



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DE UNA
INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 100kW

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería del Mantenimiento

AUTOR/A: Mora Oliver, Pedro

Tutor/a: Antonino Daviu, José Alfonso

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto especialmente a mi toda mi familia, por todo el apoyo incondicional que me han prestado durante toda esta etapa de mi vida. A todos mis amigos y compañeros, que me han acompañado y apoyado en este proceso y los cuales han pasado a formar parte de mi vida y también los considero parte de mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos en primer lugar a José Alfonso Antonino Daviu , por su predisposición e interés desde el momento en el que le planteé este proyecto, junto a toda la ayuda y conocimientos que me ha prestado durante este proceso, a Bernardo Vicente Tormos Martínez por su gran implicación a lo largo de todo el máster y su orientación sobre posibles proyectos. Agradecimientos especialmente a todas las empresas que me han facilitado información acerca de las dudas que me han surgido durante la realización de este trabajo. Por último agradecimientos a la empresa familiar Transelx S.L sin la cual este proyecto no hubiese sido posible, y a la Universidad Politécnica de Valencia por una increíble experiencia académica.

RESUMEN

En el presente trabajo final de máster se pretende diseñar el plan de mantenimiento de una instalación solar fotovoltaica de 100kW de potencia, con el objetivo de mantener dicha instalación en un estado de producción y eficiencia óptima, y a su vez fomentar el desarrollo de las energías renovables y la sostenibilidad energética. Se han realizado los estudios y cálculos pertinentes y se ha detallado con un grado de definición suficiente para servir de base a su implantación.

Palabras Clave: Mantenimiento industrial, energía solar fotovoltaica, eficiencia energética, gestión de equipos.

ABSTRACT

In this final master's project, the aim is to design the maintenance plan for a 100kW photovoltaic solar installation, with the aim of maintaining said installation in a state of optimal production and efficiency, and at the same time promoting the development of renewable energies. and energy sustainability. The pertinent studies and calculations have been carried out and it has been detailed with a sufficient degree of definition to serve as a basis for its implementation.

Keywords: Industrial maintenance, photovoltaic solar energy, energy efficiency, equipment management.

ÍNDICE

1. OBJETIVOS	1
1.1 OBJETIVOS GENERALES	1
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
2. ANTECEDENTES.....	3
3. INTRODUCCIÓN	4
3.1 GENERALIDADES.....	4
3.2 NORMATIVA DE APLICACIÓN	5
3.3 MOTIVOS PARA LA REDACCIÓN DEL PRESENTE TRABAJO.....	6
3.4 LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	6
3.4.1 LA ENERGÍA SOLAR.....	6
3.4.2 LA ENERGÍA E INSTALACIONES SOLARES EN ESPAÑA.....	7
3.4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	10
3.4.4 EL EFECTO FOTOELÉCTRICO	13
3.5.5 EL PANEL FOTOVOLTAICO, TIPOLOGÍAS Y CARACTERÍSTICAS.....	18
3.5 EL MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS	20
4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN CONSIDERADA.....	21
4.1 CONTEXTO	21
4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN.....	23
4.2.1 EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN	23
4.2.2 EQUIPOS QUE CONFORMAN LA INSTALACIÓN.....	25
5. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	34
5.1 OPERACIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	34
5.1.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PANELES FOTOVOLTAICOS.....	34
5.1.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE INVERSORES.....	35
5.2 OPERACIONES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	36

5.2.1	MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE PANELES FOTOVOLTAICOS	36
5.2.2	MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN INVERSORES	42
5.2.3	MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SISTEMAS ESTRUCTURALES.....	52
5.2.3	MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN CABLEADO Y COMPONENTES ELÉCTRICOS	55
5.3	ACCIONES CORRECTIVAS DERIVADAS.....	64
5.4	SEGURIDAD, MEDIOS TÉCNICOS Y HUMANOS	64
5.4.1	EVALUACIÓN DE RIESGOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS	64
5.4.2	MEDIOS TÉCNICOS Y HUMANOS	71
5.5	DIAGRAMA CRONOLÓGICO E IMPLANTACIÓN.....	84
6.	CONCLUSIONES	86
7.	BIBLIOGRAFÍA	87
8.	ANEXOS.....	88

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVOS GENERALES

Mantenimiento e Industria son dos conceptos que se ligaron a finales del siglo XVII, con la primera Revolución Industrial, dónde por primera vez existían una serie de equipos que necesitaban ser preservados y dónde a su vez la sociedad entendió la importancia económica de este primer contexto.

Desde entonces estos dos conceptos no se han separado y cualquier avance en uno de ellos ha supuesto otro equivalente en el opuesto, han evolucionado al igual que lo ha hecho la sociedad impulsados por la ciencia y la tecnología hasta los tiempos actuales, dónde la tecnología sigue evolucionando a ritmos aún más acelerados.

Todo este progreso acelerado ha puesto de manifiesto la necesidad de nuevas soluciones energéticas limpias y sostenibles para dotar a la sociedad de un justo estado de bienestar y aprovechamiento de recursos limitados. En esta las energías renovables jugarán un papel decisivo, primando la energía solar fotovoltaica en nuestro país debido a su localización y condiciones, por lo que se espera que esta siga sufriendo un desarrollo importante a gran escala.

Es por esto por lo que los objetivos generales del presente trabajo no son otros que, exponer una serie de medidas de mantenimiento para este tipo de instalaciones solares fotovoltaicas de grandes potencias, las cuales, debido a su rápido desarrollo, aún no cuentan con planes de mantenimiento específicos y dónde aún se sigue investigando y estudiando acerca de nuevas metodologías y técnicas de gestión y mantenimiento.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Cabe destacar que los objetivos específicos del presente trabajo pasan por desarrollar el plan de mantenimiento de una instalación solar fotovoltaica concreta, la cual cuenta con una potencia de 100kW, ubicada en la cubierta de una nave industrial, en Elche, utilizando técnicas de mantenimiento poco usuales para este tipo de instalaciones de baja/media potencia, no obstante y como se ha mencionado se espera que las operaciones de mantenimiento expuestas sean aplicables para instalaciones de mayor potencia.

Se detallarán las características específicas de esta instalación concreta, seguido de las diferentes operaciones de mantenimiento aplicables, a su vez se detallarán los diferentes medios tanto técnicos como humanos para la realización del plan de mantenimiento expuesto junto a las correspondientes medidas de seguridad a seguir.

Al presente documento se le adjunta el presupuesto calculado con el fin de estimar el coste para la realización completa del plan de mantenimiento dimensionado.

2. ANTECEDENTES

Hoy en día hay una gran sensibilización y responsabilidad por los factores que afectan a la vida de nuestro planeta y a la de nuestro entorno natural, como consecuencia de nuestra actividad humana se están generando cambios en el planeta.

El principal cambio del que podemos dejar constancia es el cambio climático, debido a diversos factores estamos creando variaciones en el sistema climático terrestre, lo cual deriva directamente en que cada vez más y con mayor frecuencia, se generan una serie de fenómenos atípicos como por ejemplo sequías, olas de calor, aumento del nivel del mar e inundaciones, desaparición de especies animales, cambios en los ecosistemas y propagación de enfermedades.

Cada día se demandan nuevas alternativas para poder afrontar estos hechos ya que repercuten directamente en la sociedad, en la vida de las personas, y en el hábitat en el que vivimos, ya sea un entorno rural o urbano, este último ha crecido notablemente en los últimos años.

De cara al futuro se está dando una gran importancia a sectores como el mejor aprovechamiento de los recursos y sistemas de eficiencia energética, no solo es importante centrarse en buscar nuevas fuentes de energía, así como nuevos entornos habitables, sino también de realizar una adecuada gestión y aprovechamiento de los bienes de los que ya disponemos, es por esto por lo que debemos ser capaces de mantener en buenas condiciones los equipos e instalaciones con los que contamos a día de hoy, intentando aprovechar en mayor medida su vida útil, y manteniéndolos dentro de su rango de funcionamiento óptimo, ahorrando recursos para de esta forma poder ser más generosos con el entorno en el que vivimos.

En la ciudad de Elche, que es donde nos encontramos, la población ya supera los doscientos treinta mil habitantes, siendo la segunda ciudad más poblada en la provincia de Alicante, y la tercera en la Comunidad Valenciana, este aumento poblacional se vincula al dinamismo económico que, junto al tirón de la industria, la agricultura el comercio y el transporte, llevan a Elche a liderar un crecimiento de población en la Comunidad.

3. INTRODUCCIÓN

3.1 GENERALIDADES

En los últimos años, el potencia solar fotovoltaica instalada en el territorio español se ha triplicado, este aumento de instalaciones ha provocado un impacto en el mix de generación eléctrico español, las previsiones indican que dicha potencia siga incrementándose de forma contundente en los próximos años [1].

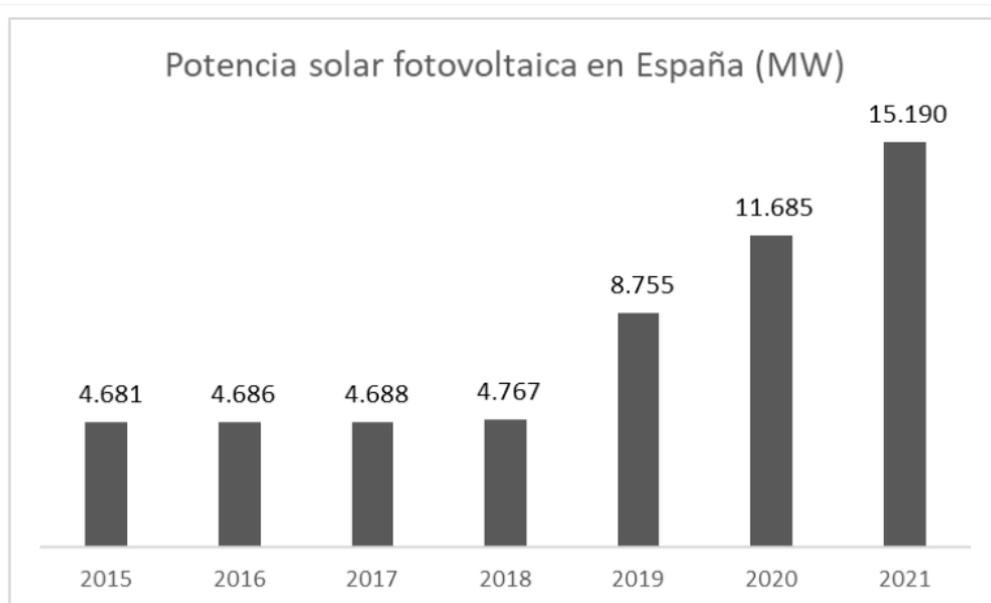


Figura 1: Gráfico potencia solar fotovoltaica en España (MW). Fuente: [1].

Se observa que durante años anteriores la energía fotovoltaica se encontraba estancada, con ligeros aumentos de potencia y una generación casi constante, pasado el año 2018 se inició un proceso de crecimiento constante que sigue aumentando a día de hoy, esto se debe a diversos factores, entre ellos la derogación de algunos impuestos mejorando la rentabilidad de las instalaciones junto a ayudas y subvenciones en vista al autoabastecimiento, a esto se añade la subida del precio de la electricidad, marcando récords históricos y fomentando la apuesta por las instalaciones de autoconsumo.

A todos estos factores se suma el potencial que tiene España en cuanto a productividad del uso de la energía solar, debido a que la mayor parte del país cuenta con una irradiación de entre $1600\text{kW}/\text{m}^2$ y $1950\text{kW}/\text{m}^2$, siendo el mejor país de la Unión Europea en cuanto a radiación solar, de cara al futuro se espera que el conjunto de las energías renovables en nuestro país cobre un mayor protagonismo, recibiendo cada vez más inversiones e innovaciones.

3.2 NORMATIVA DE APLICACIÓN

Además de las especificaciones del presente proyecto, serán de aplicación junto con las siguientes disposiciones, normas y reglamentos cuyas prescripciones puedan afectar a las obras u operaciones que estén formando parte de él.

- Ley 31/1.995 de 8 de Noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.
- Ley 54/2.003 de 12 de Diciembre de reforma del marco normativo de la Prevención de Riesgos Laborales (PRL).
- Estudio de Seguridad e Higiene en el Trabajo RID 555/86.
- Normas UNE de los materiales utilizados.
- Reglamento electrotécnico de baja tensión e instrucciones reglamentarias.
- Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red, elaborado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITCRAT 01 a 23.

3.3 MOTIVOS PARA LA REDACCIÓN DEL PRESENTE TRABAJO

“TRANSELX S.L.”, empresa dedicada al transporte de alimentos y mercancías ubicada en el Parque Agroalimentario “La Alcudia – Elche”, de la cual formo parte, decidió hace algunos años iniciarse en el sector de la producción energética como auto productor, invirtiendo en una instalación solar fotovoltaica de 100kW de potencia para la venta directa de energía a la red eléctrica, buscando mejorar la rentabilidad y beneficios de la compañía, a la vez que fomentar las energías verdes y cumplir con la responsabilidad social que se espera en una sociedad moderna y vanguardista, buscando mejorar la sostenibilidad y el cuidado del entorno natural que nos rodea.

El objeto del presente estudio no es otro, que diseñar el plan de mantenimiento de la instalación mencionada, con el objetivo de mantener la misma en los estándares de seguridad y eficiencia propios de las industrias actuales.

3.4 LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

3.4.1 LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar directa es la energía del sol sin transformar, que calienta e ilumina. Necesita sistemas de captación y de almacenamiento y aprovecha la radiación del Sol de varias maneras diferentes [2]:

- Utilización directa: Mediante la incorporación de acristalamientos y otros elementos arquitectónicos con elevada masa y capacidad de absorción de energía térmica, es la llamada energía solar térmica pasiva
- Transformación en calor: Es la llamada energía solar térmica, que consiste en el aprovechamiento de la radiación que proviene del sol para calentar fluidos que circulan por el interior de captadores solares térmicos. Este fluido se puede destinar para el agua caliente sanitaria (ACS), dar apoyo a sistemas de calefacción etc.

- Transformación en electricidad: Es la llamada energía solar fotovoltaica, que permite transformar en electricidad la radiación solar por medio de células fotovoltaicas integrantes en los módulos solares. Esta electricidad se puede utilizar de manera directa, se puede almacenar en acumuladores para un uso posterior, e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica.

Se trata de una energía con escaso impacto ambiental, no produce residuos perjudiciales para el medio ambiente, distribuida por todo el mundo, no tiene más costes una vez instalada que el mantenimiento el cual es sencillo, es una fuente inagotable de energía. Como inconvenientes se presentan que se necesitan sistemas de acumulación (baterías) que contienen agentes químicos peligrosos, puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en el caso de grandes instalaciones, tiene un impacto visual negativo si no se cuida la integración de los módulos solares en el entorno [2].

3.4.2 LA ENERGÍA E INSTALACIONES SOLARES EN ESPAÑA

Actualmente, en nuestro país nos encontramos ante un sistema avanzado de desarrollo, instalación y aprovechamiento en cuanto a la energía solar se refiere. España, debido a la localización que tiene, es uno de los países con mayores horas solares frente a sus homólogos de la zona Euro [3].

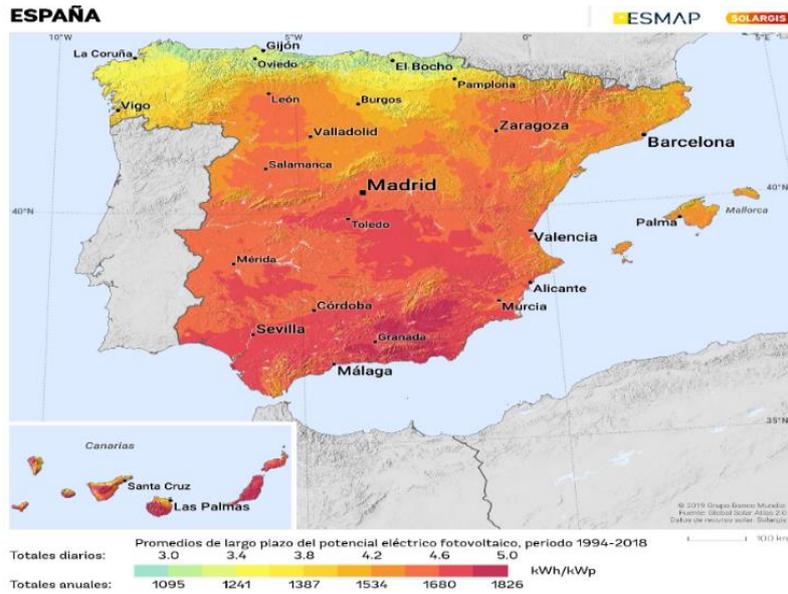


Figura 2: Promedio del potencial eléctrico fotovoltaico en España. Fuente: [4].

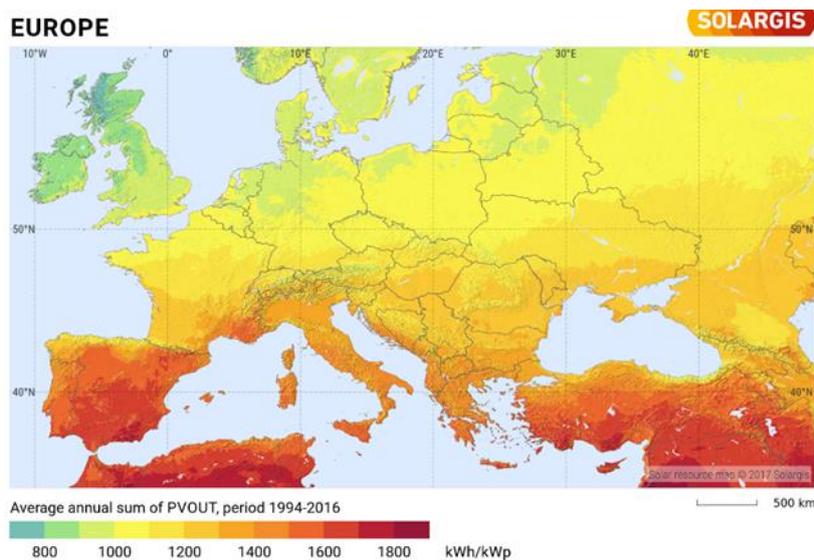


Figura 3: Promedio del potencial eléctrico fotovoltaico en Europa. Fuente: [4].

En las figuras 2 y 3 podemos comparar el promedio del potencial eléctrico fotovoltaico entre Europa y España.

Todo esto, sumado a los compromisos europeos en instalación de energías renovables hace que se pueda provocar la disminución de la dependencia energética exterior y aumentar la autosuficiencia energética. Estas características hicieron que España fuera inicialmente uno de los pioneros a nivel mundial en I+D+I en energía solar. Más tarde,

tras la aparición de regulaciones legislativas se redujeron las evoluciones de esta tecnología [3].

A día de hoy, si analizamos la situación del mercado de la energía solar fotovoltaica y el impacto que ha sufrido con la pandemia y con la guerra de Ucrania, encontramos dos temas destacados, el indiscutible liderazgo de España en el crecimiento del mercado solar y el carácter transitorio de la crisis provocada por el Coronavirus junto a la aceleración de la transición a las energías renovables provocada por el aumento de precios y reducción de la oferta de los combustibles fósiles provocada por el conflicto en Ucrania y sanciones impuestas a Rusia [13]. La bajada del mercado solar en Europa ha sido más reducida o casi inexistente en España, donde el sector se ha mantenido activo gracias al reciente cambio legislativo a pesar de la pandemia y la guerra de Ucrania. Esto dará una base más consistente para cuando el mercado a nivel mundial se recupere la velocidad que alcance España se espera que sea incluso mayor [5].

