

Resumen ejecutivo.....	1
Introducción.....	2
Configuración del ensayo.....	3
Escenario del incendio y configuración del ensayo.....	3
Condiciones ambientales del ensayo..	3
Sistemas de cubierta y fotovoltaicos ...	3
Datos registrados y observaciones.....	4
Propagación del fuego sobre cubiertas.....	4
Temperaturas en el centro y debajo de las capas de aislamiento.....	5
Daños / Propagación del incendio hacia el interior.....	6
Resumen y conclusiones.....	6
Referencias y notas.....	7
Descargo de responsabilidad.....	7

Glosario

- BAPV (Building Attached Photovoltaics): En BAPV, los módulos fotovoltaicos se fijan a los edificios mediante una estructura adicional de montaje (a veces también llamada "edificio conectado")
- BIPV (Building Integrated Photovoltaics): Productos fotovoltaicos que se utilizan para sustituir a los materiales de construcción convencionales en partes de la envolvente del edificio como la cubierta, los lucernarios o las fachadas
- FM: Compañía de seguros Factory Mutual
- MW: Lana mineral según EN13162
- PIR: Según EN13165 "Productos manufacturados de espuma rígida de poliuretano (PU)"
- Conjunto PV: Conjunto de paneles fotovoltaicos unidos entre sí
- Panel PV: Panel fotovoltaico individual que puede construirse a partir de uno o varios módulos fotovoltaicos
- TC: Termopar

Comportamiento frente el fuego de los productos de aislamiento térmico en condiciones de uso final

Ensayos de fuego comparativos para investigar la contribución de los productos de aislamiento térmico de PIR y MW al comportamiento al fuego de las cubiertas planas debajo de sistemas fotovoltaicos

Resumen ejecutivo

La seguridad contra incendios es un aspecto importante para el diseño y la construcción de edificios.

Cada vez se instalan más sistemas fotovoltaicos en los edificios para ayudar a cumplir con el ahorro de energía y la reducción de las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero), así como para reducir las facturas de los usuarios. En varios países la instalación de sistemas fotovoltaicos en viviendas de nueva construcción y, sobre todo, en grandes instalaciones industriales se ha convertido en obligatoria. Por ello, es importante que los reguladores y las compañías de seguros dispongan de los resultados de esta investigación de forma que les permitan tomar decisiones basadas en el riesgo.

El PIR es el producto de aislamiento térmico seleccionado especialmente para las cubiertas planas. Además de su excelente rendimiento térmico, la estabilidad mecánica de las placas aislantes PIR permite la instalación y el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos por encima del sistema de impermeabilización y aislamiento de la cubierta.

Los arquitectos, los propietarios de edificios, los reguladores y las compañías de seguros deben saber que en caso de incendio con sistemas fotovoltaicos, los objetivos de

seguridad de las cubiertas planas se cumplen.

La seguridad contra incendios de los sistemas fotovoltaicos y las instalaciones conectadas

Mientras que las regulaciones y las normas se han desarrollado para evitar que las instalaciones fotovoltaicas y el cableado eléctrico y equipos asociados se conviertan en una fuente de ignición, los daños causados por las condiciones meteorológicas y/o una posible instalación defectuosa significa que sigue existiendo el riesgo de que se produzca un incendio. Los sistemas fotovoltaicos no se consideran productos de construcción, por lo que no se les aplica ningún requisito de reacción al fuego o de marcado CE bajo la actual CPR. Aunque el comportamiento en caso de incendio de los sistemas fotovoltaicos es un parámetro importante que debe considerarse, este aspecto no se trata en este documento.

Consideraciones adicionales para cubiertas en combinación con sistemas fotovoltaicos

En Europa, la propagación del fuego sobre y hacia dentro del sistema de impermeabilización y aislamiento de la cubierta expuesta a una fuente de ignición externa puede evaluarse y regularse utilizando uno de los 4 métodos de ensayo que se indican en CEN TS 1187 [1] y la norma de clasificación correspondiente.

En esta configuración se demostró que no es necesario exigir aislamiento incombustible en términos de propagación del fuego y daños internos.

EN13501-5 [2]. En el caso de las cubiertas con sistemas fotovoltaicos instalados encima del sistema de cubierta, las compañías de seguros y algunos reguladores se preguntan si el nivel de seguridad históricamente aceptado sigue siendo suficiente en combinación de estos sistemas, teniendo en cuenta que los sistemas fotovoltaicos pueden ser una posible fuente de ignición y pueden añadir carga de fuego a la cubierta. Además, se teme que puedan intensificar los incendios debido a la radiación.

