



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

**DICTAMEN ACERCA DE LA INFLUENCIA DE LA EJECUCIÓN DE UN SISTEMA SATE SOBRE
LA ESTRUCTURA DE UN EDIFICIO Y LA VARIACIÓN DE SU CONFIGURACIÓN
ARQUITECTÓNICA**

Madrid, 14 de enero de 2024

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ÍNDICE

1. Antecedentes y alcance del trabajo
2. Descripción general de un sistema SATE
 - 2.1. Introducción. Eficiencia energética
 - 2.2. Evolución histórica de los sistemas SATE
 - 2.3. Ventajas de la ejecución de un sistema SATE
 - 2.4. Descripción de un sistema SATE
 - 2.5. Guía de referencia ETAG 004
 - 2.6. Clasificación
 - 2.7. Componentes e instalación del sistema SATE
3. Análisis y dictamen acerca de las cargas transmitidas por un sistema SATE a la estructura original del edificio y la necesidad de evaluar la misma
4. Análisis y dictamen de si la realización de un sistema SATE afecta a la configuración de un edificio existente
5. Análisis y dictamen acerca de si la colocación de placas fotovoltaicas en la cubierta de un edificio afecta a su seguridad estructural
6. Conclusiones

1. ANTECEDENTES Y ALCANCE DEL TRABAJO

Este documento tiene su origen en el encargo del Consejo general de la Arquitectura Técnica de España (CGATE) a la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) con el objetivo de realizar los siguientes estudios relacionados con el sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE) y la colocación de placas fotovoltaicas en cubiertas de edificios:

- Dictamen acerca de las cargas transmitidas por un sistema SATE a la estructura original del edificio y la necesidad de evaluar la misma.
- Dictamen acerca de la posible variación de la configuración arquitectónica de un edificio cuando se ejecuta un sistema SATE sobre él.
- Dictamen acerca de las cargas transmitidas por la colocación de placas fotovoltaicas en la cubierta de un edificio y la necesidad de evaluar la estructura de la cubierta.

El encargo ha sido realizado por el Presidente del Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, D. Alfredo Sanz Corma. El Profesor de la UPM encargado de realizar este estudio ha sido el Catedrático de Universidad de la UPM Alfonso Cobo Escamilla, quien redacta este documento.

La realización de este dictamen se ha organizado siguiendo el siguiente esquema:

- Descripción general de los sistemas SATE.
- Análisis y dictamen de si las cargas gravitatorias de un sistema SATE afectan a la estructura de un edificio existente.
- Análisis y dictamen de si la realización de un sistema SATE afecta a la configuración de un edificio existente.
- Dictamen acerca de si las cargas transmitidas por la colocación de placas fotovoltaicas en la cubierta de un edificio afectan a la estructura de la cubierta.
- Conclusiones obtenidas a partir de los análisis efectuados anteriormente.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE UN SISTEMA SATE

2.1. Introducción. Eficiencia energética

Según la “Guía Práctica de la Energía. Consumo Eficiente y Responsable” [IDAE, *Guía Práctica de la Energía. Consumo Eficiente y Responsable, 2010*] elaborada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), el 67% del consumo energético de los hogares españoles se debe a la calefacción y al aire acondicionado debido a un deficiente aislamiento térmico. La colocación de un sistema de aislamiento adecuado supondría un ahorro considerable en los gastos de calefacción y aire acondicionado y una disminución importante de la emisión de gases de efecto invernadero, ya que la edificación supone el 40% del consumo energético total de Europa [Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios].

La colocación del aislamiento térmico por el exterior supone la eliminación de todos los puntos fríos y el incremento de la capacidad de acumulación térmica del edificio. En época de invierno, los muros se calientan, funcionan como acumuladores de calor y posteriormente la mayor parte de esa energía se devuelve al ambiente del interior del edificio, ya que el exterior está aislado. De este modo, la instalación que produce calor puede funcionar menor número de horas, con el consiguiente ahorro económico y de emisiones de gases de efecto

invernadero al medio ambiente. En época de verano, el concepto de funcionamiento es el mismo, se produce frío que se acumula en los muros y se devuelve al interior del ambiente.

Según la “Guía Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios” [IDAE, *Guía Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios*, 2012] elaborada por IDAE, los sistemas SATE que incorporan un aislamiento con el espesor necesario suponen reducciones muy importantes en los valores de energía disipados al exterior, consiguiendo una disminución en el consumo de combustibles próximos al 30% y permiten un ahorro energético importante y continuo de calefacción en invierno y aire acondicionado en verano. La Guía [IDAE, 2012] estima que la inversión necesaria para la instalación de un sistema SATE en un edificio en rehabilitación se amortiza en una media de los cinco años siguientes.

2.2. Evolución histórica de los sistemas SATE

La primera referencia conocida de colocación de un SATE data de 1957 en Berlín, Alemania [Ralf Pasker, *EAE, 4th European ETICs Forum*, 2017]. En la década de 1970 ya era un sistema muy utilizado en los países del centro de Europa, principalmente Alemania, Austria y Suiza. Actualmente es un sistema ampliamente utilizado tanto en obra nueva como en rehabilitación en toda Europa. Se estima que en la actualidad hay instalados en Europa aproximadamente dos mil millones de m² de SATE.

Inicialmente el material empleado como aislante era la espuma rígida de poliestireno en forma de paneles, mientras que como capa exterior se empleaba el revoque de resina sintética. Se empleaba como panel aislante.

