



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Análisis de riesgos de una planta solar fotovoltaica de 4  
MW en la localidad de Ayamonte (Huelva)

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Estevan Castilla, Antonio

Tutor/a: Fuentes Bargues, José Luis

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial  
Análisis de riesgos de una planta solar fotovoltaica  
de 4 MW en la localidad de Ayamonte (Huelva)  
Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería en tecnologías Industriales

Autor: Estevan Castilla, Antonio  
Tutor: Fuentes Bargues, José Luis  
CURSO ACADÉMICO: 2022/23

## Agradecimientos

A mi tutor del TFG, José Luís, me gustaría agradecer todo el tiempo que me ha dedicado en este camino, y por confiar en mi capacidad de sacar todo adelante, sin él no lo habría conseguido, y por eso le doy las gracias.

También estoy agradecido a mis compañeros de universidad, concretamente a mis amigos, por hacer de estos cuatro cursos un viaje maravilloso con experiencias inolvidables.

A mi amigo Dani, por estar ahí siempre que le he necesitado, sacando lo mejor de mí y motivándome a ser mi mejor versión en el ámbito académico.

Y por último a mi familia, por celebrar conjuntamente los momentos buenos y aguantarme en mis momentos malos. Y especialmente a mi padre, gracias por indicarme el camino a seguir cuando más lo he necesitado, sin ti no sería un ingeniero.

## Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo analizar los riesgos procedentes de accidentes graves y catástrofes en una planta solar fotovoltaica de 4MW, para que pueda usarse como base para el Estudio de Impacto Ambiental, recogido en la Ley 21/2013, de el 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

Debido a ello, se elige el anteproyecto de “FV Ayamonte” de 4,125 MW e infraestructura de evacuación asociada, situada en el término municipal de Ayamonte (Huelva).

El proceso de apreciación del riesgo, incluyendo la identificación, análisis y evaluación del riesgo, se lleva a cabo mediante las técnicas de análisis de riesgos:

- Técnica SWIFT
- Teoría de los conjuntos difusos

Por último, una vez evaluados los riesgos y su posible impacto sobre el medio ambiente, se proponen medidas correctivas a aplicar en el caso de estudio, bien para reducir la probabilidad de ocurrencia del riesgo o bien para reducir su impacto en el caso de ocurrencia.

## Resum

El present treball té com a objectiu analitzar els riscos procedents d'accidents greus i catàstrofes en una planta solar fotovoltaica de 4MW, perquè pugui usar-se com a base per a l'Estudi d'Impacte Ambiental, recollit en la Llei 21/2013, del 9 de desembre, d'avaluació ambiental.

A causa d'això, es tria l'avantprojecte de "FV Ayamonte"; de 4,125 MW i infraestructura d'evacuació associada, situada en el terme municipal d'Ayamonte (Huelva).

El procés d'apreciació del risc, incloent-hi la identificació, anàlisi i avaluació del risc, es duu a terme mitjançant les tècniques d'anàlisi de riscos:

- Tècnica SWIFT
- Teoria dels conjunts difusos

Finalment, una vegada avaluats els riscos i el seu possible impacte sobre el medi ambient, es proposen mesures correctives a aplicar en el cas d'estudi, bé per a reduir la probabilitat d'ocurrència del risc o bé per a reduir el seu impacte en el cas d'ocurrència.

## Abstract

The aim of this work is to analyse the risks arising from serious accidents and catastrophes in a 4MW photovoltaic solar plant, so that it can be used as a basis for the Environmental Impact Study, as set out in Law 21/2013, of 9 December, on environmental assessment.

For this reason, the preliminary project "FV Ayamonte" of 4.125 MW and associated evacuation infrastructure, located in the municipality of Ayamonte (Huelva), was chosen.

The risk assessment process, including risk identification, analysis and evaluation, is carried out by means of risk analysis techniques:

- SWIFT technique
- Fuzzy set theory

Finally, once the risks and their possible impact on the environment have been assessed, corrective measures are proposed to be applied in the case study, either to reduce the probability of the risk occurring or to reduce its impact in the event of its occurrence.

## INDICE DE DOCUMENTOS

MEMORIA.....	7
PRESUPUESTO .....	72
ANEXO .....	74

## MEMORIA

INDICE DE CONTENIDO .....	7
ÍNDICE DE FIGURAS .....	9
ÍNDICE DE TABLAS .....	10

## INDICE DE CONTENIDO

1	Introducción .....	11
2	Objeto y Alcance .....	13
3	Justificación .....	14
4	Análisis de Riesgos .....	15
4.1	Concepto de riesgo .....	15
4.2	Análisis de Riesgos Industriales .....	15
4.3	Técnicas de Análisis de Riesgos .....	16
4.4	Etapas del Análisis de Riesgos .....	18
5	Evaluación de Impacto Ambiental .....	20
6	Metodología .....	22
6.1	Técnica SWIFT .....	22
6.2	Teoría de los Conjuntos Difusos .....	24
6.2.1	Conjuntos Difusos .....	24
6.2.2	Números Difusos .....	25
6.2.3	Valores lingüísticos .....	25
6.2.4	Operaciones Aritméticas con números difusos .....	25
6.2.5	Procedimiento para la evaluación del riesgo .....	26
6.2.6	Escalas lingüísticas y su valoración .....	27
6.2.7	Transformación a valores reales .....	29
6.2.8	Clasificación del Factor Riesgo .....	29
7	Aplicación al caso práctico .....	30
7.1	Descripción del proyecto .....	30
7.2	Descripción del proceso .....	34
7.2.1	Módulo fotovoltaico .....	34
7.2.2	Inversores .....	35

---

7.2.3	Centro de Transformación .....	35
7.2.4	Instalación Eléctrica .....	36
7.2.5	Canalizaciones .....	36
7.2.6	Red de Tierra .....	37
7.2.7	Cuadros Eléctricos.....	37
7.2.8	Equipos de Medida .....	37
7.2.9	Servicios Auxiliares .....	37
7.3	Análisis de Riesgos .....	39
7.3.1	Identificación de Riesgos.....	39
7.3.2	Evaluación de Riesgos .....	51
7.3.3	Medidas Correctivas y preventivas.....	65
8	Conclusiones.....	68
9	Bibliografía.....	70
9.1	Documentos electrónicos .....	70
9.2	Trabajos citados.....	70
9.3	Artículo Científico .....	70
9.4	Normativa.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distinción de peligro y riesgo .....	15
Figura 2. Marco de trabajo de la gestión del riesgo. ....	19
Figura 3. Proceso de apreciación del riesgo. ....	21
Figura 4. Metodología para el proceso de apreciación del riesgo .....	22
Figura 5. Funciones de pertenencia de IR y PR. ....	28
Figura 6. Ubicación de la planta fotovoltaica. ....	30
Figura 7. Vista aérea del proyecto. ....	31
Figura 8. Detalle acotado 1.....	31
Figura 9. Detalle acotado 2. ....	32
Figura 10. Leyenda de la figura 5. ....	32
Figura 11. Plano general de los componentes de la instalación. ....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de la técnica SWIFT.....	23
Tabla 2. Variables lingüísticas del impacto. ....	28
Tabla 3. Variables lingüísticas de la probabilidad.....	28
Tabla 4. Características principales del proyecto. ....	31
Tabla 5. Características mecánicas del módulo.....	34
Tabla 6. Características de los Strings tipo Seguidores.....	34
Tabla 7. Características de los Strings tipo Mesa. ....	35
Tabla 8. Enumeración de todos los riesgos identificados.....	53
Tabla 9. Clasificación de las variables lingüísticas de los riesgos identificados .....	56
Tabla 10. Obtención del Factor Riesgo.. ....	59
Tabla 11. Proceso de desfuzzificación.. ....	61
Tabla 12. Categorización de los riesgos. ....	64
Tabla 13. Presupuesto económico del proyecto .....	73

## 1 Introducción

Cada vez es mayor el interés y la inversión en la generación de electricidad a través de parque fotovoltaicos. Esto se debe a que la energía solar fotovoltaica es una tecnología en constante evolución con un gran potencial para satisfacer las necesidades energéticas a nivel mundial. La reducción de costos y la mejora de la eficiencia en la conversión de la energía solar en electricidad hacen que la energía solar fotovoltaica sea cada vez más atractiva como una solución de bajo impacto ambiental y sostenible. Además, el aumento de la demanda de energía renovable y las políticas gubernamentales que apoyan su desarrollo y adopción, ofrecen un panorama favorable para la continuación del crecimiento y desarrollo de esta tecnología. Desde un enfoque técnico, la energía solar fotovoltaica presenta desafíos en áreas como la integración en la red eléctrica, el almacenamiento de energía y la optimización del rendimiento, pero a medida que se sigan realizando avances en estas áreas, la energía solar fotovoltaica seguirá siendo una solución importante para satisfacer las necesidades energéticas en el futuro.

Los proyectos de gran tamaño y riesgos potenciales para el medio ambiente deben ser evaluados mediante un proceso de Evaluación del Impacto Ambiental y para ello se requiere elaborar un Estudio de Impacto Ambiental.

El EsIA es una herramienta esencial para identificar, predecir y mitigar los impactos ambientales del proyecto, y garantizar su sostenibilidad y cumplimiento con las regulaciones ambientales.

