

GUÍAS

Sistemas de
Aislamiento
Térmico Exterior
(SATE) para la
Rehabilitación
de la Envolvente
Térmica de los
Edificios

002

www.idae.es





IDAE

Instituto para la Diversificación
y Ahorro de la Energía

Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios



IDAE
Instituto para la Diversificación
y Ahorro de la Energía

Guía IDAE: Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios

Edita: IDAE

Diseño: Juan Martínez Estudio

Maquetación: Sedán Oficina de Imaginación

ISBN: 978-84-96680-59-3

Depósito Legal: M-21130-2012

Madrid, abril 2012

La presente guía ha sido redactada por la Asociación Nacional de Fabricantes de Materiales Aislantes (ANDIMAT) para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), con el objetivo de promocionar la eficiencia en el uso final de la energía en los edificios.

Esta publicación se corresponde con el número 7 de la serie "Guías Técnicas para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios", editadas con la anterior imagen corporativa de las publicaciones IDAE.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, por cualquier medio o procedimiento, sin la autorización previa, expresa y por escrito de IDAE.

ÍNDICE

Introducción	5
Propiedades de los sistemas SATE	9
· Otras propiedades de los sistemas SATE	
Componentes e instalación del sistema SATE	13
· Acciones previas: tratamiento del soporte	
· Fijación	
· Aislamiento	
· Capa base de armadura	
· Capa de acabado	
· Accesorios	
· Otras consideraciones de la instalación	
· Ejemplos de rehabilitación	
Conclusiones y recomendaciones	51
Anexo A: caso práctico	53
· Procedimiento	
· Descripción del edificio de partida	
· Descripción del edificio rehabilitando térmicamente su envolvente	
· Costes de la rehabilitación	
· Resultados de la simulación	
· Discusión de resultados	

1 Introducción

Se entiende como sistema SATE un sistema compuesto de aislamiento por el exterior (SATE-ETICS) que se suministra como conjunto (kit) y se utiliza para el aislamiento térmico de edificios. Estos sistemas deben tener como mínimo un valor de resistencia térmica igual o superior a $1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, como se indica en la guía ETAG 004 y en las normas UNE-EN 13499 y 13500. Se utilizan tanto en nueva construcción como en rehabilitación de edificios.

Los sistemas SATE se pueden clasificar en función del tipo de fijación, material aislante utilizado, por aplicación y por tipos de acabado.

Es especialmente importante respetar la concepción del SATE como un sistema integral de fachadas. Ello supone que cada componente forma parte del conjunto, asegurando la compatibilidad del sistema y el mejor resultado. Todos los componentes de un SATE deben estar concebidos y ensayados de forma conjunta para el uso que se va a dar al sistema. Esto debe respetarse desde la prescripción hasta el servicio postventa, pasando por el suministro y aplicación.

A nivel europeo se está trabajando en la elaboración de una norma armonizada que especificará los requisitos de los sistemas SATE e incorporará en un futuro la obligatoriedad del marcado CE de los mismos.

Esquema del sistema SATE

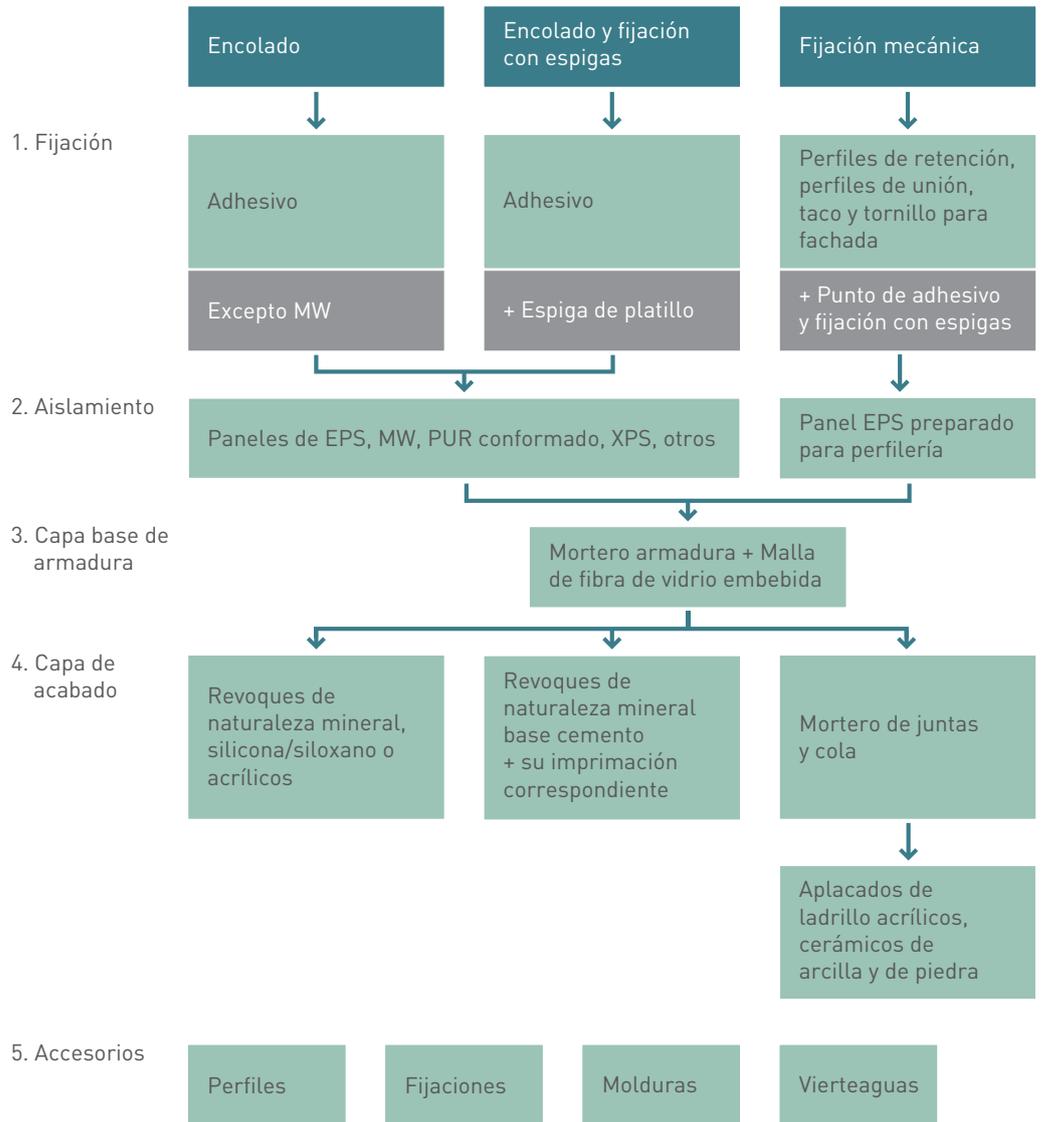
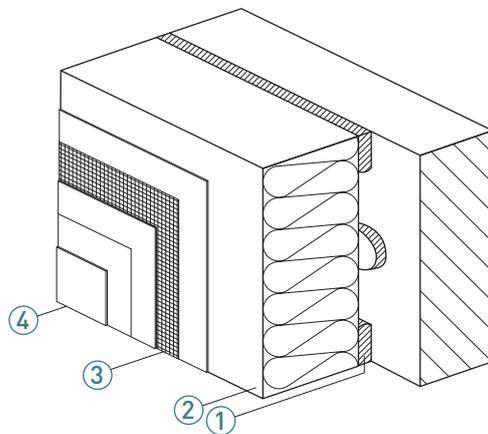


Figura 1. Esquema básico de sistema SATE



1. Fijación
 2. Aislamiento
 3. Capa base de armadura (mortero de armadura + malla de fibra de vidrio)
 4. Capa de acabado
 5. Accesorios (no representados en el gráfico)

Las características mínimas exigidas a los sistemas SATE y la valoración de su idoneidad para el uso previsto se especifican en los requisitos del “ETA Guidance No. 004” referente a los sistemas de aislamiento térmico por el exterior.

El Documento de Idoneidad Técnica Europeo, en adelante DITE, se concede como resultado de la evaluación técnica realizada en base a una Guía de la EOTA (European Organisation for Technical Approvals), o bien en base a un Procedimiento consensuado de evaluación (Common Understanding Assessment Procedure). Esta evaluación se circunscribe únicamente al cumplimiento de los requisitos esenciales establecidos en la Directiva de Productos de Construcción DPC 83/106.

Los DITE basados en la guía ETAG 004, en vigor desde el 31 de mayo del 2003, tienen un período de validez de cinco años y su ámbito es europeo.

Actualmente se está elaborando a nivel europeo una norma armonizada para el Mercado CE de los sistemas SATE cuyos requisitos serán de obligado cumplimiento.

2 Propiedades de los sistemas SATE

Con un sistema SATE se reviste y aísla el exterior del edificio adaptándose las geometrías del mismo, incluso las más complejas, sin discontinuidad. Por tanto cuando está correctamente concebido e instalado permite fácilmente resolver la mayoría de los puentes térmicos del edificio.



Figura 2. Edificio con defectos en los pilares y frentes de forjado

Los sistemas SATE que incorporan un aislamiento con un espesor óptimo aseguran drásticas reducciones de la energía disipada al exterior, demostrando una disminución del consumo de combustibles próximo al 30% y permiten un ahorro energético consistente y continuo (calefacción en invierno; aire acondicionado en verano). Se estima que la inversión realizada para la instalación del sistema se amortiza, de media, en los cinco años siguientes.

Otras propiedades de los sistemas SATE

- La instalación de un sistema SATE se realiza tratando de minimizar las molestias para los usuarios en el interior de sus viviendas (polvo, eliminación de escombros, simplificación de las fases de elaboración y disminución de los tiempos).
- El sistema revaloriza económicamente el inmueble, mucho más que la simple restitución de la fachada.
- Con este sistema no se reduce el espacio habitable interior de las viviendas.
- El sistema reduce el riesgo de condensaciones. Además los sistemas SATE son impermeables al agua y permeables al vapor de agua.
- Mantiene la envoltura exterior y la estructura del edificio en condiciones termo-higrométricas estables, contribuyendo de manera decisiva al mantenimiento de los materiales de construcción a lo largo del tiempo e impidiendo la degradación causada por las oscilaciones de temperatura: grietas, fisuras, infiltraciones de agua, fenómenos de disgregación, manchas, mohos y la impregnación de la masa mural.
- Excluye la necesidad de eliminar el enfoscado viejo, excepto cuando existan riesgos de desprendimiento.

- Son respetuosos con el medio ambiente al no dispersar sustancias contaminantes, no contener sustancias nocivas para el medio ambiente, reciclarse y reducir las pérdidas energéticas.
- Los sistemas SATE, al mejorar el aislamiento térmico en la envolvente de un edificio, permiten alcanzar los criterios de sostenibilidad.
- Los sistemas SATE se suministran de forma integral, de esta forma se asegura la compatibilidad de los componentes.

3 Componentes e instalación del sistema SATE

3.1 Acciones previas: tratamiento del soporte

El tratamiento previo del soporte sobre el que se instalará el sistema SATE es fundamental para una correcta aplicación. Para ello, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- El paramento base debe tener la capacidad portante suficiente para resistir las cargas combinadas de: peso propio, peso aportado por el SATE y las cargas de viento transmitidas a través del mismo.
- La planicidad y verticalidad del soporte limitará el tipo de fijación.

Tabla 1. Recomendaciones de planimetría mínima por tipo de fijación

Tipo de fijación o adhesivo	Corrección de planimetría por metro (mm)
Mortero adhesivo	20
Poliuretanos de expansión controlada	30
Con perfiles	40
Espirales distanciadores	140

- Mantener las conducciones exteriores de agua, gas y electricidad originales permitiendo la accesibilidad de las mismas cuando sea necesario.



Figura 3. Fotografía de una fachada con conducciones exteriores antes de rehabilitar

- En caso de fijación con mortero adhesivo y espigas debe revisarse la base para verificar que ésta carece de suciedad, polvo, aceite, grasa, cuerpos extraños

(clavos, tacos, tirantes...), que está seca, sin humedad (incluida la de remonte capilar) y es resistente.

- Rascado y eliminación en las zonas de pinturas no resistentes y/o pinturas que no ofrecen una superficie adecuada de adherencia.
- Con fijación de perfilería, los tratamientos previos y limpieza no son obligatorios.
- No se recomienda la colocación de barrera de vapor.

Independientemente del estado y de las características de las superficies, siempre es posible garantizar la perfecta adhesión del revestimiento mediante la adopción de soluciones específicas de saneamiento y/o la elección del sistema más adecuado entre las diversas soluciones que aportan los fabricantes de sistemas SATE. La elección del sistema idóneo en cada caso se realizará en función de la superficie y tipo de soporte.

3.2 Fijación

3.2.1 Adhesivos

La función del adhesivo para el sistema SATE es triple:

- Soporta o agarra el material aislante sobre el paramento del edificio.
- Restringe los movimientos de dilatación, contracción, alabeos, tracción y compresión del aislamiento.
- Regula o ajusta la planicidad del paramento.