2.3. Ventajas de la ejecución de un sistema SATE

La ejecución de un sistema SATE como método para realizar la rehabilitación energética de un edificio supone las siguientes ventajas respecto de la utilización de otros sistemas:

- La instalación supone mínimas molestias para los usuarios del edificio, no se produce polvo en su interior ni escombros.
- La aplicación de un sistema SATE supone una revalorización económica del edificio.
- No implica una reducción de la superficie habitable del edificio.
- Se reduce el riesgo de condensaciones.
- Los sistemas son impermeables al agua y permeables al vapor de agua.
- Mantiene los paramentos exteriores y la estructura del edificio en condiciones termohigrométricamente estables, contribuyendo de esta forma al mantenimiento de los materiales de construcción a lo largo del tiempo e impidiendo su degradación causada por las oscilaciones de temperatura: grietas, fisuras, infiltraciones de agua, disgregaciones, manchas, mohos e impregnación de la masa mural.
- Son respetuosos con el medio ambiente al no dispersar sustancias contaminantes en el mismo. No contienen sustancias nocivas para el medio ambiente, pueden reciclarse y reducen las pérdidas energéticas.
- Una de las mayores ventajas de la colocación del aislamiento térmico por el exterior es la eliminación total de los puentes térmicos: perímetro de los huecos, esquinas, pilares insertados en los muros...

- En obras de rehabilitación produce una disminución significativa de las deformaciones térmicas diferenciales entre distintas zonas de la fachada, lo que limita o impide la formación de fisuras.

2.4. Descripción de un sistema SATE

Fundamentalmente, el SATE es un sistema constructivo compuesto por un panel aislante térmico colocado por el exterior de la envolvente del edificio a la cual se fija mediante adhesión, fijación mecánica o una combinación de ambos sistemas. El panel aislante se protege con un revestimiento exterior.

El SATE se dispone en capas yuxtapuestas y accesorios. En general, desde la fachada del edificio hasta el acabado exterior, las capas que lo forman son las siguientes:

- **Enfoscado.** Es una capa necesaria cuando no se puede garantizar la planeidad y la suficiente resistencia del soporte. Esta propiedad es muy importante para la colocación correcta del pegamento al que va adherido el aislamiento.
- **Adhesivo.** Su función es garantizar la adhesión en el tiempo del aislamiento al enfoscado. Debe resistir los esfuerzos cortantes y de arrancamiento que se originan.
- **Panel aislante.** Es el elemento que fundamentalmente proporciona el aislamiento. En función del material elegido, se dimensiona su espesor teniendo en cuenta los condicionantes externos.
- **Malla de armadura.** Habitualmente se emplea una malla de fibra de vidrio para evitar la aparición de fisuras debidas a variaciones térmicas o a la retracción de la capa de acabado.
- **Imprimador.** Con esta capa se uniformiza la superficie sobre la que se va a colocar el revestimiento exterior y evita diferencias de coloreado en la fachada vista debidas a reacciones distintas entre los materiales o a distintas posibilidades de absorción.
- **Revestimiento de acabado.** Proporciona el acabado visto y protege al sistema de aislamiento del exterior. Es muy recomendable que el tono del color sea claro, con un índice de refracción superior al 20%, necesario para evitar temperaturas elevadas sobre el sistema debido a la irradiación solar, lo que provocaría tensiones y deformaciones en todo el sistema.

El sistema se completa con una serie de accesorios necesarios para su ejecución y posterior comportamiento y son los siguientes:

- **Anclajes.** A pesar de que el adhesivo debe ser el responsable de la fijación del panel aislante, en algunos casos es necesario además fijar los paneles al soporte mediante anclajes. Esta situación se produce en el caso de disponer previamente a la ejecución del sistema de enfoscados que no pueden garantizar la fijación de todo el sistema únicamente mediante el adhesivo.
- **Perfilería y juntas.** Perfil de arranque, perfil de esquina, perfil de vierteaguas, juntas de dilatación y perfilería de remate de puntos singulares.

En la *figura 1* se muestran esquemas de un sistema SATE.