El 5 de diciembre de 2018 fue aprobada la Ley 9/2018, por la que se modifica la Ley 21/2013 de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y se transpone al derecho español la Directiva 2014/52/UE, de 16 de abril de 2014, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.

La Ley 9/2018, en el artículo uno, punto catorce, apartado d), refleja la obligatoriedad del promotor de incluir en el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA), un análisis de la vulnerabilidad del proyecto ante accidentes graves o catástrofes, evaluando tanto el riesgo como los posibles efectos sobre el medio ambiente, en caso de que se produjeran dichos accidentes o catástrofes.

Por lo tanto en este trabajo se pretende crear una metodología dirigida a EsIA que sirva como base para otros proyectos del mismo tipo. Para hacer un correcto análisis de vulnerabilidad del proyecto, se han de seguir una serie de pasos recogidos en la norma UNE-EN 31.010, incluyendo una serie de técnicas de identificación, y evaluación de riesgos, que en su conjunto se denomina proceso de apreciación del riesgo.

Este trabajo tiene como objetivo realizar un análisis de riesgo frente a catástrofes y accidentes graves en concordancia con la modificación de la ley 21/2013. El proyecto incluye la explicación de los fundamentos del análisis de riesgos, además de la

descripción de las técnicas utilizadas para efectuar dicho análisis. Las técnicas elegidas son la técnica SWIFT, la matriz de consecuencia/probabilidad y la teoría de los conjuntos difusos.

A continuación, se aplican estas técnicas al caso de estudio escogido. Se elige una planta fotovoltaica como caso de estudio debido al incremento de proyectos de este tipo y la falta de EIA incluyendo la última modificación de la Ley 21/2013 en proyectos de este tipo.

Por último, a partir de las conclusiones obtenidas en el análisis de riesgos, se proponen posibles medidas correctivas para prevenir o corregir los riesgos identificados.

## 2 Objeto y Alcance

Este proyecto tiene como objetivo hacer un análisis de riesgos de accidentes graves y catástrofes en una planta solar fotovoltaica. El proyecto tiene como objetivo establecer una metodología base para EIA de proyectos de instalaciones fotovoltaicas enfocados a accidentes graves y catástrofes.

El caso de estudio escogido es un anteproyecto de una planta fotovoltaica de 4,125MW en Ayamonte, Huelva.

Con el análisis de riesgos, se usan varios métodos recogidos por la norma UNE-EN 31010 y que son elegidos para hacer una identificación y evaluación de riesgos correcta, con la posibilidad de que la metodología pueda ser utilizada en futuros EIA.

En consecuencia, el alcance de este proyecto es:

- Plantear una metodología para el análisis de accidentes graves y catástrofes aplicada a plantas solares fotovoltaicas.
- Aplicar dicha metodología a al caso de estudio escogido.
- Proporcionar una lista de medidas preventivas a aplicar al caso de estudio para la protección del medio ambiente.

### 3 Justificación

La motivación para realizar este proyecto, basado en análisis de riesgos, empieza por el interés personal en entender las técnicas utilizadas para hacer un correcto análisis de riesgos, además de poder aplicar dichas técnicas a un caso de estudio tan interesante y práctico como una planta solar fotovoltaica.

Otra fuente de motivación es entender todos los riesgos ligados a una planta solar fotovoltaica y su posterior impacto en el medio ambiente.

Además me motiva de este proyecto conocer y aprender cómo completar el documento de Estudio de Impacto Ambiental (EslA), al ver el crecimiento de su importancia en los proyectos industriales en los últimos años, además de su positiva influencia en el medio ambiente. Es común pensar que la importancia del EslA está infravalorada en el aspecto académico, ya que es un requisito fundamental para avanzar con cualquier proyecto industrial además de infraestructural y cualquier estudiante de una ingeniería debería conocer su funcionamiento además de utilidad. No solo pienso que sea importante por aprendizaje básico, sino que también por su utilidad en el ámbito laboral.

Y por último, para finalizar los estudios del Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales y poder proseguir con estudios de posgrado, se requiere académicamente llevar a cabo un trabajo final de grado que refleje los conocimientos adquiridos a lo largo de los 4 cursos académicos de formación, junto con las habilidades analíticas, resolutivas y de aprendizaje que ofrece una carrera técnica como esta.

## 4 Análisis de Riesgos

### 4.1 Concepto de riesgo

En la industria, el término "riesgo" se utiliza para identificar las circunstancias que presentan una amenaza potencial para la seguridad humana, el medio ambiente y los activos en general. Aunque los términos "peligro", "riesgo" y "consecuencia" a menudo se utilizan de manera intercambiable, es esencial comprender claramente la naturaleza y la distinción de cada uno para una correcta comprensión del concepto de riesgo.

En la Figura 1 se muestra cómo el riesgo actúa como el enlace entre la fuente de peligro y la eventual consecuencia.



Figura 1. Distinción de peligro y riesgo. Fuente: Elaboración propia

Es fundamental comprender estos conceptos para poder apropiadamente abordar el análisis de riesgos. Este proceso implica una evaluación técnica de la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias asociadas a un determinado riesgo. De esta manera, el análisis de riesgos permite la identificación, valoración y priorización de los riesgos, aportando una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de medidas de mitigación adecuadas.

### 4.2 Análisis de Riesgos Industriales

El Análisis de Riesgos Industriales es un proceso sistemático de evaluación que tiene como objetivo identificar, cuantificar y valorar los riesgos inherentes a los procesos industriales durante su operación normal. Este estudio proporciona la información crítica para una mejor comprensión de los riesgos asociados a los productos y procesos, incluyendo la estimación de las consecuencias potenciales, la implementación de medidas preventivas para reducir la probabilidad de ocurrencia de riesgos, y la identificación de las áreas más vulnerables dentro del sistema.

Los análisis de riesgos permiten:

- Obtener una comprensión exhaustiva de los peligros asociados con los procesos industriales.
- Determinar los límites de seguridad para los diversos parámetros del proceso.
- Evaluar las consecuencias de los desvíos de los parámetros fuera de los límites establecidos.
- Implementar medidas de control para las variables críticas del proceso.
- Establecer medidas de protección para minimizar las consecuencias en caso de un accidente.

Para llevar a cabo un análisis de riesgos riguroso, es necesario definir de manera precisa los riesgos y cuantificarlos adecuadamente. Una definición ampliamente utilizada por expertos que cumple con este requisito es la basada en el producto de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado por la magnitud de sus consecuencias.

$$\text{Riesgo} = \text{Consecuencia} * \text{Probabilidad}$$

Tal y como se desprende de la definición de riesgo, se puede reducir el riesgo al tomar medidas preventivas para disminuir la probabilidad de un evento o medidas de protección para minimizar los daños causados en caso de un accidente.

Por ello, es fundamental considerar una amplia gama de factores en la cuantificación de las consecuencias, incluyendo no solo aspectos cuantitativos, como costos financieros, sino también cualitativos, como daños ambientales y sociales. Esto requiere un enfoque interdisciplinario en el análisis de riesgos, para obtener una evaluación completa y precisa del riesgo.

Estimar la magnitud de la consecuencia y probabilidad del riesgo no es una tarea simple, ya que hay muchos factores a tener en cuenta para cualquier riesgo asociado.

Además, los daños colaterales y las consecuencias a largo plazo pueden no ser evidentes de inmediato. Por eso, a continuación se ven las técnicas especializadas que permiten estimar el riesgo con una mayor precisión.

### 4.3 Técnicas de Análisis de Riesgos

En el contexto de los riesgos, es importante tener en cuenta que estos pueden presentar una gran variedad y complejidad de características que varían en función de la situación en la que se apliquen. Esta variabilidad ha dado lugar a la existencia de numerosas técnicas de Análisis de Riesgos, las cuales se pueden clasificar en tres categorías principales:

- Técnicas cualitativas: se basan en apreciaciones subjetivas de la magnitud y probabilidad de estos, sin tener en cuenta análisis numéricos. Algunos ejemplos

de estas técnicas incluyen HAZOP (Análisis Funcional de Operatividad), SWIFT, Análisis mediante Listas de Comprobación y AHA (Análisis Histórico de Accidentes).

- Técnicas semicuantitativas: mejoran la precisión de los análisis de riesgo al combinar los aspectos subjetivos de las técnicas cualitativas con una evaluación más detallada y sólida. Estas técnicas emplean escalas numéricas para evaluar la probabilidad y las consecuencias, produciendo índices globales del riesgo. Ejemplos de estos índices incluyen el índice Dow, el índice Mound, así como los índices SHI (Substance Hazard Index) y MHI (Material Hazard Index).
- Técnicas cuantitativas: permiten calcular valores reales para las probabilidades y consecuencias de un evento. Esto permite una estimación más precisa del nivel de riesgo específico. Sin embargo, es posible que en algunos casos la información disponible sea insuficiente para realizar un análisis cuantitativo completo. Por esta razón, suele combinarse con técnicas semicuantitativas, como el Árbol de fallos (FT) y el Árbol de acontecimientos (ET), para realizar un análisis previo.