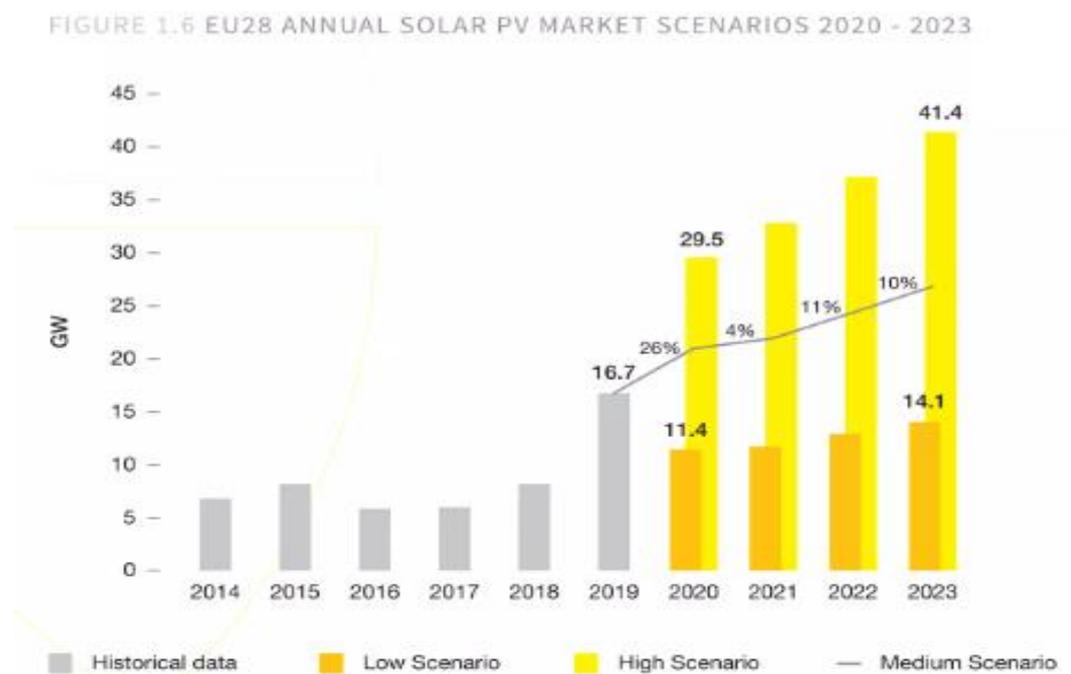
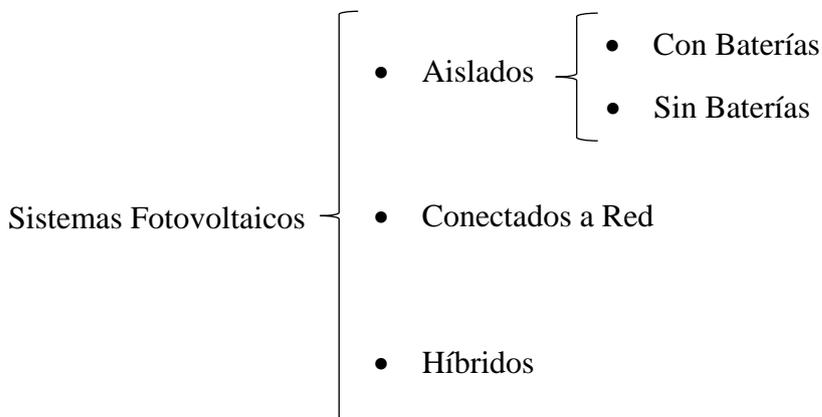


Figura 4: Escenario anual del mercado solar fotovoltaico. **Fuente:** [5].

3.4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica [2].

Estos sistemas, independientemente de su utilización y de su potencia, se pueden clasificar de la siguiente forma:



Hay diferentes opciones para construir un sistema fotovoltaico, pero esencialmente poseen los siguientes componentes.

- **Generador fotovoltaico:** Es el encargado de captar y convertir la radiación solar en corriente eléctrica mediante módulos fotovoltaicos.
- **Baterías o acumuladores:** Almacenan la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico para poder utilizarla en períodos en los que la demanda exceda la capacidad de producción del generador fotovoltaico.
- **Regulador de Carga:** Encargado de proteger y garantizar el correcto mantenimiento de la carga de la batería y evitar sobretensiones que puedan destruirla.
- **Inversor:** Es el encargado de transformar la corriente continua producida por el generador fotovoltaico en corriente alterna, necesaria para alimentar algunas cargas o para introducir la energía producida en la red de distribución eléctrica

- Elementos de protección del circuito: Como interruptores de desconexión, diodos de bloqueo, etc. Están dispuestos en diferentes elementos del sistema, para proteger la descarga y derivación de elementos en caso de fallo o situaciones de sobrecarga.

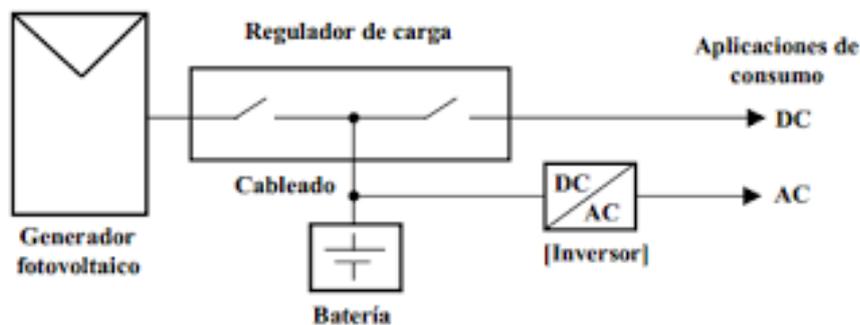


Figura 5: Esquema de un posible sistema fotovoltaico. Fuente: [2].

3.4.3.1 SISTEMAS AISLADOS

Tienen como objetivo principal satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica de aquellos lugares donde no existe red eléctrica de distribución, o esta tiene un difícil acceso [2].

Los sistemas aislados normalmente están equipados con sistemas de acumulación de energía, ya que solo pueden proporcionar energía durante el día y la demanda se puede producir a lo largo del día y de la noche. Esto implica que el campo fotovoltaico ha de estar dimensionado de forma que permita, durante las horas de insolación, la alimentación de la carga y la recarga de las baterías de acumulación.

También existen aplicaciones aisladas que no requieren la utilización de acumuladores, y por tanto funcionan siempre que haya sol, como por ejemplo un sistema de bombeo de agua.

3.4.3.2 SISTEMAS CONECTADOS A RED

Los sistemas conectados a red no tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica, el caso más común son las grandes instalaciones para venta de energía [2].

Estas instalaciones cuentan con sistemas de seguimiento del estado de la tensión de la red de distribución, de manera que se garantice el correcto funcionamiento de las mismas en lo referente a la forma de entregar la energía, tanto en modo como en tiempo, evitando situaciones de riesgo.

Por otra parte, se eliminan las baterías, que son la parte más cara y compleja de una instalación (ciclos de carga, vida útil, mantenimiento, etc.).

A su vez existen dentro de este caso instalaciones solares fotovoltaicas de autoconsumo las cuales también pueden estar conectadas a la red eléctrica, su principal ventaja es que pueden disponer de la energía de la red eléctrica cuando la demanda es superior a la que puede suministrar el conjunto módulos-baterías. En la opción sin excedentes, es necesaria la instalación de un sistema anti-vertido homologado que evita verter a la red el excedente, por otra parte, la opción con excedentes, donde la instalación solar fotovoltaica cubrirá nuestras necesidades en determinados momentos y en otros verterá la energía a la red, de esta forma mediante el sistema de compensación de consumos, la energía vertida a la red puede ser compensada en nuestra factura eléctrica, todo ello se encuentra regulado por el RD 244/2019.

3.4.3.3 SISTEMAS HÍBRIDOS

En algunos casos el sistema fotovoltaico aislado se puede complementar con otro a fin de tener mayores garantías de disponer de electricidad [2].

Cuando un sistema fotovoltaico además del generador incorpora otro generador de energía se denomina sistema híbrido, y en general se utiliza la energía eólica o grupos electrógenos.

Estas combinaciones se dan para aprovechar algún recurso energético localizado cerca de la instalación o para tener mayor fiabilidad en el suministro de energía, normalmente la generación fotovoltaica es compatible con cualquier otra generación eléctrica.

La configuración de los sistemas híbridos puede ser variable y depende del tipo de equipos que se empleen para adaptar la potencia necesaria.

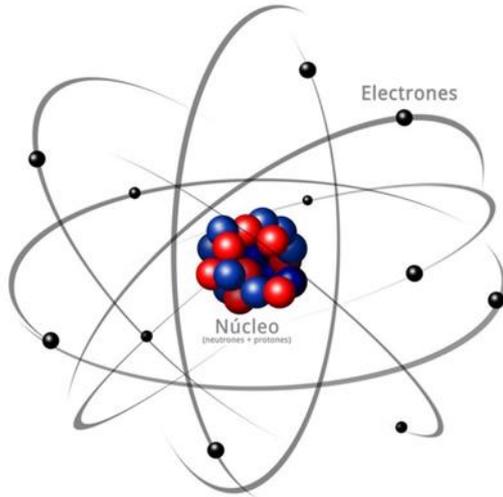
3.4.4 EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

El efecto fotoeléctrico consiste en la conversión de luz en electricidad. Este proceso se consigue mediante algunos materiales que tienen la propiedad de absorber fotones y emitir electrones. Cuando los electrones libres son capturados, se produce una corriente eléctrica que puede ser utilizada como electricidad [2].

3.4.4.1 CONCEPTOS BÁSICOS

La materia está constituida por átomos, que tienen dos partes bien diferenciadas [2]:

- **Núcleo:** Carga eléctrica positiva.
- **Electrones:** Carga eléctrica negativa.



Los electrones giran alrededor del núcleo en distintas bandas de energía y compensan la carga positiva de éste, formando un conjunto estable y eléctricamente neutro.

Figura 6: Estructura de los átomos. Fuente: Autor.

Los electrones de la última capa se llaman electrones de valencia, y se interrelacionan con otros similares formando una red cristalina.

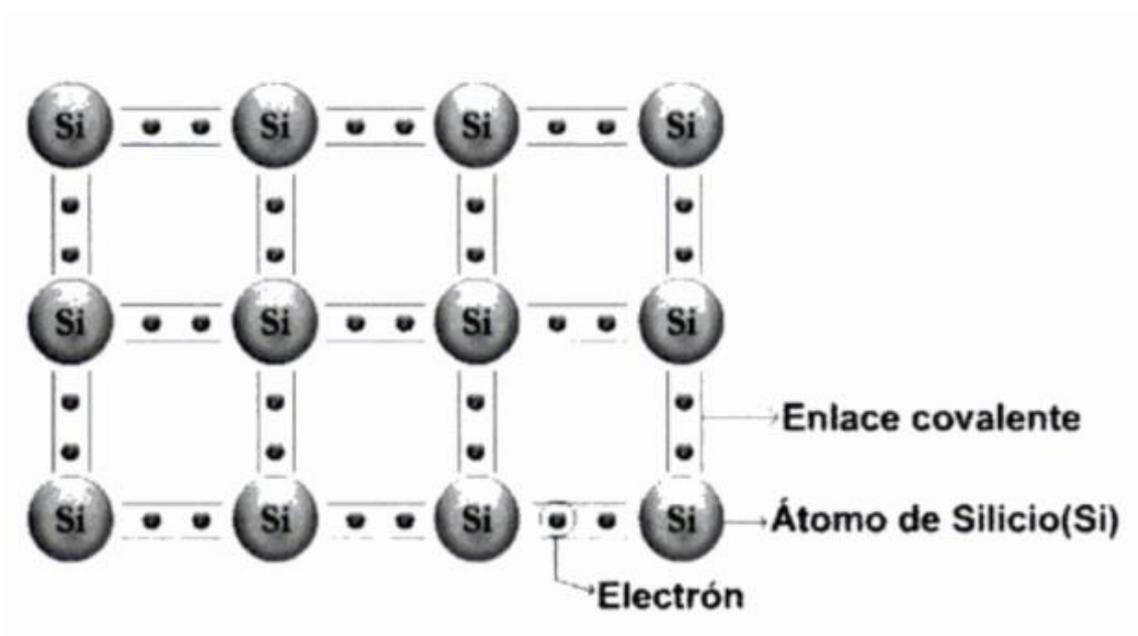


Figura 7: Estructura semiconductor [2].

Eléctricamente hablando, existen tres tipos de materiales:

- **Conductores:** Los electrones de valencia están poco ligados al núcleo y pueden moverse con facilidad dentro de la red cristalina con un pequeño agente externo.
- **Semiconductores:** Los electrones de valencia están más ligados al núcleo pero basta una pequeña cantidad de energía para que se comporten como conductores.
- **Aislantes:** Tienen una configuración muy estable, con los electrones de valencia muy ligados al núcleo, la energía necesaria para separarlos de éste es muy grande

Los materiales usados en las células fotovoltaicas son los semiconductores.

3.4.4.2 MATERIALES SEMICONDUCTORES

La energía que liga los electrones de valencia con su núcleo es similar a la energía de los fotones, partículas que forman los rayos solares [2].

Cuando la luz solar incide sobre el material semiconductor, se rompen los enlaces entre núcleo y electrones de valencia, que quedan libres para circular por el semiconductor.

Al lugar que deja el electrón al desplazarse se le llama hueco y tiene carga eléctrica positiva, de igual valor que la del electrón pero de signo contrario.

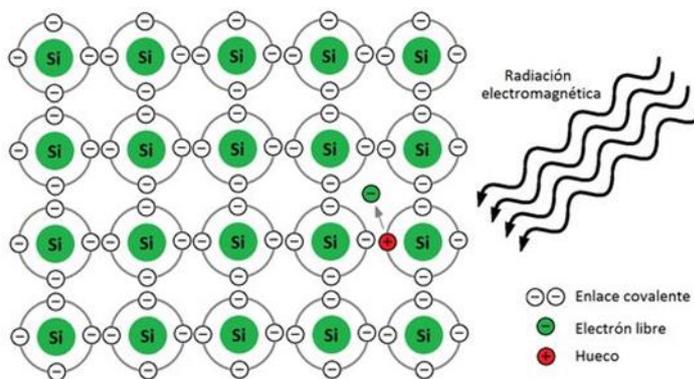
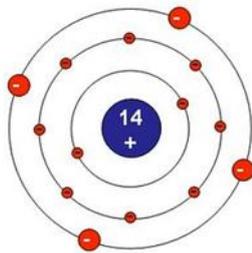


Figura 8: Efecto fotoeléctrico. Fuente: Autor.

Los electrones libres y los huecos creados por la radiación tienden a recombinarse perdiendo su actividad. Para que esto no ocurra, y poder aprovechar esta libertad de los electrones, hay que crear en el interior del semiconductor un campo eléctrico.

El material más utilizado en la fabricación de células solares es el silicio, que tiene cuatro electrones de valencia.

Átomo de Silicio (Si)



4 Electrones en la última capa
 ~ SEMICONDUCTOR ~

Para crear un campo eléctrico en este tipo de semiconductor se unen dos regiones de silicio tratadas químicamente, es la denominada “**unión p-n**”.

Figura 9: Átomo de silicio. Fuente: Autor.

3.5.4.3 UNIÓN “P-N”

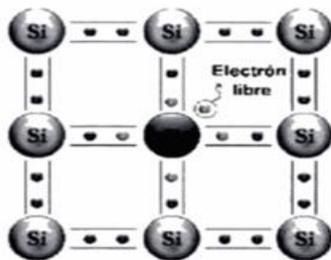
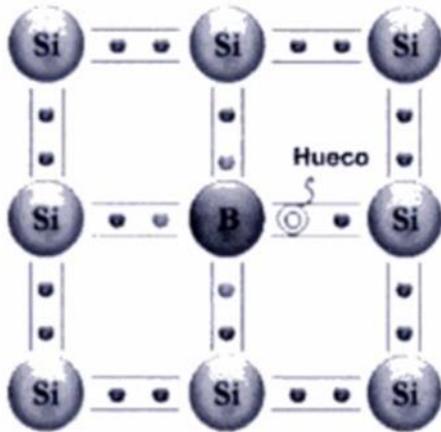


Figura 10: Representación esquemática de una estructura de silicio tipo “n” [2].

Para conseguir un semiconductor de silicio tipo “n” se sustituyen algunos átomos de silicio por átomos de fósforo, que tiene cinco electrones de valencia.

Como se necesitan cuatro electrones para formar los enlaces con los átomos contiguos, queda un electrón libre.



De forma análoga si se sustituyen los átomos de silicio por átomos de boro que tiene tres electrones de valencia, se consigue un semiconductor tipo “p”.

Al igual que en el caso anterior, al formar los enlaces falta un electrón, o dicho de otra forma, hay un hueco disponible.

Figura 11: Representación esquemática de una estructura de silicio tipo “p” [2].

Para conseguir una unión “p-n” se pone en contacto una superficie de semiconductor tipo “n” con la de un semiconductor tipo “p”.

Los electrones libres del material tipo “n” tienden a ocupar los huecos del material tipo “p” y viceversa, creándose así un campo eléctrico que se hace cada vez más grande a medida que los electrones y los huecos continúan difundándose hacia lados opuestos.

El proceso continua hasta que ya no se pueden intercambiar más electrones y huecos, consiguiéndose un campo eléctrico permanente sin la ayuda de campos eléctricos externos.

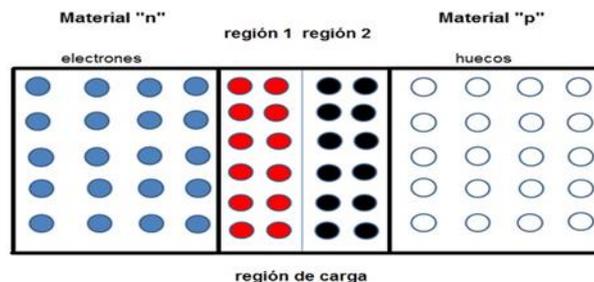


Figura 12: Representación esquemática de la unión “p-n” en un semiconductor. Fuente: Autor.

3.4.4.4 ANCHO DE BANDA PROHIBIDA

Para que se produzca el efecto fotovoltaico, es decir, para que se produzca una corriente eléctrica cuando incide energía sobre el material semiconductor, es necesario que los fotones tengan una energía mayor que un valor mínimo determinado, que se denomina ancho de banda prohibida E_g [2].

A este valor mínimo también se le denomina “gap” de energía y se suele expresar en electrón-voltios.

$$1eV \text{ (electrón – voltio)} = 1,602 \cdot 10^{-19} J$$

- La energía que se aprovecha de cada fotón es la E_g . Si los materiales utilizados en la fabricación de las células fotovoltaicas tienen un E_g muy pequeña, se desaprovecharía mucha energía.
- Si la E_g es muy grande, las células se mostrarían transparentes a la mayoría de los fotones incidentes ya que el espectro de la luz solar se distribuye sobre un rango de longitudes de onda que va desde $0,35 \mu m$ hasta algo más de $3 \mu m$.
- El valor óptimo de E_g está en torno a $1,5 eV$.

3.5.5 EL PANEL FOTOVOLTAICO, TIPOLOGÍAS Y CARACTERÍSTICAS

Los módulos fotovoltaicos están formados por un conjunto de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellas. El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas, que son [6]:

- Radiación de $1000 W/m^2$
- Temperatura de célula de $25 ^\circ C$

Las placas fotovoltaicas se dividen en:

- Monocristalinas: Se componen de secciones de un único cristal de silicio (reconocibles por su forma circular u octogonal, donde los cuatro lados cortos, si se observa se aprecia que son curvos, debido a que es una célula circular recortada), estas proporcionan el rendimiento más elevado.
- Policristalinas: Cuando están formadas por pequeñas partículas cristalizadas, se diferencian de las monocristalinas en que son de forma cuadrada, esto permite aprovechar mejor el espacio.
- Amorfas: Cuando el silicio no ha cristalizado.



Figura 13: Panel fotovoltaico. Fuente: Autor.

3.4.5.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Cuando se ilumina una célula solar que se encuentra conectada a una carga externa, se produce una diferencia de potencial en dicha carga y una circulación de corriente que sale al circuito exterior por el terminal positivo y vuelve a la célula por el negativo. En estas condiciones la célula se comporta como un generador de energía y los fenómenos que tienen lugar en el interior del dispositivo pueden describirse de la siguiente forma [7]:

Los fotones que inciden sobre la célula con energía igual o mayor que el ancho de banda prohibida se absorben en el volumen del semiconductor y generan pares electrón hueco que pueden actuar como portadores de corriente.

