



Guía de Seguridad Contra Incendios para Sistemas Fotovoltaicos instalados en Cubiertas Planas



Guía de Seguridad Contra Incendios para Sistemas Fotovoltaicos instalados en Cubiertas Planas

Grunde Jomaas, Aleš Jug, Nik Rus
Slovenian National Building and Civil Engineering Institute
Liubliana, 2026



Precio: gratuito

ISBN 978-961-7125-24-5 (PDF)



Índice

Resumen	1
Sumario	2
1. Introducción	3
2. Riesgo de incendio de sistemas fotovoltaicos en cubierta plana	9
3. Cubiertas planas con sistemas fotovoltaicos	14
4. Extinción de incendios	21
5. Preocupaciones generales	24
6. Bibliografía	28

Foto de portada: Incendio en el almacén de ASKO en Vestby, Noruega, en 2017. Copyright Tor Aage Hansen/ROCKWOOL Group.

El contenido refleja únicamente la opinión de los autores. La Comisión Europea no se responsabiliza del uso que pueda hacerse de la información aquí contenida. Este documento contiene información confidencial. Ni este documento ni la información aquí contenida podrán utilizarse, reproducirse ni comunicarse, por ningún medio, a terceros, ni total ni parcialmente, salvo con el consentimiento previo por escrito de ZAG. Esta leyenda de restricción no podrá modificarse ni eliminarse de este documento.

Ni la Comisión Europea ni ZAG se responsabilizan del uso que pueda hacerse de la información contenida en este documento.



Resumen

Instalar un sistema fotovoltaico en la cubierta de un edificio introduce nuevos riesgos de incendio o de daños al propio sistema. En primer lugar, se ha demostrado que las instalaciones fotovoltaicas aumentan la probabilidad de ignición por fallo de cualquiera de sus componentes eléctricos. En segundo lugar, la instalación fotovoltaica puede aumentar las consecuencias al permitir que un incendio en la cubierta se propague más rápido y a una mayor superficie. Por lo tanto, los sistemas fotovoltaicos aumentan tanto la probabilidad como las consecuencias de un incendio en la cubierta. Además, un sistema fotovoltaico en una cubierta implicará un cambio en las tácticas de extinción de incendios, ya que crea un obstáculo físico considerable y se deben tomar precauciones al combatir un incendio cerca de una instalación que transporta corriente eléctrica de forma constante.



Para mitigar con éxito las consecuencias de los incendios relacionados con la energía fotovoltaica y reducir su probabilidad, es necesario implementar medidas de seguridad eficaces. Para que las medidas de seguridad propuestas cumplan adecuadamente su propósito, su eficacia debe confirmarse mediante datos fiables procedentes de experimentos científicos o de estadísticas. Hasta que se conozcan adecuadamente los mecanismos de riesgo de incendio y cómo mitigarlos, se debe aplicar un enfoque precautorio en el diseño.

En las instalaciones fotovoltaicas en cubiertas planas, el riesgo puede mitigarse reduciendo la probabilidad de ignición y sus consecuencias. Tanto las buenas prácticas de instalación como el mantenimiento son necesarios para reducir el riesgo. La calidad y la disposición de la cubierta son fundamentales para mitigar las consecuencias del incendio y garantizar la seguridad de los bomberos. En cuanto a la limitación de las consecuencias de un incendio, se ha demostrado experimentalmente que la membrana impermeabilizante y el tipo de panel fotovoltaico desempeñan un papel menor que el del material aislante. Por lo tanto, tanto en rehabilitación como en nueva construcción, la principal recomendación es utilizar materiales de aislamiento no combustibles para detener la propagación del fuego en una gran superficie y evitar que el material aislante contribuya al incendio. Si se consideran otras soluciones, estas deberían demostrar una robustez similar en experimentos en los que se pruebe todo el sistema (segmento de cubierta y módulos fotovoltaicos) tal como se va a construir, a una escala que incluya varios módulos.



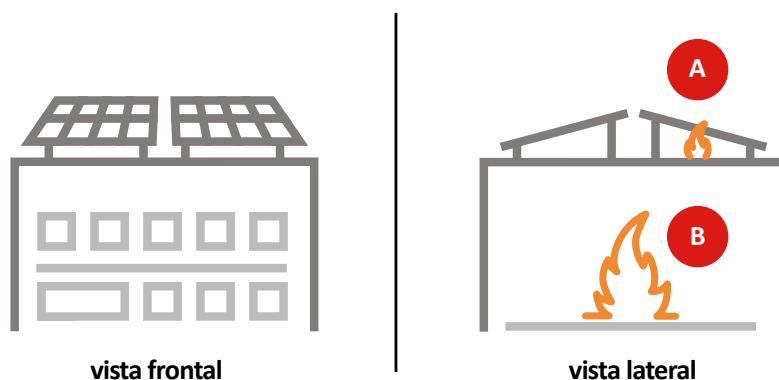
Sumario

En la presente guía, la atención se centrará en los edificios con cubiertas planas que incorporan sistemas fotovoltaicos (PV), es decir, sistemas fotovoltaicos aplicados a edificios (BAPV - Building Applied Photovoltaics). Si bien los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios (BIPV - Building-Integrated Photovoltaics) no se consideran en esta guía, varios aspectos también son aplicables a estos sistemas, especialmente si se instalan en cubiertas. Los sistemas BIPV instalados verticalmente también deberían considerar la seguridad frente a incendios en la fachada.

Los tipos de incendios relacionados con sistemas fotovoltaicos en cubierta se pueden clasificar en dos categorías principales (ilustradas en la siguiente figura):

A: Incendios con origen en la cubierta del edificio

B: Incendios con origen en el interior del edificio



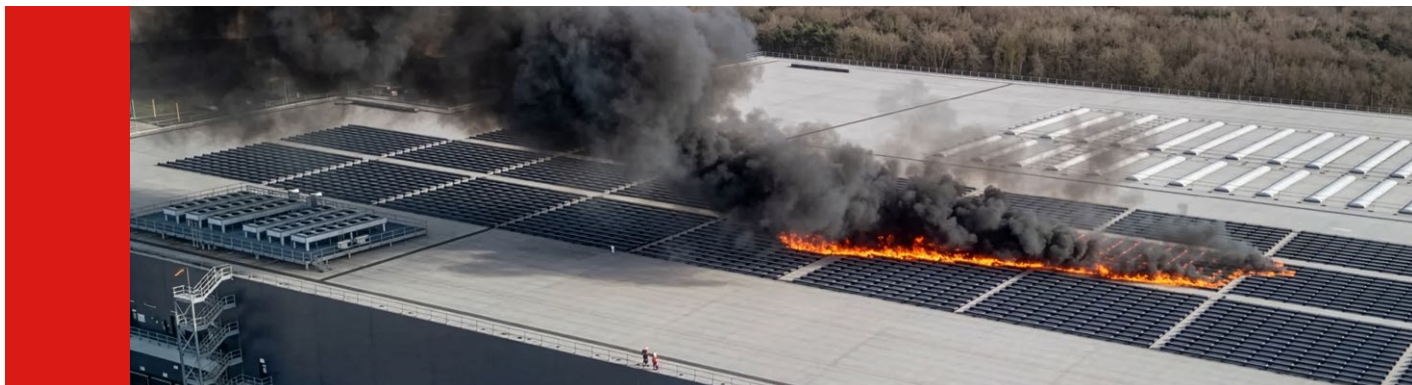
Como los incendios que se originan en el interior ya deberían estar contemplados en los códigos de edificación nacionales y/o en la regulación contra incendios, aquí se les da menos énfasis, aunque se mencionan en relación con una discusión posterior sobre la distribución de los paneles. Si se considera el caso de un incendio con origen dentro del edificio con fines de reducción de riesgos, a menudo son las compañías de seguros las que establecen las condiciones. Por ejemplo, en el Reino Unido, podría preverse que se requieran pruebas conforme a la norma LPS-1181-1 para su aprobación por el Loss Prevention Certification Board (LPCB). Aprobar este tipo de pruebas normalmente requerirá una cubierta no combustible.

Por último, dado que las especificaciones sobre el inicio del incendio se describen en detalle en varias otras guías e informes, aquí el enfoque se centrará más en los otros tres aspectos: la dinámica del fuego, la construcción de la cubierta y la lucha contra incendios.



1. Introducción

Como parte del plan REPowerEU, la Comisión Europea ha definido una estrategia ambiciosa para hacer obligatoria la instalación de paneles solares en cubiertas de todos los edificios. Esto se está implementando actualmente mediante la Directiva sobre Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD), que exigirá la instalación de sistemas solares en la mayoría de los edificios en el futuro.



Créditos fotográficos: www.cambsnews.co.uk y Terry Harris

Los Estados miembros deberán garantizar la implantación de instalaciones de energía solar adecuadas de la siguiente manera:

a partir de 2027	a partir de 2028	a partir de 2029	a partir de 2030	a partir de 2031
en todos los edificios públicos y no residenciales nuevos > 250 m ²	en todos los edificios públicos existentes > 2000 m ² y en los no residenciales existentes > 500 m ² , cuando el edificio se someta a una rehabilitación profunda	en todos los edificios públicos existentes > 750 m ²	en todos los edificios residenciales de nueva construcción y en todos los nuevos aparcamientos cubiertos	en todos los edificios públicos existentes > 250 m ²

Esto dará lugar a una transformación sin precedentes del parque edificatorio europeo y a una adopción significativa de la tecnología de paneles fotovoltaicos (PV) en las cubiertas. Esta transformación tiene el potencial de aportar beneficios significativos desde la perspectiva climática y energética, pero también supondrá nuevos retos de seguridad que deben previstarse y abordarse desde el principio.

Las primeras conclusiones indican que el riesgo asociado a la instalación de paneles fotovoltaicos no solo está relacionado con una mayor carga de fuego y la posibilidad de ignición, sino también con la manera en que se desarrolla un incendio en una cubierta. Este cambio en el comportamiento del fuego, si no se aborda adecuadamente, aumentará la extensión y la velocidad de propagación del incendio, así como la intensidad y las consecuencias de los



incendios. Al mismo tiempo, la presencia de módulos fotovoltaicos cargados eléctricamente y de obstáculos físicos representa un desafío adicional para los bomberos que enfrentan este tipo de incendios en cubiertas.

Las grandes compañías internacionales de seguros que evalúan el riesgo de incendio en edificios ya han reconocido los riesgos adicionales de incendio asociados a los sistemas fotovoltaicos (PV) instalados en cubiertas y han publicado recomendaciones sobre cómo mitigar estos riesgos para los edificios, las inversiones y la vida humana:



- **Allianz Risk Consulting:** [Fire Hazards of PV systems](#)
- **AXA Property Risk Consulting Guidelines:** [PV systems](#)
- **RSA Risk Control Guide:** [Photovoltaic Panels](#)
- **HIROC Risk Note:** [Rooftop Solar Panel System](#)
- **Zurich Article:** [The challenges and risks of solar panels](#)
- **IF Article:** [Put your roof to work in a safe manner](#)
- **Generali:** [Photovoltaic panels on roofs and fire risks](#) (en Francés)
- **FM Global:**
 - [FM 4478 \(Update\), Roof-Mounted Rigid Photovoltaic Module Systems](#)
 - [Systems and FM Global Property Loss Prevention Data Sheets 1-15](#)

Muchas de estas aseguradoras también reconocen que las pruebas existentes no son adecuadas y que, actualmente, el comportamiento al fuego de las cubiertas con sistemas fotovoltaicos no se comprende lo suficiente. Una recomendación habitual para cubiertas existentes es limitar la propagación del fuego mediante una capa no combustible colocada bajo los módulos fotovoltaicos.

