

Manual de buenas prácticas en seguridad contra Incendios en Instalaciones Fotovoltaicas de autoconsumo en cubiertas

Versión 1. Edición Abril 2025.



Introducción.

Los incendios eléctricos, y más concretamente en instalaciones de autoconsumo fotovoltaicas, no son un fenómeno común pero su peligrosidad sí que es relevante. Por lo tanto, es necesario conocer las causas de los mismos para adoptar medidas preventivas que los eviten y acciones correctivas que minimicen el daño en caso de que se produzcan.

Este manual pretende reflejar una serie de **buenas actuaciones** a la hora de diseñar una instalación fotovoltaica sobre cubierta, de su posterior instalación, y de su mantenimiento.

Actualmente, no parece que haya una relación directa entre un tipo concreto de instalación fotovoltaica (residencial, comercial o industrial) y el número de accidentes en las mismas. Es por ello que lo expuesto en este documento se puede aplicar a cualquier tipo de instalación.

El manual comienza con un capítulo de consideraciones iniciales para introducir la temática del mismo, seguido de los tres capítulos centrales en los que se explica la importancia de un buen diseño, una buena instalación y un buen mantenimiento de una planta fotovoltaica **sobre cubierta**. Después se dedica un capítulo específico al tratamiento de las baterías de litio y otro a las actuaciones de los cuerpos de bomberos. Para finalizar, se comentan las conclusiones encontradas y se añaden cinco anexos para complementar la información de los capítulos.

ÍNDICE

Introducción.	2
Consideraciones iniciales.	4
Capítulo 1: Fase de diseño de la instalación fotovoltaica.	6
1.1 Fase de proyecto.	6
1.2 Diseño de la instalación.	11
1.3 Ubicación correcta de los elementos.	18
Capítulo 2: Fase de instalación.	21
Capítulo 3: Fase de mantenimiento.	27
Capítulo 4: Tratamiento de las baterías de litio.	30
Capítulo 5: Los cuerpos de bomberos.	35
Conclusiones.	36
Anexo I. Ensayo <i>Broof (t1)</i> .	37
Anexo II. Propiedades del cable <i>H1Z2Z2-K</i> para sistemas fotovoltaicos.	38
Anexo III. Normativa internacional respecto a conectores y conexiones.	39
Anexo IV. Otras medidas de seguridad en instalaciones fotovoltaicas.	40
Anexo V. Otras medidas de seguridad en instalaciones con baterías de litio.	42
Bibliografía.	43

Consideraciones iniciales.

El número de instalaciones fotovoltaicas ha crecido de forma exponencial en los últimos años debido a la necesidad de generación renovable en nuestro país y al abaratamiento de los precios de esta tecnología.

Es por ello que surge la necesidad de prestar especial atención a los diferentes elementos que conforman una instalación fotovoltaica sobre cubierta, a la ubicación de los mismos, y al estudio de la superficie dónde se va a instalar.

Las principales causas eléctricas detectadas en los accidentes se desencadenan en la parte de **continua** de la instalación, en el cuadro y sobre todo en el **cableado y las conexiones**. De acuerdo al estudio *Top 10 pv rooftop safety risks [28]*, de *Clean Energy Associates (CEA)*, el cuidado de las puestas a tierra de la instalación también es muy importante. Por su parte, el mal dimensionado de las protecciones es asimismo una fuente de dificultades, así como los defectos materiales de los equipos instalados.

Los accidentes estudiados hasta la fecha no indican de manera clara el origen del fuego de los mismos, siendo este propagado en muchas ocasiones sobre la cubierta dónde se instalan los paneles fotovoltaicos. Esto indica la **importancia de los materiales utilizados**, quienes no han de ser un foco propagador y amplificador del fuego. Además, se deben conocer las causas reales del inicio del accidente para no imputar a este tipo de instalaciones incidentes que no le corresponden.

El origen de algunos de estos accidentes pueden ser los **arcos eléctricos**, fenómeno poco común, pero de alta peligrosidad en caso de producirse ya que pueden derivarse en un fuego. Suelen originarse en la parte de corriente continua de la instalación, aunque también pueden presentarse en la parte de corriente alterna. Hoy en día ya existen dispositivos que permiten detectar la presencia de arcos, e incluso impedir que se produzcan.

También se tienen preocupaciones acerca de las **baterías de litio**, de su ubicación, de su posible instalación y operación en ambientes inadecuados, o de las distintas actuaciones que tienen que realizar los bomberos en caso de intervención.

Finalmente cabe destacar que, en primera instancia, el objetivo es **minimizar las posibles causas** de incendio y el origen de los mismos, y, llegado el caso de accidente, **evitar la propagación del fuego**.

¿Qué factores debemos de tener en cuenta?

El diseño e instalación de la planta por profesionales del sector, así como el mantenimiento periódico de la misma, son vitales para evitar posibles factores que puedan contribuir al origen del incendio. El deterioro de los materiales por el paso del tiempo, o la degradación de los materiales aislantes por acción de la radiación ultravioleta, pueden dar lugar a ciertos **fenómenos de naturaleza eléctrica**, como los arcos eléctricos, puntos calientes en los módulos fotovoltaicos, faltas a tierra, cortocircuitos, o sobrecarga en los circuitos. También pueden dar lugar a **fenómenos de naturaleza estructural**, como el deterioro mecánico de conectores y cables, el debilitamiento de la estructura con posibilidad de colapso, la pérdida de módulos por no estar fijados adecuadamente a la estructura, o la necesidad de reparar la cubierta por falta de adecuada ventilación y drenado, que puede desencadenar en infiltraciones o el deterioro de la capa externa.

Los fenómenos anteriores pueden ser “subsanales” siempre que se disponga de un buen diseño de la instalación, una correcta fase de instalación, un mantenimiento periódico adecuado y la colaboración de profesionales formados y cualificados.

Capítulo 1: Fase de diseño de la instalación fotovoltaica.

Para comenzar este primer capítulo se debe tener en cuenta que la consideración más importante a la hora de iniciar un proyecto de una instalación de autoconsumo es realizar una **evaluación de los riesgos** en el lugar dónde se va a ubicar la instalación. Por otro lado, es importante conocer las diferentes posibles ubicaciones de las plantas fotovoltaicas, bien en suelo (autoconsumos industriales, sobre todo) o en cubierta.

Este manual está dirigido a autoconsumos en cubierta, para lo cual también se debe estudiar si la cubierta es nueva o existente, además de la inclinación de la misma (plana o inclinada).

A continuación, se divide el capítulo en tres apartados muy necesarios a la hora de iniciar un proyecto de estas características: fase de proyecto, diseño de la instalación y ubicación correcta de los elementos.

1.1 Fase de proyecto.

Estudio de la cubierta.

El papel principal de la cubierta consiste en aislar el interior del edificio de las condiciones meteorológicas exteriores y a su vez garantizar la estabilidad estructural del conjunto. Además, también es la responsable de alojar la instalación fotovoltaica mediante lastres, generalmente bloques de hormigón, o bien directamente a la propia cubierta.

En el primer caso (**elemento de soporte y fijación de lastres de hormigón**) se produce una sobrecarga permanente en la cubierta de aproximadamente 50-60 kg por módulo fotovoltaico, peso que se suma a la perfilera metálica de la estructura soporte, al propio peso de los módulos fotovoltaicos y al cableado (alrededor de 22-25 kg/módulo).

Durante la instalación de los lastres se puede producir un envejecimiento prematuro de la cubierta en el transporte de los mismos, haciendo que su apariencia y vida útil puedan verse afectadas. Adicionalmente, es posible originar una pérdida de la estanqueidad si la cubierta es perforada con los bloques de hormigón en su trasiego por la cubierta.

En el caso de las **fijaciones directas a la cubierta (mecánicas o soldadas)**, se garantiza la estanqueidad de la misma gracias a la soldadura de su membrana superficial impermeabilizante. En este caso, no se produce una sobrecarga relevante en la cubierta ya que el peso de cada fijación es de unos 300 o 400 gramos por unidad, a lo que hay que sumar, como en el ejemplo anterior, el peso de la estructura soporte, el peso de los módulos fotovoltaicos y su cableado (22-25 kg/módulo).

Para el caso de las **estructuras lastradas sobre cubierta**, es fácil que se produzcan desplazamientos de unos bloques respecto a otros, lo que genera tensiones en la estructura y en los módulos. Esto, aparte de ser un problema mecánico, puede llegar a originar un contratiempo de carácter eléctrico si los módulos se ven afectados o si alguno de los conectores se encuentra demasiado tenso, lo que daría lugar a la aparición de puntos calientes y posibles arcos eléctricos. De igual forma, cuando se dan estos desplazamientos de los bloques, se pueden producir daños en la cubierta que comprometan la estanqueidad.

Finalmente, para las **estructuras fijas en la cubierta**, la dinámica de las fijaciones es la misma que la de la propia cubierta, por lo que no se generan tensiones que aflojen las grapas de fijación, ni se ve afectado el cableado de los “strings”.

Frente a un incendio originado por la instalación fotovoltaica, la cubierta debe evitar la propagación o la penetración del mismo al interior del edificio. Para asegurar esto, el sistema de cubierta debe cumplir con las exigencias de la legislación vigente: el *Código Técnico de la Edificación (CTE)* [4], y el *Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI)* [34]. Esta legislación implica superar los ensayos *B_{Roof} (t1)* de acuerdo a la clasificación de las cubiertas o recubrimientos según su reacción al fuego exterior del *Real Decreto 110/2008* [29], y cumpliendo con la norma europea *UNE-ENV 1187:2003/A1:2007* [46]. El procedimiento para esta clasificación está definido en la norma *EN 13501-5: 2019* [40]; en la que se indica cómo interpretar el resultado obtenido del ensayo al fuego exterior para cada sistema de cubierta. Para conocer más sobre el ensayo *B_{Roof} (t1)*, se puede consultar el anexo I.

