

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

**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

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejora de la envolvente térmica



## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

### Contenido

<b>Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejora de la envolvente térmica .....</b>	<b>1</b>
<b>1 – Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<b>2 - Metodología de aprendizaje.....</b>	<b>3</b>
<b>3 - Duración del tutorial .....</b>	<b>4</b>
<b>4 – Recursos didácticos necesarios.....</b>	<b>4</b>
<b>5 – Contenidos y tutorial .....</b>	<b>4</b>
<b>5.1 – ¿Qué es la envolvente térmica de un edificio? .....</b>	<b>4</b>
<b>5.2    Cómo funciona la envolvente térmica de un edificio.....</b>	<b>6</b>
<b>5.3    Estrategias para optimizar la envolvente térmica de un edificio. ....</b>	<b>6</b>
<b>5.4    Ejemplos de ventanas y puertas de alta eficiencia energética .....</b>	<b>7</b>
<b>5.5    Ejemplos de fachadas y cubiertas de alta eficiencia energética.....</b>	<b>13</b>
<b>5.6    Alternativas para mejorar el aislamiento de las fachadas de edificios existentes. ....</b>	<b>22</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>28</b>
<b>6 - Resultados .....</b>	<b>30</b>
<b>7- Lo que hemos aprendido.....</b>	<b>30</b>

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

### 1 – Objetivos

El tutorial «Catálogo de mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: mejora de la envolvente térmica» tiene como objetivo proporcionar a los participantes una comprensión global de las medidas para mejorar las propiedades de la envolvente térmica de los edificios. Los objetivos de este Catálogo de mejores alternativas para mejorar la envolvente térmica de los edificios son los siguientes:

- Comprender qué es la envolvente térmica de un edificio.
- Comprender las propiedades físicas de la envolvente térmica de un edificio.
- Estrategias para optimizar la envolvente térmica de un edificio.
- Comprender los componentes de la envolvente térmica.
- Conocer ejemplos de ventanas y puertas de alta eficiencia energética.
- Conocer ejemplos de fachadas y cubiertas de alta eficiencia energética.
- Conocer las medidas para mejorar el aislamiento de las fachadas y paredes de la envolvente térmica.

### 2 - Metodología de aprendizaje

El profesor ofrecerá una explicación sobre las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de la envolvente térmica de los edificios, con una duración aproximada de 30 minutos.

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

- Cómo funciona la envolvente térmica del edificio
- Estrategias para optimizar la envolvente térmica de un edificio
- Ejemplos de ventanas y puertas de alta eficiencia energética
- Ejemplos de fachadas y cubiertas de alta eficiencia energética
- Alternativas para mejorar el aislamiento de las fachadas de edificios existentes.

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

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

### 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 – ¿Qué es la envolvente térmica de un edificio?

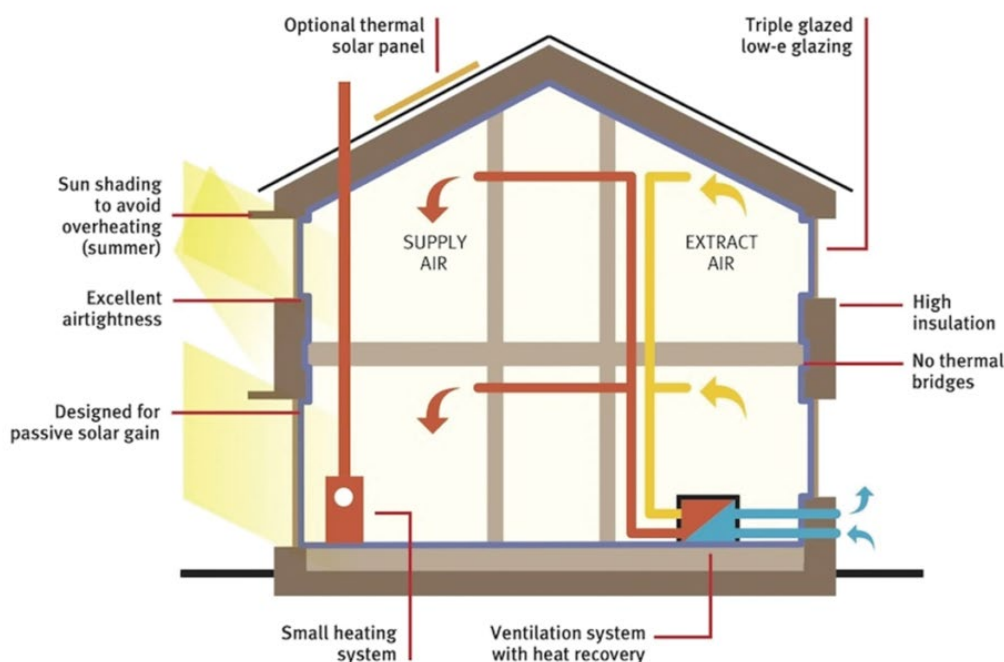
Antes de profundizar en medidas específicas para mejorar la envolvente térmica, es fundamental comprender qué es la envolvente térmica de un edificio.

La **envolvente térmica** de un edificio es la barrera física que separa los espacios interiores acondicionados del entorno exterior. Desempeña un papel crucial en la regulación del flujo de calor, la infiltración de aire y la transferencia de humedad, lo que afecta directamente al rendimiento energético, el confort interior y la durabilidad de un edificio. Una envolvente térmica bien diseñada ayuda a mantener una temperatura interior constante, reduce el consumo de energía y disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero [1].

Los principales componentes de la envolvente térmica son las **paredes, el techo, el suelo, las ventanas y las puertas**. Cada parte contribuye a controlar el intercambio térmico y debe construirse con **materiales aislantes** adecuados, **barreras de aire y capas de control de la humedad**. Por ejemplo, las paredes exteriores suelen contener aislamiento y una capa hermética para minimizar la pérdida de calor en invierno y evitar la ganancia de calor en verano. Los techos suelen incluir capas de ventilación y superficies reflectantes, mientras que los suelos, especialmente los que están en contacto con el suelo, requieren roturas térmicas y protección contra la humedad. Las ventanas y puertas se consideran puntos débiles térmicos, por lo que los diseños modernos incluyen **acristalamientos dobles o triples, revestimientos de baja emisividad (low-E)** y marcos con rotura térmica para mejorar su rendimiento.

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

Existen diferentes tipos de envolventes térmicas en función del objetivo del diseño y los estándares de eficiencia. **Las envolventes convencionales** siguen los códigos de construcción estándar y proporcionan una protección térmica e e básica. Por el contrario, **las envolventes de alto rendimiento**, como las utilizadas en el diseño de **casas pasivas** [2], tienen como objetivo minimizar la demanda energética mediante una construcción hermética, un aislamiento superior y detalles sin puentes térmicos. **Las envolventes dinámicas o adaptativas** utilizan tecnología o materiales inteligentes para responder a las condiciones externas, como las fachadas ventiladas que permiten la circulación del aire entre las capas del revestimiento para mejorar el comportamiento térmico.



**Figura 1:** Normas Passivhaus en acción. (Fuente de la imagen: John Gilbert Architects).

Mejorar la envolvente térmica de un edificio es una de las estrategias más eficaces para reducir el consumo de energía. Las medidas de mejora más comunes incluyen **la renovación del aislamiento** de paredes, áticos y suelos; la sustitución de ventanas obsoletas por **unidades energéticamente eficientes**; y el sellado de las fugas de aire alrededor de juntas, tuberías y enchufes eléctricos. Las estrategias más avanzadas consisten en la instalación de **cubiertas verdes**, **dispositivos de sombreado exterior** o **fachadas ventiladas**, todo lo cual contribuye a una mejor regulación de la temperatura y al control de la humedad.

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

### 5.2 – Cómo funciona la envolvente térmica de un edificio

La envolvente térmica de un edificio funciona como una capa protectora que gestiona la transferencia de calor, aire y humedad entre el interior y el exterior. Está compuesta por elementos estructurales y aislantes, como paredes, techos, suelos, ventanas y puertas, que en conjunto reducen la pérdida de energía y ayudan a mantener el confort térmico. Al limitar las ganancias de calor no deseadas en verano y las pérdidas de calor en invierno, la envolvente reduce significativamente la necesidad de sistemas mecánicos de calefacción y refrigeración [1].