El objetivo principal es establecer las condiciones adecuadas para garantizar un despliegue seguro a gran escala de los sistemas fotovoltaicos. Las recomendaciones del sector asegurador suelen aplicarse a grandes proyectos industriales y comerciales, como los centros comerciales. Sin embargo, estas medidas de seguridad contra incendios también deberían aplicarse a edificios de gran altura y a edificios públicos de alto riesgo, como escuelas, museos y hospitales. Las recomendaciones de las compañías de seguros aún no han sido contempladas ni por las regulaciones nacionales ni por la legislación de la UE.



Estadísticas sobre incendios relacionados con PV

Un análisis realizado por Mohd et al. (2022) sobre incendios en cubiertas con sistemas fotovoltaicos estimó que el número esperado de incendios es de 29 por cada GW de energía fotovoltaica instalada al año. Esto indica que pueden esperarse decenas de miles de incendios relacionados con sistemas fotovoltaicos al año solo en la UE. Dado que el número esperado de incendios es tan elevado, el objetivo es proporcionar orientación sobre cómo evitar que las consecuencias de un incendio en una cubierta fotovoltaica resulten significativas.

Además, Clean Energy Associates (CEA) ha realizado más de 600 auditorías de seguridad en instalaciones fotovoltaicas en cubiertas y ha descubierto que el 97% de los sistemas presentaban problemas de seguridad relacionados con riesgos de ignición. Más detalles sobre sus hallazgos se observan en el gráfico adjunto. Sobre la base de estas investigaciones, se puede hipotetizar que al menos un evento de ignición es inevitable durante la vida útil de cualquier instalación fotovoltaica. Estos resultados coinciden con los hallazgos de FM Global, que ha informado que sigue observando casos de ignición e incendios en edificios que cumplen con sus recomendaciones.

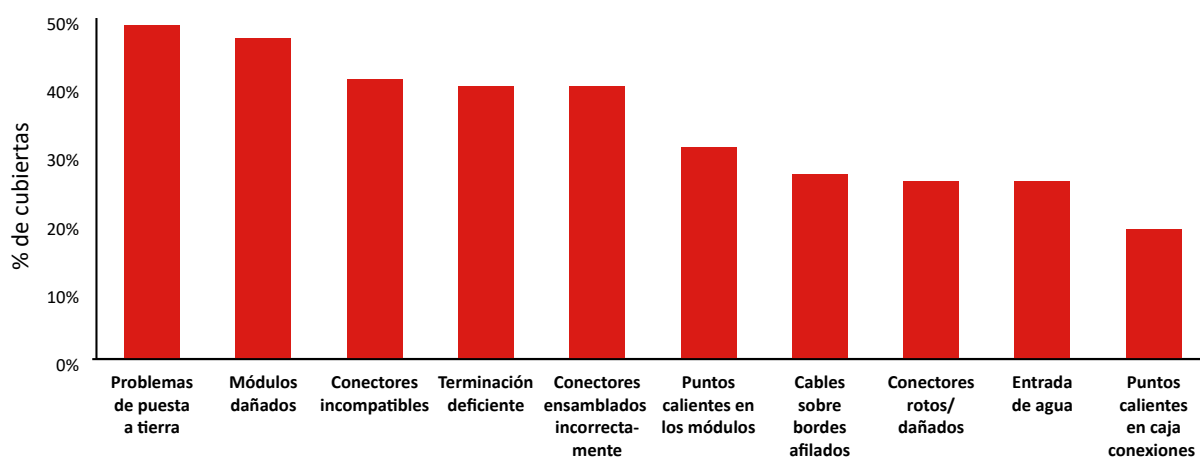
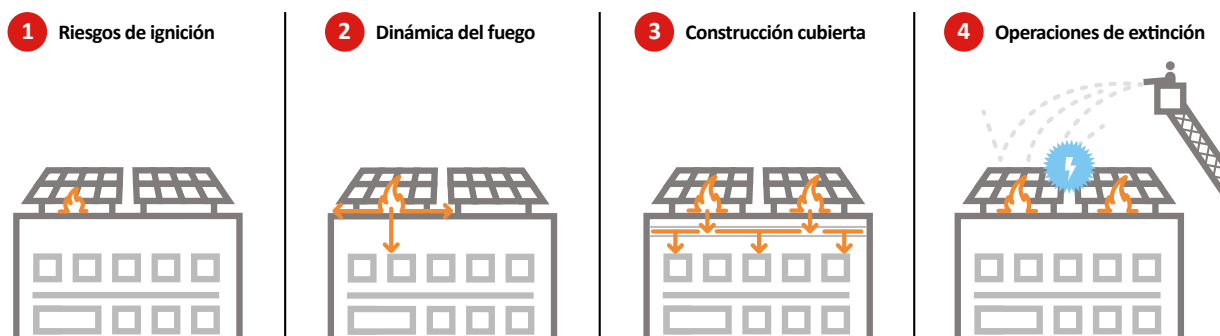


Figura 1: Resumen de los fallos reportados por Clean Energy Associates (CEA) (<https://www.cea3.com/cea-blog/top-10-pv-rooftop-safety-risks>) en 2023.

Sin embargo, no es solo el riesgo de ignición lo que debe abordarse en las instalaciones fotovoltaicas en cubiertas. La instalación generalizada de sistemas solares fotovoltaicos en las cubiertas ha suscitado preocupaciones sobre nuevos riesgos de incendio que, en términos generales, se agrupan en cuatro grandes categorías, como se ilustra y describe a continuación.





1 Riesgos de ignición:

Los sistemas fotovoltaicos (PV) presentan múltiples posibles causas de fallo que suponen riesgos de incendio. Se han registrado numerosos casos en los que las causas de incendios se han asociado a fallos eléctricos en el cableado, así como a otras causas relacionadas con las instalaciones PV (por ejemplo, la degradación de los contactos o la tensión en los cables y conexiones debido al movimiento de los paneles por efectos climáticos). La degradación de los sistemas PV es uno de los factores clave por abordar para reducir el coste de la electricidad producida y aumentar su vida útil operativa. Por último, el envejecimiento de los componentes PV también puede tener un impacto significativo en la seguridad frente a incendios (Mohd Nizam Ong et al., 2021).

2 Dinámica del fuego:

La incorporación de un sistema PV sobre una cubierta que deba tener un comportamiento ante incendios altera la dinámica de los incendios que puedan desarrollarse. Si se produce un incendio en una cubierta con un sistema PV, la presencia de los módulos puede mantener la energía liberada más cerca de la cubierta, incrementando las temperaturas y los flujos de calor hacia ella. De este modo, incendios que de otro modo permanecerían limitados pueden progresar más rápidamente y, por lo tanto, presentar un riesgo de incendio más elevado. La instalación de un sistema PV que deba tener un comportamiento mínimo ante un incendio en una cubierta añade combustible adicional a dicha estructura. Los módulos fotovoltaicos suelen estar contruidos con vidrio y marcos de aluminio, además de materiales poliméricos en la parte posterior y encapsulantes que añaden carga de fuego a la cubierta.

Instalar un sistema PV en cubierta también implica la posibilidad de que el incendio progrese a través de los lucernarios y sobrepase los muros cortafuegos, especialmente si estos no se extienden lo suficiente por encima del nivel de la cubierta.

3 Construcción cubierta:

Existen muchos tipos de cubiertas en las que se considera instalar sistemas fotovoltaicos. El tipo de cubierta y los materiales utilizados interactúan con los módulos fotovoltaicos instalados sobre ella en caso de incendio. Esta interacción puede incrementar la propagación del fuego sobre la cubierta, así como el desarrollo del incendio. Este escenario difiere del que se evalúa para las cubiertas sin sistemas fotovoltaicos. Además de los materiales de recubrimiento de la cubierta, existen muchos tipos de materiales de aislamiento, cada uno con su propio grado de combustibilidad. Las membranas y los aislamientos combustibles pueden contribuir al desarrollo de un incendio y a la propagación de la llama a lo largo de la cubierta, lo cual también puede ocurrir en el espacio entre el sistema fotovoltaico y la propia cubierta. Debido a la interacción entre los sistemas fotovoltaicos y el sistema de cubierta, las combinaciones incorrectas pueden suponer un alto riesgo de incendio en caso de siniestro y deben recibir especial atención.



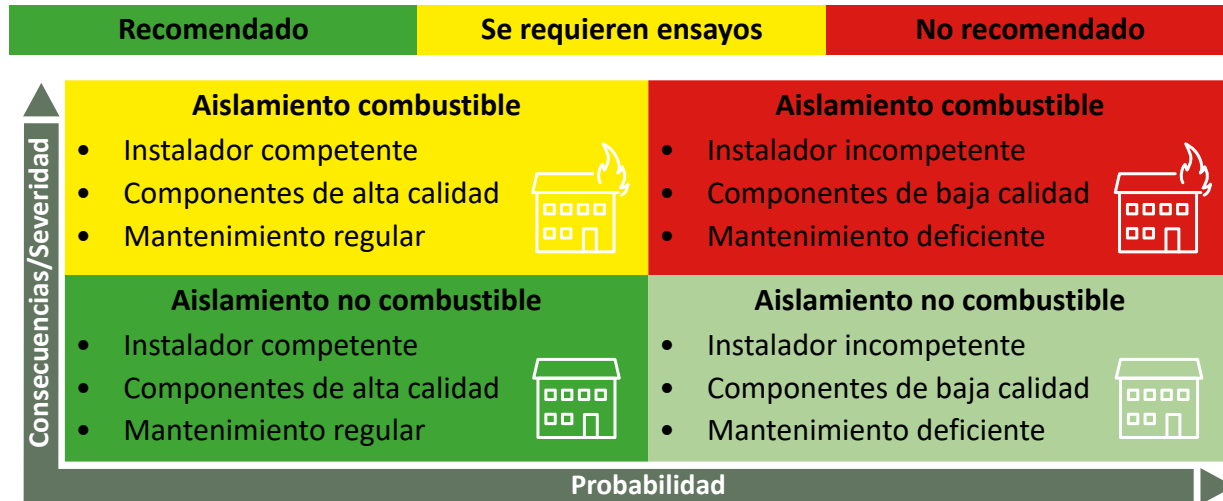
4 Operaciones de extinción:

Los sistemas fotovoltaicos representan un obstáculo para los servicios de bomberos durante la extinción de incendios. Al combatir incendios estructurales, una de las tácticas consiste en ventilar el edificio. Las técnicas de ventilación vertical suelen consistir en abrir el techo cerca de la cumbrera, sobre los puntos calientes, lo que requiere un acceso fácil a la cubierta.

Riesgos eléctricos: los sistemas fotovoltaicos y los desconectores pueden no estar etiquetados correctamente, y los bomberos pueden no estar familiarizados con ellos (si no se desconectan adecuadamente, podrían seguir alimentando los circuitos incluso después de desconectar el contador principal).

