación.
- Materiales utilizados en la capa de aislamiento térmico de un elemento de la envolvente térmica de un edificio.
- Principales propiedades térmicas de paredes y ventanas.
- Requisitos técnicos de los códigos de construcción sobre la envolvente térmica.