Los resultados de estos estudios de seguridad pueden presentarse en tres formas: una lista de situaciones de riesgo, la evaluación de dichas situaciones y una serie de medidas para reducir los riesgos asociados. No todas las técnicas tienen la capacidad de brindar estos tres resultados, algunas simplemente se enfocan en la identificación del problema, mientras que otras incluyen la priorización y la propuesta de medidas de corrección. Por ejemplo, el análisis histórico de accidentes, el análisis de riesgo inicial y los índices Dow y Mound brindan una visión general inicial del riesgo de la instalación. Por otro lado, técnicas como el análisis SWIFT, HAZOP y FMEA permiten una comprensión más detallada del peligro intrínseco y de funcionamiento de la instalación, mientras que los árboles de fallos y sucesos ofrecen un alto nivel de detalle en situaciones de gravedad extrema.

El nivel de detalle en el análisis de riesgos puede variar en función de la diversidad y el alcance de la aplicación, ya sea en una instalación nueva o en una modificación existente. La profundidad del análisis depende de las características y requisitos de cada situación, y a medida que se desea reducir la posibilidad de fallo y minimizar el impacto de los daños, el análisis se vuelve más exhaustivo y se minimiza el margen de error.

Ejemplos de los diferentes niveles de análisis de riesgos incluyen:

- Determinación cualitativa simple
- Análisis semicuantitativos con margen de error amplio
- Análisis cuantitativos completos usando técnicas cualitativas y cuantitativas
- Uso de índices de riesgos básicos y poco rigurosos.

## 4.4 Etapas del Análisis de Riesgos

Los procedimientos para llevar a cabo un análisis de riesgos varían en función de las técnicas de evaluación de riesgos seleccionadas. No obstante, existen una serie de fases que son comunes a todas las evaluaciones y que son las siguientes:

1. Establecimiento del contexto: en esta fase se definen los objetivos y se realiza un estudio exhaustivo del proceso donde se llevará a cabo el análisis de riesgos.
2. Definición de criterios: se establecen los criterios que se emplearán para evaluar los riesgos.
3. Identificación de riesgos: se identifican los orígenes de los riesgos, las áreas de impacto, los eventos y sus causas y consecuencias potenciales.
4. Análisis de riesgos: se clasifican los riesgos utilizando los criterios establecidos y se determinan sus consecuencias y probabilidades.
5. Evaluación del riesgo: se prioriza el tratamiento de los riesgos en función de los resultados obtenidos en el análisis de riesgos.
6. Tratamiento del riesgo: se proponen medidas preventivas o correctivas para los riesgos analizados.
7. Seguimiento y revisión: se verifica la eficacia de los controles implementados y se obtiene información adicional para mejorar la evaluación de los riesgos.

Además, es importante destacar que en proyectos con una mayor complejidad, se requerirán técnicas cuantitativas más avanzadas, como el uso de modelos matemáticos y simulaciones, para obtener una apreciación más precisa del riesgo. En estos casos, se agregarán etapas adicionales como la validación y verificación del modelo y la realización de pruebas para confirmar su eficacia. Por lo tanto, el número y alcance de las etapas en el análisis de riesgos dependerá de la naturaleza y complejidad del proyecto.

Según la norma UNE-ISO 31000-10, se recalca la importancia del marco de trabajo para aplicar una correcta apreciación del riesgo y así proporcionar medidas con el fin de conseguir una mejora continua del riesgo del marco de trabajo.

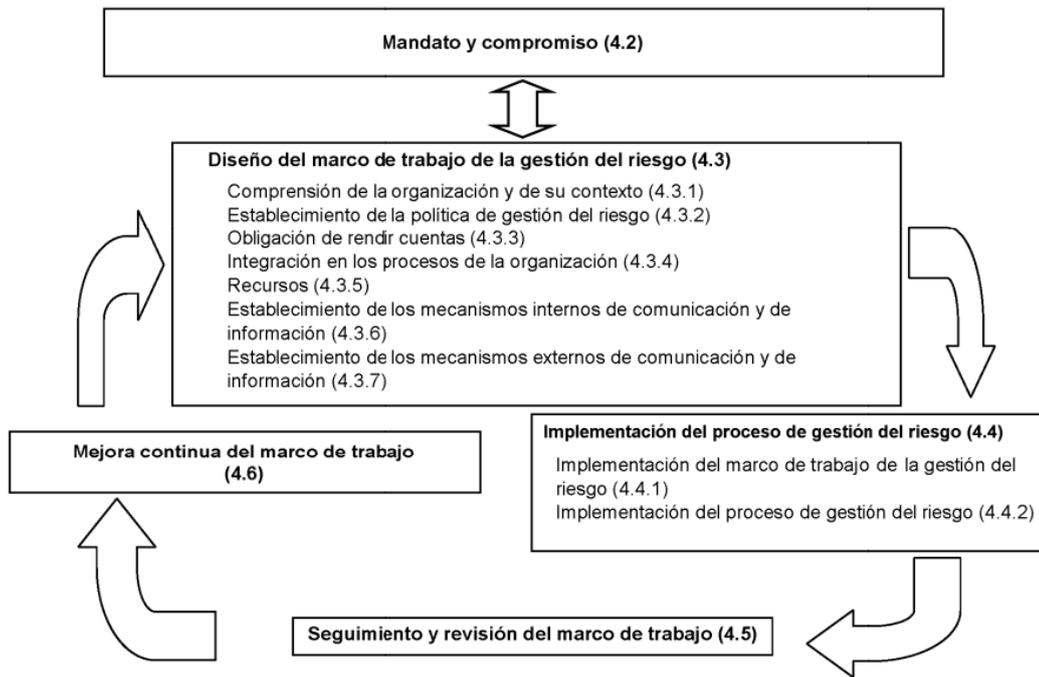


Figura 2. Marco de trabajo de la gestión del riesgo. Fuente norma UNE 31000-10

## 5 Evaluación de Impacto Ambiental

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un documento técnico elaborado por el promotor que tiene como objetivo evaluar los efectos potenciales que un proyecto puede tener en el medio ambiente. La elaboración de la EIA puede ser requerida o no, según lo establecido en la Ley 21/2013 de Evaluación Ambiental de 9 de diciembre.

La Evaluación de Impacto Ambiental es un proceso clave en la gestión de proyectos para garantizar la sostenibilidad y la protección del medio ambiente. Facilita la toma de decisiones informadas, incorporando criterios ambientales y previendo impactos negativos a través de medidas preventivas, correctoras y/o compensatorias. La percepción del riesgo permitirá a los tomadores de decisiones comprender los posibles desafíos y riesgos del proyecto, y abordarlos de manera adecuada.

Toda esta evaluación está regulada mediante la ley Ley 9/2018 (España, 2018), por la que se modifica la Ley 21/2013 de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) (España, 2013) y se transpone al derecho español la Directiva 2014/52/UE, de 16 de abril de 2014, (Unión Europea, 2014) relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente. En el punto uno del artículo, punto catorce, apartado d) de la Ley 9/2018 indica la obligación del promotor de incluir en el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) y un análisis de vulnerabilidad del proyecto ante accidentes graves, evaluando el riesgo de las posibles consecuencias.

La norma, en su artículo uno, punto dos, define lo que se considera como accidente grave y catástrofe:

"Accidente grave: suceso, como una emisión, un incendio o una explosión de gran magnitud, que resulte de un proceso no controlado durante la ejecución, explotación, desmantelamiento o demolición de un proyecto, que suponga un peligro grave, ya sea inmediato o diferido, para las personas o el medio ambiente."

"Catástrofe: suceso de origen natural, como inundaciones, subida del nivel del mar o terremotos, ajeno al proyecto que produce gran destrucción o daño sobre las personas o el medio ambiente."

y lo que se entiende por vulnerabilidad del proyecto:

"Vulnerabilidad del proyecto: características físicas de un proyecto que pueden incidir en los posibles efectos adversos significativos que sobre el medio ambiente se puedan producir como consecuencia de un accidente grave o una catástrofe."

Con este articulado se relaciona la EIA de proyectos con la normativa de análisis de accidentes graves, a nivel europeo la Directiva 2012/18/UE (conocida como Directiva Seveso III) (Unión Europea, 2012) y a nivel nacional, el Real Decreto 840/2015 (España,

2015), relativo al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.

Este nuevo articulado de la norma de EIA obliga a realizar una identificación análisis y evaluación de riesgos, es decir un proceso de apreciación del riesgo, tal y como indica la norma UNE-EN 31.010 (AENOR, 2011) (Figura 3).