El **estudio estructural de la cubierta** debería ser obligatorio en todos los casos para **mantener la estanqueidad** de la misma y **tener muy presentes las cargas mecánicas** existentes, así como las posteriores a la instalación de los nuevos elementos, para evitar sobrecargas. Además, se debe **impedir la formación de puntos calientes y arcos eléctricos** en cualquier lugar de la cubierta, de forma que no se genere el envejecimiento prematuro de la misma. También se han de considerar los posibles movimientos que provoquen desplazamientos de las estructuras y los módulos fotovoltaicos para impedir que la vida útil de la instalación disminuya.

Otro factor importante a tener en cuenta son las cubiertas a distintas alturas, en las que cada una de ellas merece un tratamiento especializado. Además, se debe conocer en la instalación la ubicación de los lucernarios y los patios interiores, la existencia (o no) de petos, barandillas y líneas de vida, o medidas de protección anticaídas.

Estudio de los materiales de la cubierta.

Como bien se ha comentado anteriormente, la elección de los materiales es indispensable a la hora de diseñar una instalación fotovoltaica.

En las cubiertas de nueva construcción ya se tienen en cuenta las características de los materiales frente a la propagación del fuego, pues estas deben cumplir con la clasificación *B_{Roof} (t1)* (anexo I), como bien se ha mencionado en el apartado anterior.

En el caso de cubiertas existentes, es necesario conocer el sistema de la misma, su antigüedad y materiales, a fin de determinar los posibles riesgos y el cumplimiento en todo caso con el requerimiento actual de *B_{Roof} (t1)* del sistema completo de la cubierta como paquete. En cubiertas donde se coloque un aislamiento con baja resistencia a la compresión se debe incluir un tablero de cubierta (yeso o cemento por encima de este).

Las cubiertas pueden ser de diferentes tipos y prestaciones. A continuación, se realiza una breve descripción de las mismas:

- Cubiertas sándwich.
- Cubiertas de fibrocemento.
- Cubiertas con soporte de hormigón.
- Cubiertas con acabado en teja cerámica y hormigón.
- Cubierta deck.

En el segmento industrial, en su mayoría, este tipo de cubiertas son tipo Deck: cubiertas ligeras y formadas por una chapa grecada, aislamiento y una lámina de impermeabilización.

Finalmente, en el *Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio del Código Técnico de la Edificación (CTE), DB-SI 2 [6]*, se requiere que los materiales de la cubierta cumplan las siguientes características para evitar la propagación del incendio:

“Los materiales que ocupen más del 10% del revestimiento o acabado exterior de las zonas de cubierta situadas a menos de 5 m de distancia de la proyección vertical de cualquier zona de fachada, del mismo o de otro edificio, cuya resistencia al fuego no sea al menos EI 60, incluida la cara superior de los voladizos cuyo saliente exceda de 1 m, así como los lucernarios, claraboyas y cualquier otro elemento de iluminación o ventilación, deben pertenecer a la clase de reacción al fuego BROOF (t1)”.

El 60 clasifica a un elemento según su resistencia al fuego evaluando su Integridad (E) y Aislamiento (I). La integridad es la capacidad de resistir a la exposición al fuego (generalmente de abajo a arriba), sin que el fuego pase al otro lado en forma de llamas. El aislamiento es la capacidad de resistir a la exposición al fuego por un solo lado, sin que se transmita el fuego en forma de transferencia de calor significativo. Por último, el 60 indica los minutos que puede resistir el sistema a mantener sus propiedades de integridad y aislamiento.

Estudio de cargas mecánicas.

Ya se ha citado en secciones previas del documento la importancia de realizar un estudio de las cargas mecánicas previa a la instalación de la planta fotovoltaica. Este estudio debe recoger no solo el peso de los elementos propios de la instalación, sino, además:

- Las estructuras de los módulos fotovoltaicos.
- Las fijaciones de los módulos fotovoltaicos.
- Los lastres.
- El cableado.
- Las protecciones:
- Las barandillas.
- Las líneas de vida.
- Las protecciones anticaídas.

También hay que tener en cuenta el personal encargado de:

- La instalación de los elementos.
- El mantenimiento de la instalación.
- La extinción del fuego en caso de incendios (bomberos).

Y otras consideraciones como:

- Causas meteorológicas que podría suponer un incremento de peso adicional.

Estudio de los elementos a instalar.

Previo a la instalación de los elementos, es conveniente comprobar las especificaciones técnicas de los componentes a instalar, prestando particular atención a los requisitos eléctricos y ambientales de **almacenamiento, transporte, instalación y operación**. Equipos almacenados e instalados en ambientes hostiles y operando en condiciones fuera de las requeridas presentan un incremento en sus probabilidades de fallas, aumentando los riesgos de eventos calamitosos.

También es importante verificar la **adecuada homologación** de los componentes a utilizar por parte de organismos acreditados. La normativa de producto en el ámbito fotovoltaico garantiza componentes eficientes con elevados niveles de seguridad operativa.

Por otro lado, la baja calidad de los componentes puede provocar una degradación acelerada de la instalación.

Otras recomendaciones.

Como contenido extra de lo expuesto anteriormente, se considera imprescindible atender a las siguientes cuestiones:

- Realizar un estudio de cargas térmicas.
- Protección de los lucernarios con mallas para evitar la caída de personas y objetos.
- Delimitación de las zonas de posible caída de objetos para impedir el tránsito y circulación.
- Realizar labores de mantenimiento en la cubierta antes de ejecutar la instalación fotovoltaica con el objetivo de minimizar la necesidad de trabajos posteriores que requieran desmontaje del generador fotovoltaico.

1.2 Diseño de la instalación.

Un correcto diseño de la instalación, la elección de los componentes adecuados y una correcta ubicación de los mismos, son los elementos necesarios para que una instalación sea segura.

Asimismo, dichos elementos, además de ser de alta calidad, deben ser los especificados en los manuales (conectores de los módulos fotovoltaicos, conectores de los inversores, etc).

Se describen a continuación las características de los módulos fotovoltaicos, los cables y sistemas de conducción de cables, los conectores y las conexiones, los inversores fotovoltaicos, las vías de acceso, los pasillos técnicos y otros elementos, y las protecciones.

Módulos Fotovoltaicos.

Para los paneles fotovoltaicos las recomendaciones en la fase de diseño son:

- Tanto el módulo en sí, como el marco y su estructura deben estar compuestos por materiales con un buen comportamiento en caso de incendio.
Los módulos fotovoltaicos deben cumplir la *IEC 61730-2: Cualificación de la seguridad de los módulos fotovoltaicos (FV). Parte 2: Requisitos para ensayos* [16]. Esta norma clasifica los módulos en tres clases en lo que resistencia al fuego se refiere: Clase A, B y C, siendo la “A” la más restrictiva y la “C” la menos. Por supuesto, el uso de paneles de clase A, la mayor parte de “doble vidrio” supone una mayor resistencia al fuego y una “menor” propagación del mismo. La mayor parte de los paneles vidrio-tedlar, cuentan con una clasificación “C”.
Las normativas *ASTM E108* [1] y *UL 1703* [47], también realizan la siguiente clasificación de los módulos, de los cuales, es recomendable utilizar la clasificación A:
 - Clase A - Máxima protección contra incendios: probado para soportar exposiciones severas al fuego. Recomendado para instalaciones en cubiertas y zonas sensibles.
 - Clase B - Protección moderada frente al fuego: probado para resistir exposiciones medias al fuego, adecuado para aplicaciones generales.
 - Clase C - Protección básica frente al fuego: adecuado solo para áreas con bajo riesgo de incendios.
- Los paneles *bifaciales* o *crystal-crystal* eliminan en gran medida la utilización de materiales plásticos (*crystal-crystal*) y las “sobre temperaturas”.
- Los sistemas de montaje y los marcos de los módulos deben ser considerados en las pruebas para evaluar la combustibilidad de la planta fotovoltaica.

Cables y Sistemas de Conducción de Cables (SCC).

Las recomendaciones para los cables y los sistemas de conducción de cables son las siguientes:

- La clase mínima de reacción al fuego para los cables será *Eca* (*), de acuerdo con las normativas vigentes [32]
- De acuerdo al *Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio del Código Técnico de la Edificación (CTE), DB-SI 1 4.2* [6], los cables y sistemas de conducción de cables deben cumplir con su reglamentación específica en el *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT)* [31].
- Los sistemas de conducción de cables serán no propagadores de la llama de acuerdo con el *REBT* [31]: “Las condiciones de *reacción al fuego* de los componentes de las instalaciones eléctricas (cables, tubos, bandejas, regletas, armarios, etc.) se regulan en su reglamentación específica”.

Por otro lado, se recomienda que el cable de corriente **continua** solar sea del tipo **H1Z2Z2-K** (ver anexo II), conforme a la norma *UNE-EN 50618:2015* [42]. Este cable está diseñado expresamente para instalaciones fotovoltaicas. Dispone de una muy buena resistencia a la radiación solar y puede trabajar sumergido en agua. Su reacción al fuego es *Cca s1b, d2, a1*, siendo *Cca* el nivel de protección contra el fuego bueno, *s1b* la emisión de humos con una visibilidad del 60%, *d2* corresponde al nivel de partículas inflamables exigibles en más de 10 segundos, y *a1* indica que tiene un nivel de acidez de los gases nulo. Esta clasificación esta detallada en la normativa *EN 50575: 2015* [41].

Para la parte de **alterna**, en función del tipo de inversor puede haber componentes de alta frecuencia en la instalación, por lo que es importante tener en cuenta el efecto piel a la hora de realizar el cálculo de los conductores.

En cuanto a los sistemas de conducción de cables se aconseja la utilización de sistemas de conducción de cables cerrados (tubos, canales protectores o bandejas cerradas con tapa) para evitar el deterioro de los cables por efectos de los rayos UV o por daños mecánicos.

(*) *Eca* es la reacción al fuego mínima para cualquier tipo de cable. Aplica tanto a cableado de continua como de alterna.