Las propiedades clave de una envolvente térmica eficaz incluyen **la resistencia térmica (valor R), la estanqueidad al aire y el control de la humedad**. Los valores R altos indican un mejor rendimiento del aislamiento, lo que ralentiza el flujo de calor a través de los elementos del edificio. La estanqueidad al aire evita las fugas de aire incontroladas, lo que mejora la eficiencia energética y la calidad del aire interior. Las capas de control de la humedad, como las barreras de vapor y los planos de drenaje, protegen los materiales de construcción del deterioro debido a la condensación o la infiltración [3]. Cada componente debe funcionar en conjunto como un sistema integrado para optimizar el rendimiento térmico y la durabilidad.

Las normas de construcción avanzadas, como **Passive House**, enfatizan la importancia de una envolvente térmica de alto rendimiento. Estos diseños utilizan aislamiento grueso, ventanas de alto rendimiento y un sellado hermético meticuloso para reducir drásticamente las necesidades de calefacción y refrigeración [2]. La mejora de la envolvente, ya sea mediante una nueva construcción o una renovación, puede suponer un ahorro energético sustancial y una mayor vida útil de los materiales de construcción. En definitiva, la envolvente térmica es uno de los factores más críticos en el diseño de edificios sostenibles y energéticamente eficientes.

### 5.3 – Estrategias para optimizar la envolvente térmica de un edificio.

Una de las estrategias más eficaces para mejorar la envolvente térmica de un edificio es **mejorar el aislamiento** del techo, las paredes y los suelos. El aislamiento ralentiza la transferencia de calor, lo que ayuda a mantener temperaturas interiores agradables durante todo el año y reduce el consumo de energía. En climas fríos, como el del norte de Europa, se suelen utilizar materiales con un alto valor R, como la lana mineral o la espuma en spray, en capas gruesas para minimizar la pérdida de calor [1]. En regiones cálidas y áridas (por ejemplo, el sur de España), se añade aislamiento reflectante o barreras radiantes bajo los techos para reflejar la radiación solar [4].

Otra área clave de mejora es el **rendimiento de las ventanas y puertas**, que son responsables de una gran parte de la pérdida o ganancia de calor. La sustitución de

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

unidades obsoletas por **ventanas de doble o triple acristalamiento** equipadas con **revestimientos de baja emisividad (low-E)** y relleno de gas argón mejora significativamente el rendimiento térmico [2]. En las regiones más frías, las ventanas orientadas al sur pueden diseñarse para captar el calor solar pasivo, mientras que en los climas tropicales es esencial limitar el tamaño de las ventanas y utilizar dispositivos de sombreado para reducir el sobrecalentamiento. Las roturas de puente térmico en los marcos de aluminio y las puertas exteriores aisladas también contribuyen a mantener una barrera térmica más hermética [3].

El **sellado hermético** es una mejora fundamental que se aplica en todas las zonas climáticas. Las fugas de aire pueden suponer hasta el 30 % de las pérdidas de calefacción y refrigeración en un edificio típico [1]. Sellar las grietas con masillas, espumas y burletes reduce la infiltración y mejora la eficiencia energética. En climas húmedos, también evita que el aire cálido y húmedo entre y se condense e mente dentro de las paredes, lo que puede provocar la aparición de moho. A menudo se utiliza una **prueba de puerta sopladora** para detectar puntos de fuga.

Por último, **las estrategias pasivas** que responden al clima pueden mejorar significativamente la envolvente térmica. En regiones cálidas y húmedas, **las fachadas ventiladas** ayudan a eliminar el calor solar y la humedad, manteniendo el edificio más fresco. **Los tejados verdes** son eficaces tanto en climas templados como cálidos, ya que proporcionan aislamiento y reducen el efecto isla de calor urbano. **Los dispositivos de sombreado exterior**, como las persianas o las pérgolas, bloquean la luz solar directa en verano, pero la dejan pasar en invierno en climas estacionales. Estos elementos no solo mejoran el rendimiento de la envolvente térmica, sino que también contribuyen al confort de los ocupantes y a la sostenibilidad medioambiental.

### 5.4 – Ejemplos de ventanas y puertas de alta eficiencia energética

#### 5.4.1. Tipos de ventanas: materiales del acristalamiento y del marco

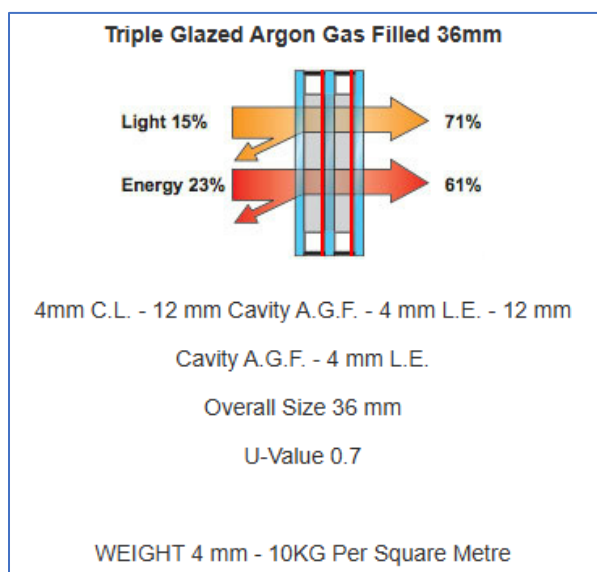
Las ventanas son una parte fundamental de la envolvente térmica y afectan significativamente a la eficiencia energética de un edificio, especialmente en climas con predominio de calefacción o refrigeración. Los dos factores más importantes que determinan el rendimiento térmico de una ventana son el tipo de acristalamiento (vidrio) y el material del marco. Juntos, influyen en el valor U, que mide la tasa de transferencia de calor: cuanto menor es el valor U, mejor es el aislamiento.

**Los tipos de acristalamiento** varían desde el vidrio de una sola hoja (poco utilizado en la actualidad) hasta las unidades de doble y triple acristalamiento. El doble acristalamiento consta de dos hojas de vidrio con un espacio relleno de aire o gas (argón

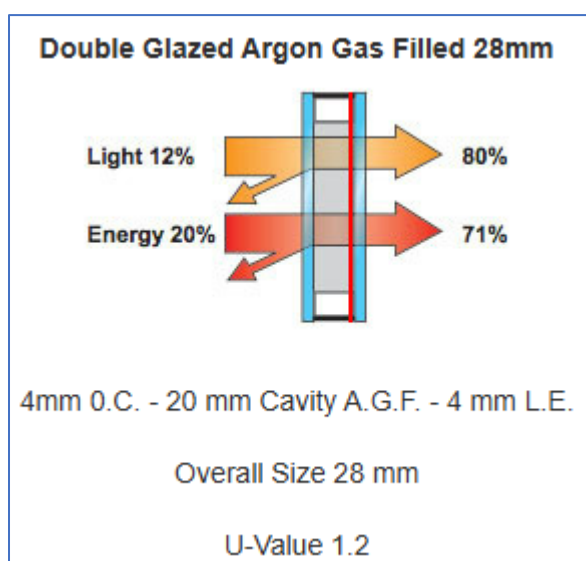
## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

o criptón), mientras que el triple acristalamiento añade una tercera hoja, lo que mejora aún más el aislamiento. Los valores U aproximados son:

- Acristalamiento simple: 5,0-6,0 W/m<sup>2</sup>·K (aislamiento muy deficiente)
- Acristalamiento doble (relleno de aire): 2,7-3,0 W/m<sup>2</sup>·K
- Doble acristalamiento (relleno de argón, bajo emisivo): 1,4-1,6 W/m<sup>2</sup>·K
- Acristalamiento triple (argón/criptón, bajo emisivo): 0,8-1,0 W/m<sup>2</sup>·K [5]



**Figura 2:** Características del triple acristalamiento con gas argón de 36 mm



**Figura 3:** Características del doble acristalamiento con gas argón de 28 mm



## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

**Los materiales del marco** también desempeñan un papel importante en la transferencia de calor. Los tipos más comunes son:

- Aluminio (sin rotura de puente térmico): alta conductividad; valores U de entre 5,5 y 6,0 W/m<sup>2</sup>·K
- Aluminio con rotura de puente térmico: con barreras térmicas, los valores bajan a 1,8-2,5 W/m<sup>2</sup>·K
- Marcos de PVC/vinilo: buen aislamiento; valores U entre 1,2 y 1,6 W/m<sup>2</sup>·K
- Marcos de madera: aislantes naturales; valores U de 1,4-1,8 W/m<sup>2</sup>·K
- Compuesto de madera y aluminio: combina estética y rendimiento; ~1,0-1,4 W/m<sup>2</sup>·K [6]



**Figura 4:** Marcos de ventana de PVC, aluminio y madera.

### 5.4.2. Valores U recomendados para ventanas según la zona climática

La transmitancia térmica recomendada (valor U) de las ventanas depende en gran medida del clima local y de la normativa de construcción:

- Climas fríos (por ejemplo, Escandinavia, Canadá): el valor U recomendado es  $\leq 1,0$  W/m<sup>2</sup>·K para ventanas; las normas Passive House sugieren  $\leq 0,8$  W/m<sup>2</sup>·K para frío extremo [2].
- Climas templados (por ejemplo, Europa Central, Norte de EE. UU.): objetivo  $\leq 1,4$  W/m<sup>2</sup>·K para un buen rendimiento.