La capacidad de adherencia sobre el panel aislante se debe determinar conforme a la norma UNE-EN 13494 según se indica en la Guía ETAG 004. Como recomendación general, el valor mínimo exigido de resistencia a la tracción que deben cumplir los adhesivos debe ser mayor o igual al valor de punto de rotura a la tracción del aislamiento que se esté aplicando. Como ejemplo recomendamos que para el EPS el valor debe ser mayor a 80 kPa y para la MW de 60 kPa. Se debe seguir el mismo criterio para la capacidad de adherencia con el paramento y medido bajo la norma UNE-EN-1542.

Según la naturaleza del material base, los adhesivos se pueden clasificar en tres grupos:

- a. Morteros minerales: adhesivo base cemento usado para soportes minerales tales como ladrillo, hormigón, etc. y de aplicación general para cualquier tipo de aislamiento (según indicaciones específicas).
- b. Morteros orgánicos: adhesivo de enlace de dispersión usado especialmente sobre paramentos de madera o paneles de soporte con fibras de madera y sólo se puede utilizar con aislamiento de EPS.
- c. Poliuretano de expansión controlada: adhesivo de poliuretano de baja expansión de aplicación universal para soportes y sólo se puede utilizar con aislamiento de EPS.

Existen dos formas básicas de pegar el adhesivo

Fijación de borde y punto: se utiliza sobre soportes con irregularidades de hasta 1 cm. La cantidad de adhesivo a aplicar debe elegirse de manera que, teniendo en cuenta las tolerancias del sustrato y el espesor de capa del adhesivo

(aproximadamente entre 1 y 2 cm), se obtenga una superficie de contacto con el sustrato de mínimo el 40%. Para ello, se procede a colocar el mortero adhesivo con una anchura de 5 cm en todo el borde de la placa y en el centro del panel se aplican tres “pegotes” de mortero adhesivo.

Figura 4. Detalles del pegado borde-punto de las planchas de aislamiento



Pegado borde-punto en una plancha de MW.

Pegado borde-punto en una plancha de EPS

Además del adhesivo se debe reforzar con unas fijaciones mecánicas (por ejemplo, espigas)

- **Fijación de toda la superficie:** en rehabilitación, este tipo de fijación sólo es recomendable en caso de soportes nivelados y que presenten una planimetría casi perfecta. Esta fijación se realiza aplicando el mortero con máquinas sobre el soporte o a mano sobre los paneles aislantes, mediante la utilización de una llana dentada de acero inoxidable. Con este método sólo pueden compensarse irregularidades mínimas del soporte.



Figura 5. Detalle del pegado de una plancha de aislamiento en toda la superficie

- En los soportes siguientes, además de la fijación mediante adhesivo, será necesario fijar las superficies y los bordes con espigas adecuadas:
 - Aquellos donde la capacidad de sustentación sea insuficiente (< 80 kPa).
 - Cuando el peso por unidad de superficie del sistema supere los 30 kg/m^2 .
 - Cuando sea requerido según la carga de viento.
 - Cuando la altura del edificio sea superior a 18 metros.
 - Cuando el panel de aislamiento sea de lana mineral, fibra de madera, corcho o poliuretano conformado.
- En soportes adecuados para el adhesivo con una capacidad de sustentación insuficiente (< 80 kPa) es necesario fijar las superficies y los bordes con espigas adecuadas.



Figura 6. Detalle de la instalación de una espiga sobre el aislamiento

3.2.2 Adhesivo y fijaciones mecánicas

Existen diferentes posibilidades, la elección debe ser recomendada por el fabricante del sistema.

3.2.2.1 Adhesivo y fijación con espigas de platillo o espirales

Consideraciones particulares:

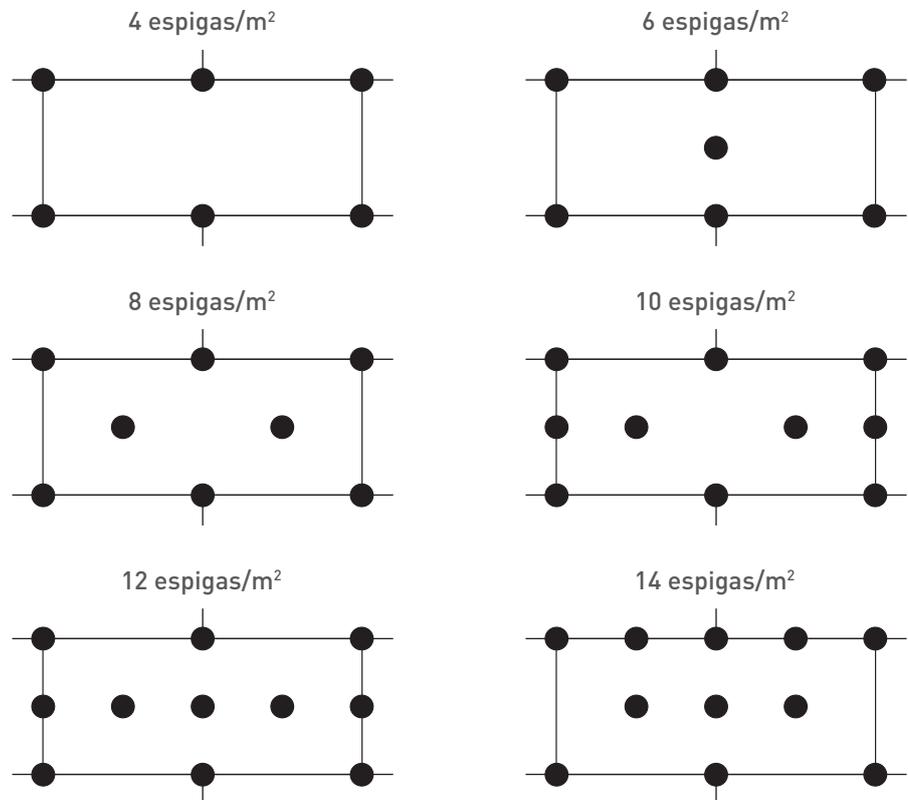
- La selección del tipo de fijación y la cantidad de la misma debe efectuarse siguiendo los resultados de un cálculo estático específico para la ubicación del proyecto que considere las fuerzas de viento que constituyen la carga significativa (DB SE-AE apartado 3.3). En las esquinas de los edificios se forman cargas de viento mayores.
- Cerciorarse de que se forme una distribución homogénea de fijación con espigas.
- En el caso de no existir un cálculo estático que justifique el número de espigas por m^2 , utilizar los datos recogidos en la tabla 2.

Tabla 2. Número de espigas por m² con 0,20 kN de carga de servicio en los bordes

Valor básico de la velocidad del viento (km/h)	Entorno del edificio								
	I (libre de construcción)			II (protegido)			III (con un número elevado de construcciones)		
	Altura de la edificación								
	<10 m	10 a 25 m	25 a 50 m	<10 m	10 a 25 m	25 a 50 m	<10 m	10 a 25 m	25 a 50 m
< 85	6	6	6	6	6	6	6	6	6
85 a 115	8	10	12	8	8	10	6	8	10
115 a 135	10	12	12	10	12	12	8	10	12

En la figura 7 se muestra la distribución de espigas por metro cuadrado. El hecho de utilizar los paneles de 0,5 m² (1.000x500 mm) es sólo una referencia visual y no implica que para paneles cortados en obra tenga que usarse la misma distribución.

Figura 7. Esquema de la colocación de las espigas por unidad de superficie



3.2.2.2 Pegado y fijación con espigas

Si la capacidad de sustentación no es suficiente hay que emplear espigas adecuadas en función del estado de la fachada; deben anclarse en materiales macizos de la pared con la profundidad necesaria, teniendo en cuenta que los azulejos y el revoque antiguo no se consideran un soporte de anclaje adecuado. La longitud y el diámetro de las espigas dependen de los muros correspondientes o bien del material aislante. El número de espigas depende de la altura o la situación (superficie, borde). Su colocación se realiza una vez instalado el aislamiento y antes de la armadura, y su distribución debe ser regular.

Figura 8. Esquema de colocación de espigas en las aristas del edificio

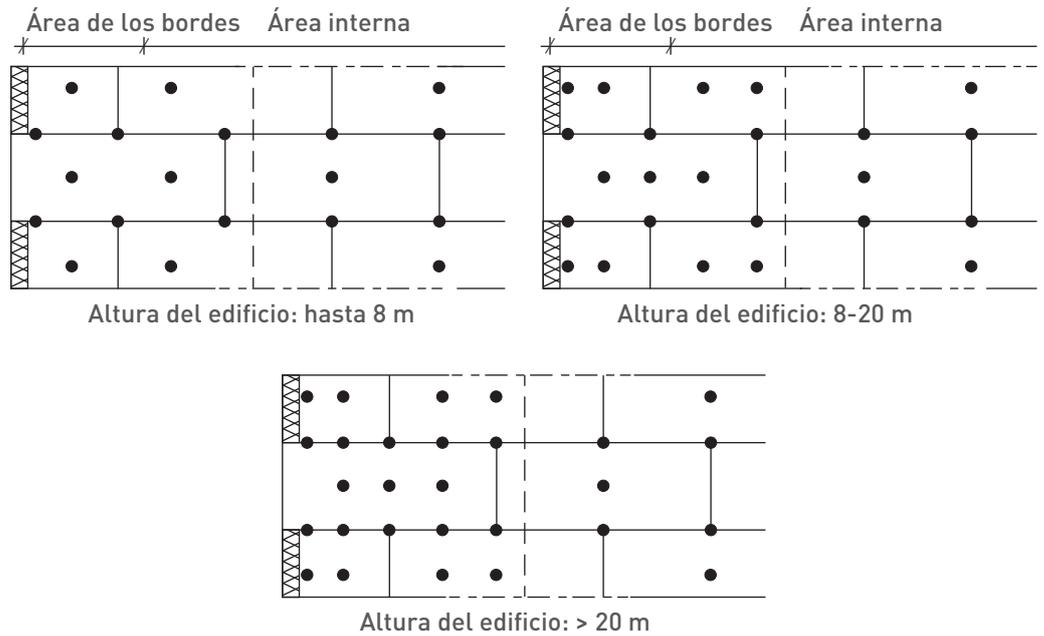
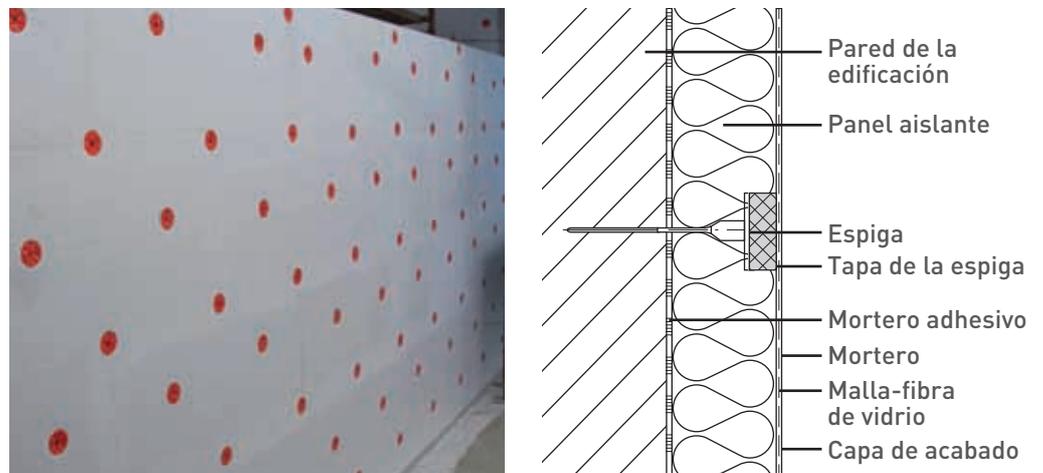


Figura 9. Fotografía de la instalación de espigas en un edificio y sección constructiva de la instalación de una espiga



3.2.2.3 Fijación mecánica mediante perfiles

La fijación mediante perfiles sólo puede realizarse con planchas de poliestireno expandido (EPS). El montaje de las planchas junto con perfiles soluciona posibles problemas de sujeción a superficies problemáticas, así como la corrección de desplomes. Si el soporte no es adecuado para el adhesivo o el sustrato presenta irregularidades superiores a 3 cm, se debe emplear sistemas de fijación por perfiles. Este sistema está especialmente indicado cuando la retirada del revoque antiguo resulta demasiado costosa.