Riesgos de explosión y químicos: un incendio puede involucrar un gran número de baterías de respaldo, que pueden suponer riesgos químicos adicionales (por ejemplo, ácido sulfúrico e hidrógeno fluoruro) y riesgo de explosión (hidrógeno).

La probabilidad de incendios relacionados con sistemas fotovoltaicos en cubiertas está vinculada a la calidad de la instalación y a la gestión, mientras que las consecuencias de los mismos están relacionadas con la geometría de los paneles y la combustibilidad de la misma, especialmente la capa de aislamiento situada inmediatamente debajo de la membrana de la cubierta (que es combustible). Cabe señalar que la opción de “sin capa de mitigación” entre una cubierta con aislamiento de EPS y un sistema fotovoltaico no ha sido incluida, ya que no debería considerarse una opción debido a sus consecuencias extremadamente graves, incluso en una instalación “perfecta”.



Adaptado de ZRS:

<https://www.renew-able.co.uk/wp-content/uploads/2024/03/Zurich-whitepaper-Photovoltaic-systems-on-buildings-20231102-US42.pdf>



CONCLUSIONES:

Los sistemas fotovoltaicos integrados en edificios (BIPV) y los sistemas fotovoltaicos aplicados a edificios (BAPV) también difieren en cuanto a la seguridad contra incendios.

- La presente guía se centra en la seguridad contra incendios de los BAPV en cubiertas planas.

Se debe distinguir entre incendios originados en el interior de un edificio y aquellos que ocurren en la cubierta con BAPV. Este último es el enfoque de esta guía.

Se espera que haya numerosos incendios en cubierta con instalaciones PV:

- Las investigaciones han estimado que se producirán 29 incendios anualmente por cada GW de energía solar fotovoltaica instalada.
- Un evento de ignición durante la vida útil del sistema parece inevitable, por lo que es fundamental gestionar y limitar las consecuencias de un incendio.
- Se debe considerar todo el sistema, incluidos los materiales de la cubierta, ya que las membranas de cubierta combustibles, los componentes combustibles (como las estructuras de montaje) y los materiales aislantes combustibles pueden contribuir significativamente a un incendio.

Los aspectos clave a tener en cuenta en la seguridad contra incendios de las instalaciones fotovoltaicas en cubierta son:

- Ignición
- Dinámica del fuego
- Construcción de la cubierta (tipo de membrana y aislamiento)
- Extinción de incendios



2. Riesgo de incendio de sistemas fotovoltaicos en cubierta plana

No existen datos suficientes para diferenciar los riesgos de incendio asociados a los distintos tipos de instalaciones: instaladas en horizontal, orientadas al sur u orientadas este-oeste; por tanto, no se hará esa distinción en este documento.

Los siguientes tres incendios ponen de manifiesto algunos de los desafíos relacionados con los incendios en cubiertas con sistemas fotovoltaicos:

- Bristol (Reino Unido) - We the Curious (Millen & Morgan, 2022): provocado por el choque de un pájaro contra un panel. Desde el siniestro, el edificio está en proceso de restauración debido a los daños por agua ocasionados durante la extinción del incendio. Está previsto que el edificio reabra en julio de 2024.
- McKesson, New Jersey (US) (Goldman, 2023) – El fuego se propagó a través del espacio entre los paneles fotovoltaicos.
- Traiskirchen (Austria) (Zach, 2019) – complejo industrial en el que más de 50 bomberos participaron para evitar la propagación a otros edificios.



Bristol, Reino Unido (Millen & Morgan, 2022)

Crédito de la fotografía: Policía de Avon y Somerset. Nota: Como se indica en el video de esta noticia:

<https://www.itv.com/news/westcountry/2022-05-12/we-the-curious-in-bristol-to-remain-closed-after-birds-cause-fire>



McKesson, Nueva Jersey, EE. UU. (Goldman, 2023)

Crédito de la foto: Departamento de Bomberos del Municipio de Robbinsville <https://www.facebook.com/RTFD40>



Traiskirchen, Austria (Zach, 2019)

Crédito de la foto: <https://www.facebook.com/einsatzdoku/>



A continuación, en un árbol básico de Conceptos de Seguridad Contra Incendios, método de análisis de riesgos desarrollado por la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA), los principales aspectos a abordar para evitar consecuencias significativas de un incendio fotovoltaico en una cubierta se relacionan con la ignición y la propagación del fuego.

También es importante señalar que la ignición suele estar asociada a fallos en componentes y productos, mientras que la propagación del fuego debe considerarse a nivel del sistema completo. A pesar de que los componentes y productos son supervisados cuidadosamente mediante normas eléctricas de ensayo, y los paneles se testean respecto a la combustibilidad, las estadísticas muestran que hay una abundancia de eventos de ignición en sistemas fotovoltaicos sobre cubiertas. Sin embargo, la interacción entre los distintos componentes sigue siendo un reto. Esto indica que el problema de la ignición se asocia, en gran medida, a la calidad insuficiente de los esquemas de instalación y mantenimiento.

En lo que respecta a la propagación del fuego, no existe una norma que permita ensayar todo el sistema, incluidas las membranas de la cubierta y el aislamiento inferior. Por lo tanto, este sigue siendo el mayor problema sin resolver en materia de mitigación del riesgo de incendio de los sistemas fotovoltaicos en cubiertas.

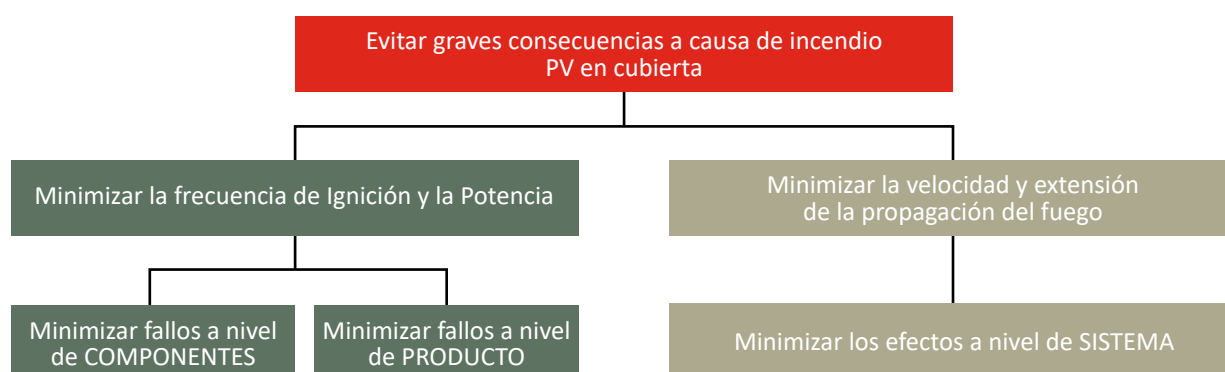


Figura 2: Árbol de conceptos básicos de seguridad contra incendios (NFPA 550) para incendios en cubiertas fotovoltaicas.

Ignición

Para asegurar que la producción de electricidad funcione según lo previsto, cada instalación fotovoltaica consta de una instalación eléctrica extensa (redes de corriente alterna y continua con una gran cantidad de componentes y dispositivos eléctricos), además de los paneles y su sistema de montaje. Para facilitar la ilustración, en la Figura 3 se muestra el esquema de un sistema fotovoltaico simplificado. Diversos cables, cajas de conexión, controladores de carga, diodos de derivación e inversores forman parte del sistema fotovoltaico. Todos estos componentes eléctricos pueden fallar por diversas causas, lo que puede dar lugar a una fuente de ignición y, en consecuencia, a un incendio.

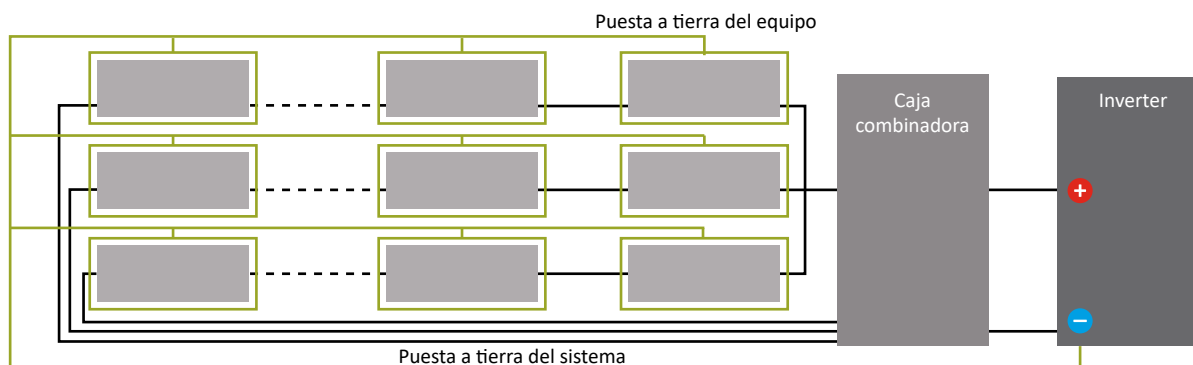


Figura 3: Un sistema fotovoltaico es complejo y cuenta con numerosos componentes. Inspirado en Alam et al., 2013.

El fallo que provoca la ignición puede ser intrínseco a los componentes o externo a ellos. Mientras que las causas internas de fallo suelen derivar de productos de baja calidad (grietas por heladas en el vidrio, puntos calientes, etc.), de una técnica de instalación deficiente o de un mantenimiento inadecuado, las causas externas de fallo de los componentes también varían significativamente. Estas pueden ir desde suciedad, sombras, movimiento (por ejemplo, debido al viento), impactos (aves, granizo...) hasta la ignición por partículas incandescentes provenientes de incendios forestales, entre otros.

Es importante destacar que la mayoría de estas fuentes de ignición no se originan en el propio panel fotovoltaico, sino en otras áreas de la instalación (véase la Figura 4). Dado que la mayoría de estos eventos de ignición identificados se centran en el equipo de maniobra (switchgear), este es el que más protección requiere. Una solución es monitorizar de forma continua el calor resistivo excesivo (pero previo a la ignición).

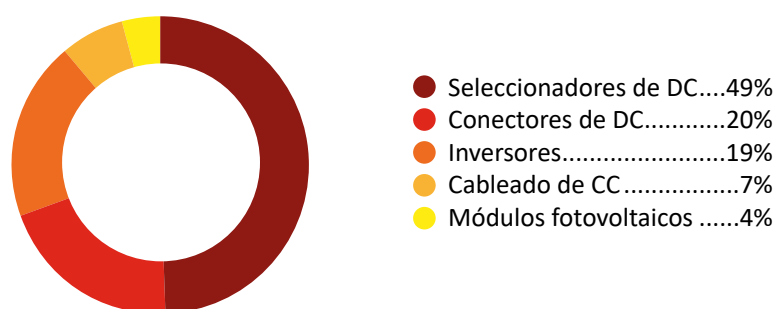


Figura 4: Origen de los incendios fotovoltaicos según informa BRE (2017).



Propagación del incendio

Existen numerosos aspectos que rigen la dinámica del fuego en una cubierta con una instalación fotovoltaica. Las investigaciones han demostrado que evaluar el riesgo de incendio de una instalación fotovoltaica únicamente con base en la evaluación de los materiales individuales y de los componentes de los productos puede conducir a conclusiones erróneas. Se ha establecido que es necesario tratar la instalación fotovoltaica como un sistema compuesto por varias partes, a saber: los paneles, el equipo de montaje y la estructura de la cubierta, para evaluar adecuadamente el riesgo de incendio. Para este fin, la industria aseguradora está desarrollando actualmente aprobaciones para sistemas completos.