El campo eléctrico producido por la unión “p-n” es la causa de la separación de los portadores antes de que puedan recombinarse de nuevo y por tanto la causa de la circulación de la corriente eléctrica por la diferencia de potencial externa, suministrando así energía a la carga.

3.5 EL MANTENIMIENTO DE LAS INSTALACIONES SOLARES FOTVOLTAICAS

Las instalaciones solares fotovoltaicas, de forma general, son capaces de funcionar de forma autónoma y sin excesiva intervención, a pesar de esto, el mantenimiento regular es una tarea indispensable para el buen funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos. Estas instalaciones pueden contar con muy buenos equipos, pero sin un mantenimiento continuo no se pueden garantizar tanto la funcionalidad de los sistemas, como la seguridad y confiabilidad de los mismos [8].

Desde el punto de vista del mantenimiento se busca maximizar la generación de energía, evitar los tiempos de inactividad, disminuir las fallas, evitar aquellas que puedan ser más costosas y aumentar la vida útil de la planta fotovoltaica, asegurando una alta disponibilidad junto a un alto rendimiento.

El mantenimiento de las instalaciones fotovoltaicas depende de su contexto operacional, las condiciones ambientales del lugar, a la vez que de los equipos utilizados y la ubicación de los mismos, por lo que resulta complejo implementar planes de mantenimiento únicos para todas las instalaciones, sin embargo existen buenas prácticas y operaciones de mantenimiento comunes que se pueden aplicar en la totalidad de las instalaciones.

4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN CONSIDERADA

4.1 CONTEXTO

TRANSELX, S.L., fundada en 1989 dedicada al transporte internacional de mercancías por carretera, nace con el objetivo de una familia de iniciarse en el mundo del transporte y abrirse camino en el mundo empresarial, 32 años después, la firma cuenta con una flota de 14 vehículos, con portes diarios a los principales destinos de Europa.



Figura 14: Instalaciones de la Organización. Fuente: Transelex S.L.

Actualmente cuentan con un equipo humano formado por 18 profesionales, cuya experiencia y profesionalidad son una garantía de éxito para que su mercancía llegue siempre a punto y en perfecto estado a su destino. A su vez y desde el año 2008 cuenta con una nave industrial la cual se utiliza principalmente para la administración de la organización y el estacionamiento de los vehículos, así como proyectos de logística y almacenaje.

Durante su larga trayectoria, ha practicado como filosofía continua la adecuación de medios, sistemas y vehículos con la tecnología más avanzada, dedicando gran parte de las inversiones en los últimos años a mejorar aspectos medioambientales y de seguridad en la empresa.

Los datos generales de la organización son los siguientes:

Empresa	Transelx S.L.
Dirección	C/ Cerro de los Santos nº6
Teléfono	647685671
Fax	-
e-mail	info@transelx.com
Persona de Contacto	Francisco Mora López
Actividad	Transporte de Mercancías
CCAE	4941
Nº Trabajadores	18

Tabla 1: Datos de la organización. Fuente: Transelx S.L.

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN

La instalación fotovoltaica objeto de estudio presenta una potencia pico de 99kW, está ubicada en la cubierta de una nave industrial y su uso es exclusivo para venta directa de energía a la red eléctrica, se enumeran a continuación todos los aspectos relevantes a la vez que las características técnicas de la instalación.

4.2.1 EMPLAZAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

La instalación fotovoltaica en cuestión se encuentra en las propias instalaciones desde donde opera la organización, estas están ubicadas en el parque agroalimentario de L'Alcúdia en Elche, el cual fue inaugurado en el año 2001, cuenta con una superficie de 190.432 metros cuadrados, de éstos se destinaba a suelo industrial 119.709 metros cuadrados.



Figura 15: Mapa Parque Agroalimentario L'Alcúdia, Fuente: Autor

En el parque agroalimentario podemos encontrar varias y variadas empresas, entre ellas podemos destacar la Lonja de frutas y verduras, es la que centraliza la mayoría de los

productos que se producen en el campo ilicitano, también cuenta con otro tipo de servicios como son los que nos ofrece la Comunidad general de regantes: riegos de levante.

Las instalaciones se encuentran en la Calle Cerro de los santos nº6, las cuales podemos ver en la figura acotada, cuenta con una superficie de parcela de 4.319 metros cuadrados los cuales están clasificados como suelo industrial. La construcción cuenta con un retranqueo de 5 metros hasta los límites de la parcela.

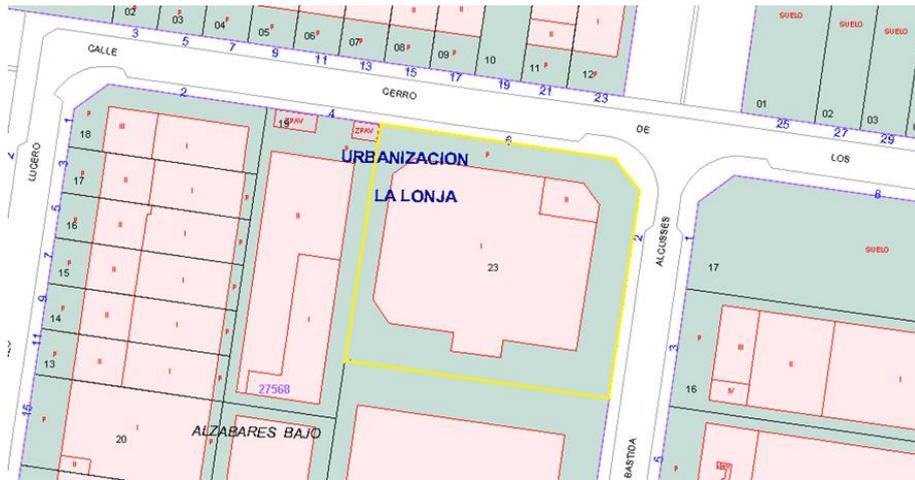


Figura 16: Plano de parcela de las instalaciones de la empresa. Fuente: Autor

Se puede observar la instalación desde una vista aérea en la Figura [17]:

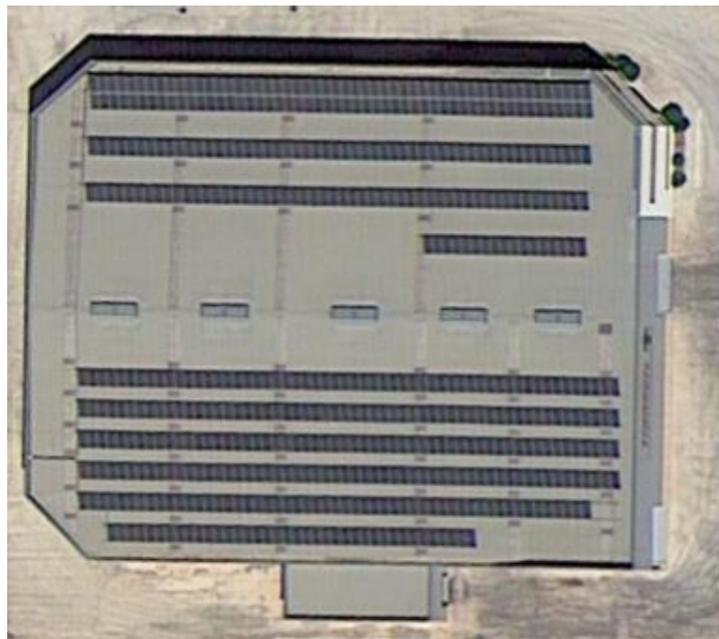


Figura 17: Vista satélite instalaciones de la empresa en cuestión. Fuente: Autor

4.2.2 EQUIPOS QUE CONFORMAN LA INSTALACIÓN

4.2.2.1 PANELES FOTOVOLTAICOS

La instalación objeto de estudio cuenta con un total de 540 paneles fotovoltaicos de silicio policristalino, de la marca Mitsubishi PV-DT 185 MF5, los cuales presentan una potencia de 185 W/p.



Figura 18: Panel Fotovoltaico Mitsubishi PV-TD 185 MF5. Fuente: Transelx S.L

Se detallan en la siguiente tabla las características técnicas de dicho panel fotovoltaico:

Fabricante	MITSUBISHI ELECTRIC
Modelo	PV-TD 185 MF5
Tipo de célula	Células FV policristalinas, 156 x 156 mm
Número de células	

Potencia máxima [P_{máx}]	185 W
Potencia mínima garantizada	179,5 W
Tolerancia de la potencia máxima	+3%
Tensión [V_{oc}]	30,6 V
Corriente de cortocircuito [I_{sc}]	8,13 A
Tensión MPP [V_{mp}]	24,4 V
Corriente MMP [I_{mp}]	7,58 A
Temperatura nominal de servicio [NOCT]	47,5 °C
Tensión máxima del sistema	DC 1000 V
Fusible	15 A
Dimensiones	1,658 x 834 x 46 mm
Peso	17 kg
Conexión	(+) 800mm, (-) 1250 mm, con conector MC(PV-KBT/6II-UR, P-KST4/6II-UR)
Eficiencia	13,4 %
Certificados	IEC 61215 2. Edition (prueba de carga estática de 5400 Pa superada), IEC 61730, clase de seguridad TÜV II

Tabla 2: Características panel fotovoltaico Mitsubishi PV-DT 185 MF5. Fuente: Mitsubishi [9].

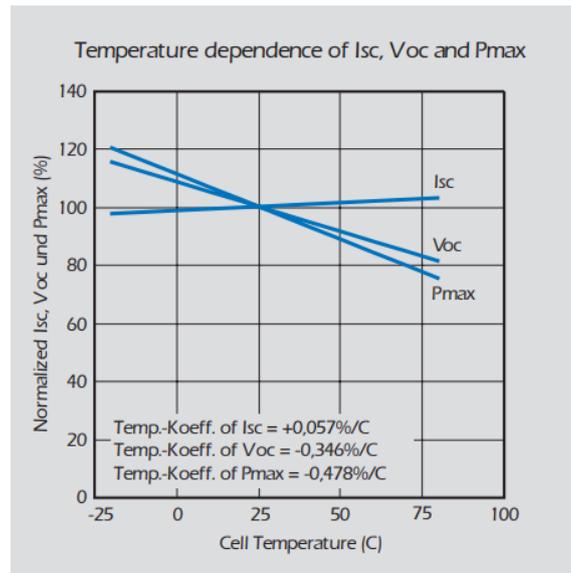


Figura 19: Dependencia de la temperatura de Isc, Voc y Pmáx. Fuente: Mitsubishi [9].

4.2.2.2 INVERSORES

La energía generada por la instalación fotovoltaica se gestiona a través de 17 inversores de la marca Fronius, modelo Primo 5.0-1, los cuales cuentan con dispositivos de monitorizado que son capaces de enviar la información al software de seguimiento online.



Figura 20: Inversor Fronius Primo 5.0-1. Fuente: Transelx S.L.

Se detallan en la siguiente tabla las características técnicas de dicho inversor:

Fabricante	FRONIUS
Número de seguidores (MPP)	2
Máxima corriente de entrada (Idc.máx)	12 A
Máxima corriente de cortocircuito (MPP1)	18 A
Tensión de entrada (Udc.mín - Udc.máx)	80 – 1000 V
Tensión de arranque (Udc arranque)	80 V
Rango de tensión (MPP)	80 – 800 V
Número de entradas CC	2 + 2
Máx. salida del generador FV	7,5 kW
Potencia Nominal CA	5000 W
Máxima Potencia de Salida	5000 VA
Corriente de salida CA Iac.nom	21,7 A
Factor de potencia	0,85 – 1 ind/cap
Dimensiones	645 x 431 x 204 mm
Peso	21,5 kg
Tipo de Protección	IP 65
Clase de Producción	1
Refrigeración	Refrigeración de aire regular
Margen de temperatura ambiente	-40 / + 55 °C
Humedad del aire admisible	0 – 100%
Máxima altitud	4000 m
Tecnología de conexión principal	3 Polos CA bornes roscados 2,5 – 1,6 mm ²

Figura 21: Características del inversor Fronius Primo 5.0-1. Fuente: Fronius [10].

4.2.2.3 ELEMENTOS ESTRUCTURALES

En el presente apartado se detallan los diferentes elementos estructurales que componen la instalación solar fotovoltaica objeto de estudio.

- Soporte estructural: El soporte de los paneles fotovoltaicos esta formado por perfiles de aluminio, de tipo cuadrado hueco, los cuales forman un perfil triangular para dotar de la inclinación óptima a los paneles fotovoltaicos, están roscados a la cubierta de la nave industrial mediante tornillos rosca-chapa, y se unen ente si a través de tres travesaños transversales Figura [22].

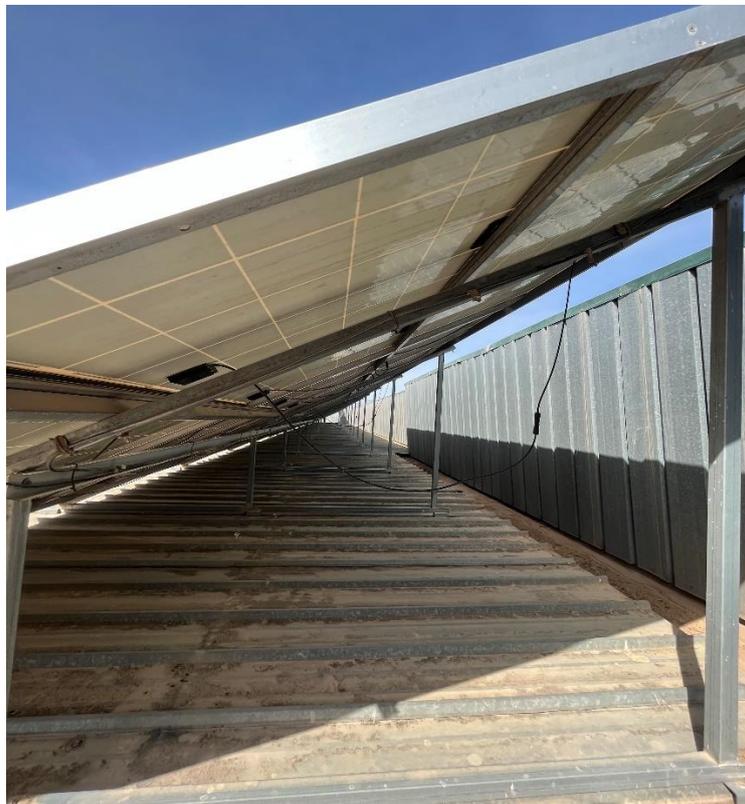


Figura 22: Soporte estructural paneles fotovoltaicos. Fuente: Transelx S.L.

- Anclaje de paneles fotovoltaicos: Los paneles se unen a la estructura de soporte a través de una doble escuadra de aluminio, y un tornillo rosca-chapa, cada panel cuenta con una escuadra por cada una de sus esquinas Figura [23].



Figura 23: Anclaje panel fotovoltaico. Fuente: Transelx S.L

- Trámex de seguridad: A lo largo de toda la cubierta de la nave industrial se dispone de una serie de trámex de seguridad, los cuales cubren las claraboyas de la misma, para evitar riesgos derivados de posibles caídas Figura [24].



Figura 24: Trámex de seguridad. Fuente: Transelx S.L

- Voladizo estructural para inversores: Los inversores de la instalación se encuentran distribuidos en dos puntos en el interior de la nave industrial, a una altura de 6 metros, para su manipulación y mantenimiento se dispone de una estructura de acero formada por perfiles de acero tipo doble T, los cuales están soldados a las vigas de la nave, formando así una estructura de tipo balcón voladizo, con una barandilla de seguridad.



Figura 25: Voladizo estructural para inversores. Fuente: Transelx S.L

4.2.2.4 CABLEADO Y COMPONENTES

- Cableado y conexiones de los paneles solares: Los paneles fotovoltaicos cuentan con una serie de cableados y conexiones, que les permiten conectarse en serie o en paralelo según el dimensionado, estas conexiones se encuentran en la parte posterior de los paneles fotovoltaicos, el conjunto de cables de los paneles se rutea a través de una serie de bandejas que conducen el cableado hasta los inversores, y estos a su vez hacia el cuadro eléctrico, Figuras [26] y [27].



Figura 26: Conexiones de los paneles fotovoltaicos. Fuente: Transelx S.L.

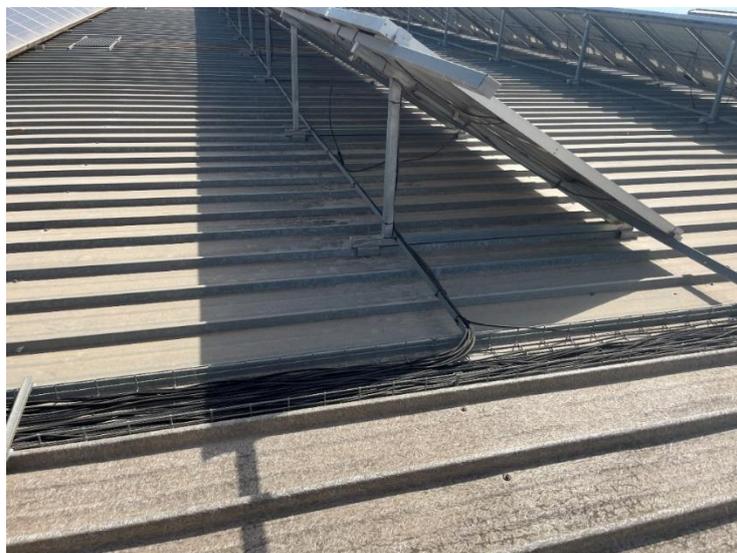


Figura 27: Cableado de los paneles fotovoltaicos. Fuente: Transelx S.L.

- Cuadro eléctrico de la instalación: La instalación cuenta con un cuadro eléctrico que se encarga de proteger la misma frente a posibles sobretensiones y sobre intensidades, principalmente entre los inversores y la red eléctrica, este cuenta con un interruptor general y una serie de diferenciales y magnetotérmicos.



Figura 28: Cuadro eléctrico de la instalación. Fuente: Transelx S.L

5. DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

5.1 OPERACIONES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

En los presentes apartados se detallan las diferentes operaciones de mantenimiento preventivo aplicables a los equipos de la instalación, de esta forma se pretende evitar o mitigar las consecuencias de fallos en los equipos, este se debe balancear de manera que sus costes no sobrepasen a sus beneficios.

5.1.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PANELES FOTOVOLTAICOS

1. Limpieza

Se deberá limpiar la suciedad y el polvo de la superficie del panel fotovoltaico, para ello se utilizará agua, sin detergentes ni disolventes, de forma abundante para retirar la suciedad y evitar posibles rayas en el panel, a continuación se deberá retirar el exceso de la misma y secar el panel, con ayuda de un limpiacristales.

A su vez se respetarán las siguientes indicaciones de seguridad relativas a la limpieza de paneles:

- Asegurarse de que el circuito está desconectado de los inversores, previamente al iniciar la limpieza.
- No se utilizará en ningún caso agua a presión.
- Identificar las zonas de riesgo, resbaladizas al caerles agua.
- Verificar la temperatura del módulo y evitar diferencias de temperatura entre el agua y el módulo.
- Priorizar las tareas de limpieza evitando las horas centrales del día.
- Tomar todas las medidas de seguridad necesarias relativas a trabajos en altura.



Figura 29: Panel Fotovoltaico Sucio VS Limpio. Fuente: Autor

5.1.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE INVERSORES

1. Limpieza de carenados y rejillas de ventilación

Se realizará una limpieza de la parte externa del inversor y de las zonas aledañas al mismo, verificando que la zona queda limpia y seca, seguidamente se limpiarán las rejillas de ventilación situadas a los laterales de los inversores dejándolas libres de polvo y posibles suciedades.

A su vez se respetarán las siguientes indicaciones de seguridad relativas a la limpieza de inversores:

- Asegurarse de que el circuito está desconectado de los inversores, previamente a iniciar la limpieza.
- No se utilizará agua a presión, ni productos con disolventes en ningún caso.
- Se utilizará un limpiador universal.
- Tomar todas las medidas de seguridad necesarias relativas a trabajos en altura.