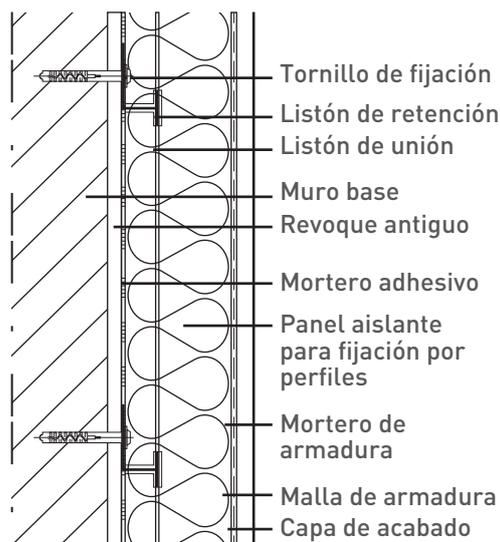


Figura 10. Sección constructiva de una fijación mecánica mediante perfiles

Para un correcto montaje de un sistema SATE con fijación mecánica mediante perfiles deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

- En las planchas de aislamiento, colocar un punto de mortero cola en el centro de la parte posterior de la plancha. Con el mortero adhesivo se debe alcanzar como mínimo el 20% de contacto con la superficie.
- En la parte del perfil del zócalo inferior se debe colocar mortero cola detrás de la primera fila de planchas, para que estas estén bien presionadas a la parte delantera de los perfiles especiales de arranque.
- Unir primero las planchas por los lados con los conectores de planchas y posteriormente empujar los perfiles de sujeción hasta introducirlos dentro de la plancha.
- Fijar las guías con tacos homologados dejando una distancia de 30 cm. La gama de tacos a utilizar dependerá del soporte en concreto y del sistema de trabajo empleado.
- Ajustar con distanciadores los desniveles que pueda presentar la superficie (máximo 3 cm).
- Las planchas deben ajustarse fila por fila. Es importante evitar coincidencia de juntas verticales en la colocación.
- Dependiendo de la altura de la obra y de la superficie donde se van a colocar los tacos, se deben fijar las planchas adicionalmente con el taco de disco.
- Para encajar las placas en sistemas machihembrados, en las placas normales se deben hacer primero las ranuras con un cepillo de carpintero.

- Cuando se intentan colocar las guías de forma horizontal bajo un vierteaguas de ventana o tejado y la situación de estos lo impide, entonces se colocará la guía de forma vertical. Se realizarán cortes en las planchas para introducir las guías.
- En la zona de alféizar y zonas similares se pegan las placas de forma normal y si es necesario se colocan tacos.

A continuación se muestran los pasos a seguir para la fijación por perfiles:

1º Se fijan los perfiles en la superficie donde se colocará el aislamiento.

Figura 11. Fotografía de perfiles para la fijación del aislamiento



2º Se fijan los paneles de aislamiento con ayuda del arranque del zócalo y los perfiles iniciales, los listones de retención y de unión y las espigas elegidas según el punto de vista de la construcción (colocar a una distancia de 30 cm), por último se fijan los paneles aislantes.

3º Aislamiento: emplear paneles de tipo M con ranura y fresado posterior. De lo contrario, formar la ranura y el fresado posterior con ayuda de un cepillo acanalador.



Figura 12. Fotografía de paneles de aislamiento con ranura

4º Pegado de paneles aislantes: fijar con puntos de adhesivo (20% de la superficie del panel) y, en función de la altura, colocar también espigas.



Figura 13. Fotografía del pegado de los paneles de aislamiento

5º Listones de unión: para estabilizar los paneles, deben estar dotados de listones de unión verticales.



Figura 14. Fotografía de la instalación de los listones de unión

6º Fresado posterior: el fresado posterior compensa el espesor del material de los listones. Los listones de unión contribuyen a estabilizar los paneles aislantes y forman una superficie plana.



Figura 15. Fotografía que muestra el detalle de la unión del perfil con el panel aislante

7º Fijación por espigas de los listones de retención: tras colocar una línea de paneles, fijar los listones de retención por presión en la ranura superior y sujetar con

espigas; nivelar las irregularidades con arandelas y fijar los paneles aislantes con espigas en la zona marginal según el esquema de fijación por espigas.

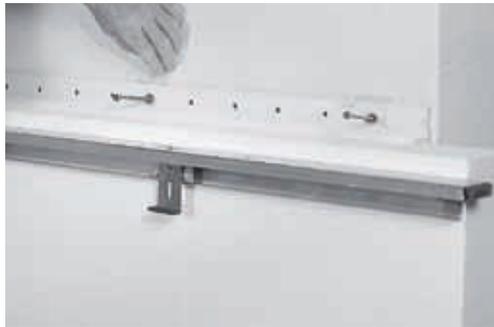


Figura 16. Fotografía de la instalación de un listón de retención

8º Realización de una ranura: después del corte deberá realizarse una ranura con el cepillo acanalador, para el listón de retención o de unión.

3.2.2.4 Fijaciones mixtas

Este anclaje funciona de forma mecánica al instalarse mediante golpeo en el muro base a rehabilitar, antes de poner el aislamiento. Una vez anclado, se extiende una pellada de mortero adhesivo sobre el anclaje que se pegará al aislamiento (sólo válido para planchas de poliestireno expandido). De esta forma la instalación de la plancha de aislamiento se confía no solo a la adherencia sobre la superficie antigua (revocos deteriorados, pinturas, superficies disgregadas, etc.), sino también a la resistencia mecánica del anclaje, que hace de puente de unión entre la plancha y el muro a rehabilitar.

Las particularidades del sistema mixto (mecánico sobre el muro y adherencia sobre el EPS) son:

1. Replanteo y taladro sobre el muro a rehabilitar. Está especialmente indicado cuando, debido al estado en que se encuentre el muro base, sea necesario conocer con exactitud los puntos del muro donde se pueda realizar el anclaje.
2. Se consigue una misma longitud de anclaje independiente del espesor de EPS (menos acopio de longitudes).
3. Evita los puentes térmicos en fachada, al no interrumpirse la capa de aislamiento sobre la fachada debido a los anclajes.
4. Mejora la calidad del revoco final por posibles instalaciones defectuosas del anclaje a través de la placa.

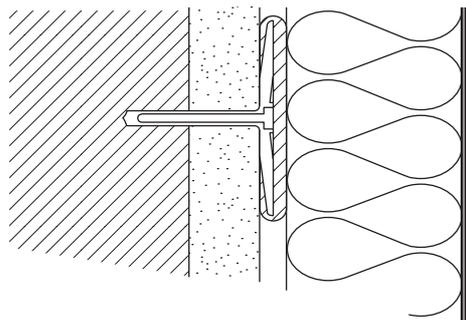
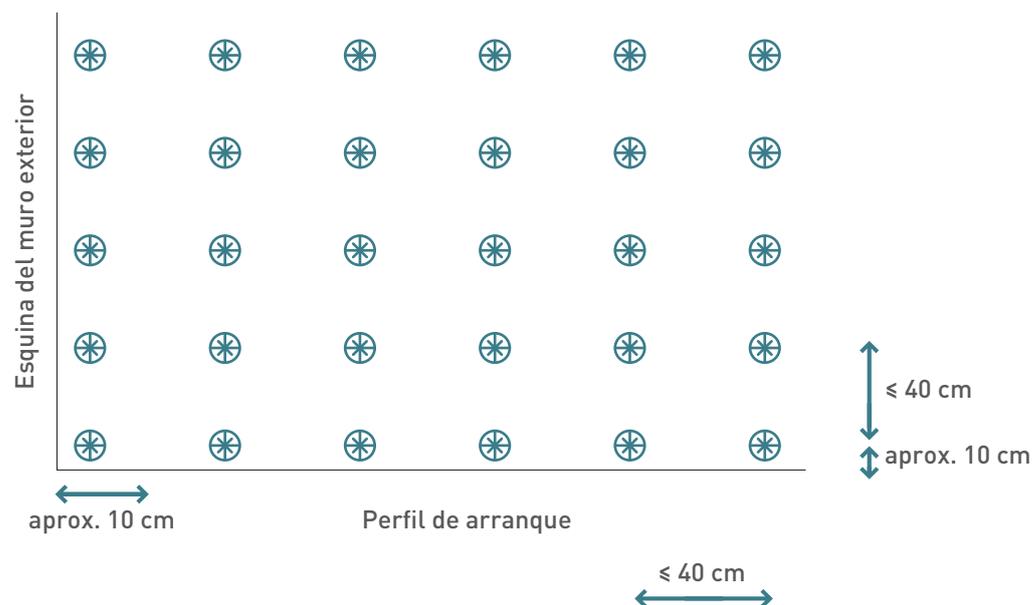


Figura 17. Sección constructiva de la fijación mixta

Los pasos a seguir para la fijación del anclaje adhesivo son los siguientes:

1º En primer lugar se replantea la fachada siguiendo el siguiente esquema:

Figura 18. Esquema de la fijación mixta



2º A continuación se fijan los anclajes a la fachada mediante golpeo y expansión del anclaje

3º Se aplica mortero adhesivo en toda la cabeza del anclaje y en el panel aislante (en este último de manera que la superficie con adhesivo sea superior al 40%).

4º Se adhieren los paneles aislantes en toda la superficie de fachada siempre sobre mortero fresco.

3.3 Aislamiento

Las prestaciones de los materiales de aislamiento utilizados en los sistemas SATE deberán cumplir las prestaciones mínimas indicadas en la Guía ETAG 004 y en la norma UNE-EN 13499, para sistemas SATE basados en poliestireno expandido (EPS) y la UNE-EN 13500 para sistemas SATE basados en lanas minerales (MW). Con independencia de las prestaciones de los materiales de aislamiento indicados en este apartado los materiales que posean una norma europea armonizada deberán disponer del marcado CE conforme a las normas UNE-EN 13162 a 13171.

Actualmente se está trabajando en una nueva norma europea armonizada dentro del CEN/TC88 WG-18, que especificará los requisitos del sistema completo incluidos los requisitos de todos los materiales de aislamiento. Por ello, una vez esté aprobada dicha norma prevalecerá sobre los requisitos mínimos indicados a continuación. Además, el suministrador del sistema de SATE es responsable de las características funcionales del sistema, por ello es posible encontrar requisitos mayores o adicionales para los materiales de aislamiento utilizados.

3.3.1 Tipos de aislamiento

Los materiales de aislamiento generalmente utilizados en el sistema SATE son los siguientes:

a) Poliestireno expandido (EPS): los requisitos mínimos para los paneles de espuma de poliestireno expandido deben cumplir con las especificaciones de la norma europea UNE-EN 13163 y deben poseer el marcado CE correspondiente con dicha norma.

Los requisitos mínimos y los valores recomendados para las planchas de EPS conforme a la ETAG 004 y las normas UNE-EN 13163 y UNE-EN 13499 se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3. Características principales de la espuma de poliestireno expandido (EPS) para sistema SATE

Descripción	Norma	Unidades	Guía DITE 004	Norma UNE-EN 13499	Recomendación
Reacción al fuego	EN 13501-1	Euro-clase	Euroclase del aislante y kit A1 a F	-	Euroclase E
Conductividad térmica declarada y resistencia térmica declarada	EN12667 EN 12939	W/(m.K) (m².K)/W	Max lambda 0,065	$\lambda_D < 0,060$ W/(m.K) $R_D \geq 1$ m² K/W	$R_D \geq 1$ m².K/W
Espesor	EN 823	mm	-	T2	T2
Longitud	EN 822	mm	-	L2	L2
Anchura	EN 822	mm	-	W2	W2
Rectangularidad	EN 824	mm	-	S2	S2
Planeidad	EN 825	mm	-	P4	± 3 mm
Estabilidad dimensional en condiciones específicas de temperatura y humedad	EN 1604	%	-		EPS S DS (70,-)2 EPS SD DS (70,-)2

(Continuación)

Descripción	Norma	Unidades	Guía DITE 004	Norma UNE-EN 13499	Recomendación
Resistencia a la tracción perpendicular a las caras	EN1607	kPa	80 a 150 kPa	Según fijación: -adhesivo o anclaje TR100 -carriles TR150	Según fijación: con adhesivo: EPS S-TR 80 EPS SD-TR 80 con perfiles, rastreles y adhesivo: EPS S-TR 150 con fijaciones y adhesivo: EPS S-TR 100 y EPS SD-TR 80
Absorción de agua a largo plazo por inmersión total	EN 12087 Método 2	%	-	WL(T)5	WL(T)1
Permeabilidad al vapor de agua	EN 12087 medido y EN ISO10456 tabulado	MU	-	-	Valor declarado
Determinación del comportamiento cortante	EN 12090	kPa	-	-	EPS S-SS50 EPS SD-SS20
Módulo cortante	EN 12090	MPa	-	-	EPS S-GM1000 EPS SD-GM300

Nota: el EPS S se refiere a la espuma de poliestireno expandido normal y el EPS SD se refiere a la espuma de poliestireno expandido elasticado.

b) Lana mineral (MW): los requisitos mínimos para los paneles rígidos de lana mineral de espesor uniforme y alta densidad, sin revestir, deben cumplir con las especificaciones de la norma europea UNE-EN 13162 y deben poseer el marcado CE correspondiente con dicha norma.