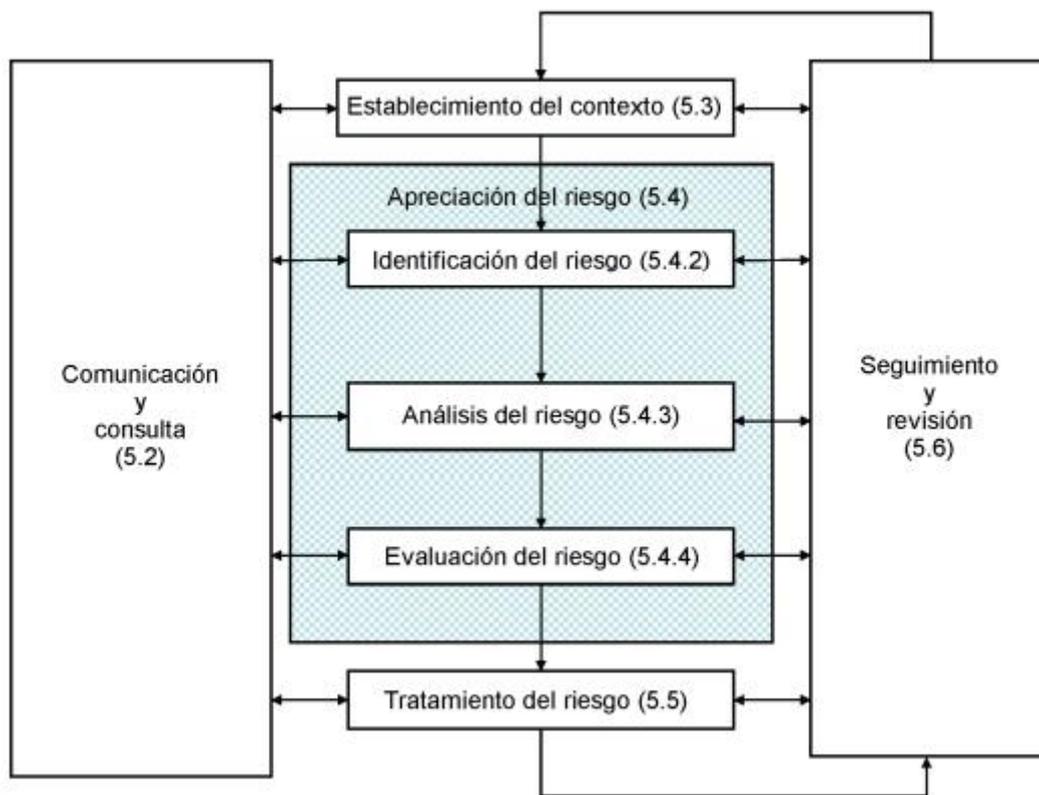


Figura 3. Proceso de apreciación del riesgo. Fuente: Norma UNE 31000-10

## 6 Metodología

La identificación y evaluación de riesgos es un proceso crítico que requiere una consideración cuidadosa de las técnicas y herramientas a utilizar. Es importante elegir la técnica adecuada para garantizar la precisión y la eficacia del análisis de riesgos. La elección de la técnica adecuada también permite optimizar los recursos y asegurarse de que el estudio sea eficiente en términos de tiempo y coste. La selección de una técnica de análisis de riesgos eficaz es un componente clave del éxito del proyecto.

La implementación de la metodología se describe en la Figura 4, la cual comprende seis etapas que abarcan desde la comprensión del proceso en una planta fotovoltaica hasta la propuesta de medidas preventivas y correctivas para los riesgos identificados. La metodología se basa en la aplicación de técnicas de evaluación de riesgos, tales como la técnica Swift, la matriz probabilidad-consecuencia y la teoría de conjuntos difusos, que son detalladas en los subapartados 6.1 y 6.2 respectivamente.

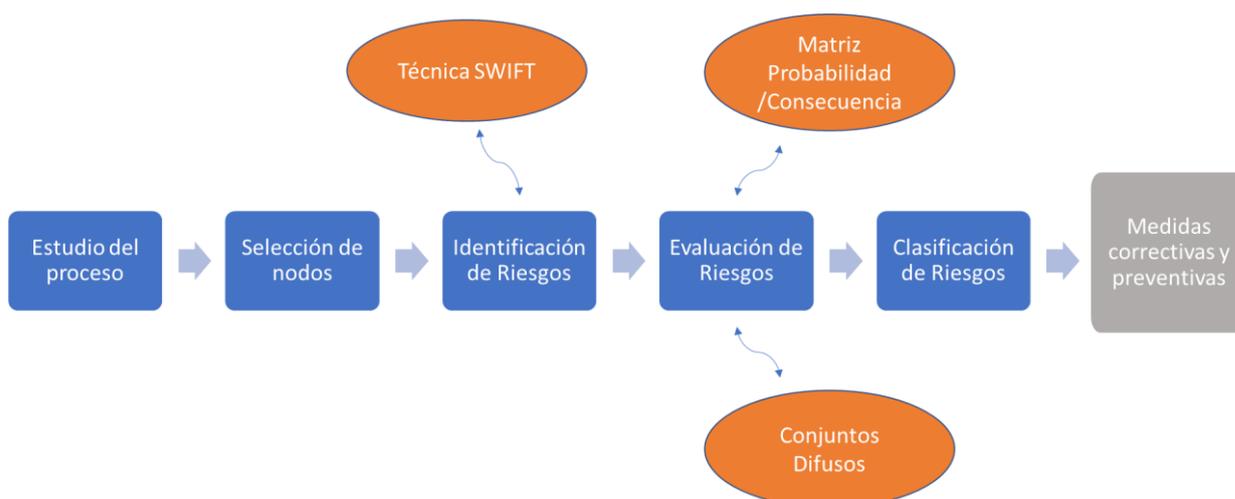


Figura 4. Metodología para el proceso de apreciación del riesgo. Fuente: Elaboración propia

### 6.1 Técnica SWIFT

Para identificar posibles incidentes ambientales causados por la planta fotovoltaica, se aplican técnicas de identificación y evaluación de riesgos en los diferentes nodos del proceso. Las técnicas utilizadas deben ser adecuadas para el proceso en cuestión y para la información disponible sobre él.

La primera metodología escogida es la técnica SWIFT (Structured What If..).

Se trata de una técnica de apreciación de riesgo cualitativa recogida en la norma UNE-EN 31010. Se lleva a cabo un estudio en el que se combinan un conjunto de palabras o frases normalizadas con indicaciones para investigar cómo afectarán las

desviaciones de las operaciones y comportamiento normal a un sistema, elemento de una planta, organización o procedimiento.

Primero, se identifican los nodos del proceso que puedan originar riesgos, en este caso, riesgos ambientales. Luego, se hacen preguntas tipo "¿Qué pasaría si...?" para explorar los posibles escenarios, causas, consecuencias e impactos. Finalmente, se resume todo y se clasifica y jerarquiza los riesgos identificados.

La aplicación de esta metodología resulta en una identificación del riesgo y sus posibles causas de todos los nodos del proceso.

La norma UNE-EN 31010 resume los atributos principales de la técnica SWIFT en la siguiente tabla:

Tipo de técnica	Importancia de los factores que influyen			¿Puede proporcionar resultados cuantitativos?
	Recursos y capacidades	Naturaleza y grado de la incertidumbre	Complejidad	
SWIFT	Medio	Medio	Alguna	No

Tabla 1. Propiedades de la técnica SWIFT. Fuente: Norma UNE 31000-10

## 6.2 Teoría de los Conjuntos Difusos

La aplicación de los conjuntos difusos surgió como una respuesta a la demanda de matematizar las relaciones lingüísticas mediante la asociación de cada término con un número difuso, cuando la falta de información impide la obtención de evaluaciones precisas. Este enfoque permite abordar de manera menos subjetiva la evaluación cuantitativa de los riesgos basada en estimaciones de probabilidades.

La incertidumbre y la subjetividad impiden el uso de muchos métodos convencionales para la evaluación de riesgos, como el análisis de árbol de fallos (FTA), análisis de árbol de sucesos (ETA), matriz de probabilidad e impacto, análisis de sensibilidad, cálculo de confiabilidad y modo de fallo y análisis de efecto (FMEA) debido a la necesidad de datos precisos. Sin embargo, se han propuesto alternativas para la evaluación de riesgos que se basan en valoraciones lingüísticas en lugar de en números exactos, utilizando los principios de la Teoría de Conjuntos Difusos.

Ejemplos de estas alternativas son: Fujino (1994), quien demostró la aplicabilidad de la metodología FTA difusa en algunos accidentes de construcción en Japón. Huang (2001) propuso un procedimiento formal de ETA difuso para integrar errores humanos y de equipos, y Cho (2002) propuso una metodología de ETA difusa que utiliza nuevas formas de funciones de pertenencia.

La Teoría de los Conjuntos Difusos ofrece un enfoque innovador para la evaluación de riesgos en comparación con otros métodos de evaluación difusa. Una de sus principales ventajas es su capacidad para manejar la incertidumbre y la subjetividad a la hora de valorar cuantitativamente los riesgos basados en estimaciones de probabilidades. Esto se logra mediante el uso de un algoritmo que permite la gestión de las relaciones de preferencia difusa y la resolución de inconsistentes en comparaciones binarias. Además, la Teoría de los Conjuntos Difusos permite una representación más precisa y completa de la información que los métodos tradicionales basados en números exactos, lo que conduce a una evaluación más precisa y confiable de los riesgos.

### 6.2.1 Conjuntos Difusos

Un conjunto difuso A se representa mediante la siguiente expresión:

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) \mid x \in U \} \quad (1)$$

Siendo:

- U un conjunto universal
- X elemento de U
- A conjunto difuso de U
- $\mu_A(x)$  la función de pertenencia de A en x

Cuanto mayor sea el valor de  $\mu_A(x)$ , mayor es el grado de pertenencia de x en A.