Figura 30: Rejillas de aire laterales Inversor Fronius Primo 5.0-1. Fuente: Fronius [10].

5.2 OPERACIONES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

En los presentes apartados se detallan las diferentes operaciones de mantenimiento predictivo aplicables a los equipos de la instalación, de esta forma se pretende anticiparse a posibles fallos que puedan surgir en la instalación, repercutiendo directamente en la producción y el buen funcionamiento de la misma.

A grandes rasgos el mantenimiento predictivo constará de operaciones de inspección visual, comprobaciones y verificaciones, que deben permitir mantener las condiciones de funcionamiento, seguridad y durabilidad de la instalación dentro de límites aceptables

5.2.1 MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE PANELES FOTOVOLTAICOS

1. Inspección visual del estado de los módulos.

Se deberá realizar una inspección visual del panel fotovoltaico según la Norma ASTM E 1799-96, como base para dicha inspección se utilizará la siguiente Gama expuesta a

continuación, con el que se pretende la verificación del correcto estado del módulo fotovoltaico.

Inspección visual de módulos fotovoltaicos según ASTM E 1799-96		
Instalación Solar Fotovoltaica de Venta a Red	Potencia: 100kW	Propietario: TRANSELX S.L.
Defectos/Anomalías a Inspeccionar	Marque en la casilla del cuadro según corresponda	
	BIEN: ✓	MAL: ✗
Suciedad (polvo, manchas, restos de tierra)		
Daños por embarque		
Superficies pegajosas de materiales poliméricos		
Falla en la unión adhesiva		
Burbujas de laminación de los materiales encapsulados		
Decoloración en los elementos fotovoltaicos activos		
Quebrados, rotos o grabados en las superficies externas		
Falta de legibilidad o descamación en la etiqueta de identificación o de la marca		
Otras anomalías evidentes (especifique):		
Observaciones		
Nombre y firma de quien realiza la prueba:	Fecha:	

Figura 31: Check List inspección visual de módulos fotovoltaicos. **Fuente:** Autor

Se exponen a continuación algunos ejemplos de defectos en paneles fotovoltaicos:

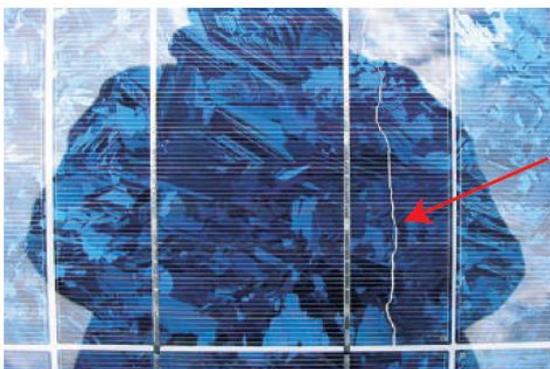


Figura 32: Ejemplo de rotura en celda. **Fuente:**[8]



Figura 33: Ejemplo de delaminación. **Fuente:**[8]

2. Comprobación de temperaturas en la superficie del módulo fotovoltaico.

La utilización de cámaras termográficas a la hora de inspeccionar paneles fotovoltaicos ofrece una serie de ventajas, los defectos o anomalías pueden verse de forma clara en una termografía nítida, a su vez se trata de una metodología que se aplica durante el funcionamiento real de los módulos, permite detectar zonas problemáticas antes de evidenciarse la avería.

Mediante el uso de una cámara termográfica, se deberá realizar una inspección de la superficie del módulo fotovoltaico, en busca de posibles puntos anormalmente calientes, estos pueden ser indicios de microroturas no visibles, fallos en los diodos o módulos en cortocircuito y circuito abierto.

Para la realización de la operativa descrita se deberá contar con una cámara termográfica certificada, para conseguir el contraste térmico suficiente a la hora de inspeccionar los módulos, se necesita una radiación solar de 500 W/m² o superior, siendo la radiación para un resultado óptimo de 700 [11]. Como condiciones ideales, el cielo debe estar despejado debido a que la nubosidad provoca una reducción de la radiación solar e interferencias en forma de reflexiones, no obstante, se pueden obtener buenas mediciones incluso a cielo cubierto, siempre que la cámara cuente con una buena sensibilidad.

Los flujos de aire sobre las superficies de los paneles fotovoltaicos provocan un enfriamiento de los mismos por convección, reduciendo el gradiente térmico e incrementando el contraste térmico, como opción se pueden realizar las inspecciones termográficas durante las primeras horas de la mañana. Cabe la opción de mejorar el contraste térmico desconectando las celdas de carga para evitar el flujo de corriente, lo que permite que el calentamiento se produzca únicamente debido a la radiación solar, posteriormente se conecta la carga y se contemplan las celdas durante la fase de calentamiento, sin embargo, se debe inspeccionar el sistema bajo condiciones de funcionamiento estándar, siendo las condiciones de calma ambiental las más idóneas.

Los paneles fotovoltaicos generalmente están montados sobre estructuras de aluminio, el cual presenta una reflectividad muy alta, esto implica que en la termografía esta zona aparece como zona fría al reflejar la radiación emitida por el cielo, en la práctica esto se traduce en que la cámara mostrará la temperatura de la estructura por debajo de 0°C, el algoritmo de la cámara se adapta automáticamente a la temperatura máxima y mínima

que detecta es posible que muchas anomalías en los módulos no aparezcan de inmediato, es por esto por lo que para lograr una termografía con un mayor contraste, se necesita una continua corrección de manual de nivel e intervalo. Como solución, existe la función DDE (Digital Detail Enhancement), la cual optimiza el contraste de la imagen de forma automática en el caso de escenas con elevado rango dinámico, no teniendo que ajustar así de forma manual.

A la hora de colocar la cámara para las mediciones se tendrán en cuenta los reflejos y la emisividad. El vidrio presenta una emisividad de 0.85 – 0.9 en la banda de 8 a 14 μm por lo que las mediciones son complejas, ya que las reflexiones del vidrio son espejos lo que implica que se aprecian claramente los objetos alrededor con una distinta temperatura, esto puede llevar a una mala interpretación (falsos puntos calientes) y errores de medición.

Para evitar la reflexión en el vidrio de la cámara termográfica y del operario, esta no se debe colocar de forma perpendicular a la placa que se está inspeccionando, la emisividad alcanza su valor máximo al estar la cámara perpendicular al panel, y disminuye al aumentar este, es por esto por lo que el ángulo de visión debe estar dentro de los márgenes de seguridad (5° - 60°) a su vez se debe evitar el ensombrecimiento y las reflexiones.

A la hora de realizar las mediciones no siempre es sencillo conseguir un ángulo de visión apropiado, en algunos casos esto se puede solucionar con la utilización de un trípode, en condiciones más complejas puede ser necesario utilizar plataformas de trabajo móviles e incluso sobrevolar los módulos con ayuda de un dron, para estos casos una mayor distancia del objetivo resulta ventajosa, pudiendo analizar zonas mas amplias durante una pasada.

A su vez, y en la mayoría de los casos, las placas fotovoltaicas se pueden inspeccionar también desde su parte trasera mediante la cámara termográfica, de esta forma se minimizan las interferencias de las reflexiones del sol y de las nubes, así mismo, las mediciones obtenidas en la parte trasera pueden ser más elevadas ya que el módulo se mide directamente y no a través de la superficie del vidrio.

Durante la realización de la operativa, se pueden dar lugar errores de medición, los cuales son debidos principalmente a una mala colocación de la cámara y a unas condiciones

ambientales por debajo del nivel óptimo, por lo que estos factores se deben tener en importante consideración.

A modo de ejemplo, se detallan algunos aspectos que pueden provocar errores de medición típicos:

- Ángulo de visión poco profundo.
- Los cambios en el cielo pueden provocar un cambio en la radiación solar con el paso del tiempo
- Reflexiones provocadas por el sol, nubosidad, edificios aledaños.
- Sombras parciales provocadas por objetos o estructuras adyacentes.

El técnico encargado de realizar la operativa contará a su vez con una acreditación y certificación para el uso de cámara termográfica, y deberá tener en consideración todos los aspectos expuestos anteriormente.

A través de la utilización de esta operativa se puede obtener gran cantidad de información, en caso de haber piezas más calientes que otras, estas aparecerán en la termografía, la ubicación de estos puntos y zonas puede indicar varios fallos diferentes, que una placa entera esté más caliente de lo habitual puede significar que hay problemas con las conexiones, si por el contrario son celdas individuales o hileras de celdas las que aparecen como puntos calientes, puede ser debido por diodos defectuosos, cortocircuitos internos o desajustes en las celdas. Los ensombrecimientos o grietas aparecen en la termografía como formas poligonales, un aumento de temperatura de una celda también puede indicar un ensombrecimiento.

Se deben comprar las termografías obtenidas en condiciones normales de carga, sin carga o en caso de cortocircuito, a su vez una comparativa de las termografías de la parte delantera o trasera también proporciona información valiosa, esto permite realizar un análisis profundo del estado del panel fotovoltaico. En caso de detectarse anomalías en algún panel, este deberá ser probado de forma eléctrica y recibir una inspección visual.

A modo de guía, se detallan a continuación algunos ejemplos de módulos fotovoltaicos con defectos y puntos anormalmente calientes:

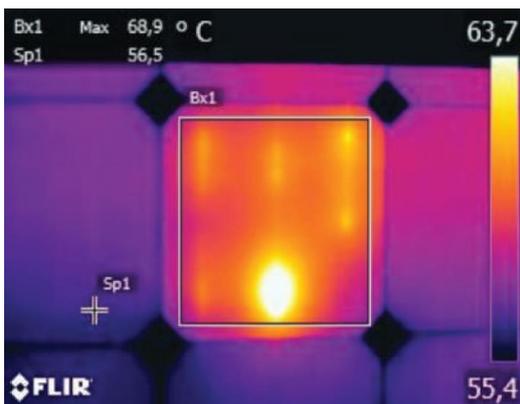


Figura 34: Celda caliente por malos contactos. Fuente:[8]

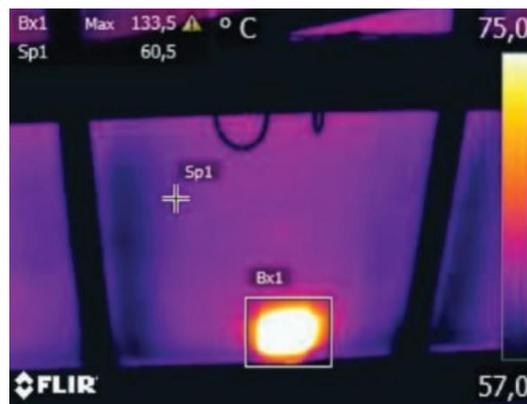


Figura 35: Celda con rotura. Fuente:[8]

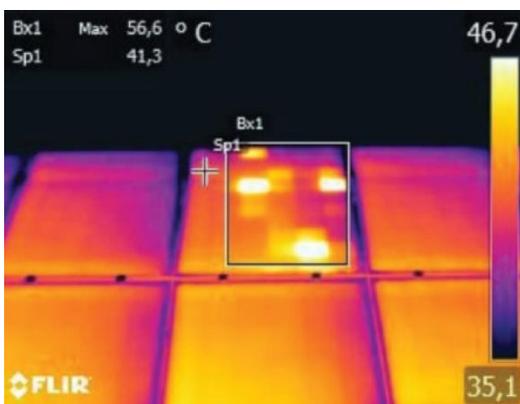


Figura 36: Típica marca por 2/3 del módulo en cortocircuito. Fuente: [8]

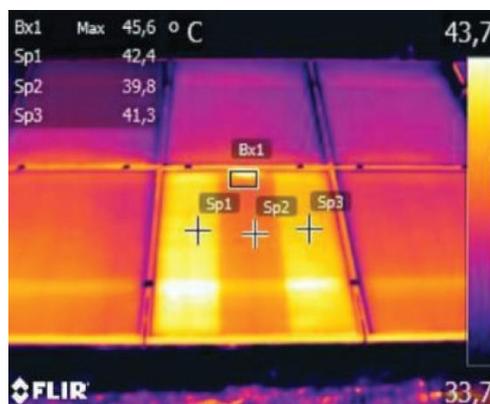


Figura 37: 2/3 del módulo en circuito abierto a causa de Diodos Bypass defectuosos. Fuente: [8]

Se deberá completar la siguiente Gama a la hora de realizar la comprobación de temperaturas en el módulo fotovoltaico.

Comprobación de temperaturas en Módulo Fotovoltaico		
Instalación Solar Fotovoltaica de Venta a Red	Potencia: 100kW	Propietario: TRANSELX S.L.
Inspecciones y comprobaciones a realizar	Nº Módulo:	Marque en la casilla del cuadro según corresponda
		BIEN: <input checked="" type="checkbox"/> MAL: <input checked="" type="checkbox"/> NO APLICA: NA
Temperatura media del módulo fotovoltaico (°C)		
Puntos calientes detectados (indicar en observaciones)		
Número de celdas anormalmente calientes		
Temperatura a la hora de realizar las mediciones (indicar en observaciones)		
Temperatura de la estructura del módulo fotovoltaico		
Otras anomalías evidentes (especifique):		
Observaciones		
Nombre y firma de quien realiza la prueba:		Fecha:

Figura 38: Check List comprobación de temperaturas en módulo fotovoltaico. **Fuente:** Autor

5.2.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN INVERSORES

1. Seguimiento y monitorización

Los inversores cuentan con un sistema de monitoreo centralizado, software a partir del cual se puede consultar mediante una página de internet donde se puede realizar la comprobación del correcto funcionamiento de la planta y donde se puede acceder a la memoria de fallos.

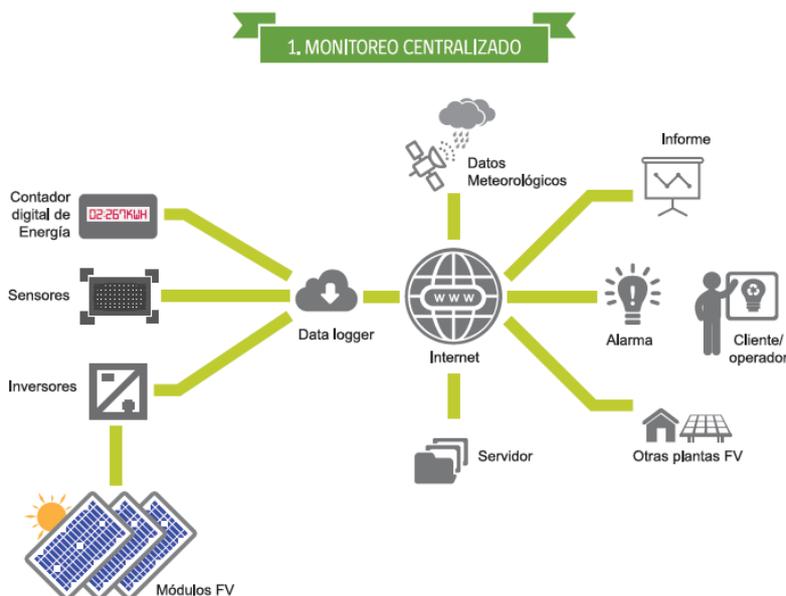


Figura 39: Monitorización centralizada en instalaciones fotovoltaicas. Fuente: Autor

Periódicamente se deberá acceder al sistema y chequear el histórico de producciones, comparar los diferentes parámetros entre los inversores y analizar si existe una cierta desviación en los mismos, a su vez se deberá prestar especial atención al histórico de fallos, en caso de la existencia de los mismos, realizar un análisis en busca de la causa raíz y tomar medidas correctivas si es necesario.

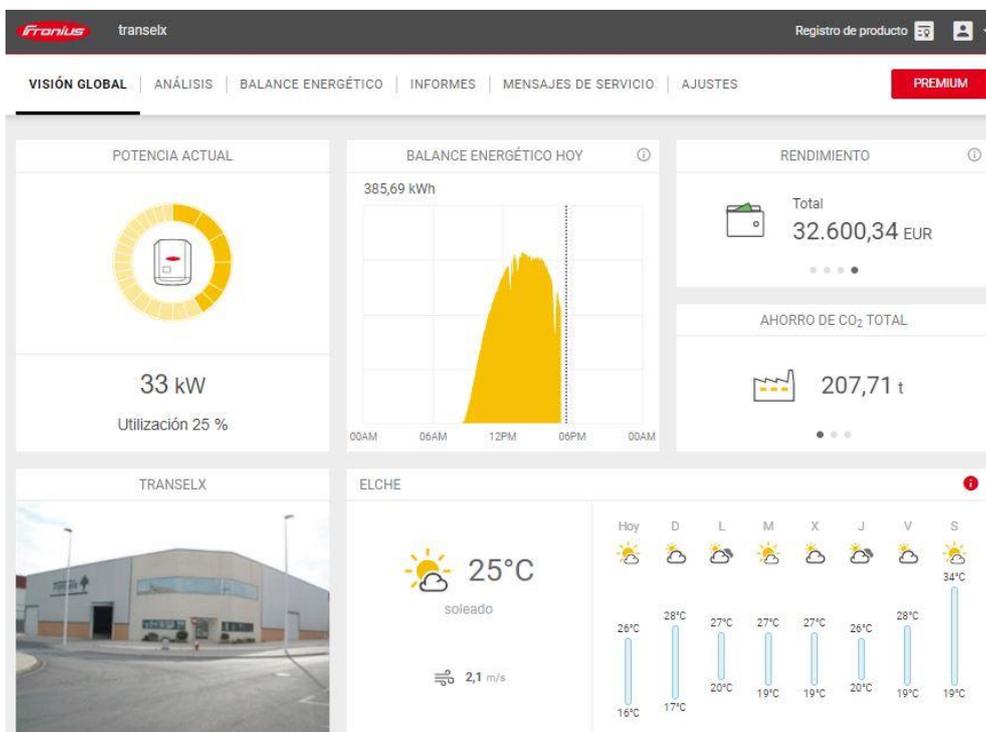


Figura 40: Plataforma de monitorización. Fuente: Fronius [10].

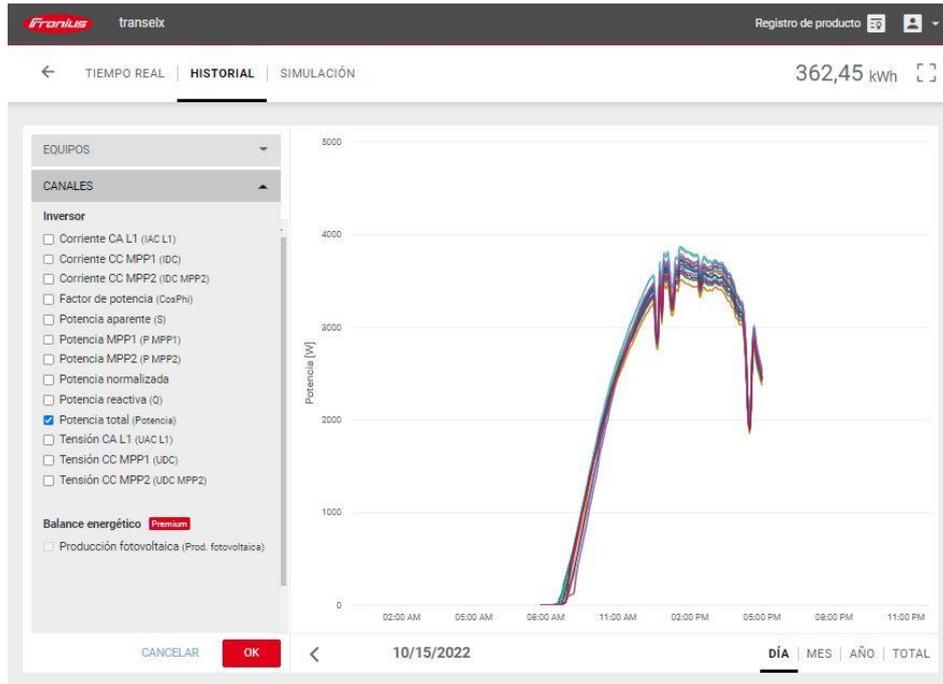


Figura 41: Histórico de parámetros y producciones en Inversores. Fuente: Fronius[10]

Fecha	ID de la fuente de datos	Nombre del equipo	Instalación fotovoltaica	Código de estado	Descripción	Acciones
09/22/2022 07:18 PM	240.874924	Primo 5.0-1 (13)	transelx	475 (Error)	Error de aislamiento	⋮

Figura 42: Histórico de fallos. Fuente: Fronius [10]

Se presenta en el siguiente diagrama, las reglas de reacción que se deben seguir en caso de detectar una desviación en los parámetros de los inversores, Figura [39].