Los requisitos mínimos y los valores recomendados para los paneles y mantas de lana mineral conforme a la ETAG 004 y a las UNE-EN 13162 y UNE-EN 13500 se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Características principales de la lana mineral (MW) para sistema SATE

Descripción	Norma	Unidades	Guía DITE 004	Norma UNE-EN 13500	Recomendación
Reacción al fuego	EN 13501-1	Euro-clase	Euroclase del aislante y kit A1 a F	-	A1 o A2-s1, d0
Conductividad térmica y resistencia térmica declarada	EN 12667 EN 12939	W/(m.K) (m ² .K) /W	$\lambda < 0,065$ W/(m.K)	$\lambda_D < 0,060$ W/(m.K) $R_D \geq 1$ m ² .K/W	$R_D \geq 1$ m ² .K/W
Espesor	EN 823	mm	-	T5	T4 - 3% o - 3 mm ^a + 5% o + 5 mm ^b
Rectangularidad	EN 824	mm	-	$S_b \leq 5$ mm/m	± 5 mm/m
Planeidad	EN 825	mm	-	$S_{max} \leq 6$ mm	± 6 mm
Longitud	EN 822	%	-	$l \pm 2\%$	$\pm 2\%$
Anchura	EN 822	%	-	$b \pm 1,5\%$	$\pm 1,5\%$
Estabilidad dimensional a temperatura específica	EN 1604	%	-	-	DS (70,-)1
Resistencia a la tracción perpendicular a las caras	EN 1607	kPa	-	Según fijación: -adhesivo TR80 -carriles ¹⁾ TR15 -anclaje ¹⁾ TR 7,5 -anclaje a través de refuerzo ²⁾ TR5	Según fijación: - adhesivo TR80 sólo lamela -perfilería, raíles y adhesivo TR15 para TR10/TR15 y TR50 para lamela -anclaje y adhesivo TR15 para TR10/TR15, TR3 para TR3, TR5 para TR5 y TR50 para lamela
Determinación del comportamiento cortante	EN 12090	kPa	-	-	Lamelas TR20 a espesor 60 mm
Módulo cortante	EN 12090	MPa	-	-	Lamelas GM 1.000 kPa a espesor 60 mm

(Continuación)

Descripción	Norma	Unidades	Guía DITE 004	Norma UNE-EN 13500	Recomendación
Resistencia a la compresión al 10%	EN	kPa	-	-	Lamelas: CS(10/Y)40 Planchas: TR10/TR15 CS(10/Y)30 TR3/TR5 y CS 5 CS(10/Y)5
Absorción de agua a largo plazo	EN 12087 Método 1	kg/m ²	-	-	Para lamelas y TR10/TR15 WL(P)
Permeabilidad al vapor de agua	EN 12087 medido y EN ISO10456 tabulado	MU	-	-	Valor declarado
Resistencia a la tracción después de acondicionamiento: 7 días 50 °C/90% HR y 6 h (min) 23 °C/50% HR			-	-	>50% en estado seco

a) El que sea mayor en tolerancia numérica.

b) El que sea menor en tolerancia numérica.

1) Los paneles de MW fijados con anclajes o carriles en combinación con adhesivo se consideran como un sistema sin adhesivo.

2) Para planchas de MW fijadas con anclajes a través de un refuerzo metálico, el enlucido se fija directamente a la pared. No ejerce tensión sobre la MW, excepto a compresión.

c) Poliuretano conformado (PUR): los requisitos mínimos para los paneles de espuma rígida de poliuretano conformado deben cumplir con las especificaciones de la norma UNE-EN 13165 y deben poseer el marcado CE correspondiente con dicha norma.

Los requisitos mínimos y los valores recomendados para los paneles de PUR conforme a la UNE-EN 13165 y ETAG 004 se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Características principales de la espuma rígida de poliuretano (PUR) para sistema SATE

Descripción	Norma	Unidades	Guía DITE 004	Recomendación
Reacción al fuego	EN 13501-1	Euroclase	Euroclase del aislante y kit A1 a F	Euroclase E a C-s2, d0
Conductividad térmica y resistencia térmica declarada	EN12667 EN12939	W/(m.K) (m ² .K)/W	$\lambda_D < 0,060$ W/(m.K) $R_D \geq 1$ m ² .K/W	$\lambda_D = 0.028$ para espesor <80 mm $\lambda_D = 0.026$ para espesor ≥ 80 mm
Espesor	EN 823	mm	-	± 3 mm/m
Longitud	EN 822	mm	-	± 2 mm/m
Anchura	EN 822	mm	-	± 2 mm/m
Rectangularidad	EN 824	mm	-	± 5 mm/m
Planeidad	EN 825	mm	-	± 5 mm/m
Estabilidad dimensional a temperatura específica	EN1604	%	-	DS (70,-) $\pm 2\%$
Resistencia a la tracción perpendicular a las caras	EN1607	kPa	-	Según fijación: -adhesivo TR80 -perfilería TR80 -anclaje TR 50
Determinación del comportamiento cortante	EN12090	kPa	-	>30 kPa
Módulo cortante	EN12090	kPa	-	>350 kPa
Resistencia a la compresión al 10%	EN 826	kPa	-	CS(10/Y)100
Absorción de agua a largo plazo	EN 12087 Método 1	kg/m ²	- -	WL(P) ≤ 3 kg/m ²
Permeabilidad al vapor de agua	EN 12087 medido y EN ISO10456 tabulado	MU		Valor declarado

d) Poliestireno extruido (XPS): las planchas de XPS utilizadas como aislamiento térmico en sistemas SATE deben cumplir con las especificaciones de la norma UNE-EN 13164 y deben poseer el marcado CE correspondiente con dicha norma. La superficie de las planchas de XPS será plana o ranurada para que proporcione la suficiente resistencia de adhesión entre el sustrato y la base de recubrimiento.

No deben usarse planchas con pieles de extrusión. La utilización de este tipo de producto es recomendada en los zócalos de los edificios.

Los requisitos mínimos y los valores recomendados para los paneles de XPS conforme a la UNE-EN 13164 y ETAG 004 se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Características principales de la espuma de poliestireno extruido (XPS) para sistema SATE

Descripción	Norma	Unidades	Guía DITE 004	Recomendación
Reacción al fuego	EN 13501-1	Euroclase	Euroclase del aislante y kit A1 a F	Euroclase E
Conductividad térmica y resistencia térmica declarada	EN12667 EN12939	W/(m.K) (m ² .K)/W	$\lambda_D < 0,060$ $R_D \geq 1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	-
Espesor	EN 823	mm	-	T2
Longitud	EN 822	mm	-	± 3 mm
Anchura	EN 822	mm	-	± 3 mm
Rectangularidad	EN 824	mm	-	± 5 mm
Planeidad	EN 825	mm	-	± 5 mm
Estabilidad dimensional bajo condiciones específicas de temperatura	EN1604	%	-	DS (70,-) ± 2% DS(23,90) ≤ 2%
Resistencia a la tracción perpendicular a las caras	EN1607	kPa	-	Según fijación: -adhesivo TR100 -perfiles TR100 -anclaje TR100
Determinación del comportamiento cortante	EN12090	kPa	-	SS100
Módulo cortante	EN12090	MPa	-	GM 3000
Resistencia a la compresión al 10%	EN 826	kPa	-	CS(10/Y)200
Absorción de agua a largo plazo	EN 12087 Método2	kg/m ²	-	WL(T) 1,5 ≤ 1,5 kg/m ²
Permeabilidad al vapor de agua	EN 12087 medido y EN ISO10456 tabulado	MU		Valor declarado

Nota: el acondicionamiento de las probetas se realizará pasados los 45 días de fabricación.

e) Corcho expandido: las planchas de corcho expandido utilizadas como aislamiento térmico en sistemas SATE deben cumplir con las especificaciones de la norma UNE-EN 13170 y deben poseer el marcado CE correspondiente con dicha norma.

Los requisitos mínimos y los valores recomendados para los paneles de corcho expandido conforme a la UNE-EN 13170 y ETAG 004 se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7. Características principales de corcho expandido (ICB) para sistema SATE

Descripción	Norma	Unidades	Guía DITE 004	Recomendación
Reacción al fuego	EN 13501-1	Euroclase	Euroclase del aislante y kit A1 a F	Euroclase E
Conductividad térmica y resistencia térmica declarada	EN12667 EN12939	W/(m.K) (m ² .K)/W	$\lambda_D < 0,060$ $R_D \geq 1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$	0.040
Espesor	EN 823	mm	-	T2 espesor ≤ 50 mm T1 espesor > 50 mm
Longitud	EN 822	mm	-	L2
Anchura	EN 822	mm	-	W2
Rectangularidad	EN 824	mm	-	≤ 4 mm/m
Planeidad	EN 825	mm	-	± 2 mm
Estabilidad dimensional bajo condiciones específicas de temperatura y humedad	EN1604	%	-	DS
Resistencia a la tracción perpendicular a las caras	EN1607	kPa	-	
Determinación del comportamiento cortante	EN12090	kPa	-	> 30 kPa
Módulo cortante	EN12090	kPa	-	> 350 kPa

Nota: los requisitos del aislamiento indicados en las tablas anteriores son requisitos mínimos. El proveedor del sistema SATE es responsable del comportamiento del sistema. El suministrador del sistema puede recomendar requisitos más altos o adicionales.

f) Vidrio celular: las planchas de vidrio celular utilizadas como aislamiento térmico en sistemas SATE deben cumplir con las especificaciones de la norma UNE-EN 13167 y deben poseer el marcado CE correspondiente con dicha norma.

Los requisitos mínimos y los valores recomendados para los paneles de vidrio celular conforme con la UNE-EN 13167 y ETAG 004 se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8. Características principales de vidrio celular (CG) para sistema SATE

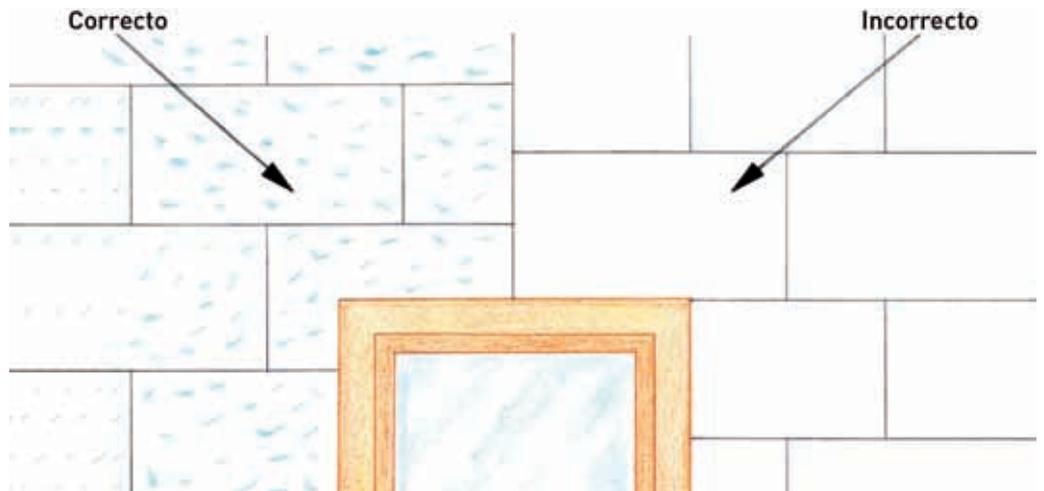
Descripción	Norma	Unidades	Guía DITE 004	Recomendación
Reacción al fuego	EN 13501-1	Euroclase	Euroclase del aislante y kit A1 a F	A1
Conductividad térmica y resistencia térmica declarada	EN12667 EN 12939	W/(m.K) (m ² .K)/W	$\lambda_D \leq 0,065$ W/(m.K)	$\lambda_D < 0,060$ W/(m.K) $R_D \geq 1$ m ² .K/W
Espesor	EN 823	mm	-	± 2 mm
Rectangularidad	EN 824	mm	-	± 2mm/m
Planeidad	EN 825	mm	-	± 2mm/m
Longitud	EN 822	%	-	± 2 mm/m (sin revestimiento) ± 5 mm/m con revestimiento
Anchura	EN 822	%	-	± 2 mm
Estabilidad dimensional a una temperatura específica	EN1604	%	-	DS (T+) ± 0,5% (longitud y anchura) ± 0,1% (espesor)
Resistencia a la tracción perpendicular a las caras	EN1607	kPa	-	Según fijación: -adhesivo TR150 -perfilería TR100 -anclaje TR 100
Determinación del comportamiento cortante	EN 12090	kPa	-	≥80 kPa
Módulo cortante	EN12090	MPa	-	≥1MPa
Resistencia a la compresión al 10%	EN 826	kPa	-	≥400 kPa CS(Y) 400
Absorción de agua a corto plazo	EN 1609	kg/m ²		≤0,5 kg/m ² WS
Absorción de agua a largo plazo	EN 12087 método 1	kg/m ²		WL(P)

3.3.2 Consideraciones generales sobre la instalación del aislamiento

La colocación de las planchas de aislamiento se deberá realizar siguiendo las siguientes pautas:

- Todos los elementos salientes de la fachada deben ser colocados antes que el aislamiento (vierteaguas, coronaciones y otros) para asegurar el correcto tratamiento impermeable de junta. De no ser así, requerirá un tratamiento posterior consistente en realizar un llagueado entre el precerco y el aislamiento e introducir un material sellante y elástico (DB HS 1 apartado 2.3.3.6 parte 2).
- Se debe comprobar que el material de aislamiento es el adecuado para la aplicación del sistema SATE.
- La colocación de los paneles de aislamiento debe ser contrapeada, colocados de abajo hacia arriba en los planos continuos y en las esquinas salientes del edificio, en filas horizontales y con juntas contrapeadas (al tresbolillo) en las filas sucesivas. Se considera un contrapeo correcto cuando la distancia de separación es mayor o igual que el espesor del aislante.
- Comprobar que las planchas de aislamiento se han fijado correctamente al muro soporte; bien con adhesivo o bien con fijación mecánica y adhesivo siguiendo las recomendaciones de las normas UNE-EN 13499 y 13500 o la Guía ETAG 004, en su caso.
- Se recomienda realizar el control de la planimetría durante la colocación de los paneles de aislamiento.
- Se recomienda comprobar que las juntas entre planchas de aislamiento encajan a tope unas con otras y no se han colmatado de adhesivo.
- Se recomienda rellenar los espacios abiertos entre paneles con tiras del mismo material aislante.
- Ejecutar la colocación del aislamiento desde abajo a arriba con juntas verticales, siempre discontinuas.
- En las aristas de los edificios se recomienda colocar paneles enteros o medios paneles.
- No debe acabar una plancha en la continuación de cantos de las esquinas.