La incorporación de una instalación fotovoltaica transforma la situación en caso de incendio, ya que una llama puede desviarse por debajo de los paneles, emitiendo una cantidad significativa de calor a la superficie de la cubierta, lo que permite la propagación de la llama en áreas donde, de otro modo, apenas existiría (suponiendo que la membrana de la cubierta utilizada tenga la clasificación de resistencia al fuego apropiada). Las Figuras 5 y 6 (adaptadas de Kristensen, 2022) muestran esquemáticamente los escenarios sin paneles y con paneles instalados (también se aplica a paneles instalados en configuración plana).

Sin panel superpuesto: No hay (o es despreciable) propagación de la llama más allá de la fuente de ignición (en este caso, unas cuñas de madera utilizadas en los experimentos que confirmaron este desarrollo del incendio).

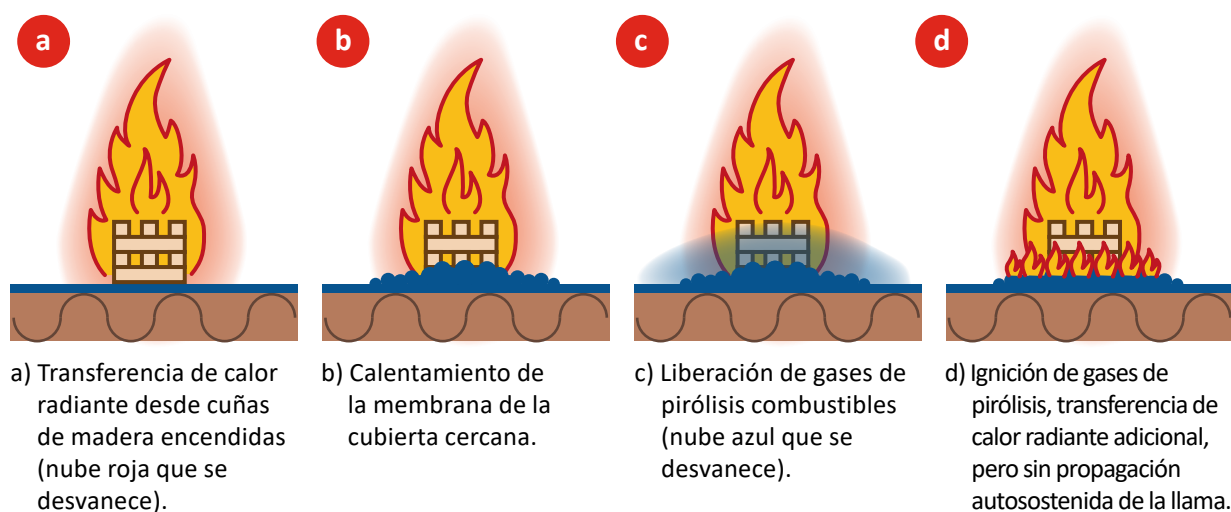


Figura 5: Ilustración del proceso de ignición de una estructura de madera en una construcción de cubierta (membrana de cubierta azul, aislamiento marrón).

Con panel superpuesto: Se observó una propagación significativa de las llamas por debajo del panel fotovoltaico. Cabe destacar que la membrana de la cubierta y el material aislante inferior eran idénticos en ambos casos (Figuras 5 y 6).

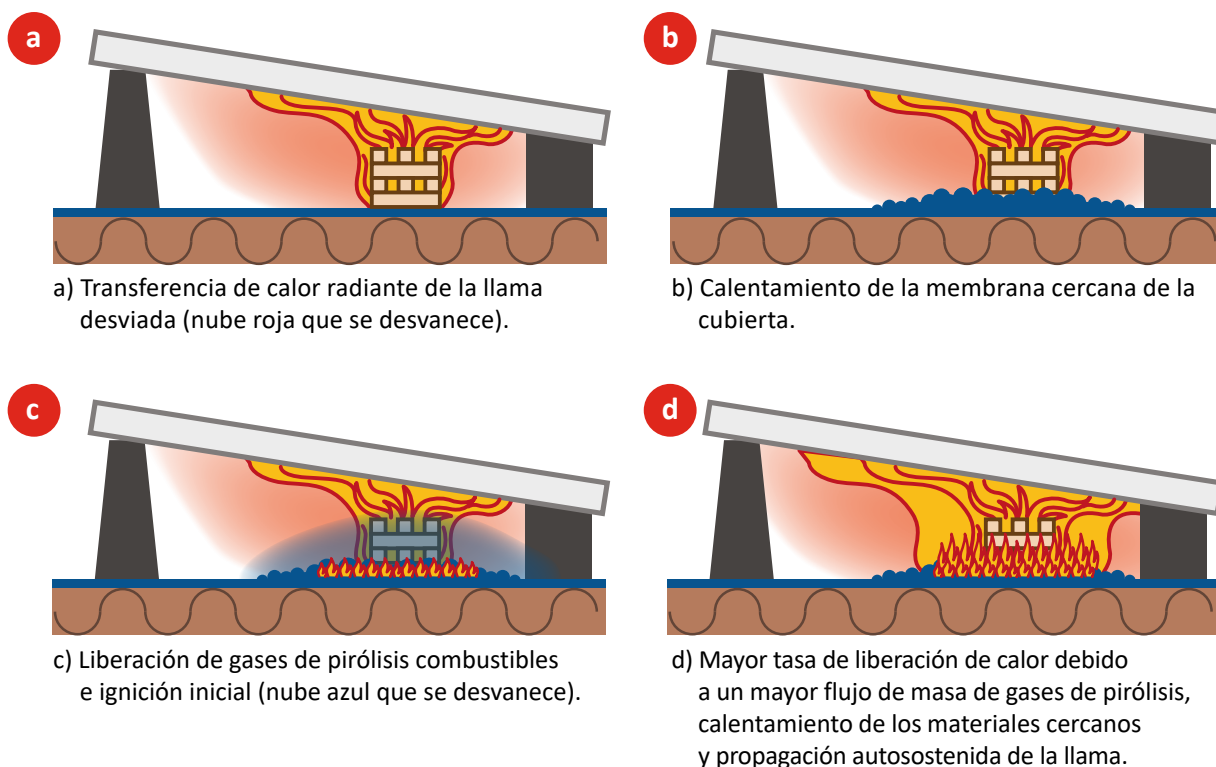


Figura 6: Ilustración del proceso de ignición y propagación de la llama en la estructura de madera debajo de un módulo fotovoltaico (rectángulo gris inclinado) en una instalación de cubierta (membrana azul, aislamiento marrón).

Se ha demostrado que todas las configuraciones aumentan la propagación del fuego más allá de lo esperado en una cubierta similar, lo cual se ha evidenciado tanto en incendios reales como en experimentos. Una vez fuera del área cubierta por los paneles, la propagación del fuego suele detenerse a una distancia relativamente corta. La figura a continuación (adaptada de Kristensen y Jomaas, 2018) muestra las consecuencias de los experimentos realizados en exteriores con viento real. El área gris de la figura indica la extensión de la propagación del fuego.

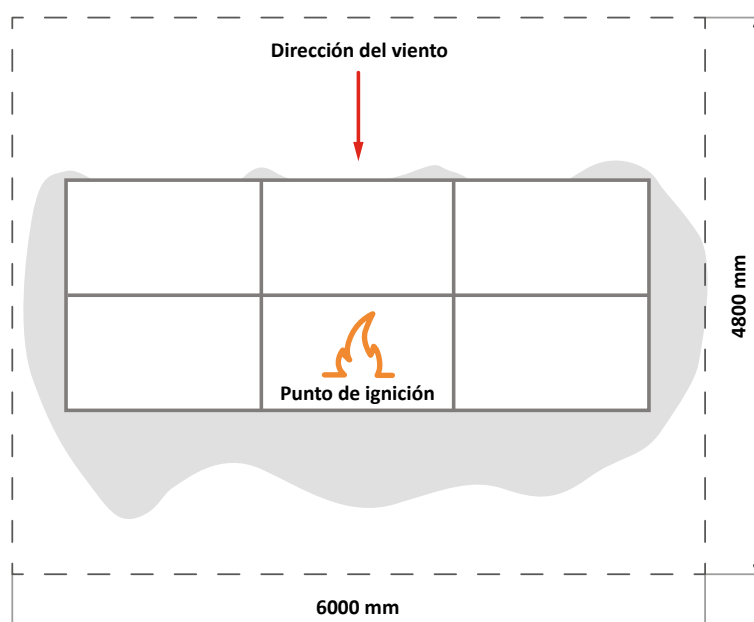


Figura 7: Los experimentos de incendio en cubiertas con sistemas fotovoltaicos han mostrado que los incendios habitualmente no se propagan mucho más allá del área del arreglo fotovoltaico (adaptado de Kristensen y Jomaas, 2018). Estos resultados suelen estar respaldados por incendios reales en cubiertas.



3. Cubiertas planas con sistemas fotovoltaicos

Para incendios en cubiertas con sistemas fotovoltaicos, resulta aún más importante prestar especial atención a las características de cortafuegos (como se evidenció en el incendio de ASKO en Noruega), a la ubicación de los respiraderos de la cubierta, a la separación entre los agrupamientos fotovoltaicos (c) y al tamaño de los agrupamientos ($a*b$).

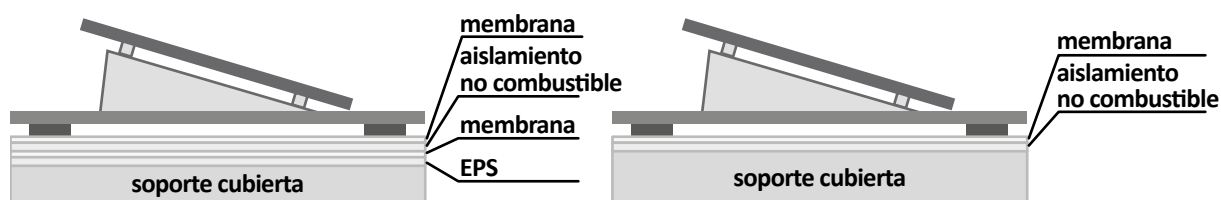


Figura 8: Vista superior de una estructura de cubierta con (1) cortafuegos, (2) respiradero y (3) paneles fotovoltaicos. El respiradero también debe cumplir con las normas nacionales respecto de la distancia al cortafuegos.

En cuanto a la estructura de las cubiertas de edificios con instalaciones fotovoltaicas, debe hacerse una distinción importante entre rehabilitaciones y cubiertas nuevas. La rehabilitación de una cubierta existente para acoger paneles solares es, con mucho, la práctica más utilizada, en parte porque se reconoce generalmente que es más sostenible utilizar cubiertas/edificios existentes que construir nuevos.