Como medida de mitigación simplista, varias compañías de seguros han propuesto exigir la sustitución del aislamiento combustible de las cubiertas por productos incombustibles si se instalan sistemas fotovoltaicos en la parte superior de la cubierta. Para determinar si esta propuesta está justificada, PU Europe encargó dos ensayos comparativos. Se eligieron dos sistemas de cubierta aprobados por FM [3], uno aislado con PIR y otro con MW. Los paneles fotovoltaicos se dispusieron en una configuración comúnmente utilizada en el norte y el oeste de Europa utilizándose un quemador de gas como fuente de ignición externa.

En ambos ensayos, las velocidades de propagación del frente de la llama en las cubiertas fueron similares bajo los módulos fotovoltaicos. Además para la propagación

del fuego en el sistema de cubierta más allá del perímetro del módulo fotovoltaico fue imposible apreciar influencia directa de las capas de los diferentes aislamientos térmicos.

El aislamiento PIR sólo se carbonizó hasta poco más del 25% de su espesor y la cubierta se enfrió progresivamente después de que los paneles fotovoltaicos se quemaran.

Conclusiones de estos ensayos:

- Las cubiertas situadas bajo sistemas fotovoltaicos pueden estar expuestas a un alto nivel de calor y radiación;
- A pesar de la alta exposición al fuego resultante del quemador de gas combinado con la combustión de los módulos fotovoltaicos, el comportamiento del conjunto de cubierta con aislamiento PIR fue bueno comparado con la cubierta aislada con MW. La propagación del fuego sobre la cubierta más allá y alrededor de los sistemas fotovoltaicos fue similar para las cubiertas ensayadas;
- En esta configuración se demostró que no es necesario exigir aislamiento incombustible en términos de propagación del fuego y daños internos.

Los resultados aquí expuestos son específicos para las configuraciones de cubierta plana y sistema fotovoltaicos que se ensayaron.

Introducción

PU Europe encargó a “KIWA BDA Testing” llevar a cabo ensayos comparativos de dos sistemas de cubierta aprobados por FM en combinación con BAPV.

Los productos de construcción comercializados y aplicados en el Espacio Económico Europeo (EEE) tienen que ser ensayados y clasificados en cuanto a su reacción al fuego y/o resistencia al fuego para poder ser comercializados en el mercado con el marcado CE. En el caso de los sistemas de cubierta, existen requisitos específicos para clasificar el comportamiento al fuego en caso de exposición a un fuego exterior. Con la introducción de sistemas fotovoltaicos en las cubiertas podría ser necesario considerar requisitos adicionales.

Los sistemas fotovoltaicos que forman parte de la envolvente, como el BIPV, pueden ser ensayados y clasificados como productos de construcción de acuerdo con el CPR (Reglamento de Productos de Construcción [\(UE\) N° 305/2011](#)). En el caso de los sistemas fotovoltaicos integrados en las cubiertas – los llamados “in roof systems” – esto significa que están sujetos a la normativa nacional para cubiertas basada en los requisitos de reacción al fuego (basada en la norma EN13501-1) y en relación con la exposición a un fuego externo de cubiertas (EN13501-5) como para todos los demás productos para cubiertas.

Los sistemas que son instalados sobre

las cubiertas acabadas, como el BAPV, no son considerados como productos de construcción en Europa según la CPR. Ellos están sujetos a la directiva de baja tensión [\(2014/35/UE\)](#). No obstante, las autoridades de construcción de algunos países han introducido requisitos relativos a la reacción al fuego para los módulos fotovoltaicos instalados sobre cubiertas (por ejemplo, en Alemania se exige un mínimo de clase E según la norma EN13501-1) y están trabajando en esquemas de certificación, instalación y mantenimiento (por ejemplo, en los Países Bajos). Algunos países de la Unión Europea están investigando exigencias y esquemas de certificación adicionales.

Recientemente, el comité europeo de normalización CEN/TC 127 “Seguridad contra incendios en edificios” comenzó a trabajar para investigar la necesidad de desarrollar una norma o especificación técnica que cubra los efectos combinados para la seguridad contra incendios de las cubiertas y los módulos fotovoltaicos. Además, las compañías de seguros han empezado a considerar requisitos adicionales para asegurar edificios con sistemas BAPV, con algunos de sus expertos considerando cada vez más permitir sólo el aislamiento

incombustible en las cubiertas bajo estos sistemas.