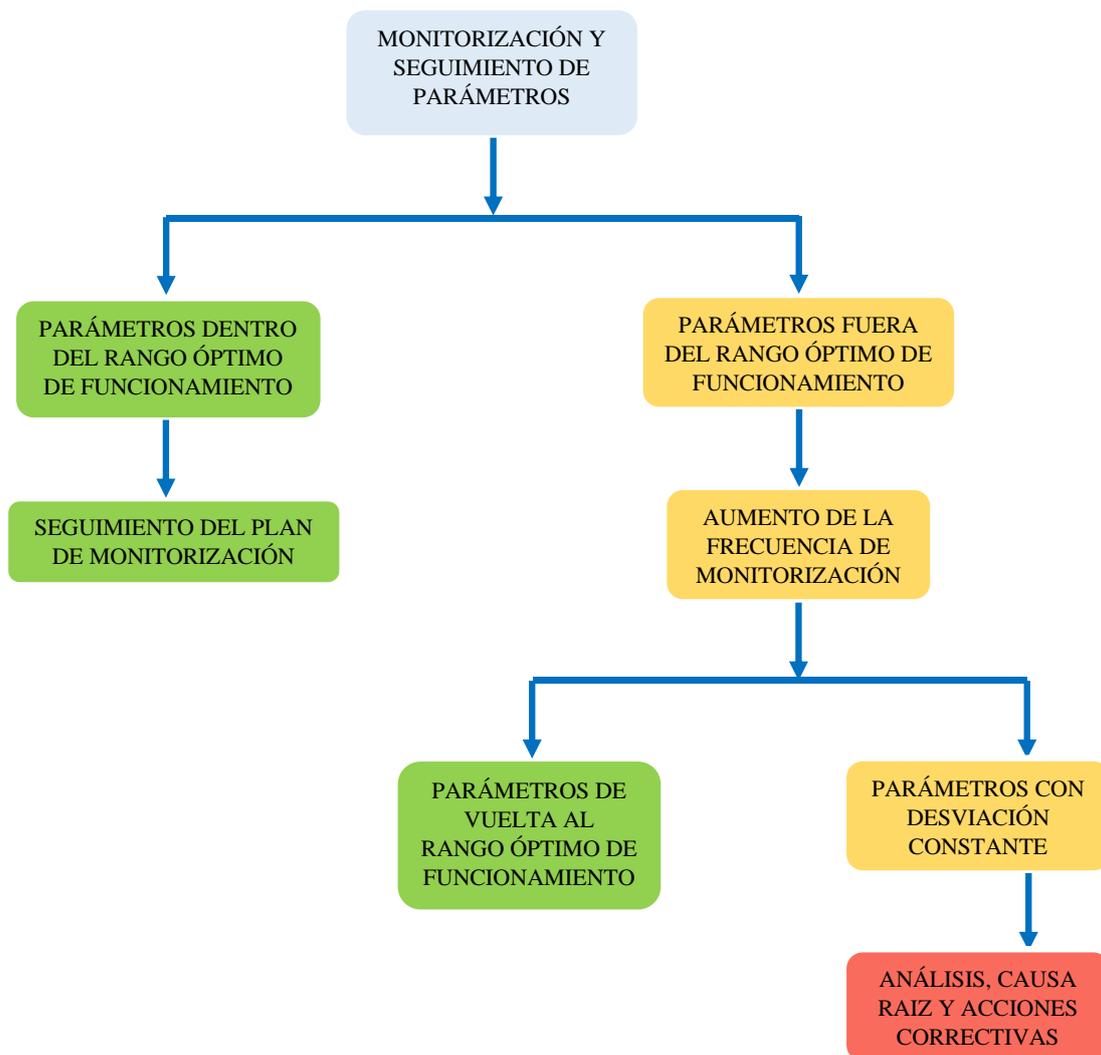


Figura 43: Reglas de reacción en la monitorización de parámetros. Fuente: Autor.

2. Inspección visual y comprobaciones

Se realizará una inspección visual de la zona de operación del inversor, buscando posibles defectos en la misma y prestando atención a las zonas de conexionado y ventilación del mismo, como base para la realización de la operativa se seguirá la Gama expuesto a continuación:

Inspección y comprobaciones de Inversores		
Instalación Solar Fotovoltaica de Venta a Red	Potencia: 100kW	Propietario: TRANSELX S.L.
Inspecciones y comprobaciones a realizar	Marque en la casilla del cuadro según corresponda	
	BIEN: ✓	MAL: ✗
Inspección de polvo, suciedad o humedad en el inversor y/o zonas próximas.		
Inspección visual de los contactos de puesta a tierra, comprobar a su vez si los bornes o el aislamiento presentan decoloración, óxido o alteraciones de otro tipo, replazar las conexiones si es necesario.		
Control de las uniones atornilladas, realizando un apriete de las mismas en caso de ser necesario.		
Inspección de las etiquetas de indicación y advertencia.		
Correcto funcionamiento de los ventiladores, atendiendo a posibles ruidos anómalos.		
Revisión de las tensiones de mando y auxiliares de 230V y 24V.		
Comprobación del funcionamiento de la parada de emergencia.		
Control de la función de sobre temperatura y funcionamiento del circuito de seguridad de dicha función		
Medida de la eficiencia de la conversión DC/AC		
Otras anomalías evidentes (especifique):		
Observaciones		
Nombre y firma de quien realiza la prueba:		Fecha:

Figura 44: Check List inspección Inversores. Fuente: Autor

Las operaciones de mantenimiento se deberán realizar sin tensión y con los inversores previamente desconectados.

3. Control de temperaturas en el inversor

Mediante el uso de una cámara termográfica se realizará una inspección del inversor fotovoltaico buscando posibles puntos calientes, se prestará especial atención a los bornes de conexión a la vez que a las entradas y salidas de ventilación.

Se detallan a continuación, algunas nociones básicas sobre la termografía en componentes eléctricos, con el objetivo de poder llevar a cabo la operativa de forma más eficiente, estos

también son aplicables en el punto “2. Inspección del CGP, termografía y verificaciones” [18].

Cuando la condición de un componente, conductor o equipo eléctrico se deteriora con el paso del tiempo, la resistencia de este puede sufrir un incremento que se traduce en un aumento de la temperatura, la termografía permite localizar estos puntos calientes y analizarlos a partir de una serie de criterios establecidos.

A la hora de realizar la inspección termográfica es importante analizar si toda la radiación emitida por la superficie del componente es debida a su temperatura, ya que puede haber factores externos que influyan en la radiación infrarroja, los cuales pueden ocasionar errores en las mediciones. A su vez, hay que contemplar que las variaciones de temperatura pueden deberse a causas reales, las cuales intervienen de forma directa sobre la temperatura absoluta, o las causas aparentes, que pueden producir confusiones y errores de lectura al variar la información recibida por la cámara termográfica, teniendo que introducir factores de compensación u otras rectificaciones.

Algunas de las causas de anomalías más frecuentes, que se pueden detectar mediante la termografía son:

- Incremento de la resistividad por contactos defectuosos: Se trata de un calentamiento del componente por el Efecto de Joule debido a un aumento de resistencia, causado por defectos en las conexiones, pérdida de sección de los conductores etc.. El aumento de la resistividad se traduce en un aumento de la temperatura en una zona o punto caliente (región con temperatura superior a las temperaturas restantes de las zonas del termograma). Este defecto se caracteriza por un gradiente de temperatura que tiende a disminuir en puntos más alejados de la conexión.

Este tipo de defectos son frecuentes en interruptores, terminales de conexión, grapas, barras metálicas, contactos internos, fusibles, seccionadores etc... Cabe destacar que estas simples anomalías generan un ciclo cerrado, el cual puede desencadenar en un incremento continuo de temperatura que puede llegar a destruir el componente, lo cual puede suceder de forma impredecible, de ahí el uso de la termografía con carácter predictivo para evitar dichas situaciones.

Algunas de las causas más frecuentes que derivan en malos contactos son:

- Tornillería mal apretada: Una conexión defectuosa provoca un aumento de la resistencia que se traduce en un incremento de temperatura, como ya se ha comentado. A modo de ejemplo, un apriete excesivo en un conductor de dimensiones pequeñas conectado a una fase de un interruptor diferencial puede provocar su ruptura parcial aumentando la resistencia en dicho punto, de forma contraria, si el conductor no se encuentra bien apretado la disminución de la superficie de contacto se puede interpretar como una reducción de la sección del elemento conductor, la cual implica un sobrecalentamiento a causa de un aumento resistivo de la conexión.
 - Corrosión o suciedad en los contactos: A causa de los factores ambientales, los elementos metálicos pueden sufrir oxidación, acumular suciedad y dilatar contraer las superficies de contacto debido a los cambios de temperatura. Estos factores alteran la conductividad eléctrica aumentando la resistencia en las zonas más agredidas. Como ejemplo, algunos cuadros eléctricos no cuentan con la protección adecuada o bien no están ubicados en un sitio recomendado, y a través de alguna incidencia son atacados por los factores citados, es por esto por lo que se recomienda limpiar la zona de contacto cuando se detecta una mala conexión.
 - Pérdida de sección en conductores: Algunos conductores pueden sufrir deterioros parciales, los cuales pueden provocar serios problemas, sobre todo en las líneas de media y alta tensión. Los incrementos de temperatura producidos favorecen a un mayor deterioro del conductor, contribuyendo en mayor medida a la pérdida de más sección o rotura de venas.
- Sobrecarga en conductores y componentes: Se trata de otro caso de aumento de la resistividad diferente a los anteriores. Cuando la intensidad que soportan los diferentes componentes electrónicos y conductores se encuentra por encima de sus valores nominales, para los cuales fueron fabricados, la temperatura de las superficies de los mismos es demasiado alta, indicando que existe una sobrecarga. La gran

mayoría de componentes de baja tensión tienen especificado en su ficha técnica su temperatura de funcionamiento para una temperatura ambiente determinada.

Desde un punto de vista cuantitativo y teniendo en cuenta dichos parámetros, se puede determinar cuándo un componente eléctrico se encuentra trabajando en sus límites térmicos de correcto funcionamiento, evaluando así el nivel de gravedad en relación al criterio de gradiente térmico, es decir, de su variación con respecto a un punto de referencia óptimo.

A través de la termografía se puede determinar la sobrecarga de un componente mediante la observación de las imágenes térmicas y de su patrón de temperatura, la comparación de temperaturas entre equipos o componentes de similares características es un método eficiente para detectar posibles sobrecargas en sistemas eléctricos, debido a que permite realizar una inspección con mayor rapidez.

- Perturbaciones causadas por armónicos en el sistema: En multitud de ocasiones, la tensión y la intensidad, no presentan una onda periódica de tipo senoidal en régimen permanente. Estas ondas distorsionadas se pueden representar con funciones periódicas senoidales y múltiplo de la onda fundamental, son llamadas armónicos.

La causa inicial de estos armónicos son las intensidades distorsionadas que son absorbidas por aparatos de funcionamiento no lineal, aunque también aparecen armónicos en la onda tensión al añadir receptores no lineales.

Los armónicos están originados por receptores no lineales presentes en la instalaciones eléctricas y normalmente se clasifican en tres familias:

- Convertidores electrónicos de potencia
- Máquinas eléctricas con saturación magnética, especialmente máquinas rotativas y transformadores saturados
- Equipos en los que en su funcionamiento se produce el arco eléctrico, fenómeno no lineal.

Los armónicos generan calentamientos producidos por las pérdidas por las pérdidas mayores, que deterioran antes los aislamientos, principalmente se da en el caso de cables aislados. De forma general, los equipos sometidos a tensiones o traspasados por intensidades armónicas tienen las pérdidas aumentadas, por lo que se deberá tener en consideración la disminución de su clase de intensidad nominal.

A modo de ejemplo, en las inspecciones termográficas, un caso frecuente de la influencia de armónicos es la elevada temperatura de la superficie de los conductores neutros con respecto a las fases activas, esto se debe a que, en sistemas eléctricos desequilibrados, las intensidades armónicas en la fase neutro se suman y su valor puede llegar a estar en el mismo orden de magnitud que las intensidades de las fases activas.

En ocasiones, si el consumo de la línea no se encuentra en pleno rendimiento, la superficie del conductor de fase neutro se observa más caliente que las fases, aspecto a tener en cuenta y no confundir esto con un mal contacto, los armónicos producidos en el neutro reciben el nombre de triplen.

- Desequilibrio de fases: Los desequilibrios de fases pueden causar problemas térmicos sobre una instalación eléctrica, estos pueden ser detectados mediante una adecuada inspección termográfica. Se conoce que las tres fases han de ser simétricas tanto en tensiones como en intensidades, además su desfase ha de ser próximo a 120° eléctricos. Estos desequilibrios pueden darse cuando el valor eficaz de una fase difiere del resto, lo que en la mayoría de los sistemas trifásicos esta causado por:
 - Cargas monofásicas mal repartidas entre fases
 - Desigual distribución de conductores
 - Fallos a masa de una fase

En el ámbito industrial suele ser frecuente la incorporación de nuevos equipos monofásicos a la instalación ya existente, en ocasiones estas nuevas instalaciones no presentan un correcto reparto de cargas lo cual genera una sobrecarga en alguna de ellas. Esta sobrecarga produce un efecto semejante al de los armónicos, incrementando la temperatura en toda la línea de conductores de la fase desequilibrado. Cuando se dan estos hechos, se puede observar a través de una

inspección termográfica como uno de los de los conductores de una fase está más caliente que los conductores de el resto de fases de la línea.

De igual forma que sucede con los armónicos, es complejo determinar solo mediante la termografía infrarroja si un aumento de temperatura de debe al desequilibrio de fases, pero de forma paralela y mediante un amperímetro manual, el cual permite realizar medidas in situ, o bien mediante otros dispositivos de medición de estos parámetros que en ocasiones vienen incorporados en algunos cuadros eléctricos, se puede determinar si se el aumento de temperatura se debe a un desequilibrio de fases.

Ya expuestos algunos conceptos de termografía en componentes eléctricos se pasará a la realización de la inspección de los inversores, para la cual se deberá contar con una cámara termográfica certificada y el técnico encargado deberá estar acreditado para el uso de esta, se tendrá en consideración al ahora de realizar la inspección todo lo citado anteriormente.



En caso de que alguna conexión eléctrica supere los 60 °C, se deberá medir la tensión e intensidad de está comprobando que está dentro de valores normales, en caso contrario se deberá sustituir la conexión y analizar las posibles causas raíz de dicho incremento de temperatura, se seguirá la misma operativa en caso de otros puntos anormalmente calientes en el inversor.

Figura 45: Termografía en Inversor. **Fuente:** Fronius [10].

Se deberá comprobar a su vez que la zona de operación de los inversores se encuentra entre 0° y 50 °C.

A la hora de realizar la comprobación de temperaturas en el inversor se deberá cumplimentar la siguiente gama para cada uno de los mismos.

Comprobación de temperaturas en Inversores		
Instalación Solar Fotovoltaica de Venta a Red	Potencia: 100kW	Propietario: TRANSELX S.L.
Inspecciones y comprobaciones a realizar	Nº Inversor:	Marque en la casilla del cuadro según corresponda
		BIEN: <input checked="" type="checkbox"/> MAL: <input checked="" type="checkbox"/> NO APLICA: NA
Temperatura del inversor (°C)		
Puntos calientes detectados (indicar en observaciones)		
Temperatura de los puntos de conexión (°C)		
Temperatura a la hora de realizar las mediciones (indicar en observaciones)		
Temperatura ambiente de medición (°C)		
Otras anomalías evidentes (especifique):		
Observaciones		
Nombre y firma de quien realiza la prueba:		Fecha:

Figura 46: Check List comprobación de temperaturas en inversores. Fuente: Autor.

5.2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN SISTEMAS ESTRUCTURALES

1. Inspección y comprobación de soportes fotovoltaicos y elementos de la cubierta

Se revisará la estructura de soporte de los paneles fotovoltaicos, esta está fabricada íntegramente con perfiles de aluminio por lo que no requiere de mantenimiento anticorrosivo.

- Se comprobarán posibles deformaciones en las estructuras de soporte de los paneles fotovoltaicos (grietas, roturas, etc...)
- Se comprobará el estado de fijación de la estructura a la cubierta, verificando que la tornillería se encuentra correctamente apretada

- Verificar la estanqueidad de la cubierta, comprobando que todas las juntas se encuentran correctamente selladas.
- Revisar que no existen sombras que afecten a los módulos fotovoltaicos, ya sean por elementos estructurales u otros casos.
- Comprobar el anclaje de los paneles fotovoltaicos a la estructura de soporte, revisando el correcto estado de los mismos y reapretándolos en caso de ser necesario.
- Asegurar que los trámex están en buen estado y se encuentran en todas las zonas de paso donde existen claraboyas.

A la hora de realizar la operativa se deberá cumplimentar la siguiente gama:

Inspección visual de soportes y elementos de cubierta		
Instalación Solar Fotovoltaica de Venta a Red	Potencia: 100kW	Propietario: TRANSELX S.L.
Defectos/Anomalías a Inspeccionar	Marque en la casilla del cuadro según corresponda	
	BIEN: ✓	MAL: ✗
Presencia de grietas, daños o golpes		
Fijación de la estructura		
Tornillería de los paneles fotovoltaicos		
Anclaje de paneles a estructura de soporte		
Estructura de soporte		
Sombras u objetos interpuestos		
Estanqueidad de la cubierta		
Estado de trámex y claraboyas		
Otras anomalías evidentes (especifique):		
Observaciones		
Nombre y firma de quien realiza la prueba:	Fecha:	

Figura 47: Check list inspección visual de soportes y elementos de cubierta. *Fuente.* Autor.

2. Inspección y comprobación de voladizos estructurales

Se revisarán los voladizos estructurales dónde se ubican los inversores, estos están fabricados en acero por lo que se deberá prestar especial atención a signos de corrosión.

- Se realizará una inspección visual de la estructura, presentando especial atención a los cordones de soldadura, en busca de grietas, fisuras o corrosión.
- Inspeccionar el estado de conservación de la protección contra el fuego en las zonas vistas, procediéndose al repintado o reparación si fuera preciso. Para volver a pintar la viga, bastará con limpiar las manchas si el recubrimiento está en buen estado. En el caso de existir ampollas, desconchados, agrietamiento o cualquier otro tipo de defecto, como paso previo a la pintura, se eliminarán las partes sueltas con cepillo de alambre, se aplicará una composición decapante, se lijará y se lavará.
- Verificar el correcto estado de las barandillas de seguridad, comprobando su sujeción y prestando atención a posibles defectos.

Se deberá cumplimentar la siguiente gama, quedando así registrada la inspección de los diferentes voladizos estructurales.

Inspección visual de voladizos estructurales		
Instalación Solar Fotovoltaica de Venta a Red	Potencia: 100kW	Propietario: TRANSELX S.L.
Defectos/Anomalías a Inspeccionar	Marque en la casilla del cuadro según corresponda	
	BIEN: ✓	MAL: ✗
Presencia de grietas, daños o golpes		
Fijación de la estructura		
Estado de cordones de soldadura		
Comprobación de barandillas y pasamanos		
Tramex de paso		
Presencia de oxido		
Decapación de pintura de protección		
Deformaciones o pandeos aparentes		
Otras anomalías evidentes (especifique):		
Observaciones		
Nombre y firma de quien realiza la prueba:	Fecha:	

Figura 48: Check List inspección visual de voladizos estructurales. Fuente: Autor

5.2.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN CABLEADO Y COMPONENTES ELÉCTRICOS

1. Inspección visual y comprobación del cableado de paneles fotovoltaicos.

Se deberá realizar una inspección del estado del cableado y conexiones de los paneles fotovoltaicos.