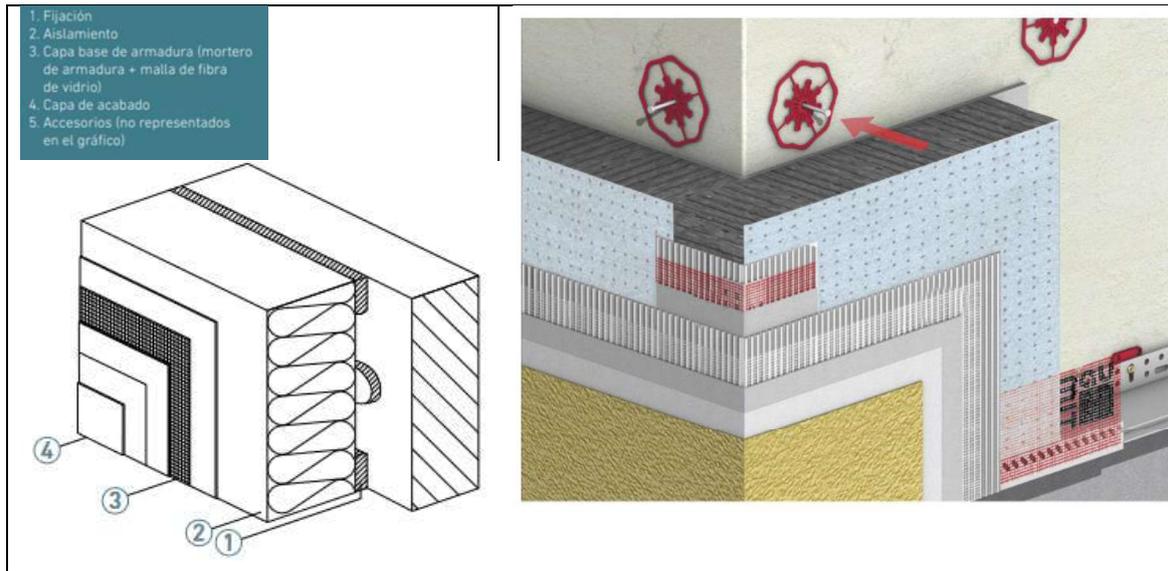


Figura 31. Esquemas de un sistema SATE

En la figura 2 se muestra, a modo de resumen, la composición de un sistema SATE.

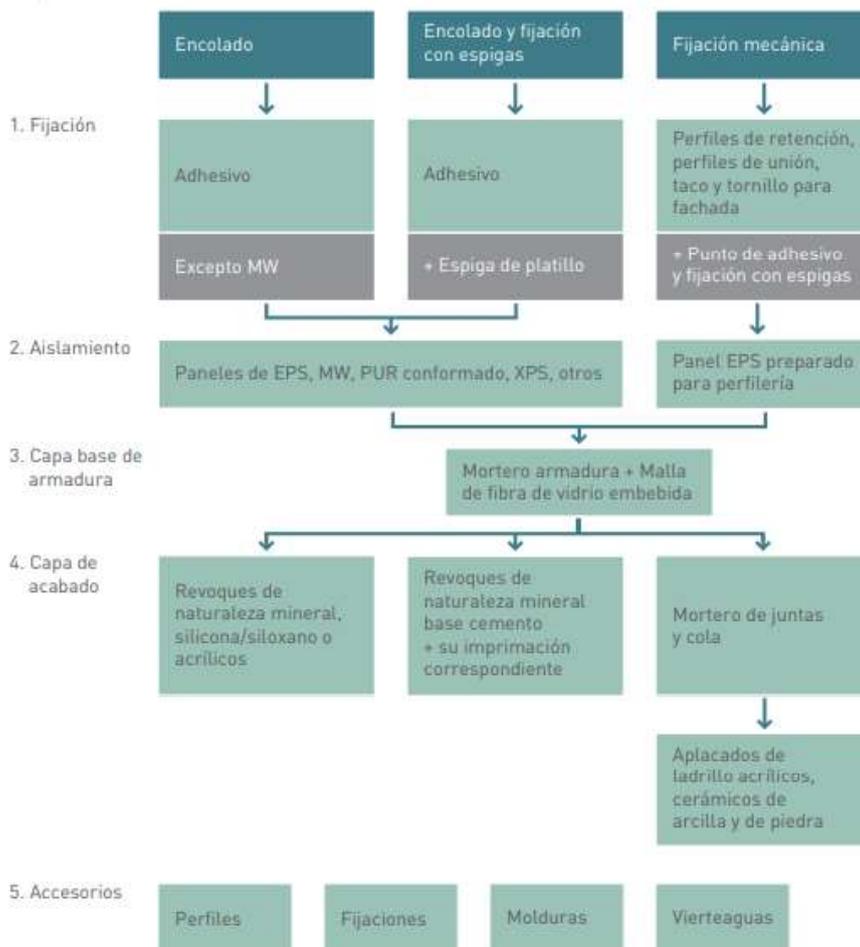


Figura 2. Componentes de un sistema SATE

En la *figura 3* se muestra la fotografía de un edificio con un sistema SATE ya finalizado.



Figura 3. Fotografía de la fachada de un edificio con un sistema SATE

2.5. Guía de referencia ETAG 004

A pesar de que el SATE es un sistema que lleva más de 50 años en uso, en España su empleo es relativamente novedoso por lo que no existe normativa relativa al sistema y su puesta en obra. Para los sistemas innovadores que no están normalizados puede encontrarse una regulación en la Evaluación Técnica Europea (ETE). El Documento de Evaluación Europeo (DEE) es el texto de referencia para que los Organismos de Evaluación Técnica (OET) emitan una ETE.

El DEE recoge los métodos y criterios aceptados por EOTA como aplicables para la evaluación de un sistema constructivo. El nuevo DEE que debe regular los SATE está en fase de elaboración por lo que para evaluar estos sistemas se utiliza de forma temporal Guía ETAG 004 “Sistemas y kits compuestos para el aislamiento térmico por el exterior con revoque”. Actualmente se está elaborando en Europa una norma armonizada para el mercado CE de los sistemas SATE.