Es un error común es pensar que el uso de sistemas de conducción de cables resistentes al fuego garantiza la no propagación del incendio. Según el *Documento Básico de Seguridad en caso de Incendios del Código Técnico de la Edificación (CTE)* [6], la resistencia al fuego significa la capacidad de los elementos para mantener su función durante un incendio (*“capacidad de un elemento de construcción para mantener durante un periodo de tiempo determinado la función portante que le sea exigible, así como la integridad y/o el aislamiento térmico en los términos especificados en el ensayo normalizado correspondiente”*), es decir, los sistemas de conducción de cables resistentes al fuego deben garantizar que los cables resistentes al fuego continúen transmitiendo electricidad durante un incendio.

Por otro lado, es recomendable evitar que las canalizaciones eléctricas crucen de un sector de incendio a otro. Si esto no se puede evitar, es necesario aplicar un sellado exterior entre el sistema de conducción de cables y el elemento constructivo, si lo hubiese, y un sellado interior en el propio sistema de conducción de cables para prevenir la propagación del incendio.

Conectores y conexiones.

Comprender los impactos técnicos y las regulaciones respectivas es esencial para instalar y conectar un sistema fotovoltaico ya que no existe un estándar internacional de productos para el diseño y la tecnología de los conectores fotovoltaicos. Cada fabricante tiene sus propias especificaciones y superficies de conexión especializadas, tecnología de contacto, composición de materiales, aislamiento y procesos de producción.

Diferentes estudios como el *Solar Bankability Project* [36] realizado por la Comisión Europea, el *Solargrade* [37] por Heliovolta, estudios realizados por la certificadora TÜV [38], o los estudios del *Clean Energy Associates* [28], coinciden en que la principal fuente de incidencias en una instalación fotovoltaica está en la distribución en corriente continua (DC) y, dentro de ésta, los conectores fotovoltaicos, son el de mayor porcentaje. Es por ello que es bueno nombrar los principales errores detectados en los **conectores**, para evitar fallos en los mismos:

- Conexiones entre conectores de diferentes fabricantes: este hecho incrementa el riesgo técnico y legal de una instalación fotovoltaica.
- Montaje incorrecto: fallas por no seguir el manual de montaje del fabricante o por la utilización de herramientas inadecuadas.
- Exposición del elemento conductor de los conectores a factores ambientales tales como la lluvia, el polvo o el barro cuando estos no se encuentran conectados, cobrando especial importancia durante el montaje o el mantenimiento de la instalación.

Para ello, es bueno que se sigan las siguientes recomendaciones:

- Los conectores deben estar certificados según la *IEC 62852:2014+AMD1:2020* [23].
- Se debe comprobar los conectores de los diferentes equipos (módulos, inversores, protecciones, etc), con el objetivo de utilizar **conectores del mismo fabricante** para realizar la conexión en los diferentes equipos, cumplir con la normativa y mantener la garantía.
- Revisar el manual de montaje de los conectores y comprobar las herramientas necesarias.

Además, existe otro tipo de conectores especiales, los adaptadores en “Y” en corriente continua, cuyo uso debería ser limitado y verificado técnicamente (además que estos deben ser del mismo fabricante), ya que presenta algunos riesgos asociados:

- Si no se dimensionan adecuadamente, la sobrecarga a la que están expuestos puede causar sobrecalentamiento e incendios.
- La conexión de los módulos en paralelo a través de estos conectores puede provocar una pérdida de eficiencia, ya que los módulos pueden no operar en su punto de máxima potencia.
- La compatibilidad de módulos, inversores y adaptadores en “Y” no está garantizada en todos los casos, lo que puede incrementar el riesgo de daños en los equipos y pérdida de la garantía.
- La conexión incorrecta o el uso de adaptadores de baja calidad puede aumentar el riesgo de cortocircuito.
- El mantenimiento y el diagnóstico en caso de fallas puede ser más difícil en sistemas con este tipo de adaptadores.

Por su parte, las **conexiones** cruzadas entre conectores de diferentes fabricantes se identifican con frecuencia como la causa principal de fallas en los conectores, además de causar la pérdida de energía y riesgos de seguridad innecesarios. En el peor de los casos, este daño puede incluso provocar un incendio.

Por otro lado, los factores que pueden provocar la incompatibilidad técnica son:

- Tecnología y material de productos de baja calidad.
- Discrepancias en el proceso de producción y en los estándares de calidad.
- Falta de alineación en las zonas de tolerancia para garantizar la fuerza de contacto.
- Falta de compatibilidad química de los materiales (incluidos los materiales de producción y auxiliares).
- Cambios en el proceso de producción sin tener en cuenta las posibles interacciones.
- Incumplimiento de los estándares de certificación oficiales otorgados a los fabricantes que cumplen con las normas.

Con respecto a las consecuencias de las **conexiones cruzadas**, la combinación de conectores de distintos fabricantes puede dar lugar a resultados impredecibles y a riesgos de seguridad. El acoplamiento cruzado puede provocar grietas, fugas y aumentar la resistencia de contacto del sistema de conexión provocando daños graves en áreas locales o incluso en todo el sistema.

Además, los daños pueden pasar desapercibidos, ya que no siempre son visibles a primera vista. Algunos de ellos son:

- Alta resistencia de contacto: fallas en el conector.
- Caída de rendimiento de la instalación o paradas no programadas.
- Altos costes de servicio y mantenimiento.
- Puntos calientes o incendios.
- Costes por disputas legales.

Inversores Fotovoltaicos.

Como bien es sabido, el inversor fotovoltaico es un elemento fundamental en la operación de la planta fotovoltaica, desempeñando funciones como la conversión de la corriente continua procedente de los módulos fotovoltaicos, a corriente alterna, así como la optimización de la producción (seguimiento del punto de máxima potencia).

A continuación, se presentan algunas recomendaciones a la hora del diseño de una instalación fotovoltaica:

- Los inversores deben ser conformes con las directivas europeas *2014/35/EU* [9], directiva de baja tensión (para equipos conectados a baja tensión) y *2014/30/EU* [8] (directiva de compatibilidad electromagnética) o a la *2014/53/EU* [10] (directiva de dispositivos radio, que incluye la *2014/30/EU* [8]) en el caso de inversores que contienen dispositivos que funcionan con radiofrecuencia, como es el caso de conexiones WiFi, así como con las normativas de seguridad [17] [18] [19] [20].
- Es importante verificar la compatibilidad del inversor con el tipo de ambiente de la instalación: ambientes con altos niveles de humedad, ambientes industriales corrosivos o ambientes salinos, como por ejemplo en lugares cercanos al mar. Estos pueden impactar la vida útil y el rendimiento del equipo.
- Es fundamental, en caso de dudas acerca de las características del inversor y su compatibilidad con otros componentes, contactar directamente al fabricante del equipo. Esto puede simplificar el proceso de selección e instalación del equipo, además de evitar potenciales pérdidas de garantía derivada del uso inapropiado del equipo.

Vías de acceso, pasillos técnicos y otros elementos.

Además de las recomendaciones que se han mencionado para los módulos fotovoltaicos, los cables, los conectores y las conexiones, en una instalación se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Proporcionar pasillos técnicos, líneas de vida, vías de acceso y paños de menos de 40x40 metros para el acceso de los bomberos y las personas de mantenimiento.
- Accesos seguros a la instalación: barandillas, escaleras, etc, para facilitar los accesos a cubierta y la operación segura en las mismas.

La supervisión mediante termografía o la realización de cualquier otra tarea de mantenimiento que implique acceder a las cubiertas y a los propios paneles solares se simplifica y abarata enormemente mediante la disposición tanto de accesos seguros a cubierta para las personas, como de medidas de protección colectiva que permita el tránsito de dichas personas sin riesgo de caída durante la realización de los trabajos. Una termografía para la comprobación in situ de una serie de paneles o de un panel que pueda estar bajo sospecha por los datos de una monitorización, es un trabajo relativamente rápido si se dispone previamente en la planta tanto de una vía de acceso seguro a la cubierta, como de las pertinentes líneas de vida fijas que permitan un tránsito seguro por la cubierta hasta el punto donde deba realizarse el trabajo. Esto facilitará y economizará mucho la realización de las tareas de supervisión y de comprobación que puedan resultar necesarias en cada caso. No disponer de estos medios, encarece y ralentiza mucho estas operaciones y puede desincentivar la comprobación de la existencia o no de un conato de incendio, simplemente por la incertidumbre del dato observado.

- Indicar la ubicación de los elementos de protección.
- Señalización y protección del cableado (especialmente de la parte de continua).
- Asegurarse del sellado entre el interior y el exterior de la instalación de cualquier apertura.
- Cerciorarse de que las dilataciones de la estructura no puedan dañar el cableado.

Protecciones.

El uso de protecciones es vital para la detección de posibles fallos eléctricos y la evacuación o disipación de los mismos.

En el este apartado se realiza un listado de las protecciones que deben instalarse en cualquier sistema fotovoltaico respecto a la prevención contra incendios.

Previamente se recalca la necesidad de disponer de **sistema de alarmas** a través del mismo inversor u otro elemento auxiliar, para detectar y enviar avisos en caso de mal funcionamiento.

Protecciones de continua (DC).

- Sistemas de detección y extinción de arco eléctrico (protección AFCI [24]), que pueden estar integrados en el convertidor eléctrico o bien ser dispositivos externos.
- Derivaciones a tierra y medidores de la resistencia de aislamiento del sistema.

En el anexo IV de este documento se detalla otra serie de medidas que pueden ayudar a la seguridad de la instalación fotovoltaica.

Protecciones en alterna (AC).

- Paro de emergencia en la parte de corriente alterna en instalaciones de más de 100kW (utilización de un diferencial que corte la corriente de todos los inversores). De esta forma se permite el paro de la instalación por personal sin conocimiento eléctrico.
- Establecer alarmas automáticas sobre las plataformas de monitorización que alerten de posibles anomalías en la generación de los “strings” y que puedan alertar de un posible incendio o calentamiento excesivo.
Por ejemplo, la merma de generación motivada por puntos calientes (diferencial respecto de “strings” aledaños).
- Protecciones en caso de sobrecarga y sobretensiones (interruptor automático).
- Protecciones en caso de contactos indirectos (interruptor diferencial).