- Se deberá comprobar el correcto estado de la caja de conexiones de los paneles: estanqueidad, adherencia del cableado a la misma, estado de los capuchones de seguridad.



Figura 49: Caja de conexiones quemada por conexión defectuosa. Fuente: [8]

- Verificar el correcto estado de los conectores del cableado y la fijación de los mismos al panel fotovoltaico (ruteado).



Figura 50: Conectores de cableado. Fuente: Transelx S.L.

- Inspeccionar la usencia de sulfatación en los contactos y oxidaciones en los circuitos, causalmente potenciados por la humedad.
- Realizar una medición de la curva Voltaje-Intensidad.
- Se comprobará la toma de tierra y la resistencia de paso al potencial de la misma.

A la hora de realizar la operativa se deberá cumplimentar la siguiente gama:

Inspección y comprobación cableado de paneles fotovoltaicos		
Instalación Solar Fotovoltaica de Venta a Red	Potencia: 100kW	Propietario: TRANSELX S.L.
Defectos/Anomalías a Inspeccionar	Marque en la casilla del cuadro según corresponda	
	BIEN: ✓ MAL: ✗ NO APLICA: NA	
Estado caja de conexiones (adherencia, estamqueidad)		
Ruteado conectores cableado		
Estado conectores cableado		
Sulfatación/Oxidación en circuitos		
Medición de curva Voltaje - Intensidad (Ok-Nok)		
Comprobación toma de tierra (Ok-Nok)		
Resistencia de paso al potencial de toma de tierra (Ok-Nok)		
Otras anomalías evidentes (especifique):		
Observaciones		
Nombre y firma de quien realiza la prueba:		Fecha:

Figura 51: Check List comprobación cableado paneles fotovoltaicos. Fuente: Autor.

2. Inspección del CGP, termografía y verificaciones.

Se deberá realizar una inspección y comprobación del cuadro general de protección prestando especial a los siguientes puntos [12]:

- Comprobar el correcto estado de limpieza en el interior del cuadro general de protección, realizando la misma en caso contrario.
- Verificar la correcta identificación de los componentes de protección y el correcto estado de las señales de advertencia y peligro por riesgo eléctrico
- Comprobar el mecanismo de apertura, cierre y bloqueo de la puerta de protección.
- Para el caso del interruptor de automático, se deberá:
 - Revisar de forma visual.
 - Comprobar la maniobra de conexión/desconexión de los interruptores automáticos verificando que son estables en sus posiciones abierto y cerrado.
 - Revisar los accionamientos, relés, tensiones en las bobinas de accionamiento y contactos.

- Comprobación de los parámetros y reglajes del interruptor a partir de un comprobador de instalaciones.
- Realizar una comprobación del estado del interruptor automático mediante termografía, buscando puntos anormalmente calientes los cuales pueden indicar contactos de alta resistencia.

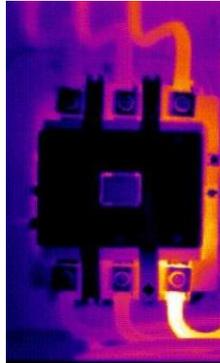


Figura 52: Termografía en interruptor automático con temperatura excesiva. Fuente: Autor.

- Para el caso de los magnetotérmicos, se deberá comprobar la maniobra de conexión/desconexión verificando que estos son estables en sus posiciones abierto y cerrado.
- Para los fusibles, con el circuito en carga, se deberá comprobar:
 - Verificar el estado del fusible midiendo con una pinza amperimétrica en uno de los hilos de entrada o salida del fusible.
 - Asegurar que las intensidades que circulan por los fusibles son las previstas para dicha instalación, en caso contrario averiguar la causa raíz y determinar acciones correctivas.
 - Realizar una inspección visual, comprobando que no esté quebrado o deteriorado, si existen pequeños arcos en los contactos de los fusibles, los cuales pueden dar lugar a carbonilla y malas conexiones, asegurar el buen contacto entre el fusible y los terminales del soporte verificando que mantienen una presión adecuada
 - Comprobar el calentamiento de los fusibles, calentamientos excesivos son indicios de sobreintensidades anormales, en tal caso, se revisarán que los consumos son los previstos.
 - Realizar una comprobación del estado del fusible mediante termografía infrarroja, en busca de temperaturas excesivamente elevadas.

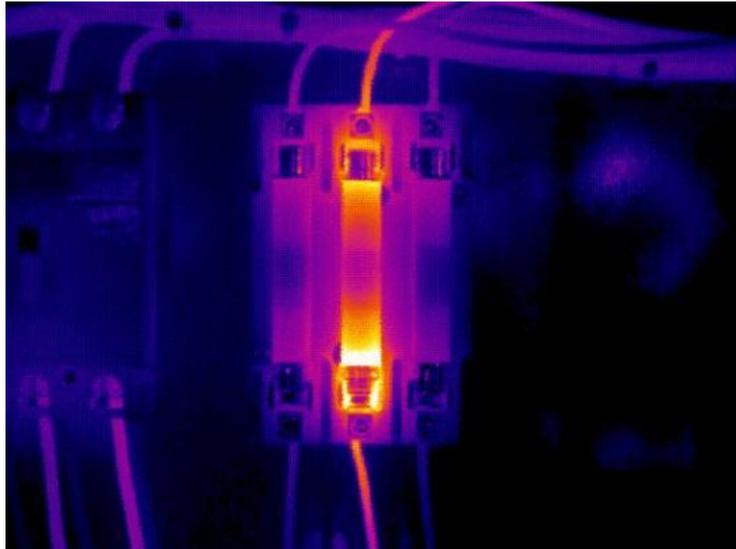


Figura 53: Termografía en fusible con temperatura excesiva. Fuente: Autor.

- Para los fusibles, con el circuito sin carga, se deberá comprobar:
 - Continuidad del hilo conductor mediante un polímetro.
 - Verificar que el fusible es del calibre correcto para la instalación a la que protege.
 - Realizar una inspección visual del fusible, comprobando posibles daños, suciedad o carbonilla, en caso afirmativo subsanar los defectos encontrados.

Como base para la realización de la operativa se seguirá la siguiente Gama expuesta a continuación:

Inspección y comprobación del CGP		
Instalación Solar Fotovoltaica de Venta a Red	Potencia: 100kW	Propietario: TRANSELX S.L.
Comprobaciones a realizar	Marque en la casilla del cuadro según corresponda	
	BIEN: ✓	MAL: ✗
Limpieza interior del CGP		
Componentes correctamente identificados, señales en buen estado		
Mecanismo de apertura y cierre		
Estado y comprobación del interruptor automático		
Funcionamiento maniobra conexión/desconexión magnetotérmicos		
Estado y comprobación de los fusibles		
Comprobación componentes mediante termografía (Ok-Nok)		
Otras anomalías evidentes (especifique):		
Observaciones		
Nombre y firma de quien realiza la prueba:		Fecha:

Figura 54: Chek List comprobación del CGP. Fuente: Autor

3. Inspección y comprobaciones del cableado de puesta a tierra.

Será necesario mantener la puesta a tierra tanto de la instalación solar fotovoltaica como de las instalaciones ya que de estos depende el correcto funcionamiento de las protecciones.

- Comprobar la continuidad eléctrica e inspección de posibles defectos en los distintos puntos de puesta a tierra (enchufes, neutros de los equipos etc...).

Cada 2 años:

- Verificar el estado de la línea principal y las derivadas a tierra y conexiones, prestando atención a la corrosión y la continuidad de las líneas.
- Comprobar que la resistencia a tierra mantiene un valor inferior a veinte ohmios, en caso de ser superiores a lo indicado, se utilizarán electrodos en contacto con el terreno.

Cada 5 años:

- Se realizará una comprobación del estado del aislamiento de la instalación interior, la cual no deberá ser inferior a 250000 ohmios entre cada conductor y tierra y entre conductores respectivamente.

A la hora de realizar la operativa, se deberá completar la siguiente Gama:

Inspección y comprobación cableado puesta a tierra		
Instalación Solar Fotovoltaica de Venta a Red	Potencia: 100kW	Propietario: TRANSELX S.L.
Comprobaciones a realizar	Marque en la casilla del cuadro según corresponda	
	BIEN: <input checked="" type="checkbox"/> MAL: <input checked="" type="checkbox"/> NO APLICA: NA	
Comprobación de la continuidad eléctrica		
Estado de las líneas		
Estado de las derivaciones a tierra		
Resistencia a tierra con valor inferior a veinte ohmios		
Estado del aislamiento (no inferior a 25000 ohmios)		
Comprobaciones generales		
Otras anomalías evidentes (especifique):		
Observaciones		
Nombre y firma de quien realiza la prueba:		Fecha:

Figura 55: Check List inspección y comprobación cableado puesta a tierra. Fuente: Autor.

4. Comprobación del estado del aislamiento.

En la mayoría de las instalaciones fotovoltaicas de medias y altas potencias, gran parte del cableado de las mismas se encuentra al aire libre y expuestos a las inclemencias climáticas, esto supone una degradación del mismo con el paso del tiempo, lo que puede desencadenar no solo en un mal funcionamiento en la instalación, sino en fallos o averías en la misma.

Es por esto por lo que se deberá revisar el estado del cableado, no solo de la caja de conexiones y los conectores del mismo, sino de las líneas completas, centrándose principalmente en aquellas que estén desprotegidas y expuestas directamente al ambiente, prestando especial atención al estado del aislamiento, el cual se puede degradar de forma

considerable si se encuentra expuesto a luz solar directa, pudiendo ocasionar un mal funcionamiento de la instalación solar fotovoltaica.

Para la revisión del estado del aislamiento se utilizará de forma complementaria la técnica de descargas parciales, al ser una metodología compleja, se utilizará únicamente para las secciones de cableado más significativas, se procede a detallar el método a continuación.

TÉCNICA DE DESCARGAS PARCIALES

Según la norma UNE-EN 60270:2002/A1:2016, las descargas parciales se definen como “una descarga eléctrica localizada que cortocircuita parcialmente el aislamiento entre dos conductores que están a distinto potencial”. Las DP pueden suceder en el interior de aislantes sólidos, líquidos o gaseosos, causando el deterioro del aislamiento de la zona en la que se producen, el grado de deterioro causado se relaciona con la naturaleza del material aislante utilizado. Si se trata de un material inorgánico sufrirá menores consecuencias derivadas de la actividad de las DP que si se trata de un material orgánico. El concepto parcial implica que el resto del aislamiento que no se ve afectado por la descarga es capaz de seguir cumpliendo su función. El origen de las descargas parciales es debido principalmente a defectos en el aislamiento.

Las descargas eléctricas son una medida que indica el nivel de estrés eléctrico al que se somete el sistema aislante y por tanto es un parámetro que permite ver la degradación del aislamiento. Para ver la evolución de la degradación es necesario realizar un ensayo, el ensayo de descargas parciales es el único existente actualmente que permite ver el estado del aislamiento en condiciones de funcionamiento.

Las pruebas de descargas parciales se dan en muchas ocasiones en los procesos de fabricación de los conductores, revelando claramente defectos en el aislamiento derivados de los procesos productivos, el objetivo es determinar si el aislamiento del conductor está libre de descargas parciales antes de ponerlo en servicios. No obstante, también se realizan pruebas de descargas parciales en servicio para evaluar el estado dieléctrico del conductor a medida que envejece, como es el caso.

El procedimiento para la realización del ensayo es el siguiente:

Antes de empezar a realizar la prueba es importante chequear los parámetros característicos del equipo, estos vienen dados por el fabricante y pueden encontrarse en la placa de características. Entre los parámetros mencionados se encuentran la tensión e intensidad nominales, la potencia, la frecuencia, etc... Finalmente, se anotan variables que tienen que ver con las condiciones ambientales, de este modo se tienen registrados y para ensayos posteriores resultan útiles para poder llevarlos a cabo en condiciones parecidas, para poder realizar una posterior comparación de los distintos ensayos, ya que si se comparan ensayos realizados en distintas condiciones los resultados pueden no ser concluyentes.

Si se realiza la prueba sin carga, el primer paso es comprobar que el equipo está desconectado de cualquier elemento auxiliar. El ensayo se realiza en vacío. El procedimiento de ensayo es relativamente simple, se basa en ir aumentando la tensión de la fuente de forma progresiva hasta que se sobrepase la tensión de ruptura, el momento en que se visualizan en la pantalla los pulsos de las descargas. El pulso más alto se registra cuando la tensión que se aplica llega al valor de la tensión fase-neutro nominal. Llegados a este punto, la tensión aplicada se va disminuyendo hasta llegar a la tensión de extinción en la que las descargas cesan. De este punto se pueden extraer las tensiones de ruptura y de extinción. Los pulsos de corriente que se generan tienen una duración del orden de nanosegundos (ns) y su magnitud es reducida, del orden de microamperios (μA). El procedimiento de ensayo viene dado por la norma IEC 60034-27: 2006 Rotating electrical machines - Part 27.

Para realizar el ensayo on-line se instalan sensores en los conductores, de forma que se registre la actividad de descargas parciales mientras estos están en funcionamiento. Cada descarga parcial produce un pulso propio, que quedan recogidos en los patrones, con cuya interpretación y análisis se pueden localizar diferentes fuentes de descargas parciales.

Al tratarse de un ensayo complejo, este únicamente se realizará en aquellas secciones de cableado en las que se observe un deterioro en el aislamiento, con el fin de corroborar el estado del mismo, o bien en aquellas secciones o puntos del cableado significativos en la instalación.

5.3 ACCIONES CORRECTIVAS DERIVADAS

Una vez expuestas las diferentes operaciones de mantenimiento preventivo y predictivo, cabe reseñar que si durante alguna de dichas operaciones se detectan anomalías o no conformidades se deberá reportar un informe acerca de las mismas, esto se podrá realizar en el mismo check list en caso de que se detecte durante las operativas de inspección.

Las acciones correctivas se repararán in situ y tras ser detectadas si estas así lo permiten, en caso de tratarse de medidas correctivas severas, véase sustitución de elementos o equipos, se deberá elaborar un plan de acción y programar las operaciones de mantenimiento y pedidos de material, priorizando la producción, a su vez se realizará un análisis acerca de estas anomalías con el fin de evitar su repetividad en futuras ocasiones.

5.4 SEGURIDAD, MEDIOS TÉCNICOS Y HUMANOS

En los presentes apartados se procederá a detallar las diferentes condiciones de seguridad a cumplir, a la vez que las necesidades técnicas y humanas, relativas al mantenimiento de la instalación fotovoltaica objeto de estudio.

5.4.1 EVALUACIÓN DE RIESGOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS

En una instalación solar fotovoltaica están presentes varios riesgos para las personas y trabajadores que operan en la misma, los cuales se deben tener en cuenta. Entre ellos podemos destacar los riesgos derivados de los trabajos en altura, la mayoría de las instalaciones fotovoltaicas se encuentran generalmente en tejados o cubiertas con el objetivo de captar la mayor luz solar posible y evitar en la medida de lo posible sombras incidentes en los paneles.

La manipulación de útiles, herramientas de montaje, maquinaria pesada y medios de transporte cobran otro papel importante en las instalaciones fotovoltaicas, es por esto por lo que la utilización o manipulación de este tipo de maquinaria supone un riesgo para el operario.

Entre algunas de las medidas que se toman para evitar en lo posible los riesgos mencionados cabe destacar la señalización, esta se debe encontrar visible, en un correcto estado y podrá ser fija o puntual dependiendo de las operaciones que se realicen en cada momento.

Algunas de las señalizaciones que podemos encontrar en una instalación solar fotovoltaica son las siguientes:

SEÑALIZACIÓN DE ADVERTENCIA



Figura 56: Señalización de advertencia aplicable a una instalación solar fotovoltaica. Fuente: Autor.

SEÑALIZACIÓN DE PROHIBICIÓN



Prohibido fumar y encender fuego



Prohibido Fumar



Prohibido el paso a personal no autorizado



Prohibido paso a peatones



Prohibido tocar



Prohibido apagar con agua

Figura 57: Señalización de prohibición aplicable a una instalación solar fotovoltaica. Fuente: Autor.

SEÑALIZACIÓN DE OBLIGATORIEDAD



Protección de la vista



Protección de la cabeza



Protección del oído



Protección individual contra caídas



Protección de los pies



Protección de las manos



Protección del cuerpo



Obligación general (acompañado de otra)

Figura 58: Señalización de obligatoriedad aplicable a una instalación solar fotovoltaica. Fuente: Autor.

Un elemento de seguridad a destacar en las instalaciones solares fotovoltaicas son los equipos de protección individual (EPI'S), estos se utilizan en presencia de riesgos para la salud o la seguridad de los operarios si no han podido delimitarse en la medida de lo posible, estos deben proporcionar una protección eficaz además de no suponer un riesgo añadido, por ello deben reunir las siguientes condiciones:

- Ser adecuados en relación al lugar y ámbito de trabajo.
- Tener en cuenta las condiciones anatómicas y fisiológicas
- Ser compatibles entre sí, cuando se de el caso de un uso simultáneo.
- Ser adecuados para la persona que los va a utilizar.

Estos equipos deben ser suministrados por parte del empresario y algunos ejemplos de los mismos son:

- Casco para la protección de la cabeza.
- Ropa de protección adecuada en relación a las tareas a desempeñar.
- Gafas protectoras para los ojos.
- Calzado de seguridad para la protección de los pies
- Arnés de seguridad para el desempeño de trabajos en altura.
- Guantes protectores para las manos.

Con el objetivo de mejorar la elección y el uso de los EPI'S se deberá preparar un check list en relación al uso de los mismos por parte de los operarios, indicando si estos son útiles en relación a las tareas que desempeñan, o si por el contrario se puede prescindir de algún equipo.

Evaluación de riesgos en las instalaciones fotovoltaicas:

- Riesgos derivados de los trabajos en altura.

- Caídas de operarios al mismo nivel.
- Caídas de operarios a distinto nivel.
- Caída de operarios al vacío.
- Caída de objetos sobre operarios.

- Choques o golpes contra objetos.
- Atrapamientos y aplastamientos.
- Lesiones y/o cortes en manos y pies.
- Sobreesfuerzos.
- Ruidos, contaminación acústica.
- Vibraciones.
- Contactos eléctricos directos e indirectos.
- Condiciones meteorológicas adversas.
- Trabajos en zonas húmedas o mojadas.
- Derivados de medios auxiliares usados.
- Derivados del acceso al lugar de trabajo.

Algunas de las medidas preventivas a adoptar con el fin de minimizar los riesgos expuestos anteriormente son:

- Barandillas.
- Marquesinas rígidas.
- Pasos o pasarelas.
- Redes verticales.
- Redes horizontales.
- Andamios de seguridad.
- Mallazos.
- Tableros o planchas en huecos horizontales.

- Escaleras auxiliares adecuadas.
- Escalera de acceso peldañeada y protegida.
- Carcasas o resguardos de protección de partes móviles o máquinas.
- Limpieza de las zonas de trabajo y tránsito.
- Habilitar caminos de circulación.
- Andamios adecuados.

Los equipos de protección individual por parte de los operarios para la realización de trabajos en altura son:

- Casco de seguridad.
- Botas o calzado de seguridad.
- Guantes de lona y piel.
- Guantes impermeables.
- Protectores auditivos.
- Cinturón de seguridad.
- Botas de seguridad.
- Ropa de trabajo.

- Riesgos Eléctricos.

- Descargas eléctricas (arco eléctrico).
- Contactos directos.
- Contactos indirectos.

Como ejemplo de elementos que pueden presentar riesgo eléctrico encontramos los cuadros generales de protección, las estructuras, iluminación fija o portátil, conexiones etc...

A fin de evitar este tipo de riesgos, se deberá retirar la tensión, desconectar la corriente, prevenir de la realimentación y verificar la correcta ausencia de tensión, se delimitará la zona de trabajo utilizando la señalización correspondiente y se protegerá frente a los elementos próximos en tensión.