El contenido de la Guía ETAG 004 es el siguiente:

- Descripción general de los productos que componen el sistema y uso previsto de ellos.
- Requisitos esenciales:
 - o Resistencia mecánica y estabilidad (RE1)
 - o Seguridad en caso de incendio (RE2)
 - o Higiene, salud y medio ambiente (RE3)
 - o Seguridad de uso (RE4)
 - o Protección contra el ruido (RE5)
 - o Ahorro energético y aislamiento térmico (RE6)

- Aspectos de durabilidad y condiciones de servicio (RE7)
- Métodos de verificación
- Criterios para evaluar el rendimiento de los productos
- Principios para el control de producción de fábrica aplicable

2.6. Clasificación

Fundamentalmente existen tres criterios de clasificación de los SATE: en función del material aislante empleado, del tipo de revestimiento de acabado o por el tipo de fijación empleado. Empleando este último criterio, los SATE se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. SATE adherido

1.1. SATE únicamente adherido

En este caso, la fijación del panel aislante a la envolvente del edificio se realiza empleando solo adhesivos. Los adhesivos pueden ocupar toda la superficie del panel o solo tiras o cordones.

1.2. SATE adherido con fijaciones mecánicas complementarias

La fijación del panel se confía al adhesivo, mientras que las fijaciones mecánicas cumplen una función de fijación hasta que el adhesivo se ha secado. También pueden proporcionar la estabilidad en caso de incendio.

2. SATE adherido con fijaciones mecánicas complementarias

2.1. SATE fijado mecánicamente con adhesivo complementario

La carga se confía exclusivamente a las fijaciones mecánicas. El adhesivo cumple la función de garantizar la planeidad del panel aislante colocado.

2.2. SATE fijado únicamente por medios mecánicos

La conexión del SATE con la envoltura del edificio se realiza únicamente mediante medios mecánicos.

2.7. Componentes e instalación del sistema SATE

A continuación, se describen los componentes y la manera de ejecución de un sistema SATE desde el interior hasta el exterior, comenzando por el tratamiento de la base del soporte del sistema y finalizando por el acabado final.

1. Tratamiento del soporte

Las operaciones necesarias del tratamiento del soporte sobre el que se va a ejecutar el sistema SATE deben realizarse teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- El paramento base sobre el que se va a instalar el SATE debe tener la suficiente capacidad portante para resistir las cargas combinadas de peso propio, peso del SATE y las cargas de viento.

- El tipo de fijación del sistema al soporte está condicionado por la planicidad y la verticalidad del mismo. La Guía IDAE [IDAE, 2012] indica los valores mínimos de planicidad del soporte en función del tipo de fijación que se va a emplear (*tabla 1*)

Tipo de fijación o adhesivo	Corrección de planimetría por m (mm)
Mortero adhesivo	20
Poliuretano de expansión controlada	30
Perfilería	40
Espirales distanciadores	140

Tabla 1. Recomendaciones de planimetría mínima en función del tipo de fijación.

Por otra parte, la normativa alemana DIN 18202: 2013, parte 3 “Tolerances in building construction – Buildings” [DIN, Tolerances in building construction – Buildings, 2013] ofrece las siguientes indicaciones respecto a la planicidad del soporte y del sistema SATE acabado (*tabla 2*). Los valores se ofrecen en la forma a / b , donde a es el valor de la planicidad del soporte y b es el valor del sistema SATE acabado. Para distancias intermedias, los valores deben interpolarse de forma lineal. Para distancias superiores a 15 m, las tolerancias son las mismas que para 15 m.

Referencia	Tolerancias límite en mm referidas en m para distintos tipos de soporte					
	(m)	0,1	1	4	10	15
Bordes con superficies sin enfoscar y caras inferiores de forjado	(mm)	5 / 3	10 / 5	15 / 10	25 / 20	30 / 25
Paredes con planeidad mejorada	(mm)	3 / 2	5 / 3	10 / 8	20 / 15	25 / 20

Tabla 2. Indicaciones respecto a la planicidad del soporte y del sistema SATE acabado según la normativa DIN.

La norma DIN indica que la evaluación de la planicidad del SATE acabado usando luz rasante no es un sistema válido en ningún caso, ni como criterio de aceptación ni como criterio de rechazo. También añade que las mediciones de hasta 4 m se pueden realizar con regla, para distancias superiores se debe utilizar trazada de hilo o láser.

- Se deben mantener las conducciones exteriores de agua, gas y electricidad, permitiendo la accesibilidad a las mismas cuando sea necesario.
- Cuando la fijación se realice con morteros adhesivos y espigas, debe hacerse una revisión previa de la base para verificar que no exista suciedad, polvo, aceite, grasa o elementos como clavos, tornillos o tacos. Especialmente, cuando la base posee una pintura externa, debe eliminarse ésta cuando no es resistente o no ofrezca un acabado adherente adecuado. Cuando la fijación se realice mediante perfiles, esta operación no es necesaria.
- No es recomendable la colocación de barreras de vapor.

2. Fijación

Fundamentalmente, la fijación puede realizarse mediante dos procedimientos: fijación mediante adhesivos y fijación mediante adhesivos y fijación mecánica.

2.1. Fijación mediante adhesivos

El adhesivo cumple tres funciones en un sistema SATE:

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

La capacidad de adherencia del aislamiento sobre el paramento se determina siguiendo los requisitos de la norma UNE-EN 13494 *“Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la resistencia a tracción del adhesivo y del revestimiento de base sobre material de aislamiento térmico”* [AENOR, *Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Determinación de la resistencia a tracción del adhesivo y del revestimiento de base sobre material de aislamiento térmico*, 2020]. La Guía IDAE [IDAE, 2012] indica que el valor mínimo de resistencia a tracción del adhesivo debe ser mayor o igual a la resistencia a tracción del aislamiento que se está fijando, de modo que, en caso de fallo, este se produzca por desgarro del panel aislante y nunca por fallo del adhesivo. Como ejemplo, la Guía IDAE [IDAE, 2012] recomienda para el EPS un valor mínimo de 80 kPa y para la MW de 60 kPa.