### 6.2.2 Números Difusos

Un número difuso es un conjunto difuso que se define de la forma:

$$A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in \mathcal{O}\} \quad (2)$$

Siendo:

- X un elemento del conjunto de números reales
- I función de pertenencia  $\mu_A: \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$  que satisface:
  - Constante en  $(-\infty, a] \cup [d, \infty)$ :  $\mu_A(x) = 0 \circ x \in (-\infty, a] \cup [d, \infty)$
  - Estrictamente decreciente en el intervalo  $[a, b]$  y estrictamente creciente en el intervalo  $[c, d]$
  - Constante en el intervalo  $[b, c]$
  - $\mu_A(x) = 1 \circ x \in [b, c]$ , donde a, b, c y d son números reales y eventualmente  $a = -\infty, b = c, a = b, c = d$  o  $d = \infty$

Un número difuso trapezoidal se representado usando cuatro valores  $A = [a, b, c, d]$  tal que  $a < b < c < d$  con función de pertenencia:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{Para } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{Para } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{Para } b \leq x \leq c \\ \frac{x-d}{c-d} & \text{Para } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{En cualquier otro caso} \end{cases} \quad (3)$$

### 6.2.3 Valores lingüísticos

Una variable lingüística es una variable cuya expresión se basa en términos lingüísticos. El uso de variables lingüísticas es una herramienta valiosa cuando se enfrentan situaciones complejas o subjetivas que no se pueden describir mediante expresiones cuantitativas convencionales. Por ejemplo, "Importancia" puede ser una variable lingüística con valores que van desde "UI" (sin importancia) hasta "VI" (muy importante). Estos valores lingüísticos se pueden traducir a expresiones cuantitativas mediante la utilización de funciones trapezoidales difusas, como por ejemplo: "IU = (0.0, 0.0, 0.1, 0.2), SI = (0.1, 0.25, 0.25, 0.4), FI = (0.3, 0.5, 0.5, 0.7), I = (0.6, 0.75, 0.75, 0.9) y VI = (0.87, 0.9, 0.9, 1.0)".

### 6.2.4 Operaciones Aritméticas con números difusos

A continuación, se describen las operaciones aritméticas básicas entre dos números difusos trapezoidales  $A_1 = (a_1, b_1, c_1, d_1)$  y  $A_2 = (a_2, b_2, c_2, d_2)$ :

Suma Difusa:  $A_1 \oplus A_2 = (a_1 + a_2, b_1 + b_2, c_1 + c_2, d_1 + d_2) \quad (4)$

$$\text{Resta Difusa: } A1 \ominus A2 = (a1 - d2, b1 - c2, c1 - b2, d1 - a2) \quad (5)$$

$$\text{Producto Difuso: } A1 \otimes A2 \approx (a1 \cdot a2, b1 \cdot b2, c1 \cdot c2, d1 \cdot d2) \quad (6)$$

$$\text{División difusa: } A1 \oslash A2 = \left( \frac{a1}{a2}, \frac{b1}{b2}, \frac{c1}{c2}, \frac{d1}{d2} \right) \quad (7)$$

La multiplicación y la división de números trapezoidales difusos no resultan en un número trapezoidal difuso, aunque en la mayoría de los usos prácticos se parecen a un número trapezoidal.

Además, la multiplicación de un escalar con un número difuso se define de la siguiente manera:

$$A1 \times k = (a1 \times k, b1 \times k, c1 \times k, d1 \times k), \quad \text{si } k > 0 \quad (8)$$

$$A1 \times k = (d1 \times k, c1 \times k, b1 \times k, a1 \times k), \quad \text{si } k < 0 \quad (9)$$

### 6.2.5 Procedimiento para la evaluación del riesgo

El proceso general para realizar el análisis de riesgos mediante la Teoría de los Conjuntos Difusos una vez formado el equipo de trabajo e identificado los riesgos mediante la técnica SWIFT, y evaluado los riesgos con la matriz consecuencia/probabilidad es:

1. Evaluar los parámetros empleados para determinar el nivel de riesgo asociado con cada uno de ellos. Estas evaluaciones pueden ser realizadas utilizando términos lingüísticos que serán convertidos en números difusos para su procesamiento matemático.
2. Definir la función de riesgo como el resultado del producto de la probabilidad de ocurrencia del riesgo y su impacto en los objetivos del proyecto (costo, plazo, calidad, etc.).

La función factor de riesgo se define:

$$F_R = I_R \times P_R \quad (10)$$

Siendo:

- $F_R$  el factor riesgo

- $I_R$  el impacto del riesgo
- $P_R$  la probabilidad del riesgo

### 6.2.6 Escalas lingüísticas y su valoración

Frecuentemente, la valoración de la probabilidad y el impacto de los riesgos identificados en un proyecto se ve obstaculizada por la incertidumbre en la información disponible para llevar a cabo dicha valoración. Esto puede resultar en valoraciones aproximadas en lugar de exactas, ya que los miembros del equipo pueden tener información imprecisa sobre los riesgos asociados con el proyecto. En estas circunstancias, las valoraciones pueden expresarse mediante términos lingüísticos en lugar de valores numéricos precisos.

Es importante considerar la definición de términos lingüísticos apropiados para valorar los riesgos del proyecto, los cuales dependerán del problema en cuestión. Se pueden utilizar escala de tres puntos para evaluar la probabilidad del riesgo (alta: H, media: M, baja: L) y una escala de cinco puntos para evaluar el impacto (crítico: C, grave: S, moderado: Mo, menor: Mi, despreciable: N).

Los términos lingüísticos deben convertirse en números difusos mediante una escala de conversión adecuada, ya que la conversión depende tanto del concepto como del contexto en el que se utiliza. Incluso en contextos similares, los números difusos que representan el mismo concepto pueden variar significativamente.

En el uso de números difusos, la complejidad en los cálculos se ve influenciada por la forma de las funciones de pertenencia que definen a dichos números. Por otro lado, números difusos con funciones de pertenencia simples suelen tener una interpretación más intuitiva y natural.

El sistema propuesto por Chen (Chen & Hwang, 1992) consiste en la aplicación de una metodología para la conversión de términos lingüísticos a números difusos mediante la definición de una función de membresía. La función de membresía describe la gradación de pertenencia del término lingüístico a su valor numérico difuso correspondiente.

En la Tabla 2 y 3 se muestra la conversión de los términos lingüísticos de probabilidad y el impacto a números difusos. En la Figura 5, se representa gráficamente la función de membresía asociada a cada término lingüístico.

Valores lingüísticos de $I_R$	Descripción	Número Difuso
Crítico (C)	Impacto muy alto	(0.8, 0.9, 1, 1)
Grave (S)	Gran impacto	(0.6, 0.75, 0.75, 0.9)
Moderado (Mo)	Impacto moderado	(0.3, 0.5, 0.5, 0.7)
Menor (Mi)	Impacto pequeño	(0.1, 0.25, 0.25, 0.4)

Despreciable (N)	No hay impacto apreciable	(0, 0, 0.1, 0.2)
------------------	---------------------------	------------------

Tabla 2. Variables lingüísticas del impacto. Fuente: Elaboración propia

Valores lingüísticos de $P_R$	Descripción	Número Difuso
Alta (H)	Probabilidad alta	(0.7, 0.9, 1, 1)
Media (M)	Probabilidad media	(0.2, 0.5, 0.5, 0.8)
Baja (L)	Probabilidad baja	(0, 0, 0.1, 0.3)

Tabla 3. Variables lingüísticas de la probabilidad. Fuente: Elaboración propia

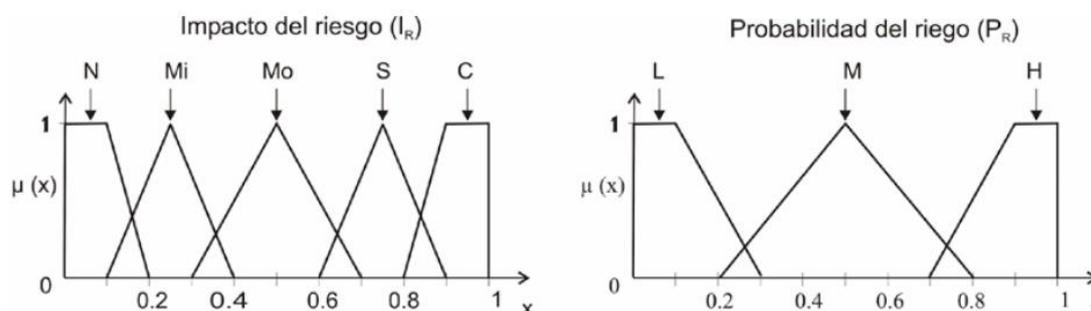


Figura 5. Funciones de pertenencia de IR y PR. Fuente: XVI Congreso Internacional de Ingeniería

Las evaluaciones individuales de cada miembro del grupo de trabajo se combinan en una valoración global difusa mediante el uso de la media aritmética difusa, según las siguientes fórmulas:

$$P_{Ri} = \frac{1}{m} * \sum_{n=1}^m P_{Ri}^m = \frac{1}{m} * (P_{Ri}^1 \oplus P_{Ri}^2 \oplus \dots) \quad (11)$$

$$I_{Ri} = \frac{1}{m} * \sum_{n=1}^m I_{Ri}^m = \frac{1}{m} * (I_{Ri}^1 \oplus I_{Ri}^2 \oplus \dots) \quad (12)$$

Siendo:

- $i$  cada uno de los riesgos identificados
- $m$  número de miembros del grupo de trabajo
- $*$  la multiplicación por un escalar
- $\oplus$  la suma difusa