Una vez realizada la operativa se deberán retirar las protecciones adicionales y la señalización, restaurando la tensión y cerrando el circuito.

- Riesgos derivados del uso de herramientas eléctricas manuales (existen tres tipos de aislamiento).

- Clase I. Aislamiento funcional.
- Clase II. Aislamiento Completo.
- Clase III. Alimentación a baja tensión. En seco 50V, en mojado 24V y en inmersión 12V.

Algunas de las potenciales causas, que pueden presentar riesgos de accidentes en herramientas eléctricas manuales son:

- Mal aislamiento de cubiertas metálicas.
- Conexiones sueltas o húmedas.
- Cables que se enrollan en el cuerpo.
- Tirar del cable para desconectar la herramienta.
- Conductores con aislamiento gastado o puntos al descubierto.

- Riesgos derivados del uso de herramientas manuales.

A través del uso de herramientas manuales se pueden sufrir una serie de accidentes tales como cortes o golpes provocados por la propia herramienta, a la vez que lesiones oculares por proyecciones, esguinces por sobreesfuerzo o gestos violentos.

Algunas de las medidas de seguridad a destacar para el uso de las herramientas mencionadas son:

- Realizar un programa de inspección y mantenimiento rutinario de las herramientas.
- Disponer de los manuales de uso de las herramientas, realizando una lectura de los mismos como paso previo al uso de la herramienta por primera vez.
- Respetar la función de la herramienta, un uso indebido de la misma puede ocasionar lesiones.
- Disponer de planes de recambio de la herramienta con el fin de evitar el mal funcionamiento a causa del deterioro por uso de esta.
- Herramientas correctamente identificadas y almacenadas. Algunas herramientas se deterioran en función del medio al que están expuestas, por lo que se deben conservar de forma adecuada con el fin de evitar posibles daños.

5.4.2 MEDIOS TÉCNICOS Y HUMANOS

Las operaciones de mantenimiento de la instalación solar fotovoltaica únicamente podrán ser realizadas por personal autorizado. Los técnicos encargados del mantenimiento deberán estar acreditados para el desempeño de dichas operaciones y disponer de experiencia en el mantenimiento de instalaciones eléctricas, a su vez deberán contar con la certificación correspondiente para el uso de medios y equipos si estos así lo requieren, a su vez dichos equipos deberán contar con el certificado CE y certificado de calibración en caso de ser aplicable.

Entre los equipos necesarios para la realización de las operaciones de mantenimiento descritas destacan:

- **Herramientas de tipo genérico.**

A la hora de la realización de cualquier operación de mantenimiento se deberá contar con un set de herramientas genéricas, a modo de ejemplo se pueden visualizar algunas de las mismas en la Figura 59.

A pesar de que en ciertas operaciones no sea necesario su uso, en ocasiones durante la realización de las mismas se pueden apreciar anomalías o no conformidades, que pueden

ser resueltas in situ de forma correctiva gracias a estas herramientas genéricas, evitando así tener que planificar una intervención a posteriori.



Figura 59: Herramientas genéricas. Fuente: Autor

- **Taladro atornillador inalámbrico.**

Se trata de una herramienta diseñada para aflojar/apretar tornillos, de forma rápida, sencilla y eficiente, al disponer de batería interna, no es necesario disponer de puntos de luz para su utilización y es portable y utilizable en cualquier lugar. En este caso concreto su uso está enfocado a las operaciones preventivas y correctivas relativas a los anclajes y soportes estructurales de los paneles fotovoltaicos, los cuales en su gran mayoría están resueltos mediante tornillería roscada de cabeza hexagonal, aunque puede ser aplicable a muchas otras operaciones.

Antes de la utilización de esta herramienta se deberá ser conocedor de su manual de uso y funcionamiento, a su vez dicha herramienta ha de contar con su correspondiente certificado CE.



Figura 60: Taladro atornillador. Fuente: Autor

- **Cámara termográfica.**

Las cámaras termográficas son dispositivos que miden la temperatura de un objeto y a su vez ofrecen una imagen térmica del mismo, sin necesidad de estar en contacto directo con los mismos, su principio de funcionamiento se basa en la radiación infrarroja, ya que los cuerpos emiten una cantidad de radiación en función de la temperatura a la que se encuentran, “de forma general” a mayor temperatura del objeto mayor es la radiación emitida [16].

Al irradiar calor, la cámara registra la temperatura de cada píxel de la imagen, y le asigna un tono de color al mismo en función del valor de temperatura.

A la hora de seleccionar una cámara termográfica se deben tener en cuenta varios criterios los cuales se exponen a continuación.

- **Resolución infrarroja o geométrica:** Describe la capacidad de una cámara de reconocer objetos (Ejemplo: celdas modulares) desde una cierta distancia. La resolución geométrica depende de la resolución infrarroja. Para instalaciones de grandes dimensiones y mediciones de larga distancia se recomiendan resoluciones

infrarrojas de 320 x 240 píxeles, para instalaciones pequeñas y mediciones desde corta distancia pueden ser suficientes 160 x 120 píxeles.

- **Resolución térmica (NETD):** Referencia la capacidad de la cámara termográfica de detectar diferencias de temperatura en la superficie de un objeto, a menor resolución térmica mejor imagen infrarroja generada. A la hora de inspeccionar celdas solares, la cámara capta la distribución del calor de la superficie del vidrio, pero tan solo ve de forma indirecta la distribución de calor de las celdas subyacentes, esto implica que las diferencias de temperatura que se pueden ver y medir son pequeñas, para que estas diferencias sean apreciables, la cámara termográfica necesita contar con una resolución térmica de $<0.06^{\circ}\text{C}$ y a su vez contar con un ajuste manual de intervalo y nivel.

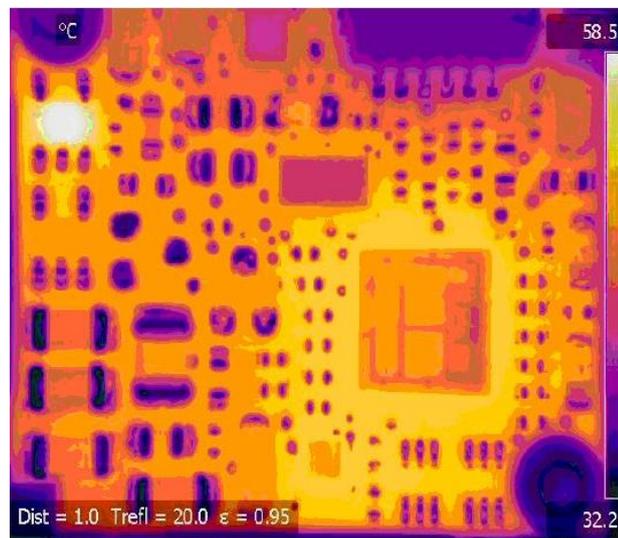


Figura 61: Diferencias de T en la superficie del módulo fotovoltaico. Fuente: [11]

- **Objetivos intercambiables:** El ángulo de apertura del objetivo también influye sobre la resolución geométrica. Para medir instalaciones de grandes dimensiones se recomiendan objetivos intercambiables.
- **Funciones de la cámara:** Entre algunas de las funciones de la cámara podemos encontrar: pantalla giratoria, la cual mejora la comodidad a la hora de realizar mediciones, modo solar, el cual puede almacenar la irradiación solar en W/m^2 por cada imagen pudiendo así documentar las diferentes condiciones ambientales, secuencia de video, permite grabar secuencias de video radiométricas las cuales pueden ser evaluadas a través de software.
- **Software:** El software de análisis de la cámara posibilita la optimización y el análisis de las imágenes térmicas, garantizando que los diagnósticos se

representen y documenten de forma clara en las imágenes, este a su vez se ha de poder manejar de forma clara e intuitiva.

Todos estos aspectos deben ser considerados a la hora de elegir el equipo, del cual podemos ver un ejemplo en la Figura 62.



Figura 62: Cámara termográfica. Fuente: Autor

- **Polímetro.**

El polímetro o multímetro es una herramienta la cual nos permite medir directamente magnitudes como son la tensión, intensidad y resistencia eléctrica, además de tener otras funciones como medir la continuidad eléctrica etc... Dispone de una rueda selectora a través de la cual se selecciona el parámetro y rango de medida, y de dos entradas donde se conectan las puntas de medición.

Se trata de un elemento de gran importancia ya que nos permite comparar magnitudes reales con magnitudes teóricas, o óptimas de funcionamiento, de esta forma se puede realizar un diagnóstico y análisis del estado de los equipos, es por esto por lo que se trata

de una herramienta fundamental en cualquier tipo de operación sobre instalaciones eléctricas.



Figura 63: Polímetro. Fuente: Autor

- **Pinza amperimétrica**

La pinza amperimétrica es un elemento que permite la medición de la intensidad de corriente de conductores con carga, sin la necesidad de tener que desconectar los mismos, a diferencia del multímetro el cual necesita posicionar sus sondas directamente sobre una sección del cableado.

Su principio de funcionamiento se basa en la inducción electromagnética para los casos de corriente alterna, y en el efecto “Hall” para los casos de corriente continua.

La pinza amperimétrica dispone de una ruleta selectora y permite la opción de medir intensidades, tensiones, resistencias y continuidades, su modo de uso consiste en rodear el conductor a través de la pinza, la cual dispone de un mecanismo para abrirse y cerrarse.

Su principal ventaja en las instalaciones eléctricas es que ofrece la posibilidad de medir altas corrientes con el circuito en funcionamiento, y sin riesgos.



Figura 64: Pinza amperimétrica. Fuente: Autor.

- **Piranómetro**

Se trata de un elemento de medición principalmente usado en el campo de la meteorología con el fin de medir la radiación solar incidente sobre una superficie, a través de un campo de 180 grados, estos cuentan con un dispositivo que es capaz de registrar, de forma gráfica o bien digital, los datos de radiación solar incidente [16].

Existen diferentes tipologías de piranómetros en función de la tecnología que emplean, podemos diferenciar entre los térmicos, los cuales utilizan un termopar sobre el que incide la radiación, los fotovoltaicos que se basan en el efecto fotoeléctrico a través de fotodiodos, y los químicos que se basan en reacciones de productos químicos frente a la luz o el calor.

Para su correcto uso este equipo deberá estar correctamente calibrado, a su vez se deberá situar sobre una superficie plana con un campo de visión de 180 grados pudiendo recibir la luz solar cuando el sol varía de posición, no obstante, cuando el sol se encuentra en el zenit es cuando presenta su medida más exacta.

Este equipo se usará como apoyo a la cámara termográfica con el objetivo de poder garantizar un correcto uso por parte de este último, se puede observar una imagen de este en la Figura 65.



Figura 65: Piranómetro. Fuente: Autor

- **Comprobador de instalaciones**

El comprobador de instalaciones es un equipo que se utiliza con el objetivo de verificar ciertas propiedades de una instalación eléctrica, de una manera sencilla y rápida, estas dos comprobaciones se pueden diferenciar, por un lado, en la protección de las personas y los activos, y por otro, con el funcionamiento fiable de la instalación [15].

Entre algunas de las principales funciones de un comprobador de instalaciones podemos destacar: funciones de medición y comprobación, pruebas de continuidad, pruebas de rotación de fase en instalaciones eléctricas, comprobación de tomas de corriente con conexiones a tierra y dispositivos de corriente residual, registro y transferencia de datos.

El comprobador de instalación a utilizar deberá estar equipado como mínimo, de acuerdo con la categoría de sobre tensión especificada en la norma EN 61010-1 o IEC 1010, esto evita que el usuario pueda correr peligros derivados de una sobretensión, y a su vez que el equipo resulte dañado.

A modo de resumen, se deberá prestar atención a las principales características del dispositivo par aun correcto uso, las cuales son: protección contra sobre tensiones, condiciones de funcionamiento (temperatura/humedad), grado de protección IP y protección frente a esfuerzos mecánicos, tipo de alimentación del dispositivo (acumulador/pilas).



Figura 66: Comprobador de instalaciones. Fuente: Autor.

- **Lápiz comprobador de tensión**

A partir de este útil se puede comprobar de forma rápida sencilla si ciertas partes de la instalación disponen de tensión. Resulta de gran utilidad para poder trabajar de forma segura, evitando entrar en contacto con elementos que contengan tensión, a diferencia del polímetro el cual está pensado para conocer concretamente valores de tensión, este útil solo indica si se dispone o no de la misma, no incidiendo en su valor.



Figura 67: Lápiz comprobador de tensión. Fuente: Autor.

- **Equipo para prueba de descargas parciales**

Para la realización del ensayo de descargas parciales es necesario contar con una serie de equipos, para realizar una correcta elección de estos se deben tener en cuenta una serie de factores que pueden llegar a alterar los resultados. Estos factores son el ruido, el ancho de banda del equipo y la atenuación.

- **Ruido:** Los equipos deben tener la capacidad de reducir el ruido para que las medidas obtenidas sean aceptadas, existen dos tipos de ruido, el eléctrico que no puede eliminarse al completo y el externo, que puede ser ambiental o producido por un mal funcionamiento de algunos elementos
- **Ancho de banda:** Ancho de banda. No se deben utilizar equipos que tengan un ancho de banda limitado porque no son capaces de mostrar totalmente la actividad de las descargas, ya que las componentes en frecuencia del pulso de las DP varían en función de donde se encuentran.
- **Atenuación.** Se debe tener en cuenta que al pasar los pulsos de las DP a través de los devanados se distorsionan y se atenúan, por ello los equipos deben tener una buena respuesta en frecuencia.

Los equipos principales para la realización del equipo son los siguientes:

- **Fuente de alta tensión:** Esta fuente de tensión debe ser capaz de suministrar la tensión nominal del motor cuando se trata de ensayo on-line y la tensión de fase +10% de esta cuando se realizan ensayos off-line, según IEC60037-27 (2006).
- **Condensador de acoplamiento.** Se trata de un sensor capacitivo. Detecta la actividad de descargas parciales. La función principal es permitir la circulación de las señales producidas por los pulsos de corriente de las descargas parciales. Debe tener unas características determinadas: impedancia muy baja a las señales de alta frecuencia, de este modo las señales de alta frecuencia pasan sin dificultades, y debe resistir el máximo voltaje de ensayo sin que se produzcan DP. Se comporta básicamente como un filtro de paso alto, es decir, deja pasar las componentes de alta frecuencia del espectro de las DP hacia el equipo de medida. Suelen utilizarse condensadores de 80 pF, ya que están especialmente diseñados para medir descargas parciales. El material más empleado para su fabricación es la mica, ya que es fiable y su instalación no

resulta demasiado complicada. Su instalación se realiza en los terminales o cerca de ellos.

- Detector de descargas. Este elemento puede ser denominado también impedancia de detección y cumple con la misión de introducir en el equipo de medida las señales derivadas de las DP. Se sitúa cerca del elemento ensayado o junto al condensador de acoplamiento. Suele ser una resistencia de 100Ω y normalmente, en paralelo, se conecta una protección contra sobretensiones para proteger el equipo de medida y una inductancia que se usa para filtrar la componente de 50Hz.
- Impedancia de bloqueo. La función de este elemento es evitar que la fuente de alimentación utilizada introduzca interferencias causadas por ella misma.

Los equipos mencionados anteriormente deben ir apantallados de forma que se eviten en la medida de lo posible las interferencias electromagnéticas.

A su vez se necesita un equipo para la visualización y el tratamiento de datos, estos equipos se sitúan fuera del área de ensayo y se utilizan con los mencionados anteriormente para incorporar al ensayo el tratamiento digital de la señal detectada. Normalmente se trata de un equipo compacto que lleva incorporadas las funciones de tratamiento de datos junto a un software compatible con los sistemas operativos para la visualización de estos.

Se muestra a continuación un esquema básico del ensayo de descargas parciales, donde se muestran los equipos mencionados anteriormente.

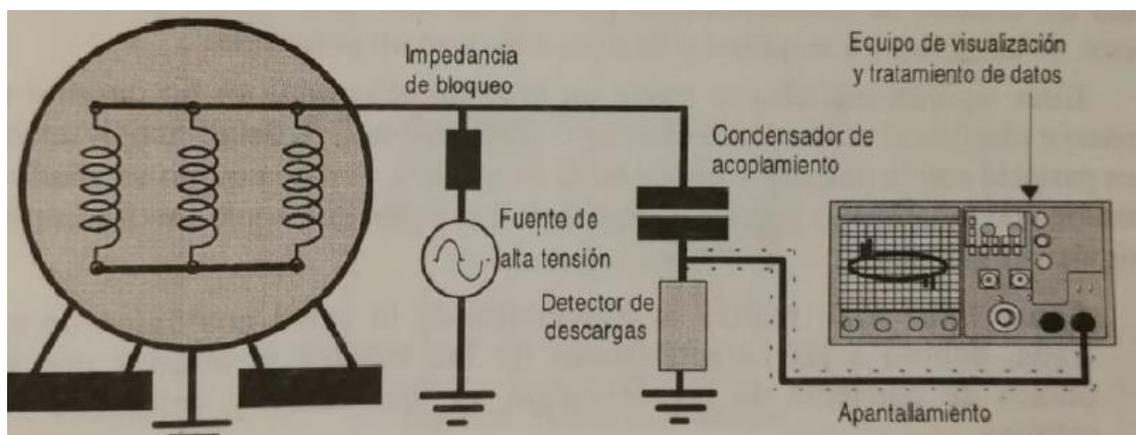


Figura 68: Esquema ensayo de Descargas Parciales. Fuente: Autor.

Los equipos de descargas parciales son complejos por lo que si no se dispone de información suficiente a la hora de escoger dichos equipos, se recomienda contactar con un proveedor especializado, a su vez existen equipos compactos con muchos de los elementos mencionados ya integrados, y con multitud de accesorios, los cuales pueden ser un opción eficiente a la hora de realizar la operativa.

- **EPI's**

A todos estos equipos se le sumarán los equipos de protección individual (EPI'S) mencionados ya en apartados anteriores, los cuales serán proporcionados por el empresario según la Ley 31/1995, de Prevención de Riesgos Laborales [14].

Estos equipos se utilizarán en aquellas operaciones en las que existan riesgos evidentes o la ejecución de las mismas pueda derivar en riesgos, para la salud de los trabajadores, los cuales no puedan ser evitados por otros medios o procedimientos.



Figura 69: Equipos de protección. **Fuente:** Autor.

MEDIOS HUMANOS

En el aspecto relativo a los medios humanos se deben tener en cuenta una serie de consideraciones.

La mayoría de las operaciones de mantenimiento para la instalación objeto de estudio se desarrollan a distintos niveles de altura, es por esto por lo que en estas circunstancias las operativas siempre se desarrollarán como mínimo con dos técnicos a pesar de que pudiese ser suficiente con uno solo.

Los trabajos en altura suponen un riesgo considerable, aunque se cuente con las precauciones, equipos, y medidas de seguridad necesarias, por lo que trabajar en equipos de dos personas mejora la seguridad y los tiempos de intervención ante posibles situaciones de riesgo que puedan surgir durante las tareas de mantenimiento.

Las tareas que se realicen a nivel de suelo podrán ser realizadas por un solo técnico si se es capaz de realizar la operativa correctamente.

No obstante, siempre es positivo contar con una segunda persona de cara a la realización de operaciones de mantenimiento, esto proporciona una ayuda significativa de cara a posibles complicaciones que se puedan dar, y a su vez contar con un segundo criterio a la hora desempeña un mejor análisis y gestión de las situaciones.

Es por todo lo expuesto por lo que se recomienda contar con un equipo de dos técnicos para realizar las operaciones de mantenimiento ya descritas, estos contarán a su vez con todos los equipos necesarios para la realización de estas, harán un buen uso de estos y estarán habilitados y capacitados para su uso.

La planificación de las tareas de mantenimiento descrita anteriormente no es inamovible y está sujeta a posibles cambios, los cuales pueden deberse a factores externos.