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

- Climas cálidos (por ejemplo, Mediterráneo, sur de EE. UU.): pueden ser aceptables valores U ligeramente superiores, de hasta 1,8-2,0 W/m<sup>2</sup>·K, pero el coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC) es más importante en estos casos para reducir el sobrecalentamiento.

También es importante tener en cuenta **la orientación solar y la sombra**: en climas más fríos, las ventanas orientadas al sur con un SHGC más alto pueden ayudar a calentar el interior de forma natural, mientras que en climas cálidos se prefieren los acristalamientos con un SHGC bajo y la sombra exterior.

Para garantizar una alta eficiencia energética, los sistemas de ventanas deben elegirse en función del valor U y del SHGC, y adaptarse a las condiciones climáticas locales. Las ventanas de triple acristalamiento y baja emisividad con marcos con rotura de puente térmico o compuestos ofrecen un excelente rendimiento en climas fríos. En zonas más cálidas, las ventanas de doble acristalamiento y baja emisividad con revestimientos de control solar y sistemas de sombreado suelen ser más adecuadas y rentables.

### 5.4.3. Catálogos de ventanas

A continuación se indican algunos de los principales sitios web en inglés donde se puede acceder a catálogos de ventanas de alta eficiencia, incluidos archivos PDF y folletos:

#### ➤ **Alpen High Performance Products**

Alpen se especializa en ventanas de triple y cuádruple acristalamiento a medida, certificadas según los estándares Passive House y ENERGY STAR. Sus catálogos destacan los acristalamientos avanzados, los marcos aislantes y las opciones de sombreado integrado.

[windowsbertrand.comthinkalpen.com+3thinkalpen.com+3thinkalpen.com+3](http://windowsbertrand.comthinkalpen.com+3thinkalpen.com+3thinkalpen.com+3)

#### ➤ **Marvin (series Essential y Ultrex®)**

Ofrece catálogos completos con vidrio de baja emisividad certificado por ENERGY STAR, rellenos de argón y marcos de fibra de vidrio Ultrex. Los catálogos incluyen datos de rendimiento como los factores U y los coeficientes de ganancia de calor solar.

[prioritydoorwindow.com+6irp.cdn-website.com+6energy.gov+6](http://prioritydoorwindow.com+6irp.cdn-website.com+6energy.gov+6)

#### ➤ **REHAU**

Folleto en PDF con acabado pulido que muestra **los sistemas de ventanas de polímero con clasificación A de WER**, con un excelente aislamiento térmico y acústico, adaptados a los climas del Reino Unido y la UE. [window.rehau.com](http://window.rehau.com)

#### ➤ **SUNCE Marinkovic**

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

Catálogo en PDF en inglés que presenta **ventanas de PVC** energéticamente eficientes con mecanismos de seguridad y propiedades térmicas.  
[en.wikipedia.org+12suncemarinkovic.com+12windowsbertrand.com+12](https://en.wikipedia.org+12suncemarinkovic.com+12windowsbertrand.com+12)

### ➤ SILKA

Información en inglés sobre ventanas de aluminio con triple acristalamiento y **marcos aislantes Thermafill®**, con un valor U de tan solo 0,8 W/m<sup>2</sup>K, uno de los mejores del mercado. [silkawindows.com](http://silkawindows.com)

#### 5.4.4. Propiedades térmicas de las puertas de entrada principales de viviendas residenciales

El rendimiento térmico de las puertas de entrada principales varía significativamente en función de sus materiales y estructura interna. Las puertas de madera maciza, aunque son aislantes por naturaleza y visualmente atractivas, suelen ofrecer valores U entre 0,35 y 0,70 W/m<sup>2</sup>·K, lo que las hace menos eficientes en comparación con las alternativas aislantes [7]. Las puertas de acero y fibra de vidrio que incorporan núcleos de espuma de poliuretano proporcionan un aislamiento superior, alcanzando valores U de tan solo 0,15-0,30 W/m<sup>2</sup>·K [8]. Además, las puertas de entrada acristaladas pueden ofrecer una buena resistencia térmica cuando están equipadas con doble o triple acristalamiento de baja emisividad (Low-E) y rellenos de gas como el argón [9]. El uso de burletes, núcleos aislantes y roturas de puente térmico es fundamental para minimizar las fugas de aire y mantener la eficiencia energética [9].

Las normas reglamentarias definen los valores U máximos permitidos en función de los objetivos regionales de eficiencia energética. En las regiones europeas más frías, la normativa suele exigir valores U para puertas inferiores a 1,4-1,8 W/m<sup>2</sup>·K, dependiendo de si la puerta es nueva o de sustitución [7]. Las certificaciones más exigentes, como Passive House, exigen valores  $U \leq 1,0$  W/m<sup>2</sup>·K para minimizar la pérdida térmica [2]. En Norteamérica, las directrices ENERGY STAR también hacen hincapié en el rendimiento del conjunto completo de la puerta, con valores U máximos de aproximadamente 0,28 W/m<sup>2</sup>·K, dependiendo de la zona climática y la relación entre la puerta y el cristal [9].

Para climas fríos y alpinos, lo ideal es que las puertas tengan valores  $U \leq 1,0$  W/m<sup>2</sup>·K para reducir las necesidades de calefacción y mejorar el confort térmico [2]. En regiones templadas, los valores U de hasta 1,4 W/m<sup>2</sup>·K ofrecen un equilibrio práctico entre aislamiento y rentabilidad [1]. En climas más cálidos, como las zonas mediterráneas o tropicales, pueden ser suficientes valores U de hasta 1,8 W/m<sup>2</sup>·K, especialmente si se combinan con características de baja ganancia de calor solar [9]. Independientemente

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

de la ubicación, es esencial seleccionar puertas con juntas adecuadas, roturas de puente térmico y materiales aislantes certificados para garantizar el ahorro energético a largo plazo y el confort interior [8].

A continuación se presentan varias puertas de entrada principales de alto rendimiento y eficiencia energética, junto con su transmitancia térmica aproximada (valores U):

- **Fibra de vidrio aislante con acristalamiento de baja emisividad:** suelen ser puertas de fibra de vidrio con núcleo de espuma, doble acristalamiento, inserciones de vidrio de baja emisividad y relleno de gas argón. Estas puertas suelen alcanzar **valores U entre 0,17 y 0,30 W/m<sup>2</sup>·K**, lo que ofrece un excelente aislamiento y una estética moderna.
- **Puerta de acero con núcleo de poliuretano:** exterior de acero duradero combinado con un núcleo aislado de poliuretano. Estos modelos suelen incluir marcos con rotura de puente térmico y burletes, con **valores U que oscilan entre 0,15 y 0,25 W/m<sup>2</sup>·K**, lo que los convierte en unos de los más eficientes térmicamente.
- **Madera maciza con núcleo compuesto:** este estilo mantiene la elegante apariencia de la madera, pero incluye un núcleo compuesto o aislado para mejorar el rendimiento. Sus **valores U típicos se sitúan entre 0,30 y 0,50 W/m<sup>2</sup>·K**, lo que es mejor que la madera maciza sola, pero superior a los diseños totalmente aislados.
- **Puerta totalmente acristalada con paneles triples de baja emisividad:** un diseño elegante y moderno que utiliza vidrio de baja emisividad de triple panel con relleno de gas inerte (por ejemplo, argón o criptón). Estas puertas suelen alcanzar **valores U de entre 0,70 y 1,20 W/m<sup>2</sup>·K**, dependiendo de las especificaciones del vidrio y la calidad del marco.