PU Europe encargó a “KIWA BDA Testing” llevar a cabo ensayos comparativos de dos sistemas de cubierta aprobados por FM en combinación con BAPV en el Troned Twente Safety Campus en los Países Bajos.

Los ensayos se realizaron en 2021 y se quería evaluar el impacto de los materiales de aislamiento ensayados en el comportamiento frente al fuego de un conjunto de cubiertas en respuesta a un incendio con un sistema BAPV, en términos de propagación y penetración del fuego.

Los ensayos no pretendían calificar productos aislantes (marcas), sino que se realizaron únicamente:

- para explorar si un requisito general

para usar productos aislantes no combustibles está justificado en los sistemas de cubiertas debajo de los sistemas fotovoltaicos, con el fin de limitar la propagación y penetración del fuego en caso de incendio;

- proporcionar información general sobre cómo el comportamiento ante el fuego de dos productos de aislamiento diferentes influye en el comportamiento frente al fuego de un sistema de cubierta plana debajo de BAPV.

Otros factores que influyen en el comportamiento de una cubierta con BAPV cuando se expone a un fuego externo, tales como la respuesta de la estructura de soporte fotovoltaica, sus detalles de instalación y el comportamiento frente al fuego de los propios paneles fotovoltaicos, no se han tenido en cuenta en este programa de ensayos.

Configuración del ensayo

Se ensayaron dos sistemas de cubierta de 6 m x 6 m idénticos excepto por la capa de aislamiento.



Figura 1: Conjunto fotovoltaico en la cubierta plana tras la ignición del quemador de gas

Escenario del incendio y configuración del ensayo

Los ensayos simulaban un incendio externo que se inició debajo de un conjunto fotovoltaico en la parte superior de la cubierta plana.

La fuente de ignición utilizada fue un quemador de gas como el que se propone en la norma CENELEC CLC/TR 50670:2016 [4] que se aplicó durante 10 minutos. Se ha demostrado que este quemador proporciona una exposición al fuego en la cubierta que conduce a resultados comparables a los de la cesta de madera utilizada en la norma CEN/TS 1187 t1, que representa antorchas ardiendo [5].

Los termopares se instalaron directamente en la chapa de acero y en medio de las capas del producto aislante. Se grabaron vídeos para ambos ensayos.

Condiciones ambientales del ensayo

Los dos ensayos se realizaron al aire libre en el mismo día. La dirección del viento cambió entre el primer ensayo y el segundo y se pudo observar claramente que la dirección del viento tiene una fuerte influencia en la dirección de la propagación de las llamas en la cubierta.

Una diferencia adicional entre los dos ensayos fueron las condiciones ambientales. El primer ensayo con aislamiento MW se realizó por la mañana cuando la humedad del aire era alta y la temperatura seguía siendo fresca. Las temperaturas máximas en el centro de la capa de aislamiento fueron de 13 °C para el MW y de 33,9 °C para el PIR al inicio de los ensayos.



Figura 2: Disposición de la instalación fotovoltaica en la cubierta

Sistemas de cubierta y fotovoltaicos

Se ensayaron dos sistemas de cubierta de 6 m x 6 m idénticos excepto por la capa de aislamiento.

Para los ensayos, se eligieron sistemas de cubierta aprobados por FM que incluían PIR y MW respectivamente, dos tipos de productos comúnmente utilizados para aislar cubiertas planas.

Los sistemas constaban de una membrana impermeabilizante (PVC), una capa de aislamiento, una barrera de vapor (lámina de PE) y una chapa de acero. Los espesores de los aislantes eran tales que los sistemas de cubierta fueran térmicamente equivalentes (aislamiento PIR: una capa de 142 mm; aislamiento MW 2 capas de 130 mm, es decir, un espesor total de 260 mm).

El sistema fotovoltaico estaba compuesto por paneles fotovoltaicos con láminas traseras con clase de fuego C según la norma IEC 61730-2 [6]. Cuatro de esos paneles (tamaño total de 3,2 m x 1,84 m, ángulo con respecto a la cubierta 13°) se instalaron en una configuración “back to back” que imita la

configuración este-oeste que se utiliza cada vez más en Europa del Norte y del Oeste. Con el fin de tener un escenario lo más crítico posible para la propagación del fuego, no había escudos verticales en los extremos abiertos del conjunto fotovoltaico.

Datos registrados y observaciones

El daño a la capa de impermeabilización y la capa superficial de aislamiento fue similar en ambos ensayos.