Las operaciones relativas al mantenimiento estructural y cableado de puesta a tierra, que presenten una periodicidad superior a la anual, es decir, que se tengan que realizar pasado uno o varios años, se realizarán llegada esa fecha, en el periodo marcado en el diagrama expuesto anteriormente

6. CONCLUSIONES

Se ha diseñado el plan de mantenimiento de la instalación solar fotovoltaica objeto de estudio con el fin de mantener dicha instalación en unas condiciones óptimas de producción, fiabilidad y eficiencia. Se han desarrollado las operaciones de mantenimiento de forma detallada con el objetivo de facilitar su realización por parte de los operarios, se han especificado las condiciones en materia de seguridad y previsión de riesgos laborales con el objetivo de minimizar los riesgos derivados de esta actividad.

El presente trabajo ha sido desarrollado para una instalación concreta la cual presenta una potencia media/baja, no obstante, se pretende que sea aplicado en instalaciones de potencias superiores, empleando las medidas mencionadas, las cuales usualmente se aplican en este tipo de instalaciones de baja potencia.

Como se puede observar las operaciones predictivas constituyen un gran peso dentro del mantenimiento de las instalaciones solares fotovoltaicas, los equipos que presentan un mayor riesgo y sensibilidad son los inversores, son los encargados de gestionar la energía producida por los módulos fotovoltaicos y son a su vez los que acumulan un mayor número de fallos, es por esto por lo que el seguimiento y la monitorización de sus parámetros se vuelve imperativo para la anticipación frente a posibles averías y el buen control de una instalación solar fotovoltaica, todo esto sin descuidar el resto de los equipos.

Actualmente el mantenimiento de instalaciones solares fotovoltaicas sigue en desarrollo y cobra presencia en pequeñas instalaciones, siendo gran parte de las mismas de autoconsumo y acumulación de energía. Se espera que de cara a los próximos años, la transición energética y el fomento cada vez mayor de las energías renovables, se avance en la investigación sobre el mantenimiento de estas instalaciones, especialmente el mantenimiento predictivo, centrándose principalmente en aquellas de grandes producciones de energía.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1]: <https://www.ipsom.com/2022/03/la-energia-solar-en-espana-se-triplica-en-tan-solo-tres-anos/>
- [2] Javier María Méndez Muñiz, Rafael Cuervo García, ECA Instituto De Tecnología y Formación S.A.U., *Energía Solar Fotovoltaica*, 2º Edición.
- [3] https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_en_Espa%C3%B1a
- [4] <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/spain>
- [5] <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/espana-acaparo-en-2019-el-90-de-20201109/#:~:text=Dentro%20de%20ese%20creciente%20mercado,europeos%20en%20n%C3%BAmero%20de%20instalaciones.>
- [6] Daniel Barbera Santos. Universidad de Sevilla, *Introducción a la Energía Fotovoltaica*.
- [7] Bayod Rújula, Á. A. (2009). *Energías renovables: sistemas fotovoltaicos*. Pressas de la Universidad de Zaragoza.
- [8] <http://www.minenergía.cl/techossolares/>
- [9] <https://www.mitsubishi-pv.de/#dokumentesolarmodule>
- [10] <https://www.fronius.com/es-es/spain/energia-solar/instaladores-y-socios/datos-tecnicos/todos-los-productos/inversor/fronius-primo/fronius-primo-5-0-1>
- [11] <https://www.energiza.org/index.php/es/mantenimiento>
- [12] Antonino Daviu, José Alfonso. Universidad Politécnica de Valencia, *Mantenimiento de Instalaciones Eléctricas*.
- [13] <https://descuentosolar.com/guerra-ucrania-transicion-energias-renovables/>
<https://www.insst.es/materias/equipos/epi>
- [14] <https://www.insst.es/materias/equipos/epi>
- [15] https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/comprobador-de-instalaciones-kat_154714.htm#:~:text=El%20comprobador%20de%20instalaciones%20se,fiable%20de%20las%20instalaciones%20el%C3%A9ctricas.
- [16] <https://www.guiaspracticass.com/estaciones-meteorologicas/piranometro>
- [17] www.testo.es
- [18] <https://indunova.es/termografia-cuales-son-las-causas-que-originan-puntos-calientes-en-un-sistema-electrico/>

8. ANEXOS

A.1 Ficha técnica panel Mitsubishi



**MITSUBISHI
ELECTRIC**

Changes for the Better

Serie TD

PV-TD190MF5	190Wp
PV-TD185MF5	185Wp
PV-TD180MF5	180Wp
PV-TD175MF5	175Wp



La calidad marca la diferencia

Una eficacia impresionante

- Células sin capa de soldadura
- Rejillas de electrodos extra finas
- BSF (Back Surface Field) para optimizar el grado de eficiencia de las células
- Cara posterior con revestimiento especialmente reflectante
- Exclusivo diseño de la barra de bus
- Cristal solar de alta transmisividad con capa antirreflectiva
- Tolerancia mínima +/- 3 %

Alta fiabilidad

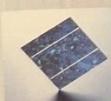
- Uniones de montaje independientes por las dos caras
- Marco optimizado para drenaje de suciedad
- Soporta una carga estática de 5400 Pa gracias a la barra adicional de protección
- Marco de aluminio con una alta resistencia a la corrosión
- Sistema inteligente de drenaje
- Tensión máx. de sistema de 1000 V con revestimiento posterior de cuatro capas

Máxima seguridad

- Caja de conexión con triple capa protectora
- Diodos de derivación de alta fiabilidad
- Conector especial engatillador
- Cumple con IEC61215 (2a edición), EN61730, TÜV clase de seguridad II

Mejor para el medio ambiente

- Soldadura sin plomo (en conformidad con RoHS)
- Fabricación certificada conforme a la norma de gestión medioambiental ISO 14001
- Palets de transporte de metal reciclables












DISEÑO DEL PLAN DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 100kW

Especificaciones

Fabricante	MITSUBISHI ELECTRIC			
	PV-TD190MF5	PV-TD185MF5	PV-TD180MF5	PV-TD175MF5
Modelo	PV-TD190MF5	PV-TD185MF5	PV-TD180MF5	PV-TD175MF5
Tipo de célula	Células FV policristalinas, 156 x 156 mm			
Número de células	50 células en serie			
Potencia máxima [Pmáx]	190 W	185 W	180 W	175 W
Potencia mínima garantizada*	184,3W	179,5W	174,6W	169,8W
Tolerancia de la potencia máxima	±3 %			
Tensión en vacío [Voc]	30,8V	30,6V	30,4V	30,2V
Corriente de cortocircuito [Isc]	8,23A	8,13A	8,03A	7,93A
Tensión MPP [Vmp]	24,7V	24,4V	24,2V	23,9V
Corriente MPP [Imp]	7,71A	7,58A	7,45A	7,32A
Temperatura nominal de servicio (NOCT)	47,5°C			
Tensión máxima del sistema	DC 1000 V			
Fusible	15 A			
Dimensiones	1.658 x 834 x 46 mm (65,3 x 32,8 x 1,81 pulgadas)			
Peso	17 kg (37,0 libras)			
Conexión	(+) 800 mm, (-) 1.250 mm, con conector MC (PV-KBT4/6II-UR, P-KST4/6II-UR)			
Eficiencia	✓ 13,7 %	✓ 13,4 %	✓ 13,0 %	✓ 12,7 %
Embalaje	2 piezas por caja			
Certificados	Satisface IEC 61215 2. Edition (prueba de carga estática de 5400 Pa superada), IEC 61730, clase de seguridad TÜV II			

*Calidad garantizada

Garantía de material:
5 años

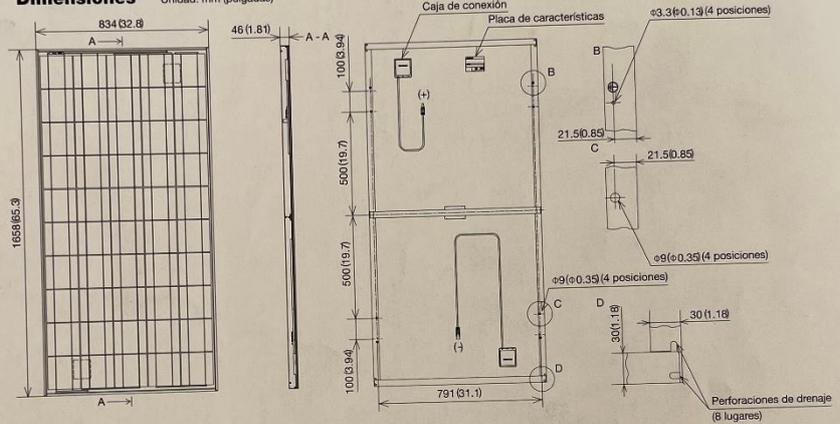
Garantía de rendimiento:
10 años el 90% de la potencia mínima de salida

25 años el 80% de la potencia mínima de salida

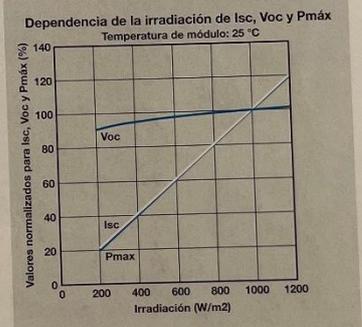
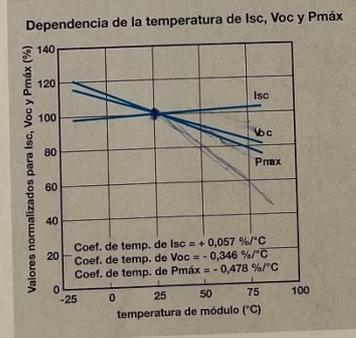
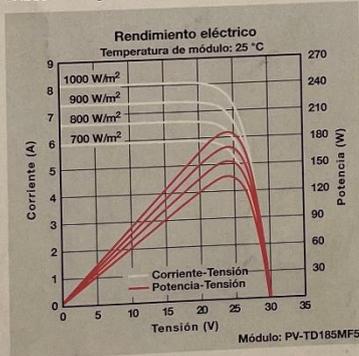
Para las condiciones en detalle póngase en contacto con su vendedor autorizado.

Dimensiones

Unidad: mm (pulgadas)



Datos de potencia



A.2 Ficha técnica Inversor Fronius

DATOS TÉCNICOS FRONIUS PRIMO (5.0-1, 6.0-1, 8.2-1)

DATOS DE ENTRADA	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Número de seguidores MPP		2	
Máx. corriente de entrada ($I_{dc\ max. 1} / I_{dc\ max. 2}$)	12,0 A / 12,0 A		18,0 A / 18,0 A
Máxima corriente de cortocircuito (MPP ₁ /MPP ₂)	18,0 A / 18,0 A		27,0 A / 27,0 A
Rango de tensión de entrada CC ($U_{dc\ min.} - U_{dc\ max.}$)		80 - 1.000 V	
Tensión de puesta en servicio ($U_{dc\ arranque}$)		80 V	
Rango de tensión MPP		80 - 800 V	
Número de entradas CC		2 + 2	
Máx. salida del generador FV ($P_{dc\ max.}$)	7,5 kW _{pin}	9,0 kW _{pin}	12,3 kW _{pin}

DATOS DE SALIDA	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Potencia nominal CA ($P_{ac,r}$)	5.000 W	6.000 W	8.200 W
Máxima potencia de salida	5.000 VA	6.000 VA	8.200 VA
Corriente de salida CA ($I_{ac\ nom.}$)	21,7 A	26,1 A	35,7 A
Acoplamiento a la red (rango de tensión)		1 - NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)	
Frecuencia (rango de frecuencia)		50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)	
Coefficiente de distorsión no lineal		< 5 %	
Factor de potencia ($\cos\ \phi_{ac,r}$)		0,85 - 1 ind. / cap.	

DATOS GENERALES	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)		645 x 431 x 204 mm	
Peso		21,5 kg	
Tipo de protección		IP 65	
Clase de protección		1	
Categoría de sobretensión (CC / CA) ¹⁾		2 / 3	
Consumo nocturno		< 1 W	
Concepto de inversor		Sin transformador	
Refrigeración		Refrigeración de aire regulada	
Instalación		Instalación interior y exterior	
Margen de temperatura ambiente		-40 - +55 °C	
Humedad de aire admisible		0 - 100 %	
Máxima altitud		4.000 m	
Tecnología de conexión CC		Conexión de 4x CC+ y 4x CC- bornes roscados 2,5 - 16 mm ²	
Tecnología de conexión principal		Conexión de 3 polos CA bornes roscados 2,5 - 16 mm ²	
Certificados y cumplimiento de normas	DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21, VDE AR N 4105 ²⁾		

RENDIMIENTO	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Máximo rendimiento	98,1 %	98,1 %	98,1 %
Rendimiento europeo (η_{EU})	97,1 %	97,8 %	97,5 %
Rendimiento de adaptación MPP		> 99,9 %	

EQUIPAMIENTO DE SEGURIDAD	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Medición del aislamiento CC		Sí	
Comportamiento de sobrecarga		Desplazamiento del punto de trabajo, limitación de potencia	
Seccionador CC		Sí	
Protección contra polaridad Inversa		Sí	

INTERFACES	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
WLAN / Ethernet LAN		Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)	
6 Inputs y 4 Inputs/outputs digitales		Interface receptor del control de onda	
USB (Conector A) ¹⁾		Datalogging, actualización de inversores vía USB	
2 conectores RJ 45 (RS422) ¹⁾		Fronius Solar Net	
Salida de aviso ¹⁾		Gestión de la energía (salida de relé libre de potencial)	
Datalogger y Servidor web		Incluido	
Input externo ¹⁾		Interface 50-Meter / Input para la protección contra sobretensión	
RS485		Modbus RTU SunSpec o conexión del contador	

¹⁾ También disponible en la versión light.

Más información sobre la disponibilidad de inversores en su país en www.fronius.es.

PRESUPUESTO

Pedro Mora Oliver

Universidad Politécnica de Valencia

Enero 2023



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

1. PRESUPUESTO

El presente documento tiene como objeto exponer un presupuesto estimado en relación a las operaciones llevadas a cabo para el mantenimiento de la instalación solar fotovoltaica mencionada.

El presupuesto se divide según las diferentes tipologías de cada operación, dónde a posteriori pasa a considerarse la frecuencia anual de las mismas, constituyendo un presupuesto anual global.

Este ha sido calculado utilizando el coste promedio por hora de un técnico especializado en instalaciones eléctricas y en la rama de fotovoltaica, a su vez, para determinar la duración de cada operación, se ha estimado un valor que permita la realización de dichas operaciones de forma adecuada, con el suficiente tiempo para realizar una adecuado análisis y gestión de los datos obtenidos y de los equipos.

1.1 PRESUPUESTO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Se presenta a continuación el plan de costes asociado a las operaciones de mantenimiento relativas a la instalación solar fotovoltaica objeto de estudio.

- Costes de las operaciones de mantenimiento preventivo.

CUADRO DE PRECIOS

Núm.	Código	Ud.	Descripción	Importe
1	ISFOPPV01	h	Limpieza de paneles fotovoltaicos	
			Mano de obra	132
			Costes indirectos (2%)	2,64
			Total	134,64
Son CIENTO TRECE EUROS CON SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS				
2	ISFOPPV02	h	Limpieza de carenados y rejillas de ventilación	
			Mano de obra	82,5
			Costes indirectos (2%)	1,65
			Total	84,15
Son OCHENTA Y CUATRO EUROS CON QUINCE CÉNTIMOS				

- Costes de las operaciones de mantenimiento predictivo.

CUADRO DE PRECIOS

Núm.	Código	Ud.	Descripción	Importe
1	ISFOPPD01	h	Inspección visual del estado de los paneles fotovoltaicos	
			Mano de obra	132
			Costes indirectos (2%)	2,64
			Total	134,64
Son CIENTO TRECE EUROS CON SESENTA Y CUATRO CÉNTIMOS				
2	ISFOPPD02	h	Comprobación de temperaturas en las superficies del módulo fotovoltaico	
			Mano de obra	99
			Costes indirectos (2%)	1,98
			Total	100,98
Son CIEN EUROS CON NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS				
3	ISFOPPD03	h	Seguimiento y monitorización de parámetros en inversores	
			Mano de obra	198
			Costes indirectos (2%)	3,96
			Total	201,96
Son DOSCIENTOS UN EUROS CON NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS				
4	ISFOPPD04	h	Inspección visual y comprobación de inversores	
			Mano de obra	16,5
			Costes indirectos (2%)	0,33
			Total	16,83
Son DIECISÉIS EUROS CON OCHENTA Y TRES CÉNTIMOS				

CUADRO DE PRECIOS

Núm.	Código	Ud.	Descripción	Importe
5	ISFOPPD05	h	Control de temperaturas en inversores	
			Mano de obra	24,75
			Costes indirectos (2%)	0,495
			Total	25,24
Son VEINTICINCO EUROS CON VEINTICUATRO CÉNTIMOS				
6	ISFOPPD06	h	Inspección y comprobación de elementos fotovoltaicos y elementos de cubierta	
			Mano de obra	66
			Costes indirectos (2%)	1,32
			Total	67,32
Son SESENTA Y SIETE EUROS CON TREINTA Y DOS CÉNTIMOS				
7	ISFOPPD07	h	Inspección y comprobación de voladizos estructurales	
			Mano de obra	16,5
			Costes indirectos (2%)	0,33
			Total	16,83
Son DIECISÉIS EUROS CON OCHENTA Y TRES CÉNTIMOS				
8	ISFOPPD08	h	Inspección visual y comprobación del cableado de los paneles fotovoltaicos	
			Mano de obra	132
			Costes indirectos (2%)	2,64
			Total	134,64

Son CIENTO TREINTA Y CUATRO EUROS CON SESENTA Y CUATRO
CÉNTIMOS

CUADRO DE PRECIOS

Núm.	Código	Ud.	Descripción	Importe
9	ISFOPPD09	h	Inspección del CGP, termografía y verificaciones	
			Mano de obra	66
			Costes indirectos (2%)	1,32
			Total	67,32
Son SESENTA Y SIETE EUROS CON TREINTA Y DOS CÉNTIMOS				
10	ISFOPPD10	h	Inspección y comprobaciones del cableado de puesta a tierra	
			Mano de obra	99
			Costes indirectos (2%)	1,98
			Total	100,98
Son CIEN EUROS CON NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS				

- Coste de las operaciones en base a la frecuencia.

CUADRO DE PRECIOS

Núm.	Código	Ud.	Descripción	Importe	Frecuencia Anual	Importe Total
1	ISFOPPV01	h	Limpieza de paneles fotovoltaicos	134,64	2	269,28
2	ISFOPPV02	h	Limpieza de carenados y rejillas de ventilación	84,15	2	168,3
3	ISFOPPD01	h	Inspección visual del estado de los paneles fotovoltaicos	134,64	2	269,28
4	ISFOPPD02	h	Comprobación de temperaturas en las superficies del módulo fotovoltaico	100,98	2	201,96
5	ISFOPPD03	h	Seguimiento y monitorización de parámetros en inversores	201,96	2	403,92
6	ISFOPPD04	h	Inspección visual y comprobación de inversores	16,83	12	201,96
7	ISFOPPD05	h	Control de temperaturas en inversores	25,245	2	50,49
8	ISFOPPD06	h	Inspección y comprobación de elementos fotovoltaicos y de elementos de cubierta	67,32	1	67,32
9	ISFOPPD07	h	Inspección y comprobación de voladizos estructurales	16,83	1	16,83

10	ISFOPPD08	h	Inspección visual y comprobación del cableado de los paneles fotovoltaicos	134,64	2	269,28
11	ISFOPPD09	h	Inspección del CGP, termografía y verificaciones	67,32	2	134,64
12	ISFOPPD10	h	Inspección y comprobaciones del cableado de puesta a tierra	100,98	1	100,98
Subtotal						2154,24
Base Imponible (I.V.A)						452,39
Total						2606,63

El presupuesto asciende a un valor final de DOS MIL SEISCIENTOS SEIS EUROS CON SESENTA Y TRES CÉNTIMOS anuales.

Para cualquier operación que se desarrolle fuera del plan de mantenimiento se facilitará una oferta de la misma cuyo coste será externo al presupuesto expuesto anteriormente.