Protecciones de los inversores fotovoltaicos.

Los inversores fotovoltaicos miden las magnitudes eléctricas de los circuitos de continua y alterna para garantizar el buen funcionamiento del equipo y así detectar y notificar potenciales fallos y detener el funcionamiento del equipo en caso de situaciones anómalas, garantizando la operación segura de la planta. Entre las funciones principales que vienen integradas en los inversores se encuentran:

- Monitorización de la toma a tierra.
- Protección contra la polarización inversa en corriente continua.
- Dispositivo de monitorización de la corriente residual.
- Protección contra sobrecargas.
- Protección contra cortocircuitos.
- Protección contra sobretensiones.
- Protección de detección de fallo de aislamiento.

1.3 Ubicación correcta de los elementos.

El correcto emplazamiento de los distintos elementos y la apropiada separación entre los mismos, son medidas clave para garantizar la seguridad de la instalación.

Módulos Fotovoltaicos.

Las recomendaciones respecto a la ubicación adecuada de los módulos fotovoltaicos es la siguiente:

- Los módulos fotovoltaicos no deben tocar el perímetro de la cubierta para que esta sea accesible (entre 1m y 1,5m).
- Se debe considerar una separación mínima entre los paneles fotovoltaicos y la cubierta que garantice la adecuada ventilación de las mismas, al mismo tiempo que permita una adecuada gestión del cableado.
- Es recomendable evitar que las canalizaciones eléctricas crucen de un sector de incendio a otro. Si esto no se puede evitar, es necesario aplicar un sellado exterior entre el sistema de conducción de cables y el elemento constructivo, si lo hubiese, y un sellado interior, por ejemplo, mediante pintura intumescente en el propio sistema de conducción de cables para prevenir la propagación del incendio.

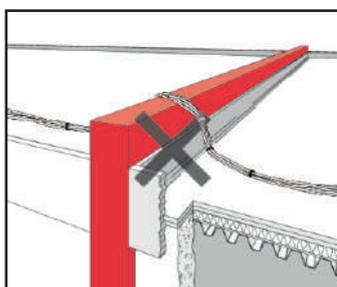


Figure 9 Conduct of cables in connection with a fire wall
(source: VdS 2234)

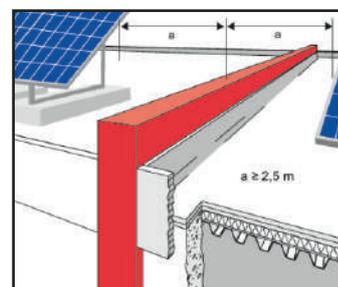


Figure 10 Arrangement of PV modules on the roof and in connection with a fire wall
(source: VdS 2234)

Figura 1: Disposición de módulos fotovoltaicos sobre el tejado y en conexión con un muro cortafuegos [3].

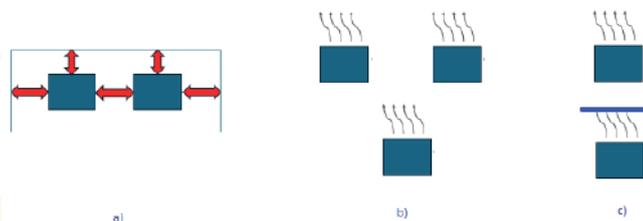
- Posibilidad de dividir los paneles fotovoltaicos en secciones, y que cada sección lleve asociadas sus correspondientes protecciones. La recomendación por parte de los bomberos es que el número de módulos de una misma sección no sea superior a 40.
- Adecuación de las distancias entre módulos fotovoltaicos para evitar arcos eléctricos: compartimentar en grupos los paneles fotovoltaicos sobre las cubiertas, para limitar la continuidad de propagación de fuego en caso de incendio.

Inversor Fotovoltaico.

En el caso de la ubicación del inversor fotovoltaico es importante diferenciar si la instalación se realiza sobre cubierta, o en un local especial. En caso de que se localice en la cubierta, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Se deben seguir siempre las instrucciones de instalación contenidas en el manual del equipo.
- Los inversores deben estar ubicados en un área fácilmente accesible para facilitar las operaciones de mantenimiento y/o inspección técnica, o de emergencia. Asimismo, se debe garantizar el fácil acceso a los conectores y cables conectados al equipo, evitando excesivas tensiones de los cables que puedan causar daños mecánicos a las conexiones.
- Independientemente del *grado de protección IP (*)*, en la medida de lo posible, el inversor debe instalarse en un lugar protegido de condiciones meteorológicas severas, con una ventilación adecuada, resguardado de la radiación solar directa y de humedad excesiva. También es importante considerar la clasificación climática en la cual puede operar el equipo [15]. Estas medidas contribuyen a evitar el sobrecalentamiento y reducir el estrés térmico en los componentes electrónicos internos, prolongando la vida útil del equipo y evitando la aparición del derrateo (reducción de la potencia nominal a altas temperaturas).
- Se recomienda una ubicación centralizada dentro de una estructura separada no combustible
- Con el objetivo de limitar la caída de tensión y reducir el mayor riesgo eléctrico asociado al lado continuo respecto al lado de alterna, es aconsejable instalar el inversor lo más cerca posible a los paneles fotovoltaicos (pero sin ubicarlos debajo de ellos), respetando las distancias mínimas y las condiciones ambientales establecidas por el fabricante del equipo.
- Debe asegurarse una adecuada ventilación del equipo, como en el ejemplo a) de la figura 2. Adicionalmente, en el caso de instalaciones en filas múltiples, se sugiere considerar esquemas de posicionamiento que eviten la transferencia de calor por convección entre equipos (caso b)) o la interposición de barreras físicas entre los mismos (ejemplo c)).

Figura 2. Distancia entre el inversor fotovoltaico y otros elementos.



- Los inversores fotovoltaicos nunca deben montarse en paredes inflamables o cerca de lugares con exposición a sustancias inflamables.

Por otro lado, en caso de poseer de un local especial, sería bueno situar el inversor en un emplazamiento que reúna las condiciones de un cuarto eléctrico a los efectos de detección y extinción de incendios.

(*) El grado de protección IP indica la resistencia de los productos para su uso en interiores y exteriores y su clasificación se regula en la norma UNE-EN 60529:2018 [43].

Cableado.

La disposición o agrupación de los conductores es importante cuando, por cuestiones de diseño, no se puede emplear un único cable por fase para la conexión entre inversores y cuadros, o cuadros y puntos de conexión, pues puede aparecer el “efecto piel”.

Definir pasajes protegidos y delimitados para la gestión del cableado en la cubierta también es un elemento clave a considerar, manteniendo los conductores de potencia adecuadamente separados de las líneas de comunicación.

Finalmente, los cables deben ser instalados sin holguras para tener en cuenta las posibles dilataciones térmicas.

Otros.

A continuación, se añaden varias consideraciones que no se engloban dentro de los apartados anteriores:

- Se debe introducir una separación mínima entre los módulos fotovoltaicos y la estructura/ cubierta, que garantice la adecuada ventilación de las mismas, al mismo tiempo que permita una adecuada gestión del cableado.
- Las distancias entre elementos verticales (ventanas, por ejemplo), también es importante para evitar la propagación vertical y horizontal del fuego.
- Si el estudio de la instalación requiere el uso de fusibles y cajas de agrupación, éstas deben emplazarse en zonas cubiertas o bajo tejadillos. Se debe asegurar que tanto los equipos como los conectores disponen de los valores más elevados posibles de IP para mantener la estanqueidad y evitar los riesgos de incendio por la exposición a las inclemencias del tiempo.
- Se deben respetar las distancias de mantenimiento y ventilación de los equipos.
- No se deben tapar elementos de ventilación como los exutorios.
- Se deben mantener las distancias mínimas respecto a elementos de ventilación y a los muros cortafuegos al interno de la edificación.
- Debe existir distancia de separación entre paneles fotovoltaicos y lucernarios.

Capítulo 2: Fase de instalación.

La fase de instalación es fundamental para el buen funcionamiento de la misma. En este capítulo se pretenden dar pautas para unificar los criterios en el montaje de las instalaciones, de forma que estos puedan ser aplicados por las distintas empresas instaladoras.

Cableado, conectores y sistemas de conducción de cables.

En el caso del **cableado y de los sistemas de conducción de cables** tanto en el diseño, en la elección de los materiales y en la instalación de los mismos, se tomarán todas las medidas necesarias para evitar el inicio del incendio y minimizar su posterior propagación. Por lo tanto, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Separar cables de polaridad positiva y negativa para evitar cortocircuitos y arcos eléctricos ante fallos de aislamiento provocados por el deterioro de los cables o por cualquier otra circunstancia.
- Instalar el cableado de corriente continua (DC) en el exterior del edificio. Si esto no fuera posible, se recomienda separar el cableado de continua del cableado de corriente alterna (AC) en bandejas que posean una separación con un tabique y señalizarlo adecuadamente.
- Evitar que los sistemas de conducción de cables y las “String Combiner Boxes” (SCB) estén en contacto directo con la cubierta. En el caso de los sistemas de conducción de cables, alzarlos 10 cm mediante un soporte o un elemento distanciador, y en el caso que no se posible, mantener un mínimo de 3 cm.
- Verificar que las posibles aristas de los sistemas de conducción de cables no dañen el aislamiento de los mismos.
- Embridar los conectores a la estructura o en su defecto, al panel, para que estos no estén en contacto directo con la cubierta.
- Evitar el paso del cualquier tipo de cableado por paredes cortafuego; pero, si es necesario, las aperturas deben estar protegidas.
- Verificar que no se ha roto la sectorización de incendios, y en caso de no poder evitarse, el cableado que atravesase debe llevar material intumescente o pintura ignífuga.
- Proteger los extremos de los cables hasta que las conexiones sean herméticas siguiendo las instrucciones de curvatura y conexión del fabricante.
- Evitar la exposición de los conectores a la luz solar directa.
Aunque los conectores están diseñados para su uso en la intemperie, se debe evitar la exposición prolongada a los rayos UV ya que puede actuar como precursor de reacciones químicas en el polímero del conector.