Los ejemplos mencionados ponen de relieve cómo diferentes materiales —fibra de vidrio, acero, madera compuesta y acristalamiento— combinan la estética con una eficiencia térmica avanzada.

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica



Figura 5: Ejemplos de puertas de entrada de viviendas (Fuente: [Constellaion.com](https://www.constellation.com))

## 5.5 – Ejemplos de fachadas y cubiertas de alta eficiencia energética

### 5.5.1. Fachada ventilada frente a fachada convencional

Las fachadas ventiladas (también conocidas como fachadas cortavientos o fachadas de doble piel) funcionan incorporando un revestimiento externo, un espacio de aire y aislamiento en la pared estructural. El flujo de aire en la cavidad (a menudo impulsado por el «efecto chimenea») reduce la ganancia de calor en verano y la acumulación de humedad en invierno, mejorando el rendimiento térmico. Los estudios han demostrado que las fachadas ventiladas pueden reducir las cargas de refrigeración entre **un 20 % y un 55 %** y mejorar el valor U en aproximadamente **un 30 %-40 %** con respecto a los sistemas de aislamiento convencionales [10].

Un estudio de caso de edificios residenciales en Alicante, España, comparó una fachada ventilada orientada al norte (ladrillo, aislamiento continuo de 3 cm, cámara de aire de 7 cm, revestimiento de gres porcelánico) (Tabla 1) con un muro aislado convencional (Tabla 2). El sistema ventilado alcanzó un valor U de alrededor de **0,20 W/m<sup>2</sup>·K, en comparación con la fachada convencional, que fue de 0,33 W/m<sup>2</sup>·K**, lo que indica una mejora del 40 % en la transmitancia térmica [11].

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

Table 1: Constructional features of the housing façade. [11]

F_1_ Ventilated façade _Total thickness = 0.355 m		
Vertical construction and horizontal flow		Thickness
Inside environment		(m)
1	Trim and plaster	0.015
2	Hollowed ceramic brick	0.115
3	Perforated ceramic brick	0.115
4	Thermal insulation: PUR projection [0.033 W/[mK]]	0.03
5	Metallic structure	—
6	Air gap ventilated	0.07
7	Outer discontinuous ceramic façade	0.01
Outside environment		

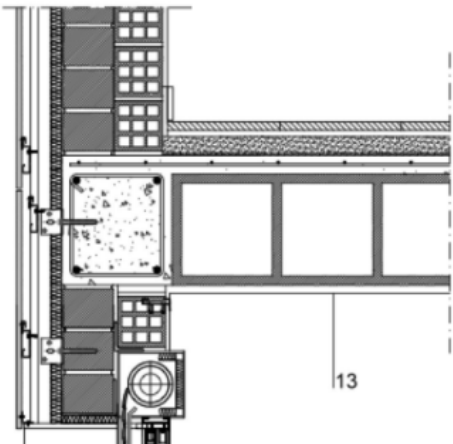
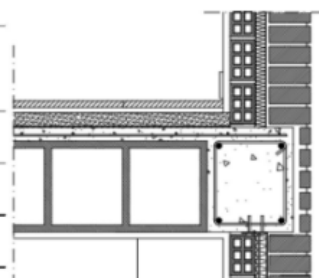


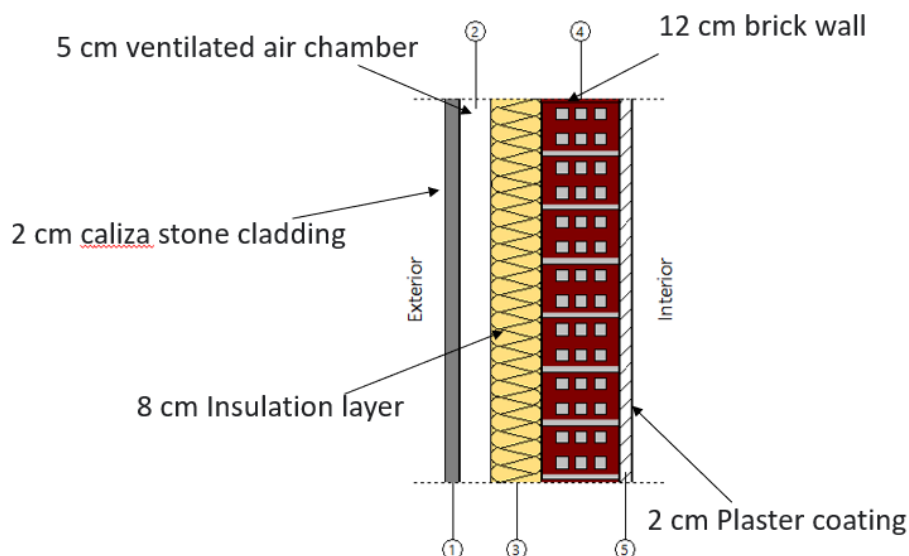
Table 2: Constructional features of the conventional façade. [11]

F_2_ Conventional façade _Total thickness = 0.24 m		
Vertical construction and horizontal flow		Thickness (m)
Inside environment		
1	Trim and plaster	0.015
2	Hollowed ceramic brick	0.07
3	Thermal insulation: mineral wood [0.033 W/[mK]]	0.03
4	Mortar bed	0.01
5	Perforated ceramic brick	0.115
Outside environment		

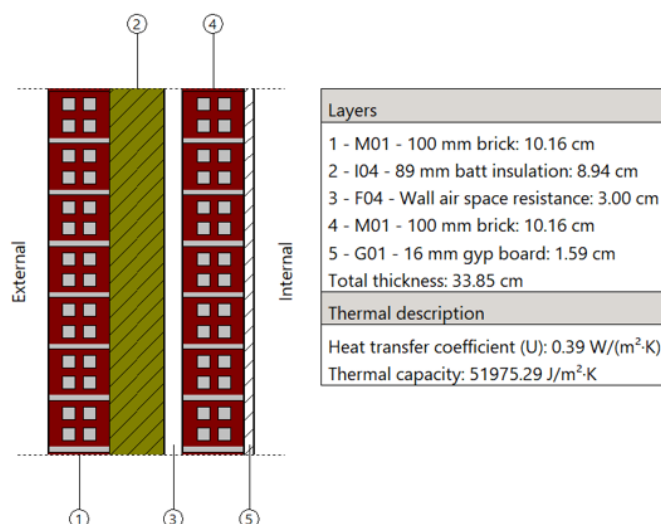


En las siguientes figuras se muestran otros ejemplos de fachada ventilada y fachada convencional:

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica



**Figura 6:** Fachada ventilada ( $U = 0,33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ )



**Figura 7:** Fachada convencional ( $U = 0,39 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ )

### 5.5.2. Otros tipos de fachadas

Otro ejemplo real es el Indira Paryavaran Bhawan, un edificio de energía neta cero (NZEB) en Delhi. La construcción de la envolvente del edificio es de gran peso. La pared exterior está formada por bloques de hormigón celular autoclavado (AAC) de 30 cm de



## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

espesor, aislamiento de lana mineral de 7 cm de espesor, una cámara de aire de 12 cm de espesor y ladrillos de bloques «Fal-G» [mezcla patentada de cenizas volantes (Fa), cal (L) y yeso (G)] de 12 cm de espesor, y tiene un valor U de **0,22 W/m<sup>2</sup> K** [12].



**Figura 8:** Indira Paryavaran Bhawan [12]

Otro caso que cabe destacar son las fachadas de doble piel. Las fachadas de doble piel de alto rendimiento con revestimientos de vidrio y cavidades ventiladas, como las de la Pearl River Tower o el 30 St Mary Axe, mejoran los valores U hasta situarlos entre **0,40 y 0,80 W/m<sup>2</sup>·K**, dependiendo de la anchura de la cavidad y del tipo de acristalamiento [13]. Aunque están acristaladas, estas fachadas utilizan de forma inteligente la ventilación natural o mecánica para gestionar la radiación solar y controlar el flujo de aire.