Figura 19. Detalle de la instalación de las planchas de aislamiento en los cantos de esquinas de un hueco



- En las aristas del edificio se deben contrapear los paneles de aislamiento.

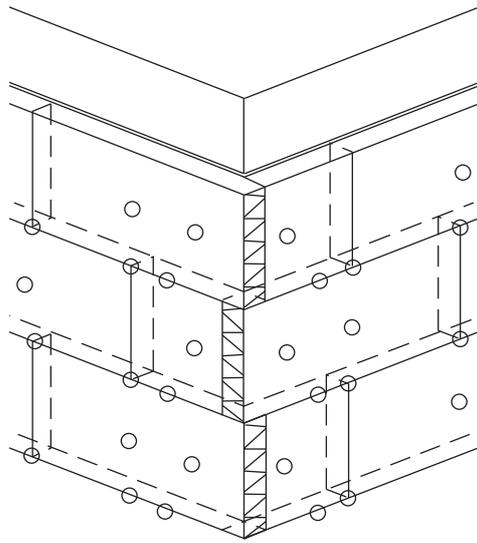


Figura 20. Detalle de la instalación de las planchas de aislamiento en las aristas del edificio

- Los paneles de aislamiento serán colocados desplazándose gradualmente. Colocar los paneles aislantes de abajo hacia arriba, apretándolos bien para conectarlos, partiendo de las aristas del edificio. Presionar los paneles sobre la pared. Retirar el exceso de adhesivo para evitar puentes térmicos.

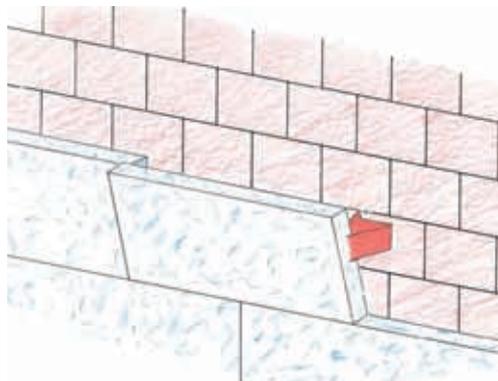


Figura 21. Detalle de la instalación de las planchas de aislamiento en la fachada de un edificio

- Las tuberías ocultas serán marcadas para el anclaje posterior y evitar que sean perforadas por el taladro al colocar las espigas u otro tipo de fijación.

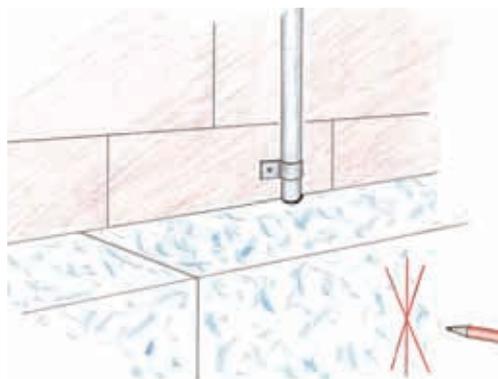


Figura 22. Detalle de la instalación de las planchas de aislamiento en la fachada cuando existen conducciones externas

- Las espigas se colocarán una vez instalados los paneles de aislamiento.
- Después de fraguar el adhesivo, si es necesario, se deben lijar y limpiar los paneles de aislamiento (excepto en paneles de lana mineral que podrían deteriorarse).

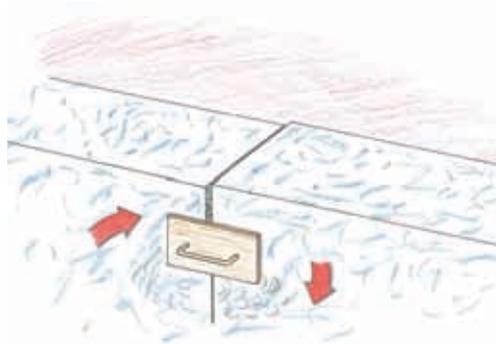


Figura 23. Lijado de los planchas de aislamiento

3.4 Capa base de armadura

La capa de armadura mejora las prestaciones mecánicas del sistema SATE. La malla de armadura está compuesta de fibra de vidrio aprestada y debe poseer un tratamiento antiálcali, ya que al estar embebida en el mortero no debe perder sus propiedades. Además, contribuye a mejorar las características mecánicas de los morteros de refuerzo y a absorber las tensiones que puedan generarse entre las planchas de aislamiento.

Los fabricantes de los sistemas SATE suministran dos tipos de mallas de armadura, una convencional cuyo uso se recomienda en las aplicaciones habituales y las mallas con doble refuerzo o antivandálicas en los lugares donde existe riesgo de deterioro de la fachada debido al tránsito de vehículos o personas.

En la siguiente tabla se indican las características de las mallas de armadura:

Tabla 9. Características de las mallas de armadura

Característica	Malla convencional	Malla con doble refuerzo
Masa por unidad de superficie	145 a 165 g/m ²	330 a 370 g/m ²
Peso del tejido en bruto	130 g/m ² ± 5%	320 g/m ²
Pérdida por calcinación	18 ± 2%	10 ± 2%
Abertura de la malla	4 x 4 mm, aprox.	6 x 6 mm, aprox.
Dimensión de la malla (medidas internas)	3-5 mm	4 x 3,8 mm
Espesor medio del tejido aprestado (UNE 9311-3)	0,45 ± 0,04	0,90 ± 0,09%

(Continuación)

Característica	Malla convencional	Malla con doble refuerzo
Nº de hilos de urdimbre en 5 cm (UNE 9311-1)	Mín. 24	
Nº de hilos de trama en 5 cm (UNE 9311-1)	Mín. 10,5	
Resistencia a la tracción (urdimbre) (UNE 9311-5)	≥1.500 N/50 mm	≥4.000 N/50 mm
Resistencia a la tracción tras el envejecimiento	≥1.000 N/50 mm	≥2.000 N/50 mm
Alargamiento a la rotura (UNE 9311-5)	4-6%	4-6%

La adherencia del mortero de armadura sobre el panel aislante se debe determinar con la norma UNE-EN 13494. Los requisitos mínimos del espesor de mortero para la capa de armadura se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 10. Espesores de mortero recomendados para la capa de armadura en función del tipo de aislamiento

Espesor (mm)	Tolerancia (mm)	Posicionamiento de la malla de armadura	Tipo de sistema de aislamiento
3	-1	Integrada en el mortero	EPS y PUR
5	-1	Siempre integrada en el mortero antes de la última capa	Corcho, EPS, PUR y MW
8	-3	Siempre integrada en el mortero antes de la última capa	Corcho, EPS y MW

Nota: en el caso de querer un refuerzo adicional a la resistencia de golpes, por ejemplo, malla con doble refuerzo, se podrá ir a espesores de mortero mayores y habrá que consultar con el fabricante en cada caso.

A continuación se presentan las consideraciones generales sobre la instalación:

- El mortero de armadura se aplica en una capa de espesor según indica la ficha técnica del producto y en estado fresco se embebe la malla de armadura.
- Debe aplicarse primero el mortero y luego sobre ella la malla.
- El tiempo de secado para poder alisar el mortero dependerá de factores como temperatura ambiente, temperatura de la superficie a aplicar, viento y humedad atmosférica. En condiciones normales el alisado es inmediato, realizado al mismo tiempo que el embebido.
- Para la aplicación, la temperatura máxima de la superficie a aplicar es de 30° C.
- La malla y los accesorios deben solaparse un mínimo de 10 cm.

- Una vez seco, realizar un control con regla de 1 metro de largo y admitiendo una desviación absoluta máxima de 0,5 mm, intensificar el control en las zonas de solape de malla. Es posible lijar o raspar si es necesario.
- De no cumplirse la desviación admisible del punto anterior se puede aplicar una segunda capa de nivelación.

Para la instalación de la malla de armadura hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Se aplica el mortero con una llana.
- Se embebe la malla con el mortero aún fresco.

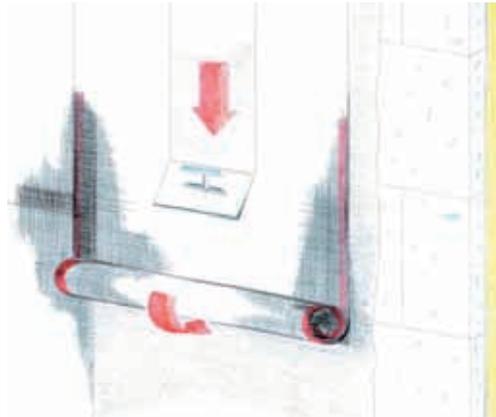


Figura 24. Detalle de la instalación de la malla de armadura sobre la fachada

- Se coloca con un solape mínimo de 10 cm incluido accesorios, cantoneras y perfiles de goteo.

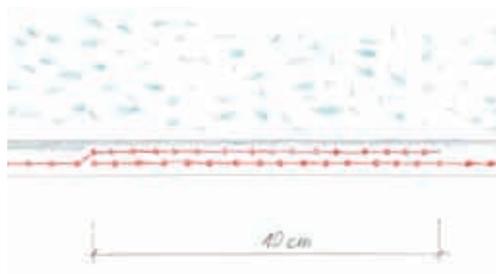


Figura 25. Detalle de solape de la malla de armadura

- Se recoge el mortero excedente.



Figura 26. Detalle la instalación de la malla de armadura

- Se aplica una capa fina de regularización.
- En las esquinas de las ventanas y puertas, se debe colocar la armadura en sentido diagonal.
- También colocar armadura en el interior de las esquinas.

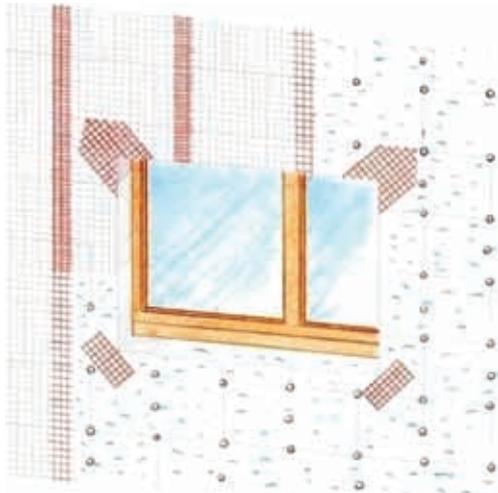


Figura 27. Detalle de aplicación de malla de armadura en el ángulo de esquinas de ventanas y puertas

- Para la formación de jambas se emplea un perfil para capialzados con el fin de lograr estanqueidad de las juntas de conexión en la zona de puertas y ventanas.

Figura 28. Instalación del aislamiento y detalle de solape de la malla de armadura en una ventana



- Cuando sea necesario se deberán colocar perfiles en aristas, perfiles de goteo y juntas de dilatación.

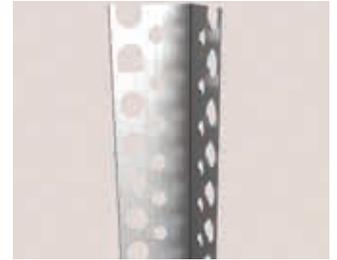
Figura 29. Detalles de perfiles en arranque, arista, goteo y juntas de dilatación



Detalle de perfil de arranque



Detalle de perfil de esquina



Detalle de perfil de arista



Detalle de perfil de juntas de dilatación



Detalle de vierteaguas

3.5 Capa de acabado

La principal función de la capa de acabado es proteger el sistema del exterior (la radiación solar, la lluvia u otros agentes exteriores) y tiene que contribuir a la impermeabilidad al agua y permitir la permeabilidad al vapor de agua. Al ser la última capa es la parte más visible del sistema y le confiere una función estética al edificio (color y textura).