La figura a continuación muestra dos composiciones típicas para las dos principales categorías de cubiertas:

- Para cubiertas reacondicionadas, la investigación ha demostrado que una composición típica con EPS (poliestireno expandido) y una membrana sobre la base de la cubierta requiere una capa de mitigación para evitar la implicación del EPS, lo cual es estrictamente necesario para evitar un incendio de grandes proporciones. De acuerdo con la mayoría de las exigencias de las aseguradoras, esta capa de mitigación suele consistir en una capa de aislamiento no combustible con una nueva membrana sobre ella. Como el comportamiento del sistema es clave para la seguridad contra incendios en instalaciones fotovoltaicas, se recomienda que el desempeño de la capa de mitigación se confirme mediante datos experimentales o estadísticos confiables.
- Para una cubierta nueva, se debe evitar el uso de aislamiento altamente combustible, como el EPS, sobre la base de la cubierta. En su lugar, se recomienda emplear una alternativa más segura frente al fuego, como un aislamiento no combustible con una membrana superior. La recomendación de utilizar aislamiento no combustible se basa en resultados de ensayos con resultados publicados, los cuales muestran que la propagación a través de membranas facilitada por los módulos fotovoltaicos es independiente del tipo de membrana y que los incendios resultantes son lo suficientemente significativos como para involucrar materiales aislantes combustibles en el incendio.



Construcción típica de cubierta para REHABILITAR

Construcción típica de cubierta para EDIFICIO NUEVO

Membrana

La siguiente tabla muestra las membranas típicas utilizadas para cubiertas. Antes de su comercialización en el mercado europeo, deben someterse a pruebas conforme a la norma EN 13501-5 (Clasificación al Fuego de Productos de Construcción y Elementos de Edificación - Parte 5: Clasificación Utilizando Datos de Ensayos de Exposición al Fuego Externo en Cubiertas, 2016). Por ejemplo, la tabla muestra que el PVC se clasificó como Broof mediante tres métodos de prueba distintos, ya que cada país prefiere uno de ellos. Cabe destacar que las clasificaciones Broof se obtienen para el sistema de cubierta, no solo para la membrana en sí.

Los experimentos han mostrado que la clasificación puede verse comprometida cuando un panel fotovoltaico se coloca sobre una membrana, independientemente del tipo de membrana. Esto es aún más crítico en alturas de separación más bajas.

Tabla 1: Membranas de cubierta típicas y método de prueba utilizado para obtener su clasificación B_{roof} .

Tipo de membrana	Método de prueba
TPO (Poliolefina termoplástica)	$B_{roof}(t1)$
TPO/FPA (Aleación de polipropileno flexible)	$B_{roof}(t1)$
FPO (Poliolefina flexible)	$B_{roof}(t2)$
PVC (Policloruro de vinilo)	$B_{roof}(t2)$
PVC	$B_{roof}(t3)$
Bitumen	$B_{roof}(t3)$
PVC	$B_{roof}(t4)$

Aislamiento

Si no es posible retirar el EPS (poliestireno expandido) de una cubierta existente, es necesario aplicar una capa de mitigación cuidadosamente seleccionada. La solución con la capa de mitigación debe ensayarse tal como se instalará, y la fuente de ignición debe ser lo suficientemente grande como para provocar un desarrollo significativo del incendio bajo el panel fotovoltaico.



El aislamiento desempeña un papel importante en la retención o disipación del calor generado por el incendio. Si el aislamiento permite que más calor penetre más rápidamente en la base de la cubierta, se conserva menos calor en el nivel de combustión y disminuye la velocidad de propagación del fuego. Por el contrario, si el aislamiento permite que menos calor penetre en la base de la cubierta, más se conservará en el punto de combustión y la velocidad de propagación del fuego aumentará. Hay que tener en cuenta que, en algunos casos, puede ser deseable una mayor velocidad de propagación del fuego, ya que podría proteger, por ejemplo, una capa de EPS subyacente. Sin embargo, esto asume que el fuego se detendrá en el borde del conjunto fotovoltaico, lo cual puede no ser el caso con membranas que gotean o se funden (por ejemplo, el betún).

Además, si la transmitancia térmica (valor U) de diferentes soluciones de aislamiento subyacente es equivalente, se espera que las contribuciones de transferencia de calor a la dinámica del incendio sean las mismas entre los distintos materiales aislantes. Sin embargo, incluso para el mismo valor U de los materiales de aislamiento, se observa un comportamiento distinto al considerar la duración del incendio.

Los experimentos realizados por Kristensen y Jomaas han mostrado que los incendios de mayor duración pueden comprometer los materiales aislantes combustibles, lo que potencialmente permite que el fuego progrese desde la envolvente del edificio hacia el interior del edificio.

Por lo tanto, existe una gran importancia y una gran diferencia entre las configuraciones de cubiertas en la rehabilitación de cubiertas existentes y en las cubiertas nuevas. La selección de materiales puede conllevar diferencias significativas en cuanto a la seguridad frente a incendios. Cuando se realizan cambios en un edificio existente, las implicaciones para la seguridad contra incendios de dichas modificaciones a menudo no se consideran con el mismo nivel de rigor que en un edificio nuevo.

En definitiva, se trata de mitigar el riesgo y, cuando hay materiales aislantes combustibles en la cubierta, existe una mayor carga de combustible que puede encenderse y contribuir al incendio ante un evento imprevisto.

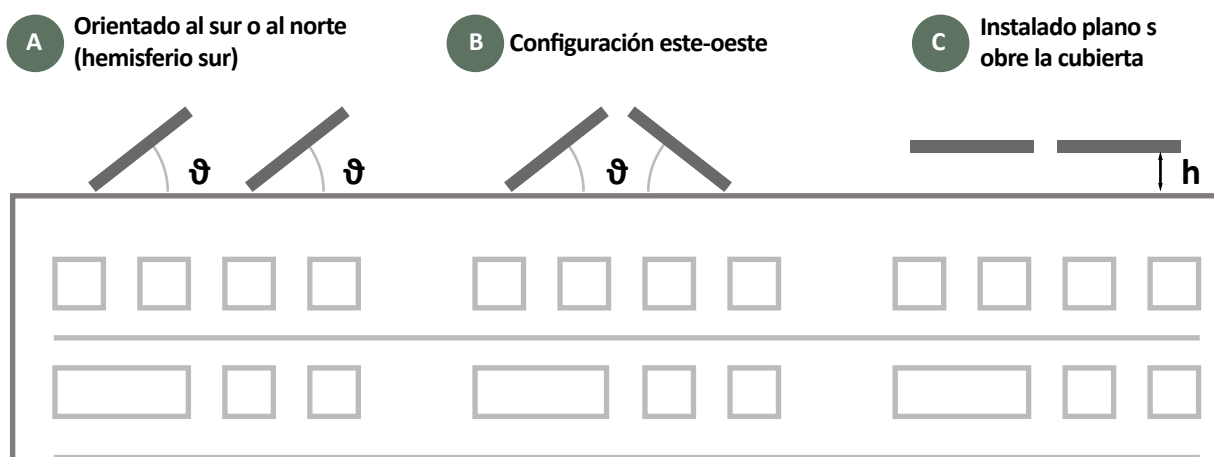
Tipo de módulo fotovoltaico

Existen varios tipos de módulos fotovoltaicos, por ejemplo: vidrio–poliéster (UL 790 Clase C), vidrio–vidrio (UL 790 Clase C) y vidrio–vidrio (UL 790 Clase A). Aunque puede haber algunas diferencias en la propagación del fuego según los distintos tipos de módulos, todos tendrán un impacto en ella. De hecho, los experimentos han mostrado que incluso una placa de acero produjo una propagación similar a la de un módulo fotovoltaico. Por tanto, la reducción del riesgo no debe basarse únicamente en la elección del tipo de módulo fotovoltaico.

Los módulos fotovoltaicos desempeñan un papel esencial en la propagación del fuego en incendios en cubiertas de sistemas fotovoltaicos. Estos pueden ser una de las fuentes de ignición o simplemente involucrarse en un incendio que se origine fuera de la instalación fotovoltaica. Su presencia contribuye de manera crucial a las consecuencias agravadas de un incendio relacionado con sistemas fotovoltaicos, en comparación con un incendio en cubierta sin dichos sistemas. Los siguientes puntos explican con mayor detalle cómo la elección y la ubicación de los paneles solares y de los elementos alrededor de ellos en una cubierta afectan el riesgo de incendio del edificio.



Los sistemas fotovoltaicos generalmente se instalan en tres orientaciones diferentes, como se muestra más abajo en una vista lateral simplificada de un edificio con paneles fotovoltaicos en una cubierta plana. Recientemente, los paneles verticales también han cobrado mayor atención y los ensayos iniciales han demostrado que esta orientación no conduce al escenario de propagación de fuego mostrado en la Figura 6 (Jomaas, Simakovs y Rus, 2024; Bellini, 2024).



Vista lateral

Geometría del panel

Los parámetros clave aquí son la altura del hueco y la inclinación de los paneles. Cuanto menor es la altura del hueco, mayor es la cantidad de calor que se transfiere de vuelta al material de la cubierta, lo que da como resultado un aumento más rápido del tamaño del incendio y de la velocidad de propagación de la llama. Las investigaciones de Kristensen et al. (2020) han mostrado que existe una altura crítica del hueco, es decir, que, a partir de cierta altura, el comportamiento del fuego en la cubierta es prácticamente equivalente al de una cubierta sin paneles. Suponiendo que las membranas de la cubierta estén correctamente seleccionadas, instalar paneles con una altura de hueco que supere dicho valor (que debe establecerse para toda la configuración) conducirá a una reducción significativa del riesgo de incendio.

La inclinación de los paneles introduce un efecto chimenea que lleva mayores cantidades de oxígeno al incendio y aumenta aún más la velocidad de propagación de la llama. Al igual que con la mayor velocidad de propagación mencionada en la sección de aislamiento, las consecuencias no son tan directas. Una propagación más rápida de la llama generalmente también resultará en una duración total del incendio más corta y, por lo tanto, expondrá la estructura de la cubierta al calor durante menos tiempo, lo que potencialmente puede llevar a consecuencias menores (ya que el riesgo de que el fuego penetre en la estructura de la cubierta se reduce).

Despliegue y agrupamiento

Varias directrices nacionales establecen requisitos respecto de las distancias entre las agrupaciones de módulos y del tamaño máximo de estos. Por ello, se reconoce que este tipo de distancias es importante y se admite que los paneles fotovoltaicos influyen en la propagación del fuego en las cubiertas. Un ejemplo de Italia (Cancelliere et al., 2016) se muestra en la figura



siguiente, donde se indican las distancias entre agrupaciones y muros cortafuegos, tragaluces y salidas de humo y calor.

Estos valores varían de un país a otro, por lo que sería un avance muy útil que se unificaran estos requisitos de instalación. Cabe destacar que este tipo de uniformidad debería basarse en la investigación, y que las distancias se esperan que sean distintas para instalaciones fotovoltaicas con diferentes configuraciones de cubierta y geometría de panel fotovoltaico.