- Evitar la exposición de los conectores a cualquier tipo de contaminación del ambiente utilizando tapones cuando esto no se encuentren conectados.
- Evitar alojar los conectores en zonas inundables o de acumulación de suciedad.
- Fijar el cableado adecuadamente.
- Utilizar las herramientas indicadas en el manual de montaje es indispensable para cumplir con la normativa y, en la mayoría de casos, mantener la garantía.

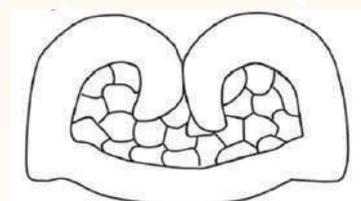
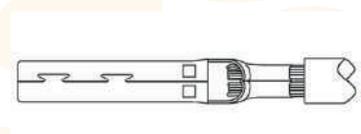
Los **conectores** son un elemento clave en una instalación fotovoltaica, por ello, es fundamental realizar un montaje y un crimpado correcto y seguro con las herramientas específicas a la hora de realizar el cableado. Además, se deben seguir las instrucciones del manual paso a paso según las indicaciones de cada fabricante. Al utilizar las herramientas especificadas en los manuales se asegura la calidad de conexión, además de mantener la certificación (*IEC 62852:2014+AMD1:2020* [23]), y la garantía del fabricante. Es por ello que es importante tener en cuenta lo siguiente:

- Seleccionar adecuadamente los conectores teniendo en cuenta la sección de cable (mm^2) y el diámetro exterior de cable (mm), dato fundamental para garantizar la IP indicada por el fabricante:

Número de conductores por sección (mm^2)	Diámetro máximo del conductor (mm)	Diámetro exterior del cable (valor máximo) (mm)	Radio mínimo de curvatura dinámico (mm)
1x1,5	1,8	5,4	22
1x2,5	2,4	5,9	24
1x4	3	6,6	26
1x6	3,9	7,4	30
1x10	5,1	8,8	35

Tabla 1. Selección adecuada de los componentes.

- Comprobar los pasos y las herramientas necesarias en el manual de montaje del conector, con especial atención a la crimpadora (para garantizar la mínima resistencia en este punto) y la herramienta para aplicar el par de apriete requerido en el prensa-estopa (garantizando la IP en esta parte del conector):



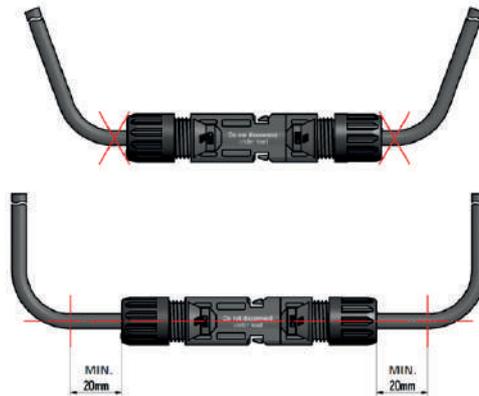
- Una vez montados, se debe evitar que queden instalados expuestos directamente a los rayos UV ya que pueden degradar el polímero del conector creando roturas, pérdidas de aislamiento e incremento de la resistencia:



- Los conectores expuestos a la intemperie deben mantenerse estancos ya que la exposición a la humedad o al polvo puede degradar los contactos de los conectores incrementando la resistencia de contacto y la temperatura. La IP requerida estará directamente relacionada con las características ambientales del emplazamiento de la instalación que puede abarcar desde una IP55 (mínimo requerido en IEC 62852:2014+AMD1:2020 [23]) hasta una IP68 (para los ambientes más húmedos). En caso de no realizar la conexión de los conectores, se deben utilizar tapones:



- Se debe respetar la curvatura del cable en la salida del conector:



- Los conectores no deben estar sujetos a una carga de tensión mecánica permanente.
- Los conectores no deben estar ubicados en zonas permanentemente húmedas o mojadas:



- Los conectores no deben estar ubicados en zonas de acumulación de objetos o suciedad:



Inversores Fotovoltaicos.

Ya se ha comentado en apartados anteriores la importancia de los inversores en una instalación fotovoltaica. Es por ello que es muy importante seguir las instrucciones del fabricante durante el transporte, la instalación y la operación para garantizar las adecuadas prestaciones del equipo y evitar anular la garantía en caso de fallos. Además, es bueno seguir las siguientes recomendaciones:

- El equipo debe contar con la etiqueta del fabricante situada en un lugar visible. Esta debe incluir la información técnica y el número de serie, información útil durante las tareas de soporte técnico y mantenimiento.
- Hay que separar de una manera clara el cableado de signo positivo y negativo.
- Se deben respetar los requisitos del fabricante acerca de los materiales de los cables a utilizar, las secciones de los conductores, y los pares de apriete, además de prestar especial atención a las herramientas a utilizar durante la preparación de los conectores y el conexionado al equipo, verificando que no haya cables dañados o pelados, así como examinar el correcto crimpado de los terminales de continua y alterna.
- Con el objetivo de minimizar el riesgo de arcos eléctricos, se debe verificar la adecuada configuración de los dispositivos *AFCI* (Arc Fault Circuit Interrupter) siguiendo los procedimientos establecidos por cada fabricante. Ante una notificación de arco, estos sistemas permiten un número máximo de reinicios automáticos del sistema para minimizar la pérdida de producción en caso de falsas alarmas. Sin embargo, es importante comprobar la instalación en caso de notificaciones continuas.

Consideraciones generales.

Además de lo ya expuesto en los apartados anteriores, a nivel general se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La siguiente documentación debe estar visible y al alcance de las personas interesadas:
 - Esquema eléctrico y planimetría de la instalación que contenga los puntos de seccionamiento tanto de la parte de continua como de alterna.
 - Mapa de evacuación en caso de emergencias.
 - Contacto y teléfono de la persona a contactar en caso de emergencias.

- Señalizar la presencia de la planta fotovoltaica con carteles oportunamente distribuidos a lo largo del perímetro de la instalación, diferenciando los distintos elementos, sobre todo las partes de corriente alterna (AC) y corriente continua (DC):
- Comprobar que la estructura se ha instalado de forma correcta.
- Necesidad de realizar una auditoría final o un examen de calidad.
- Las personas encargadas de las labores de instalación deberán ser formadas adecuadamente sobre los posibles riesgos en la ejecución de los trabajos, así como en la adecuada instalación de componentes y equipos, siguiendo las instrucciones de los fabricantes en cuanto a la operación, transporte, instalación y mantenimiento.

Capítulo 3: Fase de mantenimiento.

La fase de mantenimiento es la gran olvidada una vez la instalación de autoconsumo es activada y empieza a producir. Sin embargo, para lograr una **larga vida útil** de la planta, es necesario realizar el correcto mantenimiento de los elementos, el cableado y las conexiones, para evitar posibles fallas, no comprometer a la seguridad y continuar con un buen funcionamiento de la misma.

De acuerdo al documento *Operation & Maintenance. Best Practice Guidelines. Version 5.0* [26], publicado por *Solar Power Europe*, como mínimo, se debe realizar una inspección al año. Esta inspección debe incluir acciones de limpieza y mantenimiento en función de las condiciones ambientales dónde se ubique la planta, lo que garantizará el funcionamiento continuo, seguro y eficiente de la instalación, y minimizará los riesgos.

Para ello se proponen una serie de recomendaciones y acciones a llevar a cabo en los distintos elementos que componen la instalación de autoconsumo.

Realizar estudios de termografías.

Para detectar posibles puntos calientes donde se haya incrementado la resistencia de contacto. Una de las técnicas puede ser la técnica de infrarrojos aplicada a los siguientes elementos:

- Conectores de corriente continua.
- Inversores.
- Módulos fotovoltaicos.

Para ello, se puede emplear el uso de cámaras o drones termográficos para comprobar la temperatura en los módulos o el conexionado de los inversores (ver anexo IV para más información).

Continua limpieza y buen estado de los elementos.

Continua limpieza y buen estado de los elementos, como por ejemplo de la cubierta, para que no se produzca la acumulación de los escombros debajo de los paneles. También de los paneles fotovoltaicos, para que estos no generen una sobreintensidad.

La limpieza de los módulos fotovoltaicos debe basarse en la localización, el tipo de instalación, el tamaño y las condiciones ambientales. También es importante proporcionar un espacio de ventilación suficiente para evitar la suciedad y procurar que el cableado no sirva para retener papel, hojas u otros elementos que puedan entrar en combustión debido a las altas temperaturas de debajo del panel.

Inspección de los distintos elementos.

Se recomienda revisar:

- Las conexiones mecánicas y el sellado de penetraciones en la cubierta, ajustando conexiones y reparando o reemplazando piezas según sea necesario.
- Alertas de rendimiento a nivel del sistema. En instalaciones de mayor potencia se recomienda también la revisión de estas alertas y las faltas a nivel inversor y a nivel MPPT (preferiblemente en tiempos menores a un año).
- Cajas DC/AC (continua/ alterna).
- Conexiones de gran potencia.
- Inversores fotovoltaicos: realización de pruebas de acuerdo a las instrucciones de los fabricantes.
- Pruebas de resistencia de aislamiento.

También es importante tener en cuenta el mantenimiento de los cuadros eléctricos y del cableado, así como de los conectores de corriente continua, para los cuales es necesario:

- Comprobar si las conexiones se han realizado con conectores del mismo fabricante.
- Revisar si existe acumulación de agua o suciedad en la zona donde están instalados los conectores.
- Comprobar si hay degradación y/o decoloración del polímero.
- Comprobar si hay roturas en el conector.

Por otro lado, como ya se ha comentado, para los inversores fotovoltaicos, además de revisar las alertas, es bueno comprobar en el histórico del mismo que no hay ningún “string” defectuoso ni ninguna otra alarma (gracias al portal que proporciona el fabricante). Supervisar los sistemas de monitorización de los inversores permite obtener información acerca del rendimiento del equipo y de las notificaciones en caso de eventos anómalos, y permite tomar acciones correctivas, anticipando la aparición de fallas importantes. Sin embargo, esto no sustituye la necesidad de realizar inspecciones periódicas in situ.