Figura 3: Muestras el día después del ensayo

Propagación del fuego sobre cubiertas

Ambos ensayos mostraron una intensa fase de ignición de los paneles fotovoltaicos que dio lugar a una propagación de las llamas autosostenida en la parte de la superficie de la cubierta fuera del perímetro del sistema fotovoltaico.

Con la configuración de los paneles fotovoltaicos elegida, la exposición al calor del sistema de cubierta aumentó por el atrapamiento parcial de las llamas bajo el vértice del sistema fotovoltaico y por la re-radiación del sistema fotovoltaico, así como por la carga de fuego de los propios paneles fotovoltaicos en llamas.

La dirección principal de la propagación del fuego más allá del sistema fotovoltaico fue diferente en los dos ensayos, impulsada por la dirección del viento.

El sistema fotovoltaico y el sistema de aislamiento e impermeabilización de la cubierta dejaron de arder después de unos 32 min (PIR) y 28 min (MW). En ambos ensayos, las llamas se autoextinguieron, sin necesidad de acción externa y no se extendieron al resto del área de la cubierta.

La *figura 3* muestra que la zona dañada en la cubierta en ambos ensayos fue limitada y muy similar [7].

Temperaturas en el centro y debajo de las capas de aislamiento

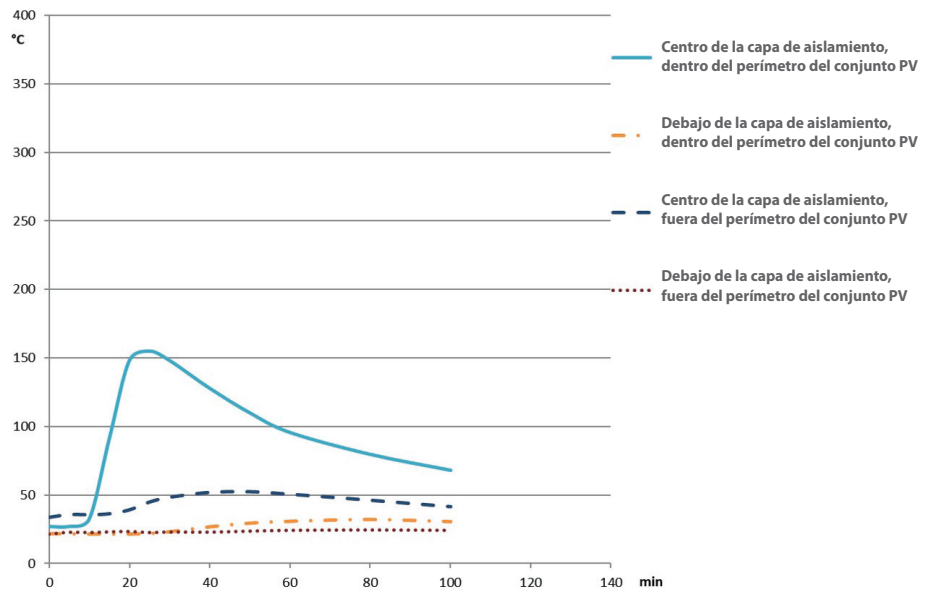
(véase también sección “Condiciones ambientales” para las temperaturas iniciales y la nota [8])
Para el sistema de cubierta con PIR, dentro del perímetro de la instalación fotovoltaica, las temperaturas en el centro de la capa de aislamiento alcanzaron 155 °C después de 23 minutos y comenzaron a disminuir después de este tiempo. En la chapa de acero, por debajo de la capa de aislamiento, dentro del perímetro del sistema fotovoltaico, sólo se pudo observar un ligero aumento (de 10 °C) en 80 minutos después del inicio del ensayo. La cubierta completa, incluida la chapa de acero, comenzó a enfriarse unos 80 minutos después del inicio del ensayo.

En el caso de la cubierta aislada de MW, dentro del perímetro del sistema fotovoltaico,

la temperatura en el centro de la capa de aislamiento alcanzó los 35°C a los 30 minutos después del inicio del ensayo. Aunque las llamas visibles cesaron a los 30 minutos después del inicio del ensayo, la temperatura alcanzó los 290°C después de 80 minutos y

siguió aumentando. La temperatura máxima registrada fue de 440°C después de 4 horas dentro del perímetro del sistema PV. Las mediciones nocturnas en la chapa de acero mostraron un pico de temperatura de 190°C.