El espesor de la capa de acabado dependerá de su naturaleza, composición y del acabado final (liso, rugoso,...), teniendo que respetarse los espesores mínimos de la capa de acabado incluidos en los DITEs.

Los requisitos mínimos del Documento Básico de salubridad del Código Técnico de la Edificación, DB HS 1, apartado 2.3.1 *Fachadas*, indica el grado de impermeabilidad en función de la zona pluviométrica, grado de exposición al viento y altura del edificio. En función del grado de impermeabilidad descrito en el apartado 2.3.2 se pueden establecer las soluciones constructivas a las que deben responder los revestimientos exteriores en:

1. Resistencia a la filtración del revestimiento exterior.
2. Resistencia a la filtración de la barrera contra la penetración de agua.
3. Composición de la hoja principal.

Los acabados con revoco pueden ser de los siguientes tipos:



Para la correcta instalación de la capa de acabado hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Remover y mezclar bien.
- Aplicar cubriendo toda la superficie.
- Respetar los tiempos de trabajo establecidos en la ficha técnica aportada por el fabricante.

Figura 30. Dibujo donde se muestra la correcta instalación de la capa de acabado



3.5.1 Capa de imprimación

La función de la imprimación es la de igualar la superficie y unir la capa de armadura y la de acabado.

La capa de imprimación está indicada para los siguientes casos:

1. En casos de incompatibilidad del mortero de armadura y la capa de acabado.
2. Para mejorar la adherencia, según indicaciones de los fabricantes.
3. Como capa de fondo para capas de acabado con textura acanalada en los cuales se transparente el color en los canales del mismo.

Para la instalación de la capa de imprimación hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Se deben respetar los tiempos de secado.
- Se debe cubrir toda la superficie por medio de un rodillo.

Figura 31. Dibujo de un rodillo y brocha



- Se deben respetar los tiempos correctos para aplicar la fase siguiente según se indica en la ficha técnica del fabricante.

3.5.2 Acabados revocados

Además de cumplir los requisitos exigidos por la normativa DB-HS1, deben seguirse los siguientes parámetros:

- Se recomienda que el índice de reflexión de la luz no sea inferior a 25 (0 negro y 100 blanco). En cualquier caso, este valor deberá estudiarse para el sistema concreto ya que en parte depende de la situación del edificio, orientación, geometría y tipo de aislamiento utilizado.
- El espesor de la capa depende del grano calibrado que tiene el revoque, o recomendaciones del fabricante.
- Los revoques pueden aplicarse a mano o a máquina, siguiendo las recomendaciones específicas de los fabricantes.
- Dado que hasta las mínimas imperfecciones de la fachada son visibles con luz rasante es recomendable utilizar revoques con efectos, ondulaciones o con áridos para reducir el efecto de sombras general de la fachada.
- La técnica de trabajo, la herramienta, así como la base, influyen el resultado de manera fundamental.
- Los acabados se deben prepintar y realizar con cinta de pintor en espesor según dirección facultativa, sin dejar que en ninguna zona se aplique material fresco encima del material seco.
- Ha de evaluarse una mano de pintura de igualación para tramos grandes de fachada con colores oscuros.

Ejemplos de acabado revocados

1. Revoques de textura rugosa y uniforme, cuya rugosidad es obtenida gracias al árido de diámetro único y definido por los fabricantes.

Figura 32. Textura de un revoque rascado



2. Revoques de textura rugosa y acanalada. La rugosidad es obtenida por el árido y el efecto de acanalado por un árido de forma cilíndrica. Dado que tiene el acanalado se puede dar orientación a este efecto.

Figura 33. Textura de un revoque acanalado remolinado y acanalado horizontal



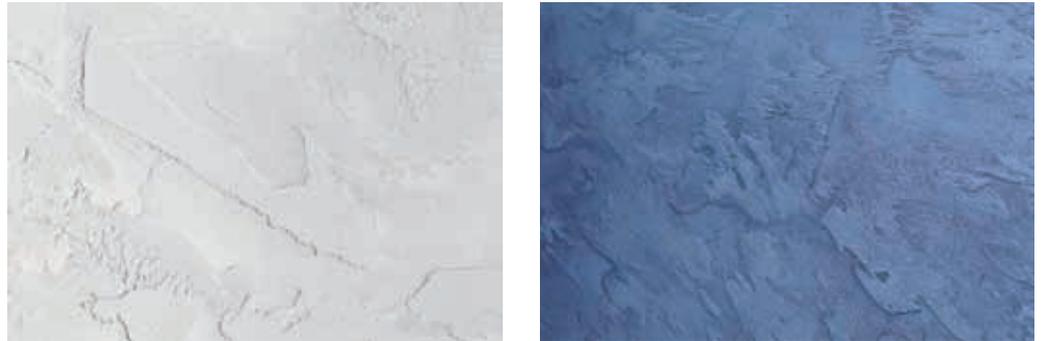
3. Revoques de textura libre o para modelar, cuyo árido por debajo de 0,5 mm de espesor permite aplicaciones con efectos creativos. No se recomienda aplicar acabados sólo lisos con este tipo de material debido al efecto del sol rasante sobre la fachada que maximiza hasta las pequeñas imperfecciones que son admisibles.

Figura 34. Texturas con efecto dado por rodillo de trapeado, con efecto por llana dentada triangular y liso con áridos proyectados



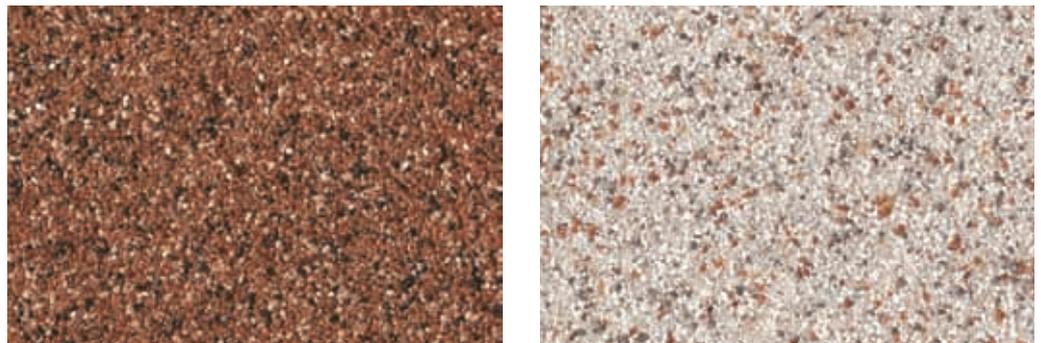
4. Revoques de acabado fino: al igual que en el caso anterior se recomienda el uso de efectos, en este caso por capas con el mismo color de revoque o con colores diferentes de una misma gama para crear el efecto de sombra permanente.

Figura 35. Texturas de acabado fino con efecto en un mismo color y acabado fino con efecto en dos colores de una misma gama



5. Revoques con ligante transparente: en este caso el árido que se utiliza para su fabricación es prepintado en diferentes colores y llevado al horno para fijación de los pigmentos; de este modo, crean el efecto deseado puestos en un medio ligante transparente.

Figura 36. Texturas de acabado con ligante transparente



3.5.3 Acabados aplacados de ladrillos acrílicos, cerámicos de arcilla y piedra

Además de cumplir los requisitos exigidos por la normativa DB-HS1 se deben seguir los siguientes parámetros:

- Los adhesivos utilizados y el material de aplacado deben cumplir las exigencias de la norma UNE-EN 1348 y la norma UNE-EN ISO 10545-12, que establece la resistencia a la tracción de dichos elementos después de haber sido sometidos a ciclos sucesivos de congelación-descongelación.
- La difusión del vapor de agua se realiza a través de las juntas, es por ello que existe una limitación de tamaño de las piezas de piedra: superficie menor de 0,09 m², longitud máxima de 0,30 m y espesores entre 8 y 15 mm. El volumen de aire mínimo del material de las juntas debe ser de 20 mm³/g.
- El aplacado de piedra debe tener juntas de dilatación elástica según recomendaciones del fabricante y como dimensión máxima de paño de 6x6 m en elementos continuos sin aberturas. Cuando tenemos ventanas u otros elementos que corten

la continuidad puede utilizarse áreas de 6x8 o 7x7 m como máximo. Las juntas de dilatación propias del edificio deben respetarse.

- El sistema utiliza una malla especial de mayor densidad. Al aplicar el mortero de armadura, de inmediato se embebe la malla y también las espigas, de manera que las espigas sostienen la malla y quedan dentro en el mortero armadura.
- La cantidad de espigas se define en base a las características del paramento, esfuerzos originados por el viento y peso del aplacado.

Figura 37. Detalle de la instalación de un acabado de aplacado imitando ladrillo cara vista



Figura 38. Detalle de la instalación de un acabado de ladrillo sobre un sistema SATE



Figura 39. Detalle de esquina de la instalación de un acabado de ladrillo sobre un sistema SATE

3.6 Accesorios

Una parte decisiva del sistema SATE son los accesorios, que deberán ser en cada caso los recomendados por el fabricante del sistema para asegurar y garantizar el resultado. Consideraciones:

- Para las zonas con alto riesgo de impacto colocar una malla de armadura con doble refuerzo o malla antivandalismo en una capa adicional previa de mortero de refuerzo sobre la que se embebe la malla especial (sin solaparse) con una llana. Sobre ella, se aplicará la malla estándar.
- Las fijaciones se deberán determinar en función del tipo de soporte.
- En el caso de planchas de aislamiento con espesores mayores o iguales a 8 cm, se pueden instalar espigas embutidas en el panel de aislamiento con una tapa del material aislante para romper el puente térmico generado por la espiga.

Figura 40. Espigas y tapas de aislamiento



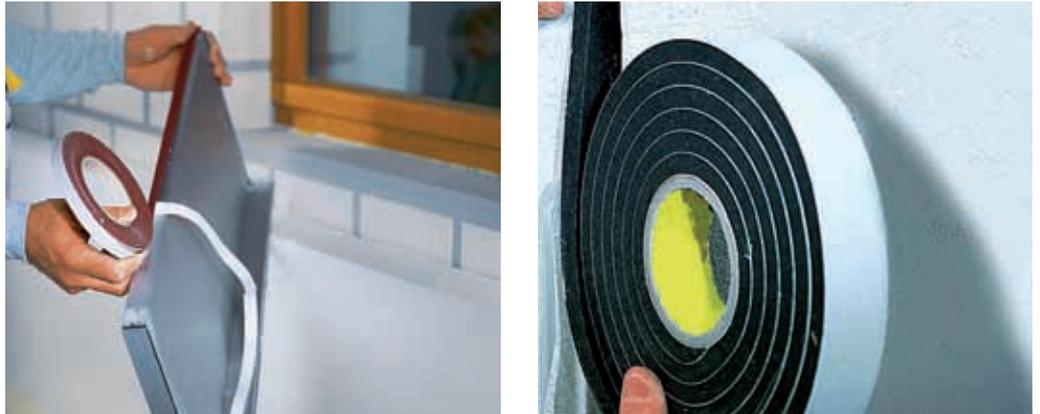
- En el caso de fijación mecánica mediante perfiles debe utilizarse un perfil de arranque de aluminio o PVC sujeto con tornillos a cada 30 cm y espacio de dilatación entre perfiles de 3 mm.



Figura 41. Detalle del perfil de arranque en una arista del edificio

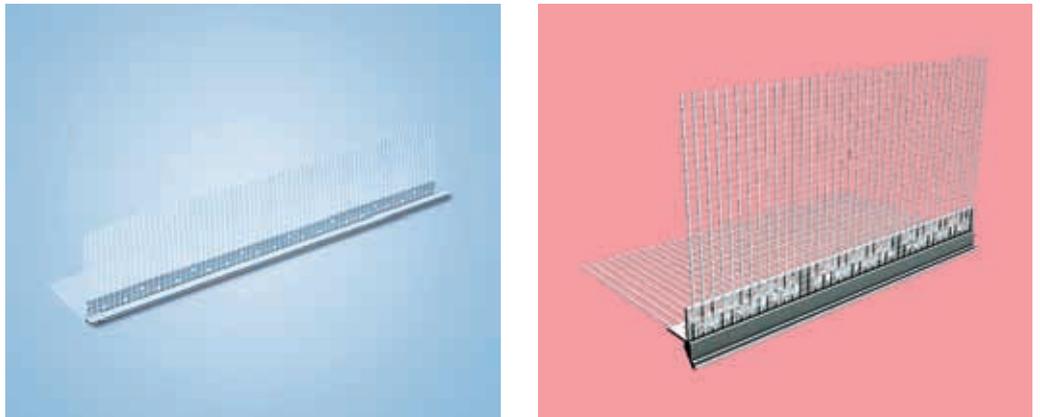
- Una cinta expansiva de sellado, para estanqueidad del agua de lluvia, garantiza la estanqueidad en puntos donde se puede producir ingreso de agua por estancamiento o capilaridad. Su correcta aplicación implica que los vierteaguas, carpinterías metálicas, coronaciones y otros elementos salientes de fachada hayan sido colocados antes que el material aislante. La cinta se ubica alineada con la cara más exterior del panel de aislamiento y presionada hasta alcanzar un espesor de 3 mm.