**Figura 9:** Fachada de doble piel

### 5.5.3. Ejemplos de cubiertas de edificios con alta eficiencia energética



## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

### Cubierta plana

Un **techo plano** es un tipo de techo que se caracteriza por su pendiente mínima, normalmente inferior al 5 %, y se utiliza habitualmente en edificios modernos y comerciales debido a su estructura sencilla y al uso eficiente del espacio. Un sistema de techo plano típico incluye varias capas: una cubierta estructural, una barrera de vapor, aislamiento térmico, una membrana impermeable y, en ocasiones, una capa protectora o de acabado, como grava, tejas o vegetación.

#### Propiedades de aislamiento térmico:

1. **Capacidad de aislamiento continuo:** los techos planos permiten la instalación continua e ininterrumpida de aislamiento térmico, lo que minimiza los puentes térmicos. Los materiales de aislamiento más comunes son el poliisocianurato (PIR), el poliestireno extruido (XPS) y la lana mineral. Los sistemas bien diseñados pueden alcanzar **una transmitancia térmica (valores U)** de entre **0,15 y 0,25 W/m<sup>2</sup>·K**, dependiendo del tipo y el grosor del aislamiento.
2. **Alta eficiencia energética:** La superficie plana y uniforme facilita garantizar un espesor de aislamiento uniforme, lo que mejora la resistencia térmica general. Esto ayuda a reducir las pérdidas de calor durante el invierno y el sobrecalentamiento en verano, mejorando el confort térmico interior y reduciendo la demanda de energía de los sistemas de climatización.
3. **Compatibilidad con sistemas pasivos:** Los cubiertas planas son plataformas ideales para integrar sistemas adicionales de eficiencia energética, como cubiertas verdes, paneles solares o revestimientos reflectantes (cubiertas frías). Las cubiertas planas reflectantes, por ejemplo, pueden reducir la absorción solar en más de un 70 %, complementando el aislamiento térmico y mejorando el rendimiento en climas cálidos.

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

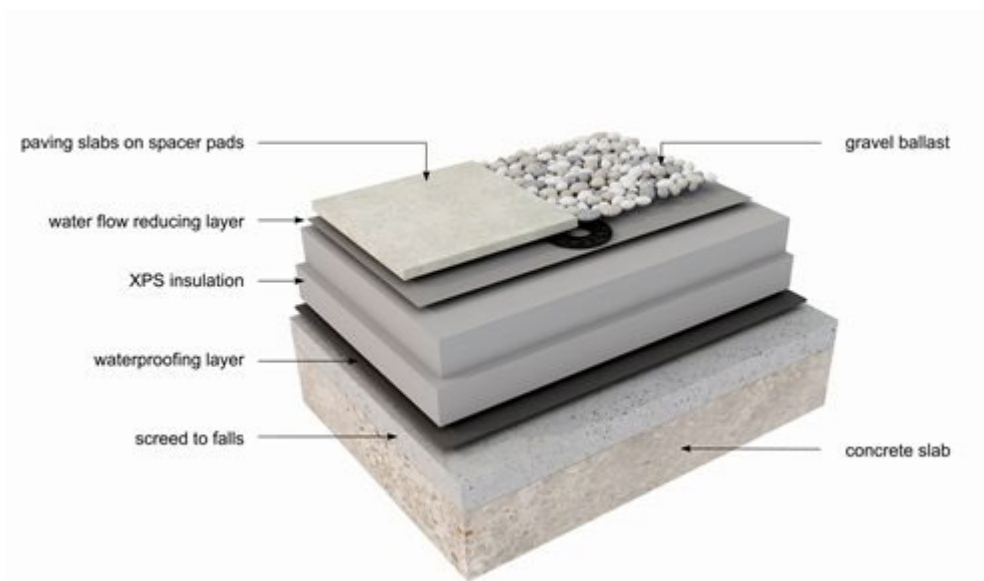


Figura 10: Cubierta plana

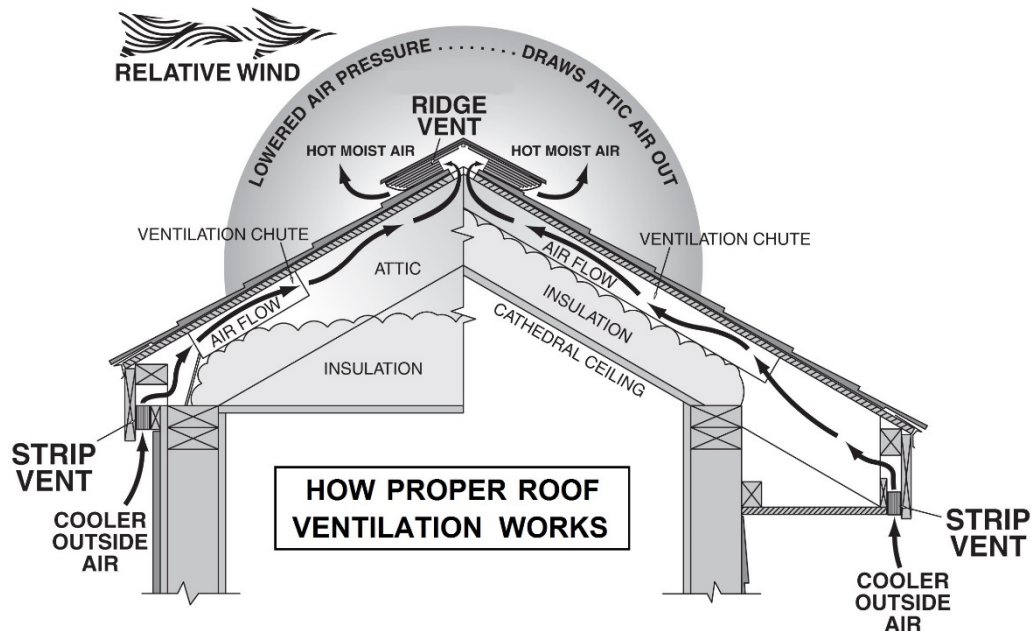
### Cubiertas ventiladas frescas.

**Definición y mecanismo:** Los techos frescos ventilados combinan una **capa exterior de alta reflectividad** (reflectancia solar entre 0,65 y 0,85) con una **cavidad de aire ventilada** debajo de ella. Esta configuración permite el flujo de aire natural, donde el aire caliente se escapa a través de ventilaciones altas, mientras que el aire más fresco entra por las entradas inferiores, **reduciendo eficazmente la transmisión térmica** al espacio interior [14]. Este proceso de ventilación pasiva también ayuda a mantener una temperatura más estable en el techo durante todo el día.

**Estructura típica y transmitancia térmica (valor U):** Un conjunto estándar consta de una **cubierta**, una **barrera de vapor**, una **capa de aislamiento térmico** y una **cavidad ventilada** de aproximadamente 25-50 mm de profundidad, rematada por el material de cubierta exterior (tejas, láminas metálicas, etc.). La capa aislante suele alcanzar **valores U de entre 0,20 y 0,30 W/m<sup>2</sup>·K**, dependiendo del tipo y el espesor del aislamiento [15]. La **capa ventilada aporta un beneficio térmico adicional, reduciendo eficazmente el valor U global en aproximadamente 0,1 W/m<sup>2</sup>·K** gracias a la disminución de la transferencia de calor por conducción y convección [15].

**Efecto refrigerante y eficiencia energética:** Gracias al efecto combinado de la reflectancia solar y la ventilación, los techos ventilados pueden mantener **temperaturas superficiales de hasta 30-40 °C más** que los techos oscuros y no ventilados [16]. Este rendimiento térmico se traduce en **un ahorro de energía de refrigeración de entre el 30 y el 50 %**, dependiendo del clima, la configuración del tejado y el tipo de edificio. En edificios de una sola planta, se ha documentado una reducción de **hasta el 15 % en la demanda de climatización** al cambiar a tejados reflectantes ventilados [16].