Cubierta con aislamiento de PIR



Cubierta con aislamiento de MW

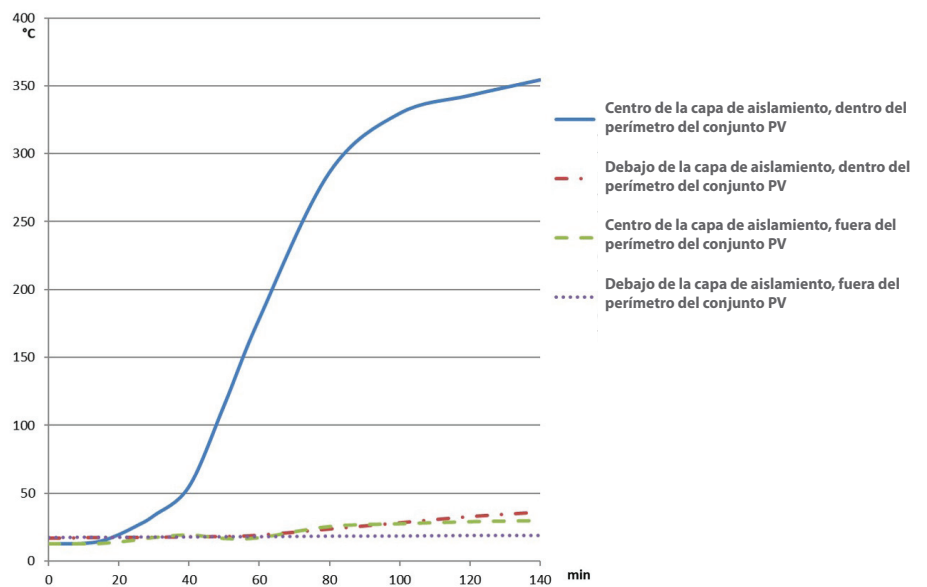


Figura 4: Temperaturas máximas en °C medidas después del inicio del ensayo

Daño / Propagación del incendio hacia el interior

El daño a la capa de impermeabilización y la capa superficial de aislamiento fue similar en ambos ensayos. El daño más interno en el aislamiento fue bastante diferente. En el caso de la cubierta de PIR, la capa de PIR sólo

se carbonizó hacia abajo desde la superficie alrededor de un 25% del espesor total.

La parte inferior del aislamiento y la barrera de vapor que se encuentra debajo no sufrió daños. En la cubierta de MW, los daños alcanzaron la chapa de acero de la cubierta y provocó la fusión de la barrera de vapor.