Figura 42. Cinta expansiva de sellado



- Perfil antigoteo, para evitar el retorno del agua y garantizar la limpieza de las jambas de dintel (según el DB HS 1 apartado 2.3.3.6 punto 3).

Figura 43. Perfil antigoteo



- Elementos de fijación para colocación de cargas pesadas en la fachada.

Figura 44. Elementos de fijación para cargas pesadas en fachada de espuma rígida de poliuretano (PUR), espuma de poliestireno expandido (EPS) y otros sistemas que incorporan aislamiento

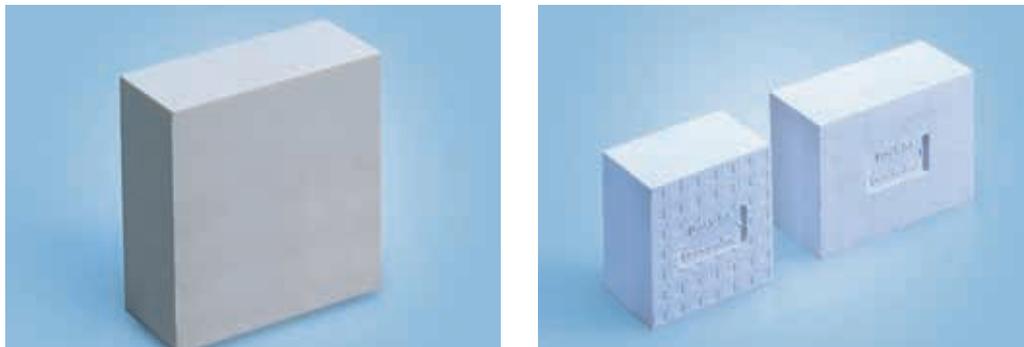


Figura 45. Instalación de un elemento de fijación para una carga pesada



- Perfil cantonera, para refuerzo de esquinas salientes.

Figura 46. Detalle de aplicación de un perfil de esquina



- Tapa para agujero de andamio.

Figura 47. Detalle de una tapa de anclaje de andamio y su correcta instalación



- Vierteaguas.

Figura 48. Detalle de un vierteaguas



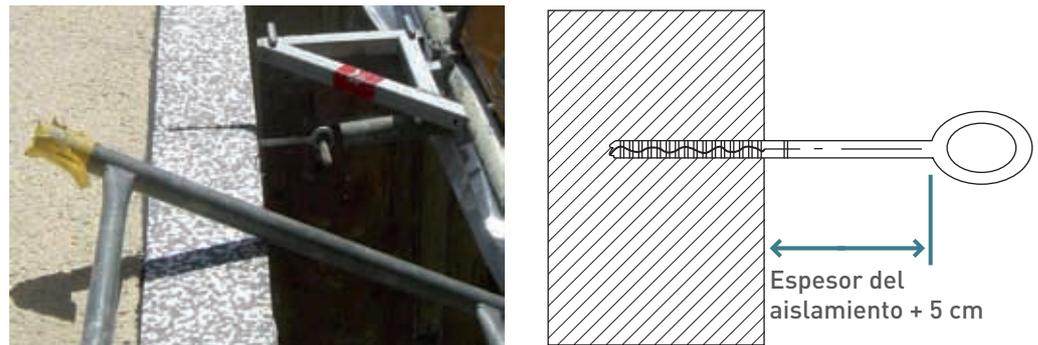
3.7 Otras consideraciones de la instalación

3.7.1 Emplazamiento del andamio

Recomendaciones:

- Se recomienda el uso de andamio tubular, por las facilidades que implica al efectuar una labor que requiere varias capas de aplicación. Para el uso de otro tipo de andamio se ha de determinar el procedimiento para resolver inconvenientes que pueden afectar a la estética del acabado.
- Los andamios deben estar colocados de manera que la distancia libre entre la fachada y la parte más cercana del andamio (bandeja, columna o anillo de columna) sea superior al espesor del aislamiento más 8 cm.
- Los anclajes de los andamios fijados en la fachada deben ser un cáncamo roscado que una vez ajustado debe dejar la cabeza de la misma a una distancia superior al espesor del aislamiento más 5 cm.
- Los andamios deben cumplir con las exigencias mínimas de seguridad establecidas por ley y con el plan de seguridad particular.

Figura 49. Detalle de la fijación del andamio a la fachada



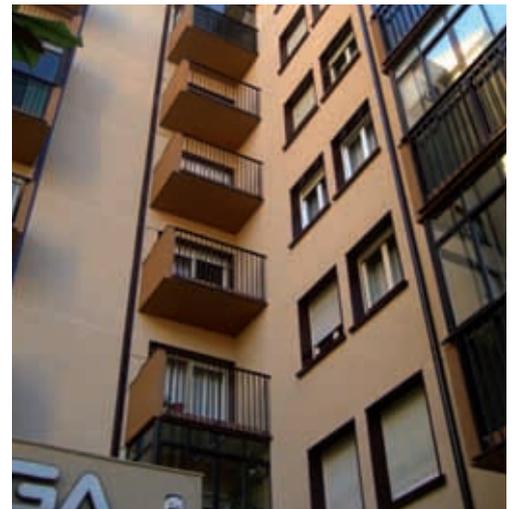
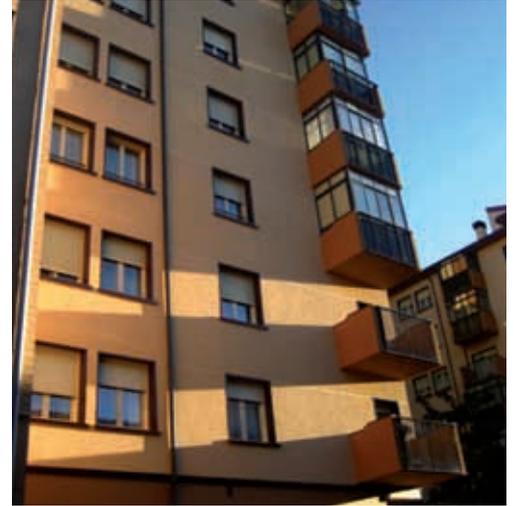
3.7.2 Almacenamiento de materiales

Recomendaciones:

- Los materiales deben protegerse de las heladas y siempre por encima de los 0° C.
- No deben exponerse a la luz solar directa.
- Proteger de la lluvia.
- Almacenar sobre plataformas, para proteger de los charcos de agua.
- Los productos en base cemento se deben conservar en un lugar seco y protegido de la humedad y de la intemperie.
- Los productos de acabado de base sintética se deben acopiar en un lugar seco y fresco, protegido de heladas y con los recipientes perfectamente cerrados.
- Los materiales de aislamiento se deben acopiar dentro de su envoltura, en un lugar seco exento de disolventes y evitar la exposición solar directa durante tiempo prolongado.

3.8 Ejemplos de rehabilitación

A continuación se muestran ejemplos reales de rehabilitación de edificios con sistemas SATE antes y después de la rehabilitación.



4 Conclusiones y recomendaciones

El parque edificatorio existente del país tiene más de 23 millones de viviendas que están consumiendo energía innecesariamente, ya que son susceptibles de rehabilitación térmica. Aprovechar un lavado de cara del edificio así como cualquier mejora en la fachada supone la mejor ocasión para incorporar un sistema SATE.

Las principales ventajas de mejora de la eficiencia energética de la envolvente a través de la rehabilitación de la fachada mediante la solución de un sistema SATE pueden ser, entre otras:

- Reduce la factura energética de cada usuario ya que la incorporación de sistemas compuestos de aislamiento térmico por el exterior en la rehabilitación de edificios consigue ahorros netos de energía próximos al 30% y se estima que la inversión realizada para la instalación del sistema se amortiza de media en los cinco años siguientes.
- Mejora el confort térmico, a igualdad de consumo y bienestar para el usuario.
- Ayuda a la reducción de emisiones de CO₂, contribuyendo a la reducción del efecto invernadero y a la conservación del medio ambiente.
- Permite a los usuarios seguir viviendo en sus viviendas durante la incorporación de un sistema SATE en sus fachadas.
- Se reducen los puentes térmicos en la fachada, las posibles condensaciones no deseadas y aquellas patologías ligadas a las mismas.
- Se revaloriza económicamente el inmueble, mucho más que la simple restitución de la fachada.
- Esta rehabilitación no reduce el espacio habitable interior de las viviendas.
- Pueden alcanzarse mejoras en el comportamiento acústico.
- Se reduce el riesgo de condensaciones intersticiales, ya que los sistemas SATE correctamente instalados son impermeables al agua y permeables al vapor de agua.
- Mantiene la envoltura exterior y la estructura del edificio en condiciones termohigrométricas estables, contribuyendo al mantenimiento de los materiales de construcción a lo largo del tiempo e impidiendo la degradación causada por las oscilaciones de temperatura: grietas, fisuras, infiltraciones de agua, fenómenos de disgregación, manchas, mohos y la impregnación de la masa mural.
- Excluye la necesidad de eliminar el enfoscado viejo, excepto cuando existan riesgos de desprendimiento.
- Esta rehabilitación puede ser aprovechada para recuperar la uniformidad de estética de las fachadas de un bloque de edificios o barrios enteros.
- Ayuda al cumplimiento del Código Técnico de la Edificación en edificios existentes siempre que se incorpore un espesor adecuado de aislamiento en la fachada.
- Esta rehabilitación perdura con el tiempo, teniendo una vida útil de más de 20 años, pudiendo considerarse un argumento positivo en caso de alquiler o venta.

Anexo A: caso práctico

En este caso práctico se analizan diferentes comportamientos energéticos de un mismo edificio inicialmente sin aislamiento térmico y posteriormente rehabilitando térmicamente la envolvente. Los resultados obtenidos no son extrapolables a otros edificios, únicamente se muestran unos ahorros potenciales de energía en las condiciones concretas que se detallan (geometría del edificio, orientación, características de la envolvente, sistemas de climatización, etc.), pudiendo obtenerse unos ahorros de energía inferiores o superiores a los aquí presentados para otros casos. El objetivo de este análisis es presentar distintas soluciones de rehabilitación donde se ha incorporado aislamiento térmico y así resaltar los beneficios y ahorros obtenidos en la rehabilitación de la fachada.

A.1 Procedimiento

El edificio objeto de este ejemplo fue construido en el año 1975, lo que significa que en su construcción no se tuvo en cuenta el aislamiento térmico como condicionante de partida.

Para establecer una comparación equitativa se ha utilizado el programa de calificación energética CALENER-VYP que facilita el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio para la certificación energética de los edificios de viviendas. Se han introducido en este programa los datos que describen al edificio sin aislamiento en la situación de partida y al mismo edificio con diferentes rehabilitaciones térmicas que se detallarán en cada caso. Además, dichas simulaciones se han ubicado en cinco zonas climáticas para que el ejemplo resulte más representativo.

Los casos evaluados en el programa han sido, por este orden:

1. Análisis energético del edificio de partida (sin aislamiento térmico).
2. Análisis energético del edificio rehabilitando la parte ciega de la fachada con un sistema SATE.
3. Análisis energético del edificio rehabilitando la fachada con un sistema SATE, la cubierta y los huecos.

A.2 Descripción del edificio de partida

Se trata de un edificio en bloque de viviendas, situado entre medianeras, compuesto de planta baja destinada a locales comerciales y tres plantas de viviendas. Del estudio se ha excluido la planta baja con el fin de obtener resultados propios de una vivienda. Asimismo, se han excluido del estudio las posibilidades de rehabilitación de la medianera y forjados entre plantas habitables.

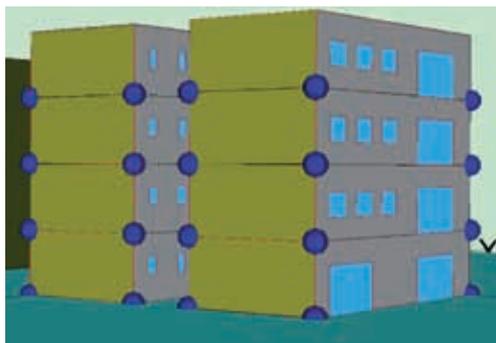


Figura A.1. Esquema del edificio simulado en CAENER VYP

Las características básicas del edificio son:

- Superficie total del edificio: 800 m².
- Superficie por planta: 200 m².
- Altura libre de las viviendas: 2,5 m.
- Distribución por planta: dos viviendas más escalera.
- Superficies:
 - Superficie por vivienda: 92 m².
 - Superficie escalera: 16 m².
- Porcentaje de huecos de la fachada principal = 7%.
- Sistemas de calefacción del edificio: caldera mixta de gas natural con un rendimiento nominal de 0,85 y una capacidad nominal de 16 kW.