Una vez calculados  $I_R$  y  $P_R$ , se puede calcular el factor de riesgo  $F_R$  siguiendo la misma ecuación:

$$F_{Ri} = I_{Ri} \otimes P_{Ri} \quad (13)$$

### 6.2.7 Transformación a valores reales

Una vez calculado el factor de riesgo en forma de número difuso, se procede a la defuzzificación. Existen varios métodos para llevar a cabo la transformación, de los cuales se ha elegido el método de centroide:

$$(F_{Ri})_t = \frac{\int_0^1 x F_{Ri}(x) d(x)}{\int_0^1 F_{Ri}(x) d(x)} \quad (14)$$

### 6.2.8 Clasificación del Factor Riesgo

Por último, se clasifican los riesgos en base a su impacto en diferentes categorías. Estas categorías están definidas según el siguiente criterio:

- Si  $(F_{Ri})_t$  está entre 0 y 0.2, entonces el riesgo  $R_i$  se considera Despreciable y pertenece a la clase I.
- Si  $(F_{Ri})_t$  está entre 0.2 y 0.5, entonces el riesgo  $R_i$  se considera Aceptable y pertenece a la clase II.
- Si  $(F_{Ri})_t$  está entre 0.5 y 0.8, entonces el riesgo  $R_i$  se considera No Aceptable y pertenece a la clase III.
- Si  $(F_{Ri})_t$  está entre 0.8 y 1, entonces el riesgo  $R_i$  se considera Intolerable y pertenece a la clase IV.

## 7 Aplicación al caso práctico

El caso de estudio seleccionado es un anteproyecto de una planta solar fotovoltaica de 4,125 MW de 64.979,45 m<sup>2</sup> localizada en el término municipal de Ayamonte, Huelva (Figura 6). El objetivo de esta planta es generar electricidad a partir de la energía solar de manera eficiente y sostenible para luego verterla en la red eléctrica de España.

El promotor del proyecto es la sociedad CLERE IBERICA 3, S.L.U. y el equipo redactor está compuesto únicamente por el proyectista Cándido Díaz Guerrero, Ingeniero Técnico Industrial de la empresa GURU ENERGY S.L. con N.º Colegiado 1.646 COITIH.

La ubicación escogida para este proyecto es una parcela al este de Ayamonte. La razón por lo que se ha elegido esta ubicación en concreto es la alta cantidad de radiación solar en la provincia de Huelva, característica que permite maximizar la potencia de la instalación.

La parcela se encuentra muy cerca del golfo de Cádiz, a unos 8 km aproximadamente. El emplazamiento cuenta además con la característica de estar localizado al lado de las marismas de Isla Cristina, un terreno pantanoso muy húmedo. Esta información se puede apreciar en la Figura 6.



Figura 6. Ubicación de la planta fotovoltaica. Fuente: Anteproyecto planta solar fotovoltaica Ayamonte.

### 7.1 Descripción del proyecto

La localización de la planta se puede contemplar en la Figura 7, donde se aprecian los dos tipos de paneles fotovoltaicos usados en la instalación, en verde los seguidores y en azul las mesas.

Las principales características del proyecto se indican en la tabla 4:

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS	
Potencia nominal	4.125,00 kWn

Potencia pico	4.744,30 kWp
Tipo de módulo	Monocristalino PERC
Número Strings	328
Número Inversores	33
Número Módulos	8.626

Tabla 4. Características principales del proyecto. Fuente: Elaboración propia

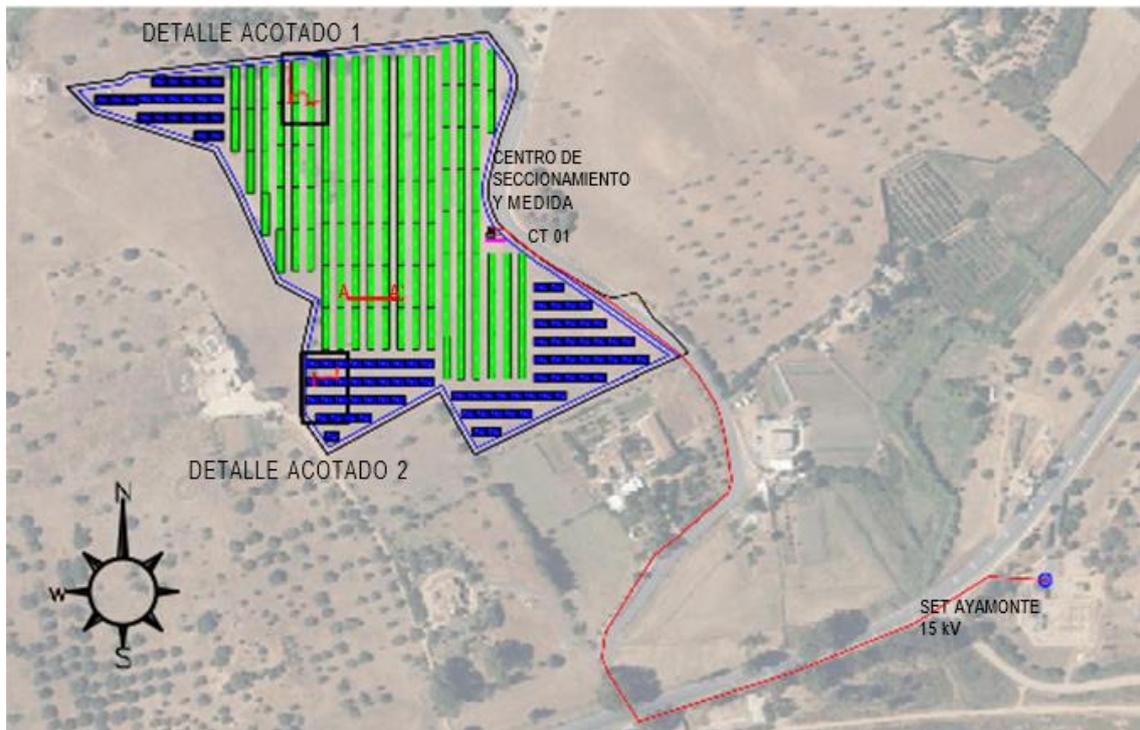


Figura 7. Vista aérea del proyecto. Fuente: Anteproyecto planta solar fotovoltaica Ayamonte.

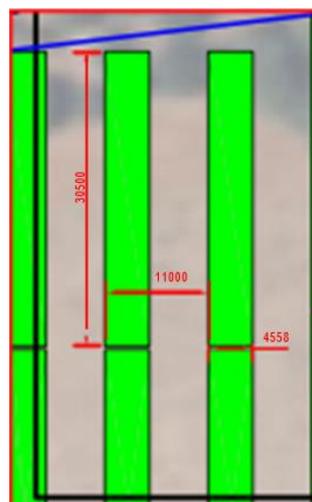


Figura 8. Detalle acotado 1. Fuente: Anteproyecto planta solar fotovoltaica Ayamonte.

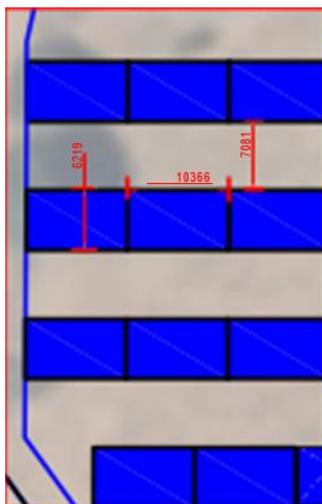


Figura 10. Leyenda de la figura 5. Fuente: Anteproyecto planta solar fotovoltaica Ayamonte.

Los componentes de la instalación son:

- Módulo fotovoltaico.
- Inversor.
- Centro de transformación.
- Instalación eléctrica
- Canalizaciones.
- Red de puesta a tierra.
- Cuadros eléctricos
- Equipos de medida.
- Servicios auxiliares.

En la figura 11 se puede ver la posición de cada componente y apreciar cómo están unidos entre ellos.



## 7.2 Descripción del proceso

En este apartado se procede a describir cada componente de la instalación, detallando su funcionamiento y características técnicas.

### 7.2.1 Módulo fotovoltaico

El módulo fotovoltaico es el componente que contiene las células fotovoltaicas encargadas de la generación de electricidad. Además también tiene un vidrio protector y se coloca sobre un marco de aluminio.

En el caso de estudio seleccionado, el modelo del módulo es el JIMKO JKM550M-72HL4. Las características del modelo se indican en la tabla 5:

Características mecánicas	
Dimensiones	2274*1134*35 mm
Peso	28,9 kg
Vidrio protector	3,2mm vidrio templado
Marco	Aleación de aluminio anodizado

Tabla 5. Características mecánicas del módulo JIMKO JKM550M-72HL4. Fuente: Ficha técnica del fabricante.

La planta fotovoltaica está compuesta por dos tipos de paneles fotovoltaicos, los seguidores y las mesas. El primer tipo corresponde a los paneles con dispositivos mecánicos que se utilizan para orientar los paneles solares hacia el sol durante el día. Esto permite que los paneles reciban la mayor cantidad de luz solar posible y, por lo tanto, generen la mayor cantidad de energía eléctrica. En general, los seguidores pueden aumentar significativamente la eficiencia de los paneles solares y, por lo tanto, son una opción comúnmente utilizada en sistemas fotovoltaicos de gran escala. En la tabla 6 se indican las características técnicas de los seguidores.