El lugar de la instalación debe ser mantenido en condiciones **adecuadas de limpieza**. En caso de contar con ventiladores, se recomienda su limpieza periódica para minimizar problemas de sobrecalentamiento.

En el caso de la existencia de seguidores solares, debe revisarse el motor y limpiarse de forma periódica.

Además, no hay que olvidarse de la medición manual del valor de resistencia de tierra y de la tensión de las líneas de continua, así como de realizar las siguientes comprobaciones: revisar las posibles caídas de producción, que las estructuras estén fijadas correctamente, prestar especial atención a la corrosión de las partes metálicas, revisión de las puestas a tierra de los materiales de la instalación, o comprobar que no hay daños por roedores y otras plagas.

Por último, recalcar que el personal de mantenimiento debe estar **formado y entrenado** en aquellas operaciones para las que ha sido contratado. Además, tiene que estar equipado con los Equipos de Protección Individual correspondientes (EPIS).

Capítulo 4: Tratamiento de las baterías de litio.

Cada vez es más frecuente encontrarnos almacenamiento en las instalaciones de autoconsumo para dimensionar dichas instalaciones de una forma eficiente. Esto conlleva tener en cuenta ciertas consideraciones respecto a la ubicación de estos dispositivos, a su funcionamiento, a los sistemas de protección contra incendios y a actuaciones y protocolos en caso de emergencia

El fenómeno “Thermal Run Away” y otros factores. Niveles de seguridad de las baterías.

La peligrosidad de este tipo de elementos se debe al fenómeno “**Thermal Run Away**”, un fenómeno de combustión interna que puede durar varios días y cuyas consecuencias no son inmediatas (explosiones o “fuegos” en cadena en distintas celdas de la batería). La temperatura de las celdas, durante su operación, alcanzan un valor crítico causando el deterioro de las mismas y rompiendo la estructura interna de estas. Esto incrementa velozmente la temperatura y presión internas, generando una reacción en cadena que puede impactar a las celdas aledañas y que conduce a un aumento incontrolable de la temperatura con potenciales consecuencias como fuego, emisión de gases tóxicos y explosiones.

Muchos cuerpos de bomberos son conscientes de este fenómeno y están desarrollando técnicas para evitar la propagación del fuego: grandes chorros de agua, aislar la batería o taparla y enfundarla con “mantas” o fundas especiales que contengan la explosión. También existen algunos sistemas que contemplan la instalación de tuberías secas, la extinción con gases, y otras medidas que pueden evitar el tener que rociarlas con agua hasta que se apaguen.

Un papel fundamental en la operación segura de los sistemas de baterías lo asume el *BMS* (Battery Management System), que se encarga de monitorizar los parámetros de cada celda (por ejemplo, la temperatura, el voltaje o la corriente). También gestiona los ciclos de carga y descarga de las baterías, garantizando la operación en el rango de seguridad del sistema.

En algunos casos, los módulos de las baterías pueden incluir barreras térmicas entre las celdas para contener y limitar la propagación del calor a las celdas aledañas.

A nivel inferior, existen otros niveles de seguridad:

- **Nivel pack:** se realiza una monitorización a tiempo real de la tensión individual de cada una de las celdas del sistema (con resolución a nivel de mV), además de monitorizar la temperatura a lo largo de todo el pack de celdas mediante sondas *NTC* (*).
- **Nivel BMU:** en un escalón superior, se emplea un *BMU* (Battery Management Unit), que se encarga de gestionar las señales de cada uno de los packs que integran el rack. Este sistema de control es capaz de inhabilitar la conexión eléctrica del rack con respecto al resto del sistema en caso que haya incidencia o anomalía.
- **Nivel contenedor o BMS.**
- **Nivel EMS** (Energy Management System): si hubiese más de un contenedor, es posible añadir una capa extra.

Otro factor preocupante es la expansión de los gases contaminantes en un periodo corto de tiempo. En este sentido, es vital alertar a los cuerpos de bomberos de la existencia de baterías de litio en las instalaciones, pues actualmente están desarrollando planes de actuación y protección específicos y distintos, en caso de que la instalación posea almacenamiento. Otra razón más para disponer de un plano dónde se expliquen los elementos de los que consta la instalación y su ubicación.

Medidas para mitigar los daños.

El emplazamiento de las baterías debe ser en lugares protegidos y ventilados, lejos de materiales combustibles o lugares dónde se almacenan materiales combustibles (por ejemplo, estructuras en madera) y fuera del alcance de personal inexperto. Tampoco es conveniente situarlas en superficies sometidas a grandes vibraciones, potenciales golpes, inundaciones, posibles humedades, o en ambientes de altas temperaturas (es **muy importante revisar el manual de instalación del fabricante y las temperaturas de operación recomendadas**). De cualquier manera, la opción óptima es la de ubicar las baterías de litio en el exterior de los edificios o en locales sectorizados y zonas controladas que minimicen el riesgo de propagación de incendios y que permitan no dañar al personal. Además, es recomendable que se tenga un fácil acceso para los cuerpos de bomberos, e incluso resulta favorable si se posee de una boca de incendios cercana.

Además, si en la instalación se dispone de más de una batería, debe existir una distancia entre ambas, con el objetivo de garantizar una adecuada disipación del calor.

(*) Un termistor *NTC* (coeficiente de temperatura negativo) es un sensor de temperatura por resistencia, que modifica su valor resistivo a medida que cambia su temperatura.

Otras medidas esenciales para un buen uso del almacenamiento son:

- Las **actividades de puesta en servicio, instalación, reparación u operaciones de mantenimiento** deben ser realizadas por personal formado y entrenado en la manipulación de las baterías, con conocimientos sobre los principios de operación y riesgos asociados a la manipulación de sistemas de almacenamiento.
- Asegurarse del adecuado conexionado entre los diferentes componentes del sistema, tales como baterías y *PCS* (Power Conversion System), o sistema de conversión de potencia de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) (en algunos casos puede coincidir con el inversor fotovoltaico, si este es de tipo “híbrido”), verificando la adecuada funcionalidad del sistema *BMS*.

Tipos de baterías y características.

Por otro lado, es importante también conocer el tipo de batería que se instala (Li-ion, Li-Pol, LTO, LFP), ya que estas no se comportan de la misma manera, ni poseen los mismos requerimientos:

- Menor grado de seguridad:
 - Li-ion (Litio ion): incendio o explosión en sobrecarga, en cortocircuito, y en daño mecánico.
 - Li-Pol (Litio polímero): incendio o explosión en sobrecarga, en daño mecánico e ignición.

Este tipo de tecnologías *LMO* (óxido de litio y manganeso), *LCO* (óxido de litio y cobalto) o *NCM* (Níquel-Cobalto-Manganeso) liberan mayor energía por kg en caso de embalamiento térmico, además de que dicho embalamiento comienza a menor temperatura que las *LFP*. Este hecho, unido a que la reacción química de las mismas emite gases que contienen oxígeno, se puede provocar la autoignición y la explosión por el aumento de la presión.

- Mayor grado de seguridad:
 - *LTO* (Litio titanio): resiste la sobrecarga, el cortocircuito, el daño mecánico y la ignición.
 - *LFP* (Litio hierro-fosfato): resiste la sobrecarga, el cortocircuito, el daño mecánico y la ignición. Mantienen la estabilidad hasta los 480° y no emiten oxígeno en el embalamiento térmico, lo que permite que no exploten.

Medidas preventivas.

Todos los tipos de baterías antes mencionados tendrán riesgos asociados de carácter eléctrico, mecánico, térmico y por supuesto humano. Para reducir al máximo este último “accidente”, es fundamental seguir las recomendaciones del fabricante respecto a los procedimientos de almacenamiento, transporte (*), instalación y mantenimiento del equipo, y tener a disposición la *MSDS* (Material Safety Datasheet) de las baterías.

Asimismo, es fundamental:

- Detectar rápidamente cualquier emisión de gases o humo para tomar medidas de intervención oportunas y evitar situaciones de peligro. En muchas ocasiones la presencia de humo puede venir provocada por superar los límites de la temperatura de diseño.
- Implementar medidas de prevención y control de la temperatura en el manejo de baterías.
- La presencia de sistemas de ventilación.

Por la parte de la *BESS* (Battery Energy Storage System), es imprescindible que se incluya, interna o externamente:

- Sistema de monitorización y detección preventiva de fallas en las celdas.
- Monitorización de temperatura en cada módulo de baterías, así como en el conjunto (el rack).
- Detector de humos y de monóxido de carbono (CO).
- Sistema de extinción de incendios en las baterías (gas homologado).
- Alarma de detección en los sensores para monitorizar cualquier peligro para el *BESS* (humos, CO, agua...) y que se envíe una señal cuando alguno de los parámetros es anómalo.
- Seta de emergencia que permita la parada inmediata de la *BESS*.
- Sistema de expulsión de gases controlada ante explosiones.
- Sistemas de refrigeración/ventilación, que controlen la temperatura de las celdas.

(*) Prueba/ Test UN38.3: establece requisitos de seguridad para baterías de iones de litio. Incluye pruebas de golpes mecánicos, vibración, ciclos térmicos y otros para garantizar un transporte seguro por aire, tierra o mar.

Los riesgos antes mencionados podrán afectar a distintas partes de la batería y no todos ellos son propensos de originar los citados “fuegos”, pero sí es importante conocer, al menos, las faltas eléctricas más comunes [35]:

- Fallo en el convertidor eléctrico (elemento externo a la batería). El cableado que discorra por el exterior entre ambos dispositivos debe cumplir con la *UNE-EN 50618:2015* [42].
- Fallo en el controlador del sistema de gestión de la batería (Battery Management System).
- Sobretensiones en los suministros eléctricos primarios. Para reducir este riesgo se debe cumplir con la *ITC BT-22* [31].
- Falta a tierra o cortocircuito. Para reducir este riesgo es bueno consultar con las medidas del apartado 8.2 de la *ITC BT-40* [31] y para el cálculo de sección de la puesta a tierra y de los conductores de tierra la *ITC BT-18* [31]. A parte de estas instrucciones técnicas, la instalación de un *Energy Storage System (ESS)* deberá cumplir con la reglamentación general de *Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión* [31].