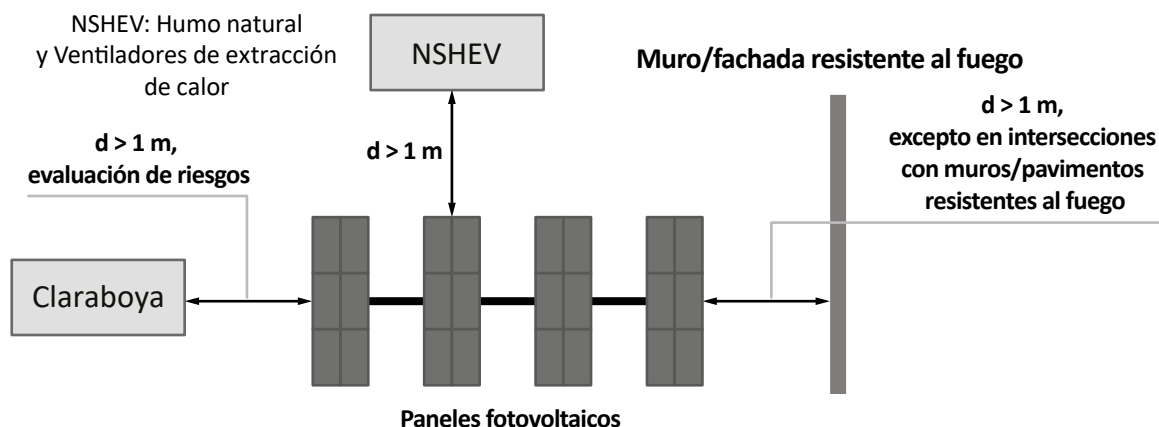


Figura 9: Distancia recomendada entre los agrupamientos de PV y distancia a muros cortafuegos, claraboyas y ventiladores de extracción de humos y calor. Reproducido de Cancelliere, 2016.

Se observaron dos medidas en la mayoría de los documentos provenientes de compañías de seguros y consultoras de seguridad, como se muestra en la tabla siguiente: el área del conjunto de equipos y la separación entre ellos. El área del conjunto se prescribe entre 40 m x 40 m y 45 m x 45 m, y la separación entre los agrupamientos debe ser de 1 m a 2 m, según los requisitos adicionales especificados en cada directriz particular.

Tabla 2: Tamaño recomendado del conjunto y distancias alrededor de los agrupamientos según diversas directrices.

Publicación	Tamaño del conjunto FV	Distancia entre los paneles y otros elementos en la cubierta
Allianz	45 m x 45 m	1,2 metros
AXA XL	45 m x 45 m	1,2 m o 1,8 m ¹
RSA Insurance	46 m x 46 m	1,2 metros
SZPV	40 m x 40 m	1,0 m o 2,0 m ²
BVS ³	hasta 1 800 m ² (aprox. 42 m x 42 m)	1,0 m o 2,0 m ⁴
VdS 2234	40 m x 40 m	> 5 metros

1. Para la distancia desde el borde de la cubierta hasta la instalación fotovoltaica, el requisito es de 1,2 m (4 pies) para cubiertas con una longitud o anchura menor de 75 m (250 pies) y de 1,8 m (6 pies) para aquellas con longitud o anchura superior a 75 m (250 pies).

2. Para cubiertas planas mayores de 40 m x 40 m, los agrupamientos deben limitarse a un máximo de 40 m x 40 m. Debe existir una franja de acceso de al menos 1,0 m de ancho entre el borde de la cubierta y dicho campo. Debe haber un pasillo libre de al menos 2,0 m de ancho entre dos de estos agrupamientos.

3. El documento está dirigido únicamente a cubiertas con un área superior a 1800 m².

4. 1,0 m en los casos de superficie de cubierta no combustible (por ejemplo, 5 cm de grava) y, si el revestimiento de la cubierta es combustible (también clasificación Broof(t1) sin protección por una capa de grava de 5 cm de espesor), se debe mantener una distancia horizontal de 2 m.

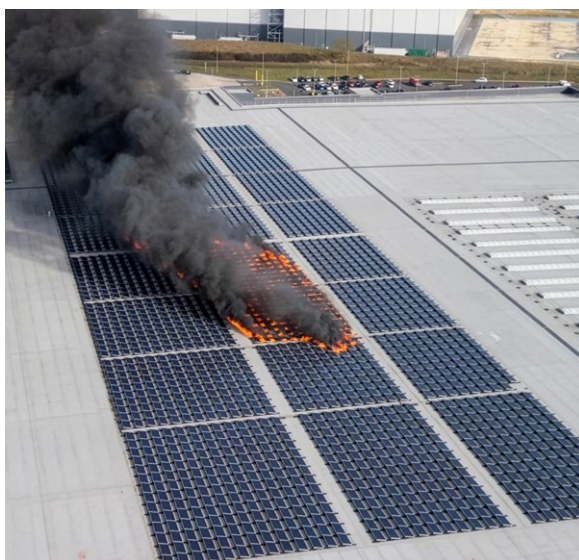


El incendio de ASKO en Noruega ("Brannen i ASKO-bygget," 2017) tuvo su origen en una carretilla elevadora en proceso de carga. Este incendio es un excelente ejemplo de un incendio que comienza en el interior de un edificio y que posteriormente se ve influido por la presencia de instalaciones fotovoltaicas. El incendio, dentro de un compartimento, atravesó el techo, tras lo cual se propagó a lo largo de la cubierta equipada con paneles fotovoltaicos y luego entró a otro compartimento. Tanto el sistema fotovoltaico (paneles y composición de la cubierta) como la ausencia de una prolongación del cortafuegos por encima del nivel de la cubierta fueron factores significativos que contribuyeron a que el incendio alcanzara tales dimensiones. El incendio provocó la pérdida de 9.000 m² de un total de 100.000 m² y de aproximadamente 200 millones de coronas noruegas en valor (con actualizaciones recientes que duplican esa cifra debido a la interrupción de las operaciones logísticas y comerciales). Gracias a los extensos esfuerzos del cuerpo de bomberos, el incendio fue contenido dentro de una sección que comprendía el área de almacenamiento de congelación.



El incendio de ASKO en Noruega se propagó a través de varios agrupamientos fotovoltaicos y también atravesó el cortafuegos interno, comprometiendo así la compartimentación prevista.

Crédito de la fotografía: Incendio en el almacén de ASKO en Vestby, Noruega, en 2017, derechos de autor Tor Aage/ROCKWOOL Group



El incendio en el centro de distribución de Lidl en Peterborough, Reino Unido, en febrero de 2024, también se propagó a través de varias separaciones de pasillos. Además, la dirección de la propagación indica que, en una configuración orientada al sur, la propagación a través de una separación de pasillos es más fácil en el extremo más alto del panel inclinado (hacia la izquierda en la foto). Sin embargo, la dirección del viento en el momento en que se tomó la imagen también favorece esa misma dirección. En este incendio, los soportes de polipropileno (es decir, combustibles) parecen haber contribuido a la propagación del fuego, lo cual coincide con los hallazgos de Kristensen y Jomaas (2018).

Crédito de la foto: CambsNews/Terry Harris



CONCLUSIONES:

- El riesgo de incendio en las cubiertas con paneles fotovoltaicos es mayor que sin ellos.
- La evaluación de la seguridad contra incendios de una instalación fotovoltaica debe realizarse a nivel de sistema, ya que los elementos individuales no representan necesariamente el riesgo de forma integral. El riesgo real surge cuando los distintos elementos se combinan y, por lo tanto, deben evaluarse como un sistema.
- Los parámetros que gobiernan crucialmente la dinámica del fuego en un incendio relacionado con sistemas fotovoltaicos son:
 - altura del hueco
 - inclinación de los paneles
 - construcción de la cubierta (membranas y materiales aislantes)
 - configuración del despliegue de módulos (tamaño y distancia entre ellos)
- El tipo de panel no es un factor tan significativo como los parámetros mencionados anteriormente.
- Todas las membranas se ven involucradas en el incendio y contribuyen a su propagación más allá del origen cuando están situadas por debajo de paneles fotovoltaicos (si están lo suficientemente cerca de la superficie de la cubierta).
- Con base en lo anterior, se recomienda utilizar materiales aislantes y sistemas de montaje no combustibles para lograr una reducción significativa del riesgo.



4. Extinción de incendios

Los desafíos relacionados con lograr una extinción exitosa y segura de incendios en instalaciones fotovoltaicas en cubiertas son, en su mayoría, los mismos tanto si se inicia en el interior del edificio como en la cubierta. En general, la extinción de incendios requiere:

1. Acceso seguro a la cubierta
2. Operaciones seguras sobre la cubierta
3. Aplicación efectiva del agente extintor (agua, espuma, ...)

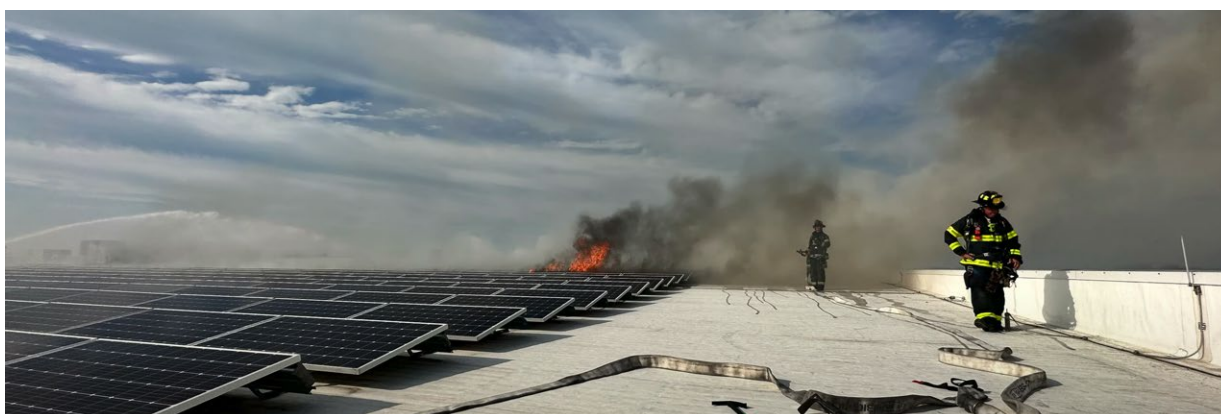


Imagen del incendio en la cubierta en Robbinsville, Nueva Jersey, EE. UU., con bomberos en acción

Crédito de la foto: Edmund Haemmerle

La instalación de paneles solares en la cubierta puede interferir con todos estos aspectos. Por lo tanto, es esencial garantizar lo siguiente:

- 1 No debe haber paneles fotovoltaicos junto al borde de la cubierta en ningún lado y los pasillos deben estar libres de paneles para permitir un recorrido peatonal ininterrumpido desde cualquier punto de acceso a la cubierta.
- 2 Extensión de los cortafuegos para evitar desarrollos imprevistos del fuego, construcción de una cubierta lo suficientemente resistente y desconexión del sistema principal para reducir el riesgo de electrocución.
- 3 La aplicación efectiva del agente extintor requiere proximidad, ya que los paneles fotovoltaicos, de otro modo, bloquearán la trayectoria del chorro de extinción y, por lo tanto, esto se relaciona con los dos requisitos previos. Si las consideraciones medioambientales son especialmente importantes, esto cobra aún más relevancia, ya que debe limitarse el uso de agua.