Características energéticas de la situación de partida del edificio

Elemento constructivo	Material	Transmitancia térmica U (W/m ² .K)
Fachada	½ Pie de ladrillo perforado	1,83
	Mortero de cemento	
	Cámara de aire	
	Tabique ladrillo sencillo	
	Enlucido interior	
Divisórios interiores	Enlucido interior	3,39
	Ladrillo hueco (fábrica)	
	Enlucido interior	
Pared medianera	Mortero exterior	2,30
	Ladrillo perforado (fábrica)	
	Enlucido interior	

(Continuación)

Elemento constructivo	Material	Transmitancia térmica U (W/m ² .K)
Forjado entre plantas	Pavimento gres	3,25
	Mortero	
	Forjado cerámico	
	Enlucido interior	
Cubierta	Pavimento baldosa cerámica	1,47
	Tela asfáltica	
	Hormigón de pendientes	
	Aislamiento	
	Forjado cerámico	
	Enlucido interior	
Huecos de fachada	Marco de aluminio	5,7
	Vidrio sencillo o monolítico	

A.3 Descripción del edificio rehabilitando térmicamente su envolvente

La rehabilitación térmica consiste en incorporar un sistema SATE en la fachada, aislamiento en la cubierta y modificación de los huecos. En la siguiente tabla se recogen los valores de transmitancia térmica de los cerramientos en estas situaciones:

Valores de transmitancia térmica (U)	Situación inicial (valor de U en W/m ² .K)	Situación final (valor de U en W/m ² .K)
Fachada principal (parte ciega)	1,83	0,52
Cubierta	1,47	0,35
Hueco de la fachada	5,7	1,74

Para este caso práctico las características de los elementos constructivos rehabilitados térmicamente han sido:

Elemento constructivo	Material	Transmitancia térmica (W/m ² .K)		
Fachada: rehabilitación mediante un sistema sate	Revestimiento de acabado	Para las zonas climáticas: - A, B y C: 0,52 - D y E: 0,37		
	Enlucido base			
	Armadura			
	Aislamiento térmico R _{AT} en (m ² .K)/W		Zonas	RAT
			A, B, C	1,5
			D, E	2,1
	½ Pie de ladrillo perforado			
	Mortero de cemento			
	Cámara de aire			
Tabique ladrillo sencillo				
Enlucido interior				
Hueco: rehabilitación con marco de altas prestaciones térmicas y unidad de vidrio aislante	Marco de altas prestaciones térmicas: U = 1,9 (W/m ² .K) 35% de marco	1,77		
	Unidad de vidrio aislante (emisividad 0.03<ε<0.1, g=0,42) composición 4-12-4 U = 1,7 (W/m ² .K)			
Cubierta: rehabilitación con aislamiento térmico por el exterior	Protección de grava	0,35		
	Geotextil y membrana			
	Aislamiento térmico Resistencia térmica = 2,2 (m ² .K)/W			
	Tela asfáltica			
	Hormigón de pendientes			
	Forjado cerámico			
	Enlucido interior			

A.4 Costes de la rehabilitación

Haciendo una estimación de costes para este bloque de cuatro plantas con 8 viviendas, la superficie de la fachada a rehabilitar es de 720 m² de parte ciega y 80 m² de huecos. La superficie de la cubierta es de 200 m².

Para acometer la rehabilitación con SATE de la fachada es necesario la instalación de un andamio eléctrico formado por una plataforma elevadora sobre mástil de 15 metros lineales y se encargará el trabajo a dos cuadrillas de dos personas cada una que tardarán en realizar dicho trabajo unos 20 días. Con esta información el coste del andamio incluyendo el transporte, montaje, desmontaje y retirada del mismo es de 3.000 euros.

En la siguiente tabla se contempla un desglose de los trabajos a realizar para esta obra:

Elemento constructivo	Rehabilitación			Coste total de la actuación por vivienda
Fachada: rehabilitación mediante un sistema SATE	Rehabilitación con un sistema SATE completo con los andamios, mano de obra e instalación del sistema completo	Coste del aislante en las zonas	Coste total sistema	Para las zonas climáticas: - A, B y C: 5.865 €/Viv. - D y E: 6.195 €/Viv.
		A, B, C (16 €/m ²)	61 €/m ²	
		D, E (20 €/m ²)	65 €/m ²	
Hueco: rehabilitación del hueco de altas prestaciones térmicas	Rehabilitación del hueco a un coste de 250 €/m ² que incluye la retirada del cerramiento acristalado antiguo y la instalación de uno nuevo con altas prestaciones de aislamiento			2.500 €/Viv.
Cubierta: rehabilitación con aislamiento térmico por el exterior	Rehabilitación de la cubierta por el exterior incluyendo la retirada de la tela asfáltica existente y mano de obra de la solución	El coste del aislamiento		1.672,5 €/Viv.
		14 €/m ²		
Coste total de la rehabilitación por vivienda				Para las zonas climáticas: - A, B y C: 10.007,5 €/Viv. - D y E: 10.377,5 €/Viv.

A.5 Resultados de la simulación

A continuación se presentan los datos obtenidos de los consumos de energía primaria, las demandas de calefacción-refrigeración y emisiones de CO₂ de dicho edificio en cinco zonas climáticas. Las unidades de consumo de energía primaria vienen expresadas en kWh/m² y año.

Situación 1: situación de partida, datos de consumos del edificio sin aislamiento térmico

	Consumos/emisiones del edificio de partida				
Consumos o emisiones/zona climática	A3 (Cádiz Málaga)	B3 (Valencia)	C2 (Barcelona)	D3 (Madrid)	E1 (Burgos)
Consumo energía primaria total (kWh/m ²)	128,9	144,7	161,4	207,8	270,2
Demanda calefacción (kWh/m ²)	45,7	69,7	96,7	132,2	213,7
Emisiones de CO ₂ (kgCO ₂ /m ²)	27,7	30,5	33,4	43,5	55,4

En las siguientes tablas se muestran los consumos de energía primaria, las demandas de calefacción y emisiones de CO₂ del edificio rehabilitado con aislamiento térmico en cada caso, así como los porcentajes de ahorro obtenidos en referencia a la situación de partida o situación 1 (edificio sin aislamiento térmico).

Situación 2: rehabilitación de la parte ciega de la fachada del edificio

	Edificio de referencia/Edificio rehabilitado - % Ahorro									
Consumos o emisiones/zona climática	A3 (Cádiz Málaga)		B3 (Valencia)		C2 (Barcelona)		D3 (Madrid)		E1 (Burgos)	
Demanda calefacción (kWh/m ²)	45,7	29,7	69,7	47,3	96,7	68	132,2	90,2	213,7	153,9
	35		32,1		29,7		31,8		28	
Demanda refrigeración (kWh/m ²)	21,1	17	15,7	12,5	8,0	6,4	13,8	10,9	0	0
	19		20		19		21		0	
Consumo energía primaria de calefacción (kWh/m ²)	46,5	35,3	70,4	48,8	99	68,7	136,4	93,9	219,9	158,6
	24,1		30,7		30,6		31,2		27,9	

(Continuación)

	Edificio de referencia/Edificio rehabilitado - % Ahorro									
Consumo energía primaria de refrigeración (kWh/m ²)	33,8	27,6	24,1	19,2	12,2	9,9	21,2	16,8	0	0
	18,34		20,33		18,85		20,75		0	
Consumo energía primaria de ACS (kWh/m ²)	48,5	48,5	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2
	0		0		0		0		0	
Consumo energía primaria total (kWh/m ²)	128,9	111,4	144,7	118,2	161,4	128,8	207,8	160,9	270,2	208,8
	15,7		18,3		20,2		22,6		22,7	
Emisiones de CO ₂ (kgCO ₂ /m ²)	27,7	24,2	30,5	25,2	33,4	26,8	43,5	33,8	55,4	42,8
	12,6		17,4		19,8		22,3		22,7	

Situación 3: rehabilitación de la cubierta y fachada (parte opaca + huecos)

	Edificio de referencia/Edificio rehabilitado - % Ahorro									
Consumos o emisiones/ zona climática	A3 (Cádiz Málaga)		B3 (Valencia)		C2 (Barcelona)		D3 (Madrid)		E1 (Burgos)	
Demanda calefacción (kWh/m ²)	45,7	14,8	69,7	34,0	96,7	48,3	132,2	62,9	213,7	108,7
	67,6		51,2		50,1		52,4		49,1	
Demanda refrigeración (kWh/m ²)	21,1	14,0	15,7	10,1	8,0	4,7	13,8	9,0	0	0
	30,3		50,4		41,4		34,8		0	
Consumo energía primaria de calefacción (kWh/m ²)	46,5	18,8	70,4	33,4	99,0	47,6	136,4	71,2	219,9	113
	59		52		52		47		49	
Consumo energía primaria de refrigeración (kWh/m ²)	33,8	21,4	24,1	15,5	12,2	7,2	21,2	17,8	0	0
	36		35		40		16		0	

		Edificio de referencia/Edificio rehabilitado - % Ahorro									
Consumo energía primaria de ACS (kWh/m ²)		48,5	48,5	50,2	48,5	50,2	48,5	50,2	48,5	50,2	48,5
		0		0		0		0		0	
Consumo energía primaria total (kWh/m ²)		128,9	88,7	144,7	97,5	161,4	103,4	207,8	137,5	270,2	161,5
		31,2		32,6		35,9		33,8		42,1	
Emisiones de CO ₂ (kgCO ₂ /m ²)		27,7	18,9	30,5	20,6	33,4	21,4	43,5	26,5	55,4	33
		31,8		32,5		35,9		39		40,4	

A.6 Discusión de resultados

Situación 2. Los ahorros alcanzados en la rehabilitación del edificio incorporando un sistema SATE en la fachada oscilan entre un 15 y un 23% del consumo total de energía del edificio dependiendo de la zona climática donde se ubique dicho edificio.

Si atendemos a los ahorros de demanda de calefacción, los ahorros de energía obtenidos del edificio varían entre un 28 y un 35% en función de la zona climática. Asimismo, los ahorros en emisiones de CO₂ de dicho edificio una vez rehabilitado son del 13 al 23%. Es importante tener en cuenta que en la rehabilitación de este edificio no se han modificado los huecos ni los suelos y aún así, los ahorros de energía son considerables.

El aislamiento propuesto en el ejemplo de rehabilitación con un sistema SATE tiene una resistencia térmica de 1,5 (m².K/W) en las zonas climáticas A, B y C y de 2,1 (m².K/W) en las zonas climáticas D y E, siendo este nivel de aislamiento algo superior al que pide el Código Técnico de la Edificación (CTE DB-HE1) para cada zona climática. Por tanto, los resultados obtenidos en las zonas climáticas C, D y E pueden ser susceptibles de mejora y se conseguirían mayores ahorros de energía incorporando espesores superiores de aislamiento.

Situación 3. En esta situación final se ha rehabilitado la envolvente del edificio que está en contacto con el exterior (excepto los suelos). Los ahorros alcanzados en esta rehabilitación oscilan entre un 31 y un 39% del consumo total de energía del edificio dependiendo de la zona climática donde se ubique. Por lo general, en zonas más frías los porcentajes de ahorro de energía son superiores ya que las demandas son mayores.

Si atendemos a los ahorros de demanda de calefacción, los ahorros de energía obtenidos del edificio varían entre un 48 y un 67% en función de la zona climática, obteniendo un porcentaje de ahorro mayor en las zonas más cálidas que en las frías. Este efecto es debido a que los coeficientes de reparto de las demandas de calefacción son cada vez mayores cuanto más fría es la zona, por tanto los ahorros

netos de la demanda de calefacción son mayores aunque no sus porcentajes. Asimismo los ahorros en emisiones de CO₂ de dicho edificio una vez rehabilitado son del 31 al 40%.

En los datos presentados no se han tenido en cuenta los valores de refrigeración al tener una pequeña repercusión y al estar reflejados indirectamente dentro de los consumos de energía primaria. Además, el edificio de este ejemplo no posee equipo de aire acondicionado de partida; si lo hubiera tenido, los ahorros serían aún mayores.

Otros valores no incluidos en este estudio son los valores de energía final, aunque presentan un comportamiento directamente proporcional a los consumos de energía primaria y emisiones de CO₂. Si fuera el caso, para simulaciones realizadas para las Islas Canarias, Ceuta, Melilla e Islas Baleares los valores de emisiones de CO₂ serían distintos, al poseer una situación particular del mix de producción de energía eléctrica, en caso que los equipos utilicen dicha fuente de energía.

IDAE: Calle Madera 8, 28004, Madrid, Telf.: 91 456 49 00
Fax: 91 523 04 14, mail: comunicacion@idae.es, www.idae.es



P.V.P.: 20 € (IVA incluido)

ISBN 978-84-96680-59-3