Para evitar dichos riesgos, se proponen las siguientes recomendaciones, las cuales están sujetas tipo de establecimiento y al nivel de riesgo del mismo [20].

- Separación entre la batería y cualquier instalación o edificio ajeno al propio *ESS* (Energy Storage System).
- Distancia entre las baterías y las tomas de aire del edificio.
- Instalación de extintores portátiles (*Anexo III del Real Decreto 2267/2004* [33]).
- Instalación de sistemas manuales de alarma de incendio.
- Instalación de sistemas de detección automática como cámaras térmicas [25].
- Las envolventes del material eléctrico instalado en el exterior deben tener un grado de protección no inferior a *IP44* (*) (de acuerdo a la *UNE-EN 60529:2018* [43]) y un grado de protección contra impacto mecánico no inferior a *IK07* (**) (de acuerdo a la *UNE-EN 62262:2002* [44]).

(*) *IP44*: Protegido frente a sólidos de tamaño superior a 1mm y salpicaduras de agua.

(**) *IK07*: Protegido contra impactos de 2 julios. Equivalente al impacto de una masa de 0,5 kg que se deja caer desde una altura de 400 mm por encima de la superficie impactada.

Capítulo 5: Los cuerpos de bomberos.

Los cuerpos de bomberos son un agente clave a la hora de intervenir en un incidente que derive en un incendio de la instalación. Es por ello que la coordinación con los mismos es esencial para conocer sus necesidades a la hora de actuación, y prever dichas exigencias en la fase de diseño e instalación.

Por el momento, algunas de las preocupaciones que nos han transmitido son: la accesibilidad a la cubierta, que debe ser de acceso fácil y rápido para no perder tiempo de instalar escaleras y sistemas de seguridad anticaídas; y el desconocimiento de la instalación, para lo cual sería bueno disponer del esquema de la instalación para conocer la ubicación de los distintos elementos y de los sistemas de desconexión y corte. Además, se deben buscar carteles de advertencia y operar desconexiones de emergencia antes de intervenir.

Otras consideraciones que se consideran relevantes son:

- El personal de mantenimiento debe estar formado y entrenado para las operaciones para las que ha sido contratado. Además, debe estar equipado con los Equipos de Protección Individual correspondientes (EPIS): guantes y botas (calzado dieléctrico [27]) y dispositivos de respiración autónomos.
- La distancia de seguridad del fuego durante los procedimientos de extinción según las propiedades del chorro es: 5 m para chorros compacto y 1 m para chorros con aspersión.
- Se debe evitar la falsa sensación de seguridad, el llamado enfoque de “tocar y descubrir”, por lo que todos los circuitos eléctricos deben tratarse como si estuvieran alimentados.
- Se debe informar al departamento de bomberos local sobre la existencia de la instalación fotovoltaica, además de proporcionar planos detallados y esquemas técnicos para poder actuar en caso de emergencia, incluyendo información sobre recursos de desconexión del sistema, riesgos de incendio relacionados con el sistema fotovoltaico, y contactos de profesionales eléctricos cualificados y disponibles las 24 horas.

Conclusiones.

Después de analizar en detalle las distintas etapas y procesos a la hora de instalar una planta fotovoltaica, se puede concluir que **las causas por las que se originan los incendios se pueden reducir**, para lo cual es necesario cumplir con las siguientes recomendaciones esenciales para minimizar los posibles riesgos de incendios en este tipo de instalaciones:

1. Es fundamental la **formación y calificación de los profesionales** de diseño, instaladores, personal de mantenimiento y de los cuerpos de bomberos, para una correcta ejecución de sus labores y preservar su propia seguridad, y la de la instalación.
2. Es obligatorio la utilización de **materiales de calidad**, una buena selección de componentes y dispositivos, y una **correcta ubicación** de los mismos.
3. Se deben **señalar los elementos de la instalación**, y debe existir en una zona visible un plano de la instalación al completo.
4. Debe darse un trato especial a las instalaciones que incluyan almacenamiento.
5. Es vital un buen diseño y montaje de la instalación, así como un mantenimiento periódico.

Por último, no hay que olvidarse del resto de consideraciones que se explican en este documento, además de tener en cuenta las condiciones particulares de cada proyecto y de la ubicación del mismo.

Anexo I. Ensayo Broof (t1).

En el presente anexo se va a explicar de forma breve el ensayo *Broof (t1)* que se realiza a los materiales de la cubierta, y las condiciones de dicho ensayo para conseguir la clasificación citada.

Ensayo Broof (t1).

El ensayo se realiza aplicando una antorcha ardiendo formada por lana de madera dentro de una cesta metálica que se coloca sobre la superficie externa de una probeta, de dimensiones 1,8 m x 0,8 m. La inclinación de la cubierta puede realizarse a 0°, 15° y/o 45°. El resultado de dicho ensayo es la media del análisis de resultados obtenidos sobre un número de cuatro a cinco muestras analizadas, las cuales tienen diferentes tipos de juntas.

Para conseguir la clasificación *Broof (t1)* deben cumplirse los criterios descritos en la norma *UNE EN 13501-5: 2019* [40], y, de no ser así pertenecerá a la clasificación *Froof (t1)*. Las condiciones que han de cumplirse para obtener la clasificación *Broof (t1)* son:

- Propagación interior y exterior del fuego hacia arriba < 0,700 m.
- Propagación interior y exterior del fuego hacia abajo < 0,600 m.
- Máxima longitud de la zona quemada interior y exterior < 0,800 m.
- Ningún material combustible (gotas o brasas) debe haberse desprendido en la cara expuesta.
- Ninguna partícula ardiendo o incandescente debe haber penetrado a través de la cubierta.
- Ninguna abertura debe ser mayor a $2,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ y la suma de todas las aberturas debe ser menor a $4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$.
- La propagación lateral del fuego no debe haber alcanzado los límites de la zona de medición.
- No debe existir combustión interna sin llama.
- El máximo radio de propagación de llama en cubiertas “planas” debe ser menor a 0,200m, tanto exteriormente como internamente.

Esta prueba es aplicable a sistemas de cubierta, así como al ensayo a fuego exterior aplicado al paquete completo de cubierta, desde el soporte, barrera de vapor, aislamiento y lámina de impermeabilización.

A fecha de hoy, la normativa española actual no incrementa los requisitos de seguridad frente a incendios antes mencionados, *Broof (t1)* para los diferentes sistemas de cubiertas, por el hecho de añadir paneles solares sobre la cubierta.

Anexo II. Propiedades del cable H1Z2Z2-K para sistemas fotovoltaicos.

De acuerdo a la norma *UNE-EN 50618:2015 Cables eléctricos para sistemas fotovoltaicos* [42] se establecen las siguientes recomendaciones respecto al cableado a utilizar en instalaciones fotovoltaicas.

Tabla A.2 – Uso recomendado de los cables para sistemas fotovoltaicos

1	2	3
Construcción	Uso recomendado	Comentarios
Cables para sistemas fotovoltaicos H1Z2Z2-K	<p>En instalaciones fotovoltaicas, por ejemplo según lo indicado en el Documento de Armonización HD 60364-7-712.</p> <p>Destinados a un uso permanente tanto en el exterior como en el interior para instalación móvil, suspendida y fija.</p> <p>Instalados también en tubos y sobre canales, en o bajo yeso así como en los aparatos.</p> <p>Adecuado para la aplicación en equipos con aislamiento de protección (protección clase II).</p> <p>Están intrínsecamente protegidos contra los cortocircuitos y los defectos a tierra de acuerdo con el Documento de Armonización HD 60364-5-52.</p>	<p>Véanse los radios de curvatura recomendados en la tabla 3 de la Norma EN 50655-1:2014.</p> <p>Temperatura máxima de almacenamiento: +40°C</p> <p>Temperatura mínima de instalación y manejo: -25°C</p>

Anexo III. Normativa internacional respecto a conectores y conexiones.

En este capítulo anexo se explica la base legal que excluye las conexiones cruzadas:

- Normas de productos: *IEC 62852:2014+AMD1:2020* [23] y *UL 6703: 2024* [48].
- Norma de módulos: *UL 1703: 2014* [47].
- Normas de instalación y regulaciones locales.
- Instrucciones de montaje del fabricante.

Actualmente, las normas fotovoltaicas vigentes (*IEC 60364-7-712:2017* [14]; *E343181:2024* [11]) establecen que “*los conectores macho y hembra [...] deben ser del mismo tipo y del mismo fabricante*” y que la certificación UL para conectores solo se aplica si se han acoplado productos de la misma familia de productos. Si un conector del fabricante A se conecta con un conector hembra del fabricante B, la certificación ya no es válida.

La nueva edición de la norma *IEC 61730-1:2023* [16] exigirá que el tipo de conector que se instala en el módulo esté impreso en la etiqueta, lo que permitirá al instalador saber qué conector se puede utilizar para conectar el módulo.

Por otro lado, la norma de instalación *IEC 62548: 2023* [21] especifica que los conectores acoplados en un sistema fotovoltaico deben ser del mismo tipo y del mismo fabricante para realizar la conexión.

Por su parte, las descripciones “MC4 compatible” no serían válidas y quedan excluidas de la certificación ya que “MC4” es una marca registrada que hace referencia a un conector en concreto del fabricante propietario de esta marca.

Anexo IV. Otras medidas de seguridad en instalaciones fotovoltaicas.

Para completar el capítulo de “Protecciones” se añade en el presente anexo cierta información sobre elementos que pueden aparecer en una planta de autoconsumo y que pueden ser útiles respecto a distintas soluciones que ofrece el mercado actualmente.

Optimizadores con capacidad “Rapid Shutdown”.