El mismo criterio debe seguirse para la adherencia con el paramento, medido en esta ocasión según la norma UNE-EN 1542 *“Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la adhesión por tracción directa”* [AENOR^o, *Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Determinación de la adhesión por tracción directa*, 2020].

En función de la extensión del adhesivo sobre la superficie del aislante, los adhesivos se pueden aplicar de dos maneras: mediante la fijación en toda la superficie y con fijación de borde y punto.

- a. Fijación en toda la superficie

El campo de aplicación de este modo de fijación se encuentra cuando los soportes están nivelados y con una planimetría casi perfecta. Se ejecuta aplicando el mortero adhesivo con máquinas sobre el soporte o a mano sobre el panel aislante, empleando una llana dentada. Este método está indicado únicamente cuando existen irregularidades mínimas sobre el soporte.

- b. Fijación de borde y punto

Este tipo de fijación se emplea cuando el soporte presenta irregularidades de hasta 1 cm. En este caso, el mortero adhesivo se coloca en todo el borde de la placa con un ancho de 5 cm y en el centro del panel se colocan tres “pegotes” de mortero adhesivo. El espesor del mortero adhesivo no debe ser superior a 2 cm y debe existir una superficie de contacto del mortero adhesivo con el paramento de como mínimo un 40%.

2.2. Fijación mediante adhesivos y fijación mecánica fijación mediante adhesivos y fijación mecánica

Los casos en los que es necesario fijar el aislamiento mediante un adhesivo y espigas se indican a continuación.

- Cuando la capacidad de sustentación del soporte sea inferior a 80 kPa.
- Cuando el peso por unidad de superficie del sistema SATE sea superior a 30 kg/m².
- Cuando sea necesario debido a la acción del viento.
- Cuando la altura del edificio sea superior a 18 m.
- Cuando el panel del aislamiento sea de lana mineral, fibra de madera, caucho o poliuretano conformado.

Este tipo de fijación puede realizarse de tres formas: fijación mediante adhesivo y espigas de platillo o espirales; fijación mecánica mediante perfiles; y fijación mixta.

a. Fijación mediante adhesivo y espigas de platillo o espirales

En este caso las espigas deben distribuirse de forma homogénea en el panel y su número debe ser el suficiente para resistir la acción del viento calculada según el documento del Código Técnico de la Edificación “*Documento Básico. Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación*” [CTE, *Documento Básico. Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación*, 2009]. Cuando no se realice un cálculo estático para determinar el número de espigas necesario que se deben colocar por metro cuadrado de superficie, puede utilizarse la *tabla 3*, en la cual se indica este número en función de la velocidad del viento, la altura del edificio y las condiciones de entorno del mismo.

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 (m)								
	< 10	10-25	25-50	< 10	10-25	25-50	< 10	10-25	25-50
<85	6	6	6	6	6	6	6	6	6
85-115	8	10	12	8	8	10	6	8	10
115-135	10	12	12	10	12	12	8	10	12

Tabla 3. Número de espigas por metro cuadrado

En la *figura 4* se muestra la distribución de espigas para un panel tipo de 1000 mm de base y 500 mm de altura.

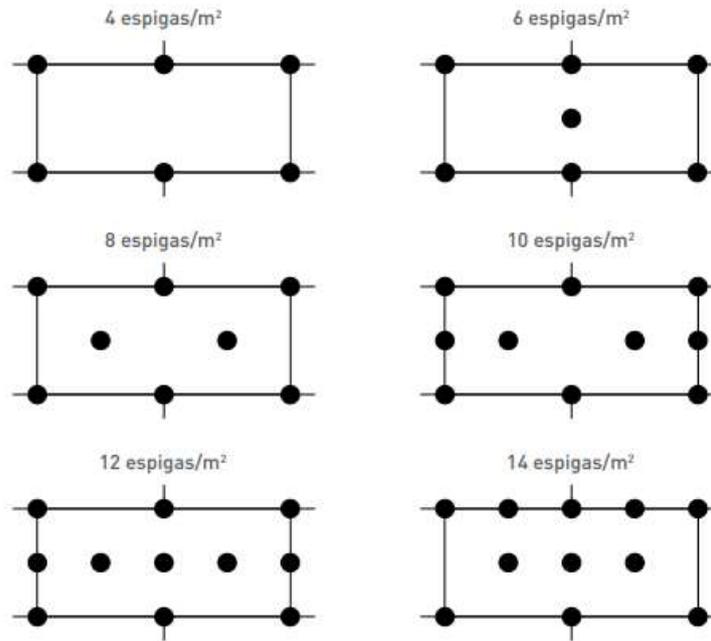


Figura 4. Disposición de las espigas para un panel de 1 x 0,5 m

En las esquinas y en la zona superior de las fachadas de los edificios la carga debida al viento es mayor que en el resto de la fachada por lo que el sistema debe ser anclado en estos puntos con un mayor número de espigas (figura 5)