Los paneles tipo mesa no tienen este tipo de tecnología, por lo tanto se encuentran fijos y no tienen ningún movimiento ni rotación durante el día. Las características técnicas de las mesas se recogen en la tabla 7.

CARACTERÍSTICAS SEGUIDORES	
Potencia nominal	2.875,00 kW
Potencia pico	3,289,00 kW
Tipo de seguimiento	Tracker 1 eje 2x26
Separación eje-eje	11,0 m
Número Trackers	115
Número Strings	230
Número Inversores	23
Número Módulos	5.980

Tabla 6. Características de los Strings tipo Seguidores. Fuente: Anteproyecto planta solar fotovoltaica Ayamonte.

CARACTERÍSTICAS MESAS	
Potencia nominal	1.250,00 kW
Potencia pico	1.455,30 kW
Separación inicio-inicio	13,3 m
Número Mesas	98 (3x9)
Número Strings	98
Número Inversores	10
Número Módulos	2.646

Tabla 7. Características de los Strings tipo Mesa. Fuente: Anteproyecto planta solar fotovoltaica Ayamonte

### 7.2.2 Inversores

Los inversores se encargan de transformar la corriente continua producida por los módulos a corriente alterna a la vez que se modifica el nivel de tensión.

El modelo escogido en este caso de estudio es SG125HX del fabricante Sungrow. Este tipo de inversor es de potencia con salida trifásica con conexión a red de 50Hz. Las características principales del inversor se pueden ver en el anexo.

### 7.2.3 Centro de Transformación

La instalación consta de un centro de transformación con el objetivo de elevar la tensión de salida de los inversores, para llevar esta electricidad producida al punto de conexión y así verterla en la red eléctrica. Con esta acción, se reducen las pérdidas por el efecto Joule en el transporte de la electricidad.

El centro de transformación cuenta con una potencia de 4500 kVA y está compuesto por:

- Container de dimensiones 6.058 m x 2.438 m x 2.896 m.
- Celdas de entrada y salida SF6.
- 1 celda de protección del transformador.
- 1 transformador de 4.500 kVA. 0.8: 15/20 kV.
- Cuadro de baja tensión de generación.
- Cuadro de baja tensión de alimentación auxiliar.
- Cuadro de control / monitorización.
- Red de tierras de protección y servicio.
- Conexiones eléctricas entre los diferentes componentes.

La corriente de salida del transformador se encuentra a 15/20 kV.

El transformador cuenta con refrigeración ONAN (Oil Natural Air Natural) como método de refrigeración además de contar con las siguientes características:

- Aptos para instalación en interior.
- Frecuencia: 50 Hz.

- Pérdidas en vacío del 0.1% y del 1% en el cobre.
- Temperatura ambiente entre -20 y 50°C.
- Sensor de temperatura.
- Aislamiento galvánico y con salida de bornes para PAT (Puesta A Tierra) de pantalla electrostática.
- Depósito de retención de aceite.

#### 7.2.4 Instalación Eléctrica

La instalación eléctrica agrupa todas las conexiones entre los componentes y define el tipo de cableado necesario para cada tramo.

Se denomina cableado de baja tensión al tramo entre la generación de electricidad en los módulos y el inversor. Una vez generada la electricidad, esta corriente DC se transporta a través de cables de cobre unipolares de tensión 0,6/1KV. Se seleccionan cables tipo RV 0.6/1 kV. Los módulos están unidos por los propios cables y llegan al inversor y se consideran como perteneciente a la Clase II, aparato con doble aislamiento eléctrico es uno que ha sido diseñado de tal forma que no requiere una toma a tierra de seguridad eléctrica.

Para el tramo de AC del inversor hasta el transformador se opta por usar aluminio 0.6/1kVca con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE).

Para el tramo desde el centro de transformación hasta el centro de seccionamiento y medida se utiliza un conductor Eprotenax Compact HEPR 20 KV instalado bajo tubo en canalización subterránea.

Para la evacuación de la electricidad, desde el centro de seccionamiento y medida hasta el punto de conexión, se usa una línea de media tensión aéreo/subterránea de tensión 15kV/20kV.

#### 7.2.5 Canalizaciones

Las canalizaciones sirven para proteger y ocultar el cableado. Proporcionan una forma segura y ordenada de llevar los cables a través de la instalación fotovoltaica, evitando que se dañen.

En el caso de estudio, las canalizaciones usadas son zanjas de dimensiones 0,60, 0,80 o 1 m de ancho y 1 o 1,20 m de profundidad, en función del número y tipo de cables que aloje.

Según las especificaciones: Los cables se tenderán bajo tubo de PVC corrugado o directamente enterrados siempre que lo permitan. Los tubos de protección / canaletas deben ser de material resistente al agua y a la radiación UV.

### 7.2.6 Red de Tierra

La puesta a tierra es una parte esencial de cualquier instalación eléctrica y cumple varias funciones importantes para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de los dispositivos eléctricos.

La puesta a tierra sirve para proteger a las personas de las descargas eléctricas y para asegurar el funcionamiento adecuado de los dispositivos eléctricos. Al conectar un dispositivo eléctrico a la puesta a tierra, se establece una conexión a tierra que puede ayudar a proteger al dispositivo de daños causados por sobretensiones o sobrecorrientes.

En el caso de estudio, la protección se realiza con unos anillos de cable de Cu para conectar todas las estructuras metálicas (estructura de soporte, carcasa de cuadros, bandejas porta cables) a cada anillo y de ahí baja un cable que acaba en una pica enterrada de puesta a tierra.

En resumen, la puesta a tierra es una parte esencial de cualquier instalación eléctrica y cumple varias funciones importantes para garantizar la seguridad y el correcto funcionamiento de los dispositivos eléctricos.

### 7.2.7 Cuadros Eléctricos

A la salida de los inversores se encuentran los cuadros eléctricos conteniendo los elementos de protección contra cortocircuitos y sobrecorrientes.

Estos cuadros cumplen con las especificaciones vigentes:

- UNE-EN relativa a los Cuadros eléctricos de baja tensión.
- NSEG5 de instalaciones de corrientes fuertes.

### 7.2.8 Equipos de Medida

Todas las medidas se realizan en el centro de seccionamiento y medida. El cableado y los elementos de protección son conformes al Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

### 7.2.9 Servicios Auxiliares

Los servicios auxiliares son los equipos encargados de proporcionar la electricidad necesaria al resto de elementos. Los principales servicios auxiliares son:

- Estación Meteorológica
- Sistema de monitorización y control
- Sistema de seguridad.

#### *7.2.9.1 Estación meteorológica*

La estación meteorológica cuenta con diversos sensores para medir los parámetros necesarios de la instalación. Los parámetros a medir son: Irradiación solar, velocidad y dirección del viento, humedad relativa, precipitación, presión atmosférica y temperaturas del módulo y del ambiente.

#### *7.2.9.2 Sistema de monitorización y control*

Este sistema se encuentra en el edificio de control y su misión es controlar todos los parámetros y variables de la instalación. El equipo toma los datos de los inversores y de los sensores de la estación meteorológica a través de cables de fibra óptica y tarjetas analógicas.

#### *7.2.9.3 Sistemas de seguridad*

El sistema de seguridad está formado por cámaras de video IP con objetivo de mantener la seguridad de la instalación contra robos o intrusiones.

## 7.3 Análisis de Riesgos

El objetivo de este proyecto es evaluar los posibles riesgos y efectos sobre el medio ambiente. Por lo tanto, en los siguientes apartados se procede a aplicar cada técnica descrita anteriormente para ejecutar un correcto proceso de apreciación de riesgo. Se va a seguir el orden descrito en la figura 3, que consta de: por una parte identificación de riesgos y por otra parte evaluación de los riesgos identificados.

### 7.3.1 Identificación de Riesgos

El primer paso a seguir es identificar todos los accidentes graves o catástrofes que puedan resultar dañinos para el medio ambiente.

Por eso se hace un amplio estudio de todos los accidentes graves posibles o catástrofes que puedan tener un impacto negativo en el medio ambiente. Para esta parte se cuenta con ayuda externa, en este caso de el tutor de este proyecto José Luis Fuentes BARGUES, doctor ingeniero industrial, y en Alfonso ESTEVAN, un ingeniero de la energía especializado en plantas fotovoltaicas. En este apartado se trata de identificar todos los posibles riesgos asociados a accidentes graves o catástrofes, a través del conocimiento extenso del funcionamiento de una planta fotovoltaica y las posibles situaciones que surgen respecto a accidentes graves y catástrofes.

En el caso de estudio elegido, una planta fotovoltaica, no se gestionan ni vierten residuos ni existe un traslado de materia ni tampoco ninguna reacción química. La única acción que hay es la generación de electricidad a través del efecto fotovoltaico.

Se analiza cada componente individualmente para ver sus posibles catástrofes asociadas y posibles efectos adversos sobre el medio ambiente.