Los optimizadores son dispositivos electrónicos que se conectan a los paneles solares y permiten mejorar su eficiencia y maximizar la energía producida. Su instalación en serie permite limitar la tensión correspondiente a uno o dos paneles de un mismo “string” a 1Vdc en situaciones de desconexión del inversor o de exceso de temperatura.

Esto supone que ante un incendio o ante la actuación de los bomberos cuando desconectan el suministro eléctrico de la instalación receptora, la máxima tensión en DC que van a poder encontrar en la cubierta donde se ubican los paneles raramente superará los 20Vdc. Por otro lado, cualquier panel con un punto caliente y que se halle conectado a un optimizador, podrá ser detectado mucho más rápido por el contraste de la producción del mismo respecto de los paneles aledaños.

La capacidad “Rapid Shutdown” es una medida complementaria que algunos fabricantes de optimizadores incorporan a sus equipos siendo posible que estos respondan con mayor celeridad a un evento de desconexión, reduciendo la tensión hasta 1Vdc por inversor. Si el tiempo de respuesta habitual es de 1 minuto aproximadamente, los equipos con “Rapid Shutdown”, reducen dicho tiempo a 20 segundos.

Monitorización de la temperatura en los terminales.

Esta medida permite la desconexión de los terminales cuando se detecta una temperatura mayor a una consigna concreta que asegura el buen funcionamiento del sistema.

Empleo de pinturas intumescentes sobre los mazos de cableado de continua.

Esta pintura actúa como cortafuegos en caso de que los cables actúen como propagadores de llama.

Circuitos Cerrados de Televisión.

Los Circuitos Cerrados de Televisión (CCTV), con o sin radiación infrarroja (IR), son una posibilidad para la supervisión del campo de paneles fotovoltaicos. El uso de cámaras ópticas o termográficas, ayudará, mediante el software adecuado, a vigilar convenientemente y reportar el inicio de un incendio en la cubierta.

Cableado de detección de incendios.

Este tipo de cableado es tendido a lo largo de todo el cableado y puede alertar de la existencia de un conato de incendio al verse modificada la resistencia del mismo y disparar alarmas que permitan actuar con la mayor antelación posible. Se trata de un sistema muy costoso, pero con muy alta efectividad.

Anexo V. Otras medidas de seguridad en instalaciones con baterías de litio.

El presente manual está principalmente dirigido a instalaciones fotovoltaicas sobre cubiertas, sin embargo, se añaden en este anexo varios sistemas de protección contra incendios con medidas orientadas a instalaciones con baterías de litio de carácter industrial.

Extintores portátiles.

Los extintores portátiles sólo deben utilizarse en pequeños dispositivos individuales recargables y portátiles y en otros artículos electrónicos de uso común, y nunca para alta tensión o para baterías de mayor capacidad.

Rociadores automáticos/agua pulverizada y agua nebulizada.

El *Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios* (regulado en el *Real Decreto 513/2017* [30]) considera los sistemas de rociadores automáticos y agua pulverizada (punto 7) como requisito obligatorio a cumplir en determinadas configuraciones. Sin embargo, la experiencia ha demostrado ser más eficiente el uso de sistemas de agua nebulizada (punto 8).

El sistema de protección contra incendios mediante agua nebulizada es un sistema que se basa en la dispersión de partículas de agua muy pequeñas, que son las encargadas de controlar, sofocar y suprimir el incendio.

Este sistema combate el fuego en muchos frentes y su capacidad superior de extinción se basa en la evaporación cuando las pequeñas gotas de agua nebulizada se convierten en vapor y se absorbe una gran cantidad de energía del fuego.

BIEs.

Para zonas de riesgo alto se obliga a instalar en el sector donde se ubique la *ESS* una boca de incendio equipada. Junto a un extintor, el acceso a una fuente continua de agua que refrigere de forma constante una o unas celdas en proceso de desbordamiento térmico se ve imprescindible para evitar su propagación al resto de celdas. Serán de tipo 45 mm excepto para instalación residencia que será de 25 mm.

Bibliografía.

- [1] [ASTM E108-20a: Standard Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings.](#)
- [2] [BOE número 37. Anexo I. Martes 12 de febrero de 2008.](#)
- [3] [CFPA-E Guideline No 37:2018 F: Photovoltaic systems: Recommendations on loss prevention.](#)
- [4] [Código Técnico de la Edificación.](#)
- [5] [Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE. 14 Junio 2022.](#)
- [6] [Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad en caso de incendio: 20 diciembre 2019.](#)
<https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/SeguridadEnCasoDeIncendio.html>
- [7] [COMMERCIAL PV PANEL ROOFS RISK FACTORS AND THEIR MITIGATION THROUGH RESILIENT ROOF DESIGN. Georgia-Pacific Building Products. September 2024: Version 1.0.](#)
- [8] [DIRECTIVA 2014/30/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 26 de febrero de 2014 sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética.](#)
- [9] [DIRECTIVA 2014/35/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 26 de febrero de 2014 sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de comercialización de material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.](#)
- [10] [DIRECTIVA 2014/53/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de abril de 2014 relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos radioeléctricos, y por la que se deroga la Directiva 1999/5/CE.](#)
- [11] [E343181. Connectors for Use in Photovoltaic Systems. Última actualización 06/12/2024.](#)
- [12] [Eaton Fireman's Switch Safety First, according to VDE-AR-E 2100-712.](#)
- [13] [EN 50618:2014 Electric cables for photovoltaic systems.](#)
- [14] [IEC 60364-7-712:2017 RLV: Low voltage electrical installations - Part 7-712: Requirements for special installations or locations - Solar photovoltaic \(PV\) power supply systems.](#)
- [15] [IEC 60721-3-4:2019. Classification of environmental conditions - Part 3-4: Classification of groups of environmental parameters and their severities - Stationary use at non-weatherprotected locations.](#)
- [16] [IEC 61730-1:2023. Photovoltaic \(PV\) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction.](#)
[IEC 61730-2:2023. Photovoltaic \(PV\) module safety qualification - Part 2: Requirements for testing.](#)
- [17] [IEC 62109-1:2010. Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 1: General requirements.](#)
- [18] [IEC 62109-2:2011. Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 2: Particular requirements for inverters.](#)

- [19] [IEC 62477-1:2022. Safety requirements for power electronic converter systems and equipment - Part 1: General.](#)
- [20] [IEC 62477-2:2018. Safety requirements for power electronic converter systems and equipment - Part 2: Power electronic converters from 1 000 V AC or 1 500 V DC up to 36 kV AC or 54 kV DC](#)
- [21] [IEC 62548-1:2023. Photovoltaic \(PV\) arrays - Part 1: Design requirements.](#)
- [22] [IEC 62852: 2014: Connectors for DC-application in photovoltaic systems - Safety requirements and tests.](#)
[IEC 62852:2014. Connectors for DC-application in photovoltaic systems - Safety requirements and tests.](#)
- [23] [IEC 62852:2014+AMD1:2020: Connectors for DC-application in photovoltaic systems - Safety requirements and tests + Amendment 1 - Connectors for DC-application in photovoltaic systems - Safety requirements and tests.](#)
- [24] [IEC 63027:2023. Photovoltaic power systems - DC arc detection and interruption.](#)
- [25] [NFPA 855, Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems \(2023\)](#)
- [26] [Operation & Maintenance. Best Practice Guidelines. Version 5.0. Solar Power Europe.](#)
- [27] [PROMELSA: ¿Qué son y qué tipos de botas dieléctricas existen? - Blog](#)
- [28] [PV Rooftop Safety. Clean Energy Associates: CEA-Top 10 PV Rooftop Safety Risks.pdf](#)
- [29] [Real Decreto 110/2008, de 1 de febrero, por el que se modifica el Real Decreto 312/2005, de 18 de marzo, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego.](#)
- [30] [Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.](#)
- [31] [Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC. Edición actualizada a 7 de noviembre de 2024. BOLETIN OFICIAL DEL ESTADO.](#)
- [32] [Reglamento Europeo de Productos de Construcción \(UE\) 305/2011.](#)
- [33] [REGLAMENTO DE SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS EN LOS ESTABLECIMIENTOS INDUSTRIALES \(REAL DECRETO 2267/2004, de 3 de diciembre\). Revisión 2: Febrero 2019.](#)
- [34] [Reglamento de Seguridad Contra Incendios en Establecimientos Industriales \(RSCIEI\).](#)
- [35] [Risk assessment of battery energy storage facility sites. DNV.](#)
- [36] [Solar Bankability: Solar Bankability – TRUST PV](#)
- [37] [Solargrade: The SolarGrade PV Health Report](#)
- [38] [TÜV Rheinland: KM_C454e-20190826102432](#)
- [39] [UNE-CEN/TS 1187:2013. Métodos de ensayo para cubiertas expuestas a fuego exterior.](#)
- [40] [UNE-EN 13501-5:2019. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 5: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de cubiertas ante la acción de un fuego exterior.](#)

- [41] [UNE-EN 50575:2015: Cables de energía, control y comunicación. Cables para aplicaciones generales en construcciones sujetos a requisitos de reacción al fuego.](#)
- [42] [UNE-EN 50618:2015: Cables eléctricos para sistemas fotovoltaicos.](#)
- [43] [UNE-EN 60529:2018. Grados de protección proporcionados por las envolventes \(Código IP\).](#)
- [44] [UNE-EN 62262:2002: Grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos \(código IK\).](#)
- [45] [UNE-EN IEC 61730-2:2019: Cualificación de la seguridad de los módulos fotovoltaicos \(FV\). Parte 2: Requisitos para ensayos.](#)
- [46] [UNE-ENV 1187:2003/A1:2007: Métodos de ensayo para cubiertas expuestas a fuego exterior.](#)
- [47] [UL 1703 – Standard for Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels \(Fire Test Section 31.1 Type tests for fire performance characterization of modules and panels independent of roof coverings and 31.2 System Fire Class Rating of module or panel with mounting systems in combination with roof coverings\).](#)
- [48] [UL 6703: 2014. Connectors for Use in Photovoltaic Systems](#)