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica



**Figura 11:** Cómo funciona un techo ventilado

**Otras ventajas:** Además de la eficiencia energética, los techos ventilados ofrecen varias ventajas adicionales:

- **Mayor vida útil de los materiales**, ya que las temperaturas superficiales más bajas reducen el estrés térmico y la degradación.
- **Control de la humedad**, minimizando el riesgo de condensación y desarrollo de moho gracias al flujo de aire continuo [15].
- **Reducción del efecto isla de calor urbano**, ya que estos techos emiten menos radiación térmica al entorno [14].

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica



**Figura 12:** Techo labrado con paredes de ladrillo (techo ventilado).

### Techos verdes



**Figura 13:** Techo verde.

**Definición y componentes:** Los techos verdes consisten en un **sistema multicapa** instalado sobre los techos convencionales, que incorpora membranas impermeables, barreras contra las raíces, capas de drenaje, un medio de cultivo (suelo) y vegetación. Se pueden clasificar como **extensivos** (6-20 cm de profundidad, bajo mantenimiento, carga más ligera) o **intensivos** (más de 20 cm de profundidad, soportan árboles y arbustos, más pesados y complejos) [17]. Estos sistemas proporcionan aislamiento y regulación climática, al tiempo que añaden valor estético y ecológico a las estructuras urbanas.

**Transmitancia térmica y rendimiento:** Los techos verdes actúan como amortiguadores térmicos naturales. En verano, **la evapotranspiración y la sombra** reducen la transferencia de calor, y en invierno, **la masa del suelo y la humedad retenida** ralentizan la pérdida de calor. Los valores U medidos para los techos verdes varían, pero suelen oscilar entre **0,25 y 0,35 W/m<sup>2</sup>·K**, dependiendo del espesor y la saturación [18]. En

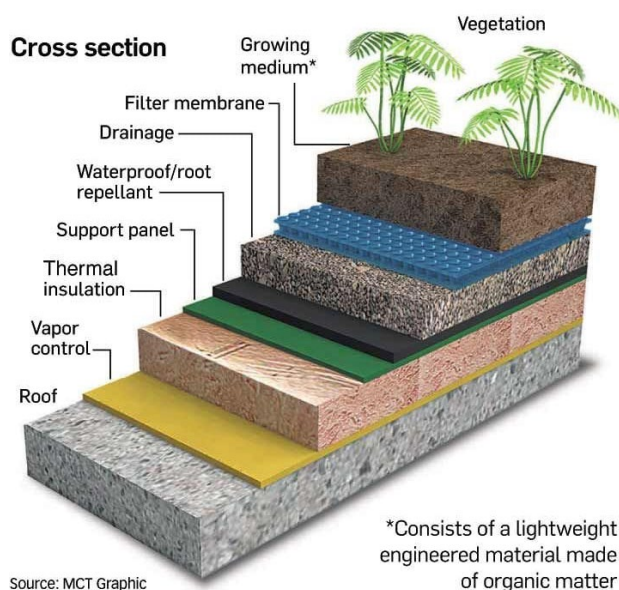
## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

comparación con los techos planos tradicionales ( $U \approx 0,50-0,60 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ), los techos verdes pueden mejorar el aislamiento hasta en un 50 %, especialmente en verano.

**Eficiencia energética y confort interior:** En climas cálidos, los techos verdes pueden reducir la temperatura interior entre **2 y 5 °C**, lo que reduce la carga de aire acondicionado entre **un 30 % y un 70 %** durante los picos de verano [18], [19]. En climas templados, se ha registrado un ahorro energético global del **5-10 % anual**. Durante el invierno, las ganancias en aislamiento son menores, pero siguen siendo relevantes: los estudios muestran reducciones en el consumo de energía para calefacción de **hasta un 10 %** [18].

**Ventajas medioambientales y de durabilidad:** Además de las ventajas térmicas, los techos verdes ofrecen:

- **Retención de aguas pluviales** de hasta el 80 % de la precipitación, lo que alivia los sistemas de drenaje.
- **Mitigación del efecto isla de calor urbano**, reduciendo la temperatura del aire ambiente hasta 2-3 °C en zonas densamente pobladas [17].
- **Mayor vida útil del tejado:** al proteger las membranas impermeables de la radiación UV y los ciclos térmicos, los tejados verdes pueden **duplicar la vida útil del tejado**, alcanzando los 40-50 años [20].



**Figura 14:** Techo verde. Fuente: gráfico de MCT

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

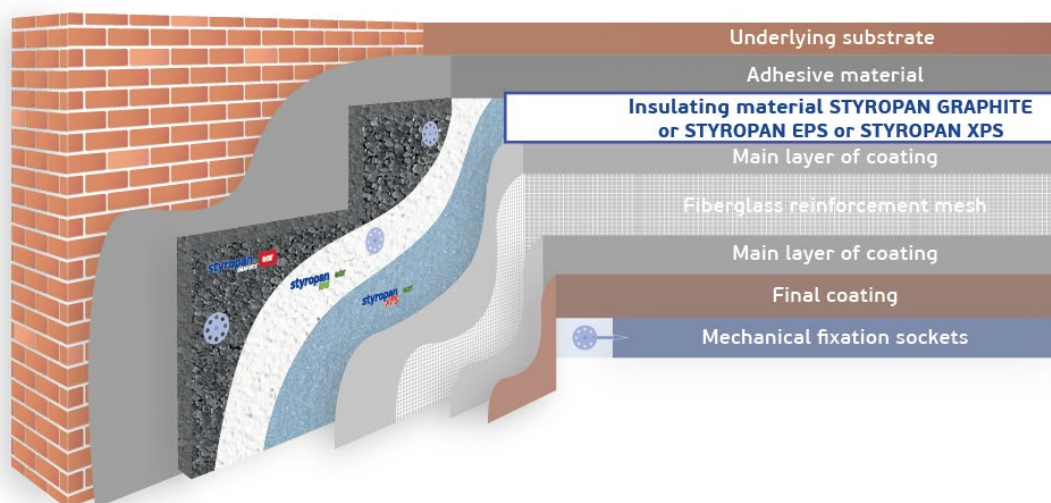
### 5.6 Alternativas para mejorar el aislamiento de las fachadas de los edificios existentes.

#### 5.6.1. Introducción y contexto

Mejorar el aislamiento de las fachadas de los edificios es una de las estrategias más eficaces para reducir el consumo de energía y aumentar el confort interior en las estructuras existentes. Las fachadas suelen representar **entre el 20 y el 35 % de las pérdidas de calor** en los edificios, especialmente en climas fríos y templados [21]. La rehabilitación de estos elementos de la envolvente puede reducir significativamente el valor U del edificio y la demanda energética sin necesidad de realizar grandes cambios estructurales.

#### 5.6.2. Sistemas compuestos de aislamiento térmico exterior (ETICS)

Los ETICS, también conocidos como sistemas de aislamiento de paredes exteriores, consisten en aplicar **paneles aislantes (por ejemplo, poliestireno expandido, lana mineral o PIR)** en el exterior de las paredes y, a continuación, cubrirlos con malla y enlucido de acabado. Estos sistemas pueden reducir los valores U de las paredes de alrededor de **1,0 W/m<sup>2</sup>·K (mampostería sin aislamiento) a tan solo 0,20-0,25 W/m<sup>2</sup>·K**, dependiendo del material y el grosor utilizados [22]. Los ETICS también ayudan a prevenir los puentes térmicos y mejoran la durabilidad de la fachada al proteger la estructura de la intemperie y la radiación UV [22].





## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

Figura 15: ETIC. Fuente: Styropan

### Ventajas de la rehabilitación con ETICS

- **Mejora del rendimiento térmico:** Los ETICS pueden reducir la **transmitancia térmica (valor U)** de los muros de mampostería típicos de alrededor de **1,2-1,5 W/m<sup>2</sup>·K (sin aislamiento) a 0,20-0,30 W/m<sup>2</sup>·K**, dependiendo del espesor y el material del aislamiento. Esta mejora e e aumenta el confort interior y reduce las necesidades de calefacción y refrigeración hasta en **un 40 %** en climas templados.
- **Puentes térmicos minimizados:** dado que el aislamiento es continuo en toda la superficie de la pared, el ETICS ayuda a **eliminar los puentes térmicos lineales** (por ejemplo, en losas de suelo o dinteles de ventanas), que son fuentes frecuentes de pérdida de calor en edificios antiguos.
- **Espacio interior preservado:** dado que el aislamiento se aplica en el exterior, **no se pierde superficie interior** y los ocupantes no tienen que desalojar la vivienda durante la instalación.
- **Mayor durabilidad de la fachada:** El ETICS protege la estructura subyacente de **la intemperie, las fluctuaciones de temperatura y la radiación UV**, lo que prolonga la vida útil de las paredes y reduce los costes de mantenimiento.
- **Renovación estética:** el sistema permite una amplia variedad de **acabados, texturas y colores**, lo que brinda la oportunidad de modernizar el aspecto del edificio y mejorar su rendimiento.