Los paneles fotovoltaicos producen cantidades potencialmente letales de electricidad en corriente continua siempre que están expuestos a la luz, su fuente de energía. Todos los sistemas fotovoltaicos incluyen interruptores de seccionamiento; la mayoría de los inversores cuentan con equipos de detección de fallas de arco y algunos sistemas fotovoltaicos disponen



de electrónica de potencia adicional diseñada para monitorizar y “apagar” el sistema en caso de falla. Sin embargo, todo este equipo electromecánico opera “aguas abajo” de los propios paneles solares. Los paneles fotovoltaicos y el cableado que llega hasta el primer punto de seccionamiento electromecánico permanecerán activos mientras reciban luz. Ya sea que el sistema fotovoltaico sea la fuente de ignición directa o esté involucrado de manera indirecta (mediante una fuente de ignición externa al sistema fotovoltaico), los riesgos de corriente continua (CC) se aplican a los equipos de primera intervención encargados de resolver el incidente en su origen. Por lo tanto, los incendios que involucren paneles fotovoltaicos no deben ser atendidos por personal no capacitado. Los paneles deben desenergizarse durante las operaciones de los primeros intervinientes, ya que representan un peligro eléctrico. Todos los sistemas fotovoltaicos, cuando están comprometidos, presentan un riesgo permanente de corriente continua para la vida, que puede escalar a un incendio si no se atiende. Como no se puede esperar que los bomberos comprendan en detalle las diferentes tecnologías de los sistemas solares fotovoltaicos al llegar a un incendio, estos requieren un método simple y efectivo para desenergizar de manera segura un sistema fotovoltaico de su fuente de energía.

Un gran incendio ocurrido en un almacén en Noardburgum, Países Bajos, el 20 de mayo de 2021, sirve como ejemplo de preocupaciones medioambientales adicionales que pueden surgir de incendios que involucren sistemas fotovoltaicos (Bellini, 2021). El municipio indicó en un comunicado de prensa que había recibido alrededor de 73 notificaciones de residentes preocupados en el área circundante, alarmados por la presencia de fragmentos de módulos fotovoltaicos en sus propiedades. Según Urs Muntwyler, experto en incidentes de incendio en instalaciones fotovoltaicas y director general de la empresa suiza de ingeniería Ingenieurbüro Muntwyler, las partículas encontradas por los residentes, que también aparecen en una foto publicada en el comunicado del municipio, son similares a las que él encontró tras un incendio en un sistema fotovoltaico ubicado en Lanzenhäusern, Suiza.



El incendio en Noardburgum, Países Bajos, provocó problemas medioambientales a varios kilómetros del lugar del incendio.

Crédito de la foto: NoorderNieuws/de Vries Media



En cuanto a los incendios cuyo origen se encuentra en el interior del edificio, suelen ser de gran magnitud, por lo que las preocupaciones medioambientales resultan aun más relevantes en estos casos. Las plumas de humo pueden volverse muy grandes y transportar partes de los paneles fotovoltaicos a grandes distancias (como se evidenció en el incendio de los Países Bajos), lo que genera problemas medioambientales en un área extensa. Además, dado que los incendios son grandes, los bomberos utilizarán más agua, lo que aumenta la probabilidad de contaminación del suelo y de las aguas subterráneas en el entorno del incendio. En áreas donde el entorno cercano es especialmente sensible, estos aspectos deben considerarse con especial cuidado.



CONCLUSIONES:

- Los incendios cuyo origen está en el interior del edificio normalmente requieren una construcción de cubierta no combustible si se pretende evitar la propagación hacia el exterior.
- Los muros cortafuegos deben extenderse lo suficiente por encima del nivel de la cubierta como para evitar la propagación entre compartimentos.
- Los sistemas fotovoltaicos instalados afectan la capacidad del cuerpo de bomberos para extinguir con éxito un incendio.
 - Se debe garantizar el acceso y las operaciones seguras.
 - Debe asegurarse de que el agente extintor se aplique directamente al incendio y no sobre los propios.



Un bombero entre el humo del incendio de un sistema fotovoltaico en un tejado en Robbinsville, Nueva Jersey, EE. UU. Ramali et al. (2023) sugirieron que los bomberos deben seguir una lista de prácticas de seguridad antes, durante y después de los incendios que afectan a sistemas fotovoltaicos. Una de las recomendaciones era llevar siempre el equipo de protección individual adecuado.

Crédito de la foto: Edmund Haemmerle



5. Preocupaciones generales

Existen algunas preocupaciones generales sobre la seguridad contra incendios relacionadas con la instalación de sistemas fotovoltaicos en cubiertas, que se abordarán a continuación. Por ejemplo, todavía no es común contar con sistemas de detección instalados en las cubiertas, por lo que un incendio en la cubierta puede evolucionar hasta convertirse en uno de mayor magnitud antes de ser detectado, ya que generalmente depende de la observación visual de las personas. Otras preocupaciones generales se relacionan con malas prácticas de instalación y falta de mantenimiento.

Un ejemplo de un incendio significativo relacionado con estas preocupaciones generales ocurrió en agosto de 2023, cuando se inició un incendio en la cubierta de un edificio en Londres, Reino Unido. Se supone que el origen fue el sistema fotovoltaico instalado en el techo. El incendio finalmente se propagó por la cubierta y obligó a los residentes a evacuar rápidamente, ya que cuando sonaron las alarmas dentro del edificio, el fuego ya era considerablemente grande. Como se observa en las fotos a continuación, el sistema aparentemente no sigue las prácticas convencionales de instalación y, además, presenta un mantenimiento deficiente. La distribución de las agrupaciones de módulos era muy irregular, o el viento u otras fuerzas las habían desplazado, lo cual es una causa bien conocida de tensión en los cables eléctricos asociados a este tipo de sistemas, lo que, a su vez, puede ocasionar arcos eléctricos e ignición del material de la cubierta.

Como sabemos, el movimiento de las agrupaciones de módulos fotovoltaicos bajo condiciones severas de viento o de tormentas puede provocar fallos y riesgos de ignición, por lo que con frecuencia se agrega lastre a los sistemas en línea para sujetarlas. Es importante señalar que dicho lastre puede provocar otros problemas, tanto en términos de daños causados por el propio lastre como de la posible influencia sobre el material aislante subyacente.



Extracto de la noticia sobre el incendio en la cubierta en Londres, junto con una captura de pantalla de Google Maps del sistema fotovoltaico en la cubierta.

<https://www.bbc.com/news/uk-england-london-66622684>



Cualificaciones del personal

Una gran cantidad de incendios relacionados con sistemas fotovoltaicos (más del 55 %) se deben a causas directas o, al menos, a causas indirectas del proceso de instalación. Este número incluye causas de ignición relacionadas con el panel, el seccionador, el inversor y el conector. Si se pone mayor énfasis en el proceso de instalación, el número de incendios causados por estos fallos podría reducirse significativamente.

Una revisión de certificaciones de instaladores realizada por BRE (BRE, 2011) descubrió que en muchos estados miembros europeos no existe un sistema de certificación operativo que permita a los instaladores fotovoltaicos demostrar su competencia y su calidad de trabajo ante posibles clientes. Esto representa una barrera para la adopción de sistemas fotovoltaicos en Europa, ya que la complejidad de los sistemas y su alto coste hacen que los clientes se muestren reacios a realizar la inversión necesaria sin la garantía que brindaría un instalador certificado. Según los hallazgos (BRE, 2011), las áreas clave que deberían incluirse en las formaciones de certificación para instaladores fotovoltaicos son: regulaciones y directivas aplicables; requisitos de instalación y mantenimiento; cuestiones específicas del emplazamiento; rendimiento del sistema; competencias técnicas; gestión de la calidad y atención al cliente.

Además del trabajo de BRE, el presente documento revisó otras directrices para comprobar cuántas de ellas contienen peticiones explícitas de que los instaladores estén debidamente certificados, cualificados o formados. Los resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Revisión de las directrices que exigen la certificación de los instaladores

País	Organización	Certificación requerida
Alemania	Allianz (Consultoría de Riesgos Allianz, 2019)	SÍ
Alemania	VdS (VdS, 2023)	SÍ
Francia	AxaXL (Consultoría de Riesgos AXA XL, 2021)	SÍ
Reino Unido	RSA (Grupo de Seguros RSA, 2020)	NO
Eslovenia	SZPV (SZPV, 2016)	SÍ
Austria	BVS (BVS - Brandverhütungsstelle, 2022)	NO
Canadá	Energía solar canadiense (Canadian Solar Inc., 2020)	SÍ
China	Longi (LONGi Solar Technology Co., Ltd., 2023)	SÍ
China	JA solar (Shanghai JA Solar Technology Co., Ltd., 2019)	SÍ
Corea del Sur	LG (LG Electronics Deutschland GmbH, 2019)	SÍ



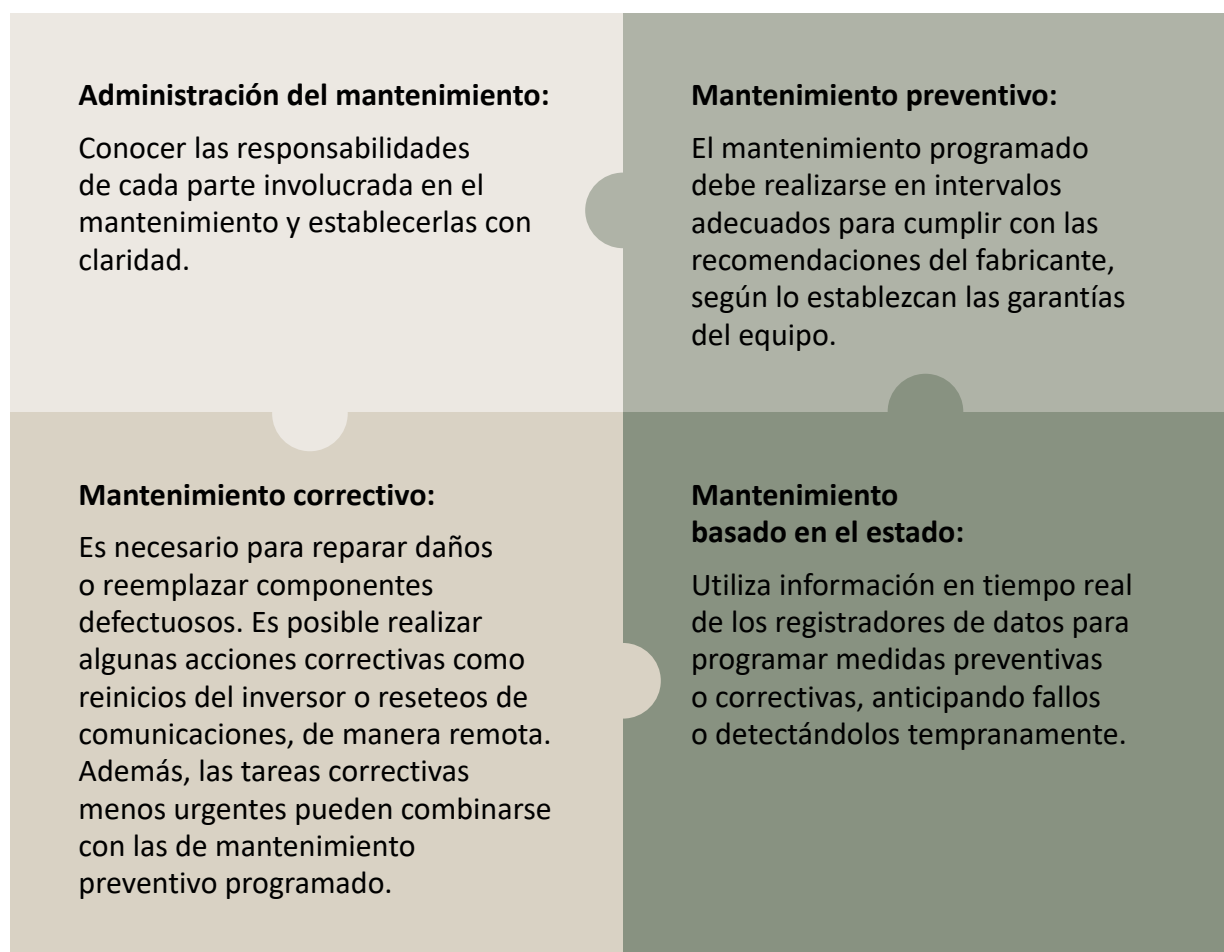
Operación y mantenimiento

Los datos identifican algunas áreas específicas donde se pueden mejorar las normas de mantenimiento (Pester et al., 2017):

- Inspección del interior de los seccionadores de CC (muestreo si hay un gran número), verificando signos de sobrecalentamiento, humedad y terminales flojos.
- Metodología para inspecciones por muestreo de cualquier conector de CC ensamblado in situ (los conectores ensamblados en fábrica suelen presentar menos problemas).