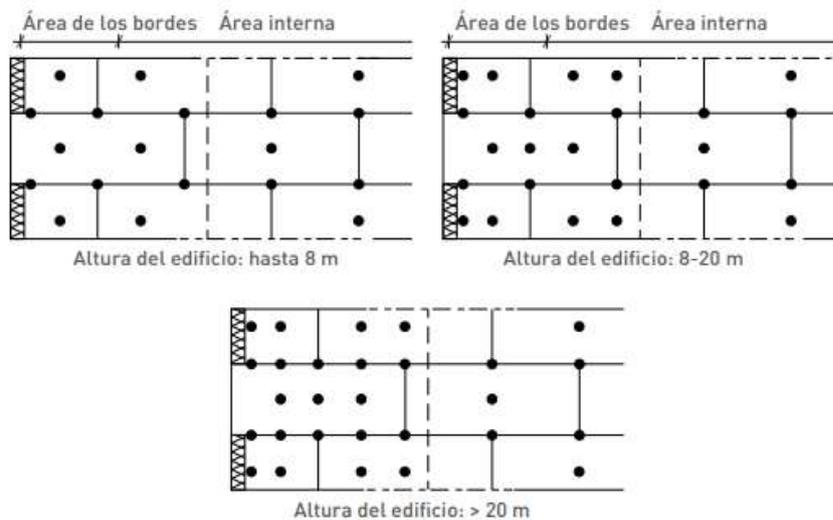


Figura 5. Disposición de espigas en las esquinas del edificio

b. Fijación mecánica mediante perfiles

Este sistema de fijación solo es válido cuando se emplea como aislamiento planchas de poliestireno expandido (EPS).

El montaje de las planchas de EPS con perfiles soluciona posibles problemas de sujeción a superficies con problemas de planimetría o discontinuidades y puede corregir desplomes existentes.

Es un sistema indicado cuando el soporte no admite el adhesivo o el sustrato presenta irregularidades superiores a 3 cm. También está muy indicado cuando la retirada del revoque antiguo es muy costosa o complicada.

c. Fijación mixta

Este sistema solo es válido cuando el aislamiento está formado por planchas de EPS. Consiste en la colocación de un anclaje sobre la base y posteriormente una pellada de mortero adhesivo sobre el anclaje. Esta pellada de mortero es la que fija la plancha de aislamiento a la base. Presenta la ventaja de eliminar el puente térmico causado por el anclaje metálico, que en este caso no atraviesa la plancha del aislamiento.

3. Aislamiento

Los materiales empleados en un sistema SATE como aislamiento y que posean una norma europea armonizada deberán disponer del marcado CE conforme a las normas UNE-EN 13162 a 13171.

Los materiales más empleados como aislamiento son: poliestireno expandido (EPS), lana mineral (MW), poliuretano conformado (PUR), poliestireno extruido (XPS), corcho expandido y vidrio celular.

En la *tabla 4* cuya información se ha extraído del documento elaborado por Asociación de Fabricantes de Morteros y SATE (ANFAPA) “Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior SATE” [ANFAPA, Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior SATE, 2021] se indican los valores de conductividad térmica de los materiales más empleados como aislamiento térmico en un sistema SATE junto con la norma UNE-EN que los regula.

Material empleado como aislante	Siglas habituales	Norma UNE-EN	Conductividad térmica λ (W/mK)
Poliestireno expandido	EPS	13163	0,034-0,038 (blanco) 0,031-0,034 (gris)
Poliestireno extruido	XPS	13164	0,033-0,036
Lana mineral	MW	13162	0,032-0,037
Poliuretano	PU	13165	0,023-0,028
Espuma fenólica	PF	13166	0,020-0,023

Tabla 4. Conductividad térmica de los materiales más habitualmente empleados como aislantes en sistemas SATE [ANFAPA, 2021]

En la *tabla 5* se indican las densidades y los pesos por unidad de superficie para paneles de aislamiento de distintos materiales y con distintos espesores

Material	Espesor (mm)	Densidad (kg/m ³)	Peso (kg/m ²)
EPS	42	20	0,84
XPS	39	35	1,37
MW	41	155	6,36
PU	32	33	1,06
PF	40	35	1,40

Tabla 5. Densidades y pesos de paneles aislantes de diferentes materiales

En la colocación del asilamiento deben seguirse las siguientes recomendaciones:

- Todos los elementos salientes de la fachada como por ejemplo vierteaguas o coronaciones deben colocarse antes que el aislamiento para asegurar que se pueda aplicar el tratamiento impermeable correcto a la junta.
- Los paneles de aislamiento deben colocarse contrapeados, colocados de abajo hacia arriba. Se considera que el contrapeado es correcto cuando la distancia de separación es superior al espesor del panel aislante.
- Se debe proceder al relleno de los espacios abiertos entre paneles con tiras del mismo material aislante.
- En las aristas de los edificios se deben colocar paneles enteros o medios paneles.

4. Malla de refuerzo

Está formada por fibra de vidrio aprestada y debe poseer un tratamiento antiálcali para impedir que pierda sus propiedades cuando se embebe en el mortero. Tiene como función la mejora de las características mecánicas de los morteros y contribuye de manera significativa a absorber las tensiones que se puedan generar entre las planchas de aislamiento.

Existen dos tipos de malla: la malla convencional, para los usos habituales y la malla de doble refuerzo, empleada cuando exista riesgo de golpes sobre la fachada por el tránsito de vehículos o personas.

En la *tabla 6* se indica, en función del tipo de aislamiento empleado, el espesor de mortero recomendado y la posición de la malla de refuerzo.