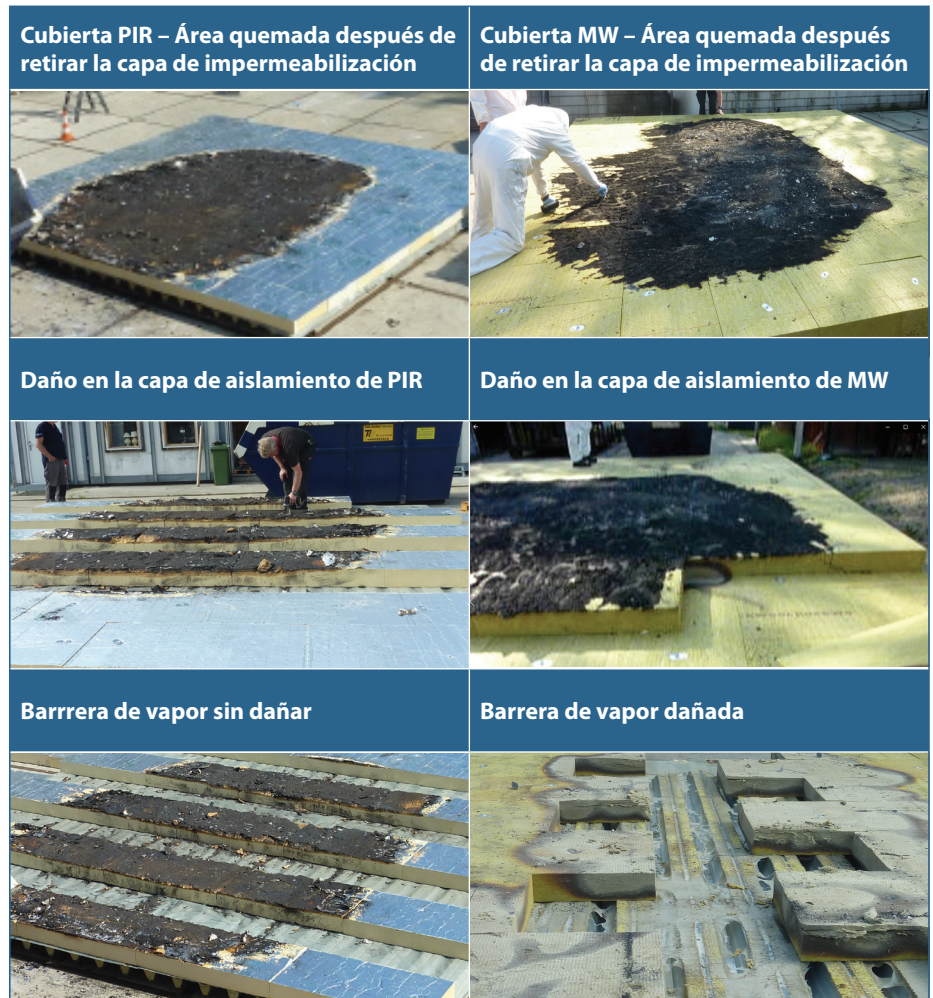


Figura 5: Fotos de las capas de aislamiento y de las barreras de vapor después del ensayo

Resumen y conclusiones

La diferencia en la propagación de llama entre las dos construcciones fue pequeña.

Dos sistemas de cubierta con sistemas PV (BAPV) sobre una chapa de acero fueron sometidos a un ensayo de fuego exterior. El concepto general del método de ensayo (4 módulos PV con dos filas de dos en una construcción de cubierta plana de 6 m x 6 m, se prendió fuego con un quemador según la norma CLC/TR 50670: 2016) que se supone que es una representación razonable del escenario de incendio que se está considerando.

Se demostró que el comportamiento de la cubierta aprobada por FM con aislamiento PIR y una membrana impermeabilizante combustible tuvo un resultado comparable a una cubierta similar con aislamiento de MW. Al final del ensayo para ambas construcciones no fue necesario extinguir las llamas. El fuego se extinguió sin intervención. El fuego no se propagó a través de la

superficie de la cubierta pero los sistemas PV se quemaron por completo. La diferencia en la propagación de llama entre las dos construcciones fue pequeña. Cuando se desmontaron las cubiertas al día siguiente tras los ensayos, la barrera de vapor en la chapa de acero no estaba dañada para el PIR, mientras que estaba parcialmente fundida en el caso del MW.

Para asegurarse de que los riesgos para los sistemas de cubierta bajo sistemas PV son completamente conocidos, ensayos adicionales podrían ser necesarios para demostrar que ni la penetración a través de la cubierta ni la propagación del fuego más allá del sistema PV puede ser esperable. El uso de un método de ensayo relevante para abordar esta falta de conocimiento es un enfoque más sólido que el de sustituir el PIR por un aislamiento no combustible.

Descargo de responsabilidad

Aunque toda la información y las recomendaciones en esta publicación han sido redactadas con el mayor cuidado y reflejan nuestros conocimientos en la materia en la fecha de publicación, nada de lo aquí expuesto debe interpretarse como una garantía, expresa o de otro tipo.

Este documento fue traducido al español por IPUR (Asociación de la Industria del Poliuretano Rígido) a partir de la **versión en inglés** realizada por PU Europe. En caso de disputa, la versión original sirve como referencia.

Referencias y notas

- [1] CENTS 1187:2012 Test methods for external fire exposure to roofs
- [2] EN 13501-5:2016 Classification using data from external fire exposure to roofs tests
- [3] FM 4470 Single-ply, polymer-modified bitumen sheet, built-up roof (BUR) and liquid applied roof assemblies for use in Class 1 and non-combustible roof deck construction
- [4] CLC/TR 50670:2016 External fire exposure to roofs in combination with photovoltaic (PV) arrays – Test method(s)
- [5] Bachelor Thesis, Constantin Niederwieser, Entwicklung einer Prüfmethode zur Beurteilung des Brandverhaltens von dachadditiven und dachintegrierten Photovoltaikanlagen, Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, 2013
- [6] IEC 61730-2:2016 Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing
- [7] Las áreas exactas no se han calculado, ya que debido a las diferentes direcciones del viento entre los dos ensayos, el fuego iniciado bajo el sistema fotovoltaico alcanzó el borde más cercano en el sistema de cubierta de PIR
- [8] Para la cubierta de PIR, la adquisición de datos se detuvo cuando se tuvo claro que todos los TCs se estaban enfriando. En el caso de la cubierta de MW, todos los TCs fueron monitorizados durante más tiempo, ya que había un aumento continuo de temperaturas durante un periodo de tiempo más largo.