### Desventajas del ETICS:

- **Modificaciones necesarias en la fachada:** El espesor añadido (normalmente **entre 8 y 20 cm**) puede requerir adaptaciones en **los marcos de las ventanas, los alféizares, los aleros y los balcones**, lo que aumenta la complejidad y el coste de la mano de obra.
- **Vulnerabilidad mecánica:** A pesar de la capa exterior reforzada, los ETICS pueden ser **susceptibles a daños mecánicos** (por ejemplo, impactos, vandalismo), especialmente en las zonas de la planta baja, y pueden requerir reparaciones o refuerzos periódicos.
- **Restricciones normativas o patrimoniales:** En edificios históricos o protegidos arquitectónicamente, **las modificaciones externas pueden estar restringidas**, lo que hace que los ETICS sean una opción inadecuada o prohibida.

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

- **Inversión inicial:** El coste inicial, que incluye andamios, mano de obra cualificada y detalles, es **relativamente alto** en comparación con otras soluciones, aunque el ahorro a largo plazo suele justificar el gasto.

### 5.6.3. Fachadas ventiladas (sistemas de revestimiento impermeable)

Las fachadas ventiladas consisten en un **sistema de paredes en capas** con un revestimiento exterior (por ejemplo, cerámica, metal, fibrocemento), una cámara de aire y una capa subyacente de aislamiento térmico. Esta configuración permite **la circulación del aire entre el aislamiento y el revestimiento**, lo que mejora el rendimiento higrotérmico y reduce la acumulación de humedad. La capa de aire ventilado actúa como amortiguador térmico y puede reducir los valores U a **0,15-0,30 W/m<sup>2</sup>·K**, dependiendo del material e e del aislamiento y de la profundidad de la cavidad [23]. Estos sistemas se utilizan ampliamente tanto en rehabilitaciones energéticas como en mejoras estéticas de fachadas.



**Figura 16:** Rehabilitación energética de la fachada. Fachada ventilada

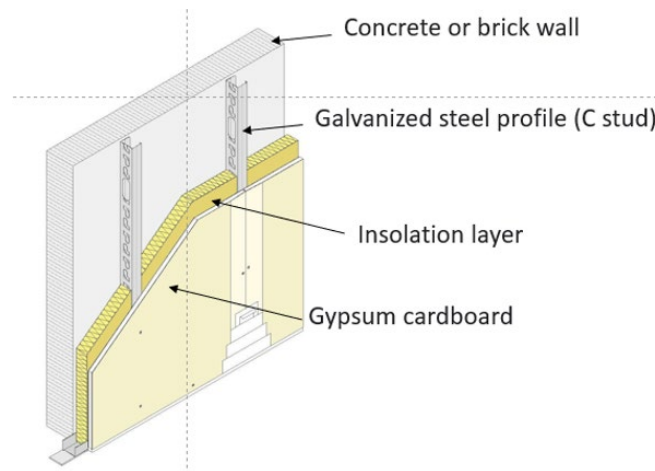
### 5.6.4. Soluciones de aislamiento interior

Cuando el aislamiento exterior no es viable (por ejemplo, en edificios históricos), **el aislamiento de las paredes interiores** es una alternativa viable. Se aplican materiales como **paneles de aislamiento al vacío (VIP)**, aerogeles o paneles de lana mineral a la



## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

cara interna de la pared. Aunque estos sistemas son más fáciles de instalar desde el interior, pueden reducir ligeramente el espacio útil y requieren capas de control de vapor para evitar la condensación. Dependiendo del producto, las rehabilitaciones interiores pueden reducir los valores U a **0,30-0,45 W/m<sup>2</sup>·K** [24].



**Figura 17:** Solución de aislamiento interior.

El aislamiento de paredes internas se utiliza a menudo cuando no es posible aislar el exterior de un edificio, normalmente debido a restricciones urbanísticas, requisitos de conservación arquitectónica o limitaciones presupuestarias. Estos sistemas consisten en aplicar materiales aislantes (como lana mineral, paneles de poliuretano, aerogeles o paneles compuestos) a la superficie interior de las paredes exteriores existentes.

### Ventajas de las soluciones de aislamiento interior:

- **Conservación del exterior del edificio:** Una de las principales ventajas es que el aspecto exterior del edificio permanece inalterado. Esto hace que el aislamiento interior sea especialmente adecuado para **edificios patrimoniales**, en los que a menudo están restringidas las modificaciones de la fachada.
- **Instalación simplificada:** el aislamiento interno normalmente se puede instalar **habitación por habitación**, lo que permite **una renovación por fases**. Esto resulta útil en entornos residenciales, donde los ocupantes pueden seguir utilizando partes del edificio durante las obras.
- **Menor coste inicial:** en comparación con los sistemas de aislamiento exterior, las soluciones interiores pueden ser **más económicas**, especialmente en edificios con fachadas complejas, ornamentadas o de difícil acceso para andamios.

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

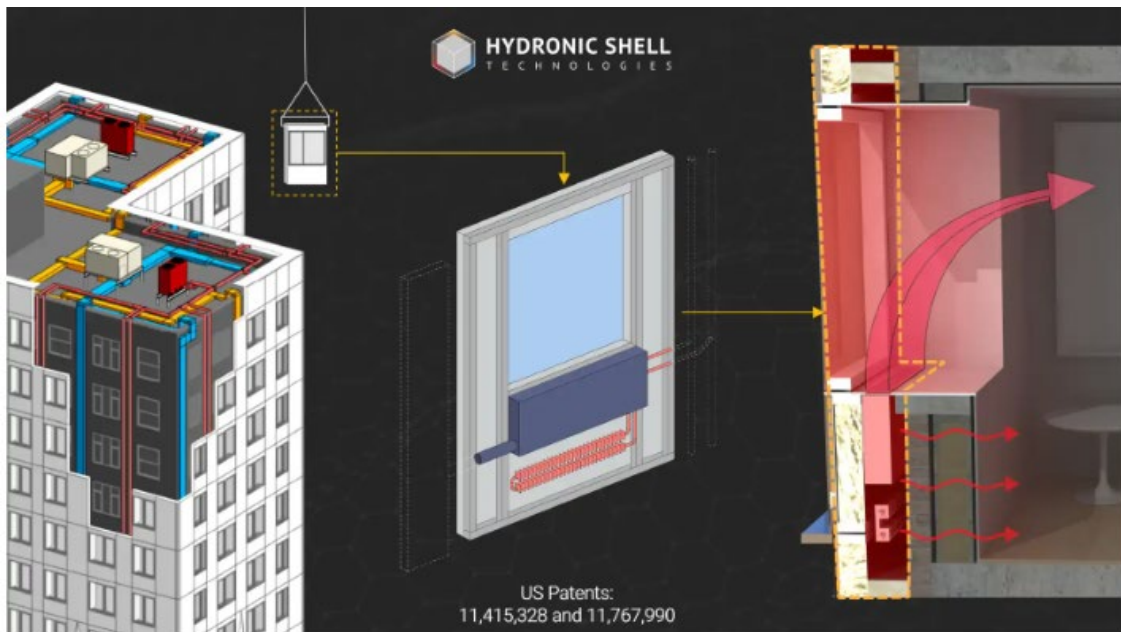
- **Mayor confort interior:** Si se aplica correctamente, el aislamiento interior puede **reducir** significativamente la **pérdida de calor**, **aumentar la temperatura de las superficies** y **reducir la condensación** en las paredes interiores, mejorando el confort térmico durante los meses de invierno.