Tipo de aislamiento	Espesor de mortero (mm)	Posición de la malla de refuerzo
EPS, PU	3	Integrada en el mortero
Corcho, EPS, PU, MW	5	Siempre integrada en el mortero antes de la última capa
Corcho, EPS, MW	8	Siempre integrada en el mortero antes de la última capa

Tabla 6. Espesor de mortero recomendado y la posición de la malla de refuerzo

En el caso de mallas de doble refuerzo, pueden requerirse mayores espesores de mortero y puede ser necesario consultar al fabricante. La malla debe solaparse como mínimo 10 cm.

En la *tabla 7* se indican características de las mallas convencionales y de doble refuerzo.

Característica	Malla convencional	Malla de doble refuerzo
Peso por unidad de superficie (g/m ²)	145 - 165	330 - 370
Resistencia a la tracción (N/50mm)	≥ 1000	≥ 2000
Alargamiento a la rotura (%)	4 - 6	4 - 6

Tabla 7. Características de las mallas convencionales y de doble refuerzo

5. Capa de acabado

Su principal función es proteger al sistema de la radiación solar, la lluvia y otros agentes del exterior. Tiene que ser impermeable al agua y permitir el paso del vapor de agua. Es la última capa del sistema por lo que también posee una misión estética.

Los acabados más habituales son los siguientes:

- Revoques de naturaleza mineral, silicona / siloxano o acrílicos.
- Revoques de naturaleza mineral base cemento más su imprimación correspondiente.
- Mortero de juntas y cola para aplacados de ladrillo acrílicos, cerámicos, de arcilla y de piedra.

3. ANÁLISIS DE LAS CARGAS TRANSMITIDAS POR UN SISTEMA SATE A LA ESTRUCTURA ORIGINAL DEL EDIFICIO

El análisis de las cargas transmitidas por un sistema SATE a la estructura original del edificio se va a realizar en dos fases: en primer lugar, se va a obtener el valor de las cargas de un sistema SATE; en segundo lugar, se va a realizar el estudio de la medida en la que afectan a la estructura del edificio.

Para el estudio se va a analizar el caso de un SATE formado por una primera capa de tratamiento del soporte con un enfoscado de cemento, un aislamiento térmico de poliestireno extruido de 7 cm de espesor, una malla de doble refuerzo y una capa de acabado formada por un revoco de mortero de cemento. En la *tabla 8* se indican los materiales que forman el SATE junto con su peso por metro cuadrado y la carga total suponiendo que la altura entre puntos medios de forjados es de 3,00 metros.

Capa del SATE	Material	Peso por m ² (kN/m ²)	Peso por 3 m de altura (kN/m)
Tratamiento del soporte	Enfoscado de cemento	0,20	0,60
Aislamiento	XPS (7 cm)	0,0246	0,0738
Malla de refuerzo	Malla doble	0,0037	0,011
Acabado	Revoco de cemento	0,20	0,60
TOTAL		0,0427	1,28

Tabla 8. Evaluación del peso del SATE

De la tabla 8 se obtiene que un sistema SATE, incluso cuando existen dos capas de mortero de cemento como preparación del soporte y acabado, únicamente supone una carga de 1,28 kN/m (aproximadamente 130 kg/m).

Para analizar la influencia que pueda tener esta carga sobre la estructura existente solo hay que pensar que este valor de carga es inferior al que supondría una estantería con libros pegada a la fachada de la casa por el interior de la vivienda. También es inferior al que supondría un alicatado con azulejos de gres recibidos con mortero de cemento, aproximadamente 1,6 kN/m (160 kg/m), para una altura de 3 m, que es con la que se han calculado los valores de la *tabla 8*.

Es decir, la influencia del peso del SATE sobre la estructura del edificio es totalmente despreciable y no existe la necesidad de recalcularse la estructura cuando se ejecuta un SATE. No se produce una variación esencial del conjunto del sistema estructural del edificio, de igual forma que no se recalcula cuando se colocan estanterías con libros o se ejecutan alicatados en las paredes.

4. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN ARQUITECTÓNICA DEL EDIFICIO

Según la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), se entiende que no se varía la configuración arquitectónica de un edificio cuando no se produce una variación esencial de la composición general exterior, la volumetría, o el conjunto del sistema estructural, o se realiza una actuación que tenga por objeto cambiar los usos característicos del edificio.

La ejecución de un sistema SATE sobre un edificio existente no varía en ningún caso su configuración arquitectónica porque se mantiene igual a la del edificio sobre el que se actúa, sin generar una variación esencial de la composición general exterior, la volumetría, o el conjunto del sistema estructural. Se mantienen los huecos existentes, su disposición y las distancias y relaciones entre ellos, así como la de todos los elementos de la envolvente del edificio que dan lugar a la configuración arquitectónica. Únicamente se actúa sobre el acabado exterior de la envolvente del edificio.

La variación de la volumetría del edificio sobre el que se actúa prácticamente no sufre modificación y, en cualquier caso, es despreciable, como se va a demostrar a continuación estudiando dos casos.