Es necesario establecer un mecanismo flexible de inspección y limpieza o utilizar un sistema de recopilación de datos para decidir si es necesario realizar un mantenimiento no planificado y así reducir el riesgo de incendio en diferentes entornos (Wu et al., 2020).

El mantenimiento fotovoltaico debe incluir los siguientes cuatro tipos de procedimientos (NREL, 2018):



El mantenimiento de los sistemas solares fotovoltaicos se define en las normas IEC 62446-1 y 62446-2. La IEC 62446-1 es una norma internacional para la prueba, **la documentación y el** mantenimiento de sistemas fotovoltaicos conectados a **la** red. Establece las normas sobre cómo los diseñadores e instaladores de sistemas fotovoltaicos conectados a red deben proporcionar información y documentación a los clientes.



Aunque no está regulado, las acciones de mantenimiento típicas que pueden requerir las instalaciones fotovoltaicas incluyen:

- Inspección de conexiones y terminaciones del cableado para detectar aflojamiento y corrosión.
- Inspección de los racimos de cables para asegurar que estén ordenados y protegidos.
- Inspección del conjunto de paneles para verificar limpieza, ausencia de daños e integridad estructural.
- Inspección de penetraciones en la cubierta y sellados contra la intemperie.
- Mantenimiento de baterías, lo que puede incluir limpieza, adición de electrolitos, igualación de carga y reemplazo, si es necesario.

Falta de estadística

La evaluación de riesgos siempre incluye la probabilidad del evento analizado y sus consecuencias. Para realizar una evaluación adecuada de los riesgos de incendios relacionados con sistemas fotovoltaicos, debería existir información fiable sobre el número de incendios y el alcance de los daños ocasionados. Los métodos de recopilación de datos varían considerablemente entre países y, hasta que se implementen medidas pertinentes para mejorar y unificar estos procesos, las evaluaciones de riesgos serán escasas y poco completas.

Falta de datos actualizados de los edificios

Existe una carencia de datos actualizados sobre los edificios a los que los bomberos puedan acceder en su camino hacia la escena de un incendio. Lo ideal sería que dispusiesen de información sobre los siguientes aspectos:

1. Instalación

- a. Disposición del sistema fotovoltaico ☒
- b. Especificaciones del sistema fotovoltaico ☒
 - I. Tipo ☒
 - II. Antigüedad ☒
 - III. dispositivos de seguridad (p. ej., microinversores) ☒

2. Construcción de la cubierta

- a. Tipo de membrana ☒
- b. Material de aislamiento utilizado (combustible o no combustible) ☒
- c. Tipo de apoyos utilizada (combustible o no combustible) ☒

Agradecimientos

El trabajo se inspiró en un taller organizado por FM Global, NFPA y ROCKWOOL en la Embajada de Dinamarca en Bruselas en marzo de 2023. Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo económico de ROCKWOOL y del proyecto FRISSE, que ha recibido financiación en el marco del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea, bajo el Acuerdo de Subvención N° 952395.



6. Bibliografía

Alam, M.K., Khan, F.H., Johnson, J., & Flicker, J. (2013). PV faults: Overview, modeling, prevention and detection techniques. 2013 IEEE 14th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), 1–7. [ENLACE al artículo](#)

Allianz Risk Consulting. (2019). FIRE HAZARDS OF PHOTOVOLTAIC (PV) SYSTEMS. Allianz Risk Consulting; [ENLACE](#)

AXA XL Risk Consulting. (2021). Property Risk Consulting Guidelines: PHOTOVOLTAIC SYSTEMS. AXA XL Risk Consulting. [ENLACE](#)

Bellini, E. (2021, May 26). Major fire at solar-powered warehouse in the Netherlands raises concerns among nearby residents. PV Magazine International. [ENLACE](#)

Bellini, E. (2024, March 15) Tests show rooftop fires propagate slowly with vertical PV systems. PV Magazine International [ENLACE](#)

Brannen i ASKO-bygget. (2017, August 19). Brann & Redning. [ENLACE](#)

BRE (WP leader) (2011). Review of current PV installer certification schemes in Europe (WP5 –D5.1). [ENLACE](#)

BVS - Brandverhütungsstelle. (2022). PV systems—Fire protection requirements for the installation of PV systems on hall roofs with areas larger than 1,800 m². BVS - Brandverhütungsstelle. [ENLACE](#)

Canadian Solar Inc. (2020). Installation manual of standard solar modules. Canadian Solar Inc. [ENLACE](#)

Cancelliere, P. (2016). PV electrical plants fire risk assessment and mitigation according to the Italian national fire services guidelines. Fire and Materials, 40(3), 355-367. [ENLACE al artículo](#)

EN 13501-5 Fire classification of construction products and building elements—Part 5: Classification using data from external fire exposure to roofs tests (p. 38). (2016). [ENLACE](#)

Goldman, J. (2023, July 24). Solar Panels Burn in Massive NJ Warehouse Fire - Fire Engineering: Firefighter Training and Fire Service News, Rescue. [ENLACE](#)

Jomaas, G., Simakovs, K., Rus, N., (2024). Mitigating PV fire risk. FPA Fire & Risk Management Journal. [ENLACE](#)

Kelley, D. (2013, September 6). Rooftop solar panels become new enemy of U.S. firefighters. Reuters. [ENLACE](#)

Knarud, J., & Heskestad, A. (2019, January 1). Building fire codes as a part of the national security Emphasizing critical deliveries to industry and consumers. [ENLACE](#)

Kristensen, J. S. (2022). Fire risk of photovoltaic installations on flat roof constructions. The University of Edinburgh. [ENLACE](#)

Kristensen, J.S; Jacobs, B.; Jomaas, G. (2022) “Experimental Study of the Fire Dynamics in a Semi-enclosure Formed by Photovoltaic (PV) Installations on Flat Roof Constructions,” Fire Technology, Vol. 58, 2017-2054. [ENLACE al artículo](#)

Kristensen, J.S.; Faudzi, F.B.M.; Jomaas, G. (2020) “Experimental study of flame spread underneath photovoltaic (PV) modules,” Fire Safety Journal, Vol. 120. [ENLACE al artículo](#)

Kristensen, J.S.; Jomaas, G. (2018) “Experimental Study of the Fire Behaviour on Flat Roof Constructions with Multiple Photovoltaic (PV) Panels,” Fire Technology, Vol. 54, 1807-1828. [ENLACE al artículo](#)

Kristensen, J.S.; Merci, B.; Jomaas, G. (2018) “Fire-Induced Re-Radiation underneath Photovoltaic Arrays on Flat Roofs,” Fire and Materials, Vol. 42, 316-323. [ENLACE al artículo](#)



Mohd Nizam Ong, N.A.F.; Sadiq, M.A.; Md Said, M.S.; Jomaas, G.; Mohd Tohir, M. Z.; Kristensen, J.S. (2022) "Fault Tree Analysis of Fires on Rooftops with Photovoltaic Systems." Journal of Building Engineering, 46, 103752. [ENLACE al artículo](#)

LG Electronics Deutschland GmbH. (2019). Installation manual: PV Solar MODULE. LG Electronics Deutschland GmbH. [ENLACE](#)

LONGi Solar Technology Co., Ltd. (2023). Installation Manual for LONGi Solar PV Modules. LONGi Solar Technology Co., Ltd. [ENLACE](#)

Millen, R., & Morgan, W. (2022, April 10). Bristol's We The Curious fire—Everything we know about the blaze so far. SomersetLive. [ENLACE](#)

Mohd Nizam Ong, N.A.F., Mohd Tohir, M.Z., (2021). Investigation of the effects of photovoltaic (pv) system component aging on fire properties for residential rooftop applications, SFPE Europe Magazine, Issue 21. [ENLACE](#)

NREL. (2018). Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems; 3rd Edition (10.2172/1489002). [ENLACE](#)

Pester, S., Coonick, C., Crowder, D., Parsons, J., & Shipp, M. (2017). Fire and Solar PV Systems – Recommendations for the Photovoltaic Industry (P100874-1006 Issue 2.5). BRE. [ENLACE](#)

Ramali, M.R., Mohd Nizam Ong, N.A.F., Md Said, M.S., Mohamed Yusoff, H., Baharudin, M.R., Tharima, A.F., Akashah, F.W., Mohd Tohir, M.Z., (2023). A Review on Safety Practices for Firefighters During Photovoltaic (PV) Fire. Fire Technol 59, 247–270. [ENLACE al artículo](#)

RSA Insurance Group. (2020). Risk Control Guide PHOTOVOLTAIC (SOLAR) PANELS. RSA Insurance Group. [ENLACE](#)

Rus, N., Jomaas, G., (2024). PV guidelines – are the recommendations sufficiently evidence-based? SFPE Europe Magazine, Issue 33. [ENLACE](#)

Shanghai JA Solar Technology Co., Ltd. (2019). Installation manual for JA Solar photovoltaic modules. Shanghai JA Solar Technology Co., Ltd. [ENLACE](#)

SZPV. (2016). Smernica SZPV 512: Smernica o požarni varnosti sončnih elektrarn. Slovensko združenje za požarno varstvo. [ENLACE](#)

VdS 2234 (2018). Firewalls And Complex Partition Walls. [ENLACE](#)

VdS. (2023). Photovoltaik-Anlagen auf Dächern mit brennbaren Baustoffen. [ENLACE](#)

Wu, Z., Hu, Y., Wen, J. X., Zhou, F., & Ye, X. (2020). A Review for Solar Panel Fire Accident Prevention in Large-Scale PV Applications. IEEE Access, 8, 132466–132480. [ENLACE al artículo](#)

Zach, K. (2019). Meterhoher Rauch: Brand auf Ex-Semperit-Gelände in Traiskirchen. Kurier [ENLACE](#)

ZRS (Zurich Resilience Solutions). (2023) Photovoltaic (PV) systems on buildings - Pre-design, design, installation, and operation [ENLACE](#)



ZAG

 **FRISSBE**

Este proyecto ha recibido financiación del programa
de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión
Europea, en virtud del Acuerdo de Subvención N° 952395