### Desventajas de las soluciones de aislamiento interno

- **Reducción del espacio interior:** una desventaja notable es la **pérdida de superficie útil**, especialmente cuando se utiliza un aislamiento más grueso para cumplir los requisitos térmicos. Esto puede ser un problema en habitaciones o apartamentos pequeños.
- **Riesgos de puentes térmicos:** El aislamiento interior no cubre las uniones estructurales, como los forjados o los tabiques interiores. Esto crea **puentes térmicos**, que pueden reducir el rendimiento energético global y provocar **condensación localizada o la aparición de moho**.
- **Riesgos de condensación y humedad:** si no se diseñan adecuadamente con **capas de control de vapor** o materiales transpirables, los sistemas de aislamiento interno pueden atrapar la humedad dentro de la pared, lo que provoca **condensación intersticial** y la degradación de la estructura del edificio.
- **Molestias para los ocupantes:** La instalación de aislamiento en el interior implica trabajar dentro del edificio, lo que puede requerir **mover muebles, realizar trabajos eléctricos y redecorar**. Esto puede molestar a los ocupantes durante la renovación.
- **Se requiere un detallado complejo:** Es fundamental una ejecución adecuada, especialmente alrededor de **los marcos de las ventanas, los enchufes, los radiadores y las uniones**. Un detallado deficiente puede comprometer tanto el rendimiento térmico como el control de la humedad.

### 5.6.5. Otro sistema: envolventes hidrónicas

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica



**Figura 18:** Sistema de envoltura hidrónica [25]

El **sistema de envoltura hidrónica** es una innovadora solución integrada en la fachada diseñada para la **rehabilitación energética profunda** de edificios existentes, en particular aquellos con aislamiento limitado y sistemas de calefacción obsoletos. Consiste en una envolvente exterior prefabricada que incorpora un aislamiento de alto rendimiento y **una red integrada de calefacción y refrigeración radiante hidrónica**. Esta red hace circular agua a través de tuberías o paneles empotrados en la fachada, lo que permite una calefacción a baja temperatura en invierno y una refrigeración pasiva o activa en verano. El sistema no solo mejora el aislamiento térmico (con valores U típicamente inferiores a **0,20 W/m²·K**), sino que también sustituye o complementa los sistemas tradicionales de climatización, lo que se traduce en un importante ahorro energético y una mayor comodidad interior.

Una de las principales ventajas del Hydronic Shell es que permite una **rehabilitación no invasiva**, ya que los módulos se montan en el exterior y se pueden instalar con una mínima molestia para los ocupantes del edificio. Además de mejorar el rendimiento energético, el sistema proporciona una nueva fachada ventilada con potencial de renovación arquitectónica. Su compatibilidad con fuentes de energía renovables (como bombas de calor o energía solar térmica) mejora aún más su sostenibilidad. Aunque todavía es una solución emergente en términos de implementación a gran escala, representa una estrategia prometedora para alcanzar los estándares de **edificios de energía casi nula (nZEB)** en el parque inmobiliario existente.

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

### Referencias

- [1] Departamento de Energía de los Estados Unidos, «Building Envelope», Energy.gov. [En línea]. Disponible en: <https://www.energy.gov/energysaver/design/energy-efficient-home-design/building-envelope>
- [2] Passive House Institute, «¿Qué es una casa pasiva?» [En línea]. Disponible en: <https://passivehouse.com>
- [3] Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), *Manual ASHRAE: Fundamentos*, Atlanta, GA: ASHRAE, 2021.
- [4] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz y C. Pout, «A review on buildings energy consumption information», *Energy and Buildings*, vol. 40, n.º 3, pp. 394-398, 2008.
- [5] Departamento de Energía de EE. UU., «Tipos de ventanas», *Energy Saver*, <https://www.energy.gov/energysaver/types-windows>
- [6] NFRC (Consejo Nacional de Clasificación de Ventanas), «Clasificación del rendimiento de las ventanas», <https://www.nfrc.org>
- [7] Urban Front, «Valores U y su puerta principal: una guía», *Urban Front*, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.urbanfront.com/blog/u-values-and-your-front-door/>
- [8] King Locksmiths, «Best R-value and U-factor Comparison for Doors», *King Locksmiths Blog*, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.kingdoorandlock.com/r-value-vs-u-factor-door-insulation/>
- [9] A. Biro, «A Guide to Energy-Efficient Doors in 2025», *Green Building & Design (gb&d)*, 22 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://gbdmagazine.com/energy-efficient-doors/>
- [10] Camila Prieto, «Ventilated Facades for Energy-Efficient Building Rehabilitation», *ArchDaily*, junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.archdaily.com>
- [11] A. Espinosa-Fernández et al., «Energy Efficiency of Ventilated Façades», *WIT Transactions on The Built Environment*, vol. 171, pp. 41-52, 2017.
- [12] «Indira Paryavaran Bhawan», *Wikipedia*, abril de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://wikipedia.org/wiki/Indira\\_Paryavaran\\_Bhawan](https://wikipedia.org/wiki/Indira_Paryavaran_Bhawan)
- [13] «Fachada de doble piel», *Wikipedia*, 2023. [En línea]. Disponible en: [https://wikipedia.org/wiki/Double-skin\\_facade](https://wikipedia.org/wiki/Double-skin_facade)
- [14] Departamento de Energía de los Estados Unidos, «Cool Roofs», *Energy.gov*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.energy.gov/energysaver/cool-roofs>

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

- [15] AIVC, «El rendimiento térmico de los techos ventilados», *Centro de Infiltración de Aire y Ventilación*, 2006. [En línea]. Disponible en: [https://www.aivc.org/sites/default/files/members\\_area/medias/pdf/Inive/epic2006/Volome\\_1\\_Epic06/E06/040\\_Borg.pdf](https://www.aivc.org/sites/default/files/members_area/medias/pdf/Inive/epic2006/Volome_1_Epic06/E06/040_Borg.pdf)
- [16] M. Singh et al., «A comparative review of cool roof thermal performance» (Revisión comparativa del rendimiento térmico de los techos frescos), *Journal of Building Engineering*, vol. 43, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666123321000209>
- [17] Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, «Using Green Roofs to Reduce Heat Islands», *EPA*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.epa.gov/heatislands/using-green-roofs-reduce-heat-islands>
- [18] A. Niachou, K. Papakonstantinou, M. Santamouris, A. Tsangrassoulis y G. Mihalakakou, «Análisis de las propiedades térmicas de los techos verdes e investigación de su rendimiento energético», *Energy and Buildings*, vol. 33, n.º 7, pp. 719-729, 2001. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00062-7)
- [19] Living Roofs, «Green Roofs and Energy Conservation», *LivingRoofs.org*, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://livingroofs.org/energy-conservation/>
- [20] Urban Greening, «Beneficios de los techos verdes», *Green Roofs for Healthy Cities*, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://greenroofs.org/resources/benefits-of-green-roofs/>
- [21] Comisión Europea, «Eficiencia energética de los edificios», *Unión Europea*, 2023. [En línea]. Disponible en: [https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings_en)
- [22] Bauplan, «Sistema compuesto de aislamiento térmico exterior ETICS», *Fichas técnicas de Bauplan*, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.bauplan.com/products/facade/etecs>
- [23] Knauf Insulation, «Sistemas de fachadas ventiladas», *Guía técnica de Knauf*, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.knaufinsulation.com/en/products-solutions/facades>
- [24] Historic England, «Eficiencia energética y edificios históricos: aislamiento de paredes interiores», 2016. [En línea]. Disponible en: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/eehb-internal-wall-insulation/>
- [25] Hydronic Shell, «Cómo funciona — Hydronic Shell», *HydronicShell.com*, consultado en junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.hydronicshell.com/>

## Catálogo de las mejores alternativas para mejorar la eficiencia energética de los edificios: Mejora de la envolvente térmica

### 6 - Resultados

Para evaluar el éxito de la aplicación, sugerimos realizar una encuesta entre los estudiantes.

### 7- Lo que hemos aprendido

Qué es la envolvente térmica de un edificio.

Las propiedades físicas de la envolvente térmica de un edificio.

Estrategias para optimizar la envolvente térmica de un edificio.

Componentes de la envolvente térmica.

Tipos de ventanas y puertas de alta eficiencia energética.

Ejemplos de ventanas y puertas de alta eficiencia energética.

Ejemplos de fachadas y cubiertas de alta eficiencia energética.

Medidas para mejorar el aislamiento de las fachadas y paredes de la envolvente térmica.