El primer caso a considerar será un edificio muy crítico en cuanto a la variación de volumetría como consecuencia de la ejecución de un sistema SATE. Se va a analizar una vivienda unifamiliar aislada de planta cuadrada con fachadas de 10 metros de longitud y 3 metros de altura con cubierta plana. El volumen de este edificio (V_{E1}) será:

$$V_{E1} = 10 \cdot 10 \cdot 3 = 300m^3$$

Si se ejecuta un sistema SATE de 10 cm de espesor total sobre las cuatro fachadas, estas incrementarán su longitud hasta 10,2 metros y el volumen (V_{SE1}) después de la intervención será:

$$V_{SE1} = 10,2 \cdot 10,2 \cdot 3 = 312,12m^3$$

La variación porcentual de volumen ($\Delta V\%$) producida será:

$$\Delta V\% = \frac{V_{SE1} - V_{E1}}{V_{E1}} 100 = \frac{312,12 - 300}{300} 100 = 0,04\%$$

Es decir, únicamente se incrementa su volumen en un 0,04%, lo cual es una cantidad despreciable y esto estudiando un edificio muy pequeño, que es cuando mayor es la variación de volumen.

En un segundo caso se va a considerar un edificio también cuadrado de 30 metros de fachada y 9 metros de altura, en el cual se va a ejecutar un SATE de las mismas dimensiones del estudio anterior.

Repetiendo las operaciones del edificio 1:

$$V_{E2} = 30 \cdot 30 \cdot 9 = 8100m^3$$

$$V_{SE2} = 30,2 \cdot 30,2 \cdot 9 = 8208,36m^3$$

$$\Delta V\% = \frac{V_{SE2} - V_{E2}}{V_{E2}} 100 = \frac{8208,36 - 8100}{8100} 100 = 0,01\%$$

En este caso el incremento de volumen es tan solo del 0,01%.

A partir de este estudio, se puede afirmar que **la variación de la volumetría del edificio sobre el que se actúa ejecutando un SATE practicante no sufre modificación y, en cualquier caso, es despreciable.**

5. ANÁLISIS Y DICTAMEN ACERCA DE SI LA COLOCACIÓN DE PLACAS FOTOVOLTAICAS EN LA CUBIERTA DE UN EDIFICIO AFECTA A SU SEGURIDAD ESTRUCTURAL

El Documento Básico Seguridad Estructural – Acciones en la Edificación del Código Técnico de la Edificación establece en su punto 3.1.1. *Valores de la sobrecarga* los valores característicos de las sobrecargas de uso en la tabla 3.1. A continuación se reproduce la parte de esta tabla que indica los valores a adoptar en las cubiertas de los edificios (*tabla 9*).

Categoría de uso	Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]	
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente		1	2	
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación	G1	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado)	0,4	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 9. Tabla 3.1 del CTE indicando los valores característicos de la sobrecarga de uso sobre cubiertas

El CTE indica textualmente respecto de los valores de sobrecarga:

“Dichos valores incluyen tanto los efectos derivados del uso normal, personas, mobiliario, enseres, mercancías habituales, contenido de los conductos, maquinaria y en su caso vehículos, así como las derivadas de la utilización poco habitual, como acumulación de personas, o de mobiliario con ocasión de un traslado”.

El CTE establece que las cubiertas deben resistir las cargas uniformes y concentradas de la tabla 9 de manera independiente y no simultánea. Actualmente los paneles solares más habituales (basados en silicio) tienen un peso de entre 10 kg y 12 kg por metro cuadrado. A lo que debe sumarse el peso de la estructura coplanar, que suele estar entre 2 kg y 4 kg. También, existen otros paneles solares (capa fina) más ligeros que los módulos de silicio que además son flexibles. Estas cargas son muchísimo menores que las cargas uniformes o concentradas que las cubiertas deben resistir (tabla 3.1 del CTE), por lo que se puede afirmar que **la instalación de un sistema de placas fotovoltaicas sobre la cubierta de un edificio no supone ningún peligro para la estructura del mismo, ni la variación esencial del conjunto del sistema estructural del edificio. Es más, los valores de sobrecarga indicados por el CTE incluyen este tipo de actuaciones, por lo que no se requiere ningún tipo de estudio estructural.**

6. CONCLUSIONES

- Respecto al análisis de las cargas transmitidas por un sistema SATE a la estructura original del edificio: Los resultados obtenidos con los análisis efectuados en este informe permiten afirmar sin lugar a duda, que **la ejecución de un sistema SATE sobre un edificio ya construido supone un incremento de cargas de un valor absolutamente despreciable respecto de las cargas que la estructura original debe resistir, por lo que no es preciso realizar un recálculo de la estructura original del edificio. No se produce una variación esencial del conjunto del sistema estructural del edificio.**
- Respecto a la posible modificación de la volumetría del edificio: **La variación de la volumetría del edificio sobre el que se actúa ejecutando un SATE prácticamente no sufre modificación y, en cualquier caso, es despreciable.**
- Respecto a la influencia de la colocación de placas fotovoltaicas sobre la cubierta de un edificio: **La instalación de un sistema de placas fotovoltaicas sobre la cubierta de un edificio no supone ningún peligro para la estructura del mismo. Es más, los valores de sobrecarga indicados por el CTE incluyen este tipo de actuaciones, por lo que no se requiere ningún tipo de estudio estructural. Tampoco en este caso se produce una variación esencial del conjunto del sistema estructural del edificio.**

- En consecuencia, en ninguno de los dos supuestos analizados se produce una alteración de la configuración arquitectónica del edificio.

Madrid, 14 de enero de 2024

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Alfonso Cobo Escamilla', written in a cursive style.

Alfonso Cobo Escamilla
Dr. Ingeniero Industrial, Arquitecto, Arquitecto Técnico
Catedrático de Estructuras
Universidad Politécnica de Madrid