#### 7.3.1.1 Identificación de nodos

1. Generación de electricidad debido al efecto fotovoltaico
2. Transporte de la electricidad generada al inversor
3. Inversión de la electricidad de DC a AC
4. Transporte de la electricidad al transformador
5. Transformación de la electricidad de 4.500 kVA. 0.8: 15/20 kV.
6. Transporte de la electricidad al centro de medición
7. Medición de los valores necesarios/Centro de monitorización y control
8. Servicios auxiliares incluyendo el cuadro de protección
9. Transporte al punto de conexión

#### 7.3.1.2 Accidentes graves posibles:

- Fallos en la corriente eléctrica: Sobrecorrientes y cortocircuitos debido a un fallo en la instalación (fallo de aislamiento, fallo fase-masa...) además de la ausencia de actuación del interruptor diferencial y otros actuadores (fusibles, interruptor

automático...). Este accidente puede ocurrir en cualquier parte de la instalación, por lo tanto se separará cada caso distinto dependiendo de donde ocurra el fallo.

- Incendio por causas eléctricas. Mismas condiciones que el accidente anterior, el incendio puede ocurrir en los módulos, en los cables, canalizaciones, en el inversor o en el centro de transformación.
- Caída de un módulo fotovoltaico por fallo en la estructura de soporte.
- Combustión/explosión de las baterías dedicadas al almacenamiento de la energía producida. (En este caso no hay almacenamiento de energía, por lo tanto no aplica).

#### 7.3.1.3 *Catástrofes posibles:*

- Tormenta eléctrica causante de rayos.
- Granizo o nevada que pueda dañar la instalación.
- Rachas de vientos extremadamente altas.
- Deslizamientos y desprendimientos de terrenos en laderas.
- Seísmos.
- Temporales con posibles inundaciones como consecuencia de ellos.
- Incendio provocado por alrededores.

Ahora que ya se plantea una idea general de todo los accidentes graves y catástrofes posibles, se empieza a analizar la gravedad del fallo en cada componente de manera individual con la técnica SWIFT.

#### 7.3.1.4 *Identificación de riesgos mediante la técnica SWIFT*

Para identificar riesgos en los nodos, se utiliza la técnica Swift, que consiste en plantear preguntas del tipo "¿Qué sucedería si...?" en cada uno de ellos. De esta forma, se obtiene una lista de peligros junto con sus respectivas consecuencias o daños. Se procede a formular diferentes preguntas para cada nodo, siguiendo el mismo orden establecido en el apartado anterior, y se responden inmediatamente después.

### 1 Generación de electricidad

#### 1.1 ¿Qué pasaría si los módulos fotovoltaicos se sobrecalentasen y llegasen a temperaturas excesivamente altas?

En el caso de tener temperaturas excesivamente altas en el módulo, es posible que las células fotovoltaicas se incendien al ser el material de las células (silicio)

combustible en condiciones específicas. Según el fabricante, una temperatura excesivamente alta corresponde a  $T < 85^{\circ}\text{C}$ , ya que el funcionamiento del módulo está entre el  $-40$  y  $85^{\circ}\text{C}$ .

#### 1.2 ¿Y qué pasaría si se incendia el módulo?

Esto podría causar un incendio mayor si la llama se propagase a través de los módulos fotovoltaicos.

#### 1.3 ¿Qué pasaría si hubiese un exceso de corriente en los módulos fotovoltaicos?

En el caso de producir un exceso de corriente en un módulo fotovoltaico, sería posible que las células fotovoltaicas se sobrecalentasen y llegasen a una temperatura peligrosamente alta, pudiendo causar un peligro como el mencionado anterior.

También es posible que un exceso de corriente afecte negativamente al cableado en el módulo, debido a que estos cables se dimensionan para soportar corrientes nominales de trabajo. Un exceso de corriente en el módulo fotovoltaico puede causar fallos en los cables y un riesgo de que estos se incendien.

Según el fabricante, un exceso de corriente corresponde a intensidad mayor que  $13,85\text{A}$ . Para una corriente mayor que  $25\text{A}$  salta la protección incorporada en el módulo.

#### 1.4 ¿Y si no salta la protección?

Si no salta la protección, entonces el exceso de corriente no es controlado y se puede originar un incendio por exceso de corriente en el módulo.

#### 1.5 ¿Y qué pasaría si se incendia el módulo?

Si se incendia el módulo, la llama se podría propagar por el resto de la instalación a través de las plantas del terreno.

#### 1.6 ¿Y si la estructura de soporte del módulo fotovoltaico fallase?

La estructura puede resistir a temperaturas de entre  $-20$  y  $50^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto, temperaturas fuera de este rango podría causar fallos estructurales.

En este caso se desmoronaría toda la estructura y posiblemente causaría una rotura de los cables.

Como consecuencia a esto, el terreno podría verse dañado por dicha caída y lleno de escombros de los componentes del módulo (silicio de las células fotovoltaicas, trozos de vidrio del vidrio protector del módulo).

#### 1.7 ¿Y que pasaría con los componentes del módulo en el terreno?

Los escombros no producirían ningún efecto adverso sobre el medio ambiente aunque deberían ser recogidos del terreno.

#### 1.8 ¿Y si un rayo impactase en el módulo fotovoltaico?

Según AEMET en su informe de “Climatología de descargas eléctricas y de días de tormenta en España” de 2019 un rayo puede descargar hasta 100MV aproximadamente. Este exceso de diferencia de potencial produciría una sobrecarga en las células del módulo. Esta sobrecarga podría producir un incendio del módulo.

#### 1.9 ¿Y si impactase granizo en el módulo?

Las células fotovoltaicas impactadas serían dañadas y perderían su capacidad de producir corriente continua. Un fuerte impacto podría causar la rotura del panel de cristal y dañar las células fotovoltaicas. El cristal protector del módulo tiene un grosor de 3,2mm según la ficha técnica, por lo tanto haría falta un granizo fuerte y de grandes dimensiones para romper el cristal protector.

#### 1.10 ¿Y si una racha de viento afectase a los módulos?

En este caso, los módulos podrían desmoronarse y romper su cristal protector además de dañar las células fotovoltaicas. En caso extremo, los módulos podrían salir volando.

#### 1.11 ¿Y que pasaría si algún módulo despegase del terreno?

Probablemente el módulo despegado impactaría contra otro módulo y se dañarían ambos componentes.

#### 1.12 ¿Y si hubiese un desprendimiento de terreno que impactase contra los módulos?

En este caso los módulos se verían dañados y se rompería el cristal protector además de dañar las células fotovoltaicas. En el caso de estudio la orografía que ocupa la instalación fotovoltaica es plano y sin relieve, por lo tanto, este supuesto no se tiene en cuenta.

#### 1.13 ¿Y cómo afectaría un seísmo al módulo fotovoltaico?

Un seísmo de alta escala podría desmoronar la estructura fotovoltaica y dañar el cristal protector y las células fotovoltaicas al impactar el módulo contra el suelo.

#### 1.14 Y si hubiese un temporal fuerte en la zona del parque fotovoltaico?

En este caso las células no se verían afectados al estar protegidos por el cristal protector.

#### 1.15 ¿Y si el fuerte temporal produce un embarramiento del terreno?

En este caso debido a la inestabilidad del terreno se podría producir desmoronamientos de los módulos al perder su estabilidad.

#### 1.16 ¿Y si en vez de un temporal fuese una inundación?

En este caso el agua podría penetrar en las células y provocar cortocircuitos o incluso dañarlos irreparablemente.

## 2 Transporte de la electricidad generada al inversor

### 2.1 ¿Qué pasaría si hubiese un fallo eléctrico de aislamiento en el transporte de la electricidad generada?

En este caso habría un peligro de electrocución al tocar el cableado, al estar el aislamiento a una alta tensión. En este caso los cables posiblemente se sobrecalentarían y dejarían de producir electricidad. Es posible que debido al sobrecalentamiento de los cables, estos empezasen a incendiarse.

### 2.2 ¿Y si este fallo provocase un incendio del aislante cableado?

El incendio del cableado se podría propagar hacia los módulos. En el caso de estudio los cables cumplen con la normativa de no propagación de llama e incendio según las normas EN 60332-1-2 y EN 50305-9 respectivamente.

### 2.3 ¿Qué pasaría si impactase un rayo en el cableado?

Esto no es posible debido a que el cableado de corriente continua circula por debajo de los módulos.

Si un rayo impactara en un cableado de baja tensión, podría causar una sobretensión transitoria en la línea, lo que podría dañar los equipos conectados, incluyendo interruptores, transformadores y otros componentes eléctricos. Además, una sobretensión transitoria podría generar un fallo de corriente en el sistema, lo que podría causar un incendio.

### 2.4 Y si impactase granizo en el cableado?

Al estar el cableado de corriente continua debajo de los módulos, este caso no se contempla.

Si granizo impactase en el cableado de baja tensión, podría causar daños físicos en los conductores y otros componentes del sistema eléctrico. El impacto de los granos de hielo podría desgastar la aislación de los conductores y provocar la exposición de materiales conductor, lo que podría generar cortocircuitos y fallos en el sistema. Además, el granizo podría afectar a los elementos de protección y causar la interrupción del suministro de energía eléctrica. En el caso de estudio al estar el cableado en canalizaciones, el impacto de granizo en el cableado no es posible.

## 2.5 ¿Y cómo afectaría una fuerte racha de viento al cableado?

El cableado se encuentra fijado a la estructura por lo tanto, el viento no puede afectar adversamente al cableado.

Una racha fuerte de viento puede afectar un cableado de baja tensión de varias maneras. Primero, el viento puede desplazar o dañar las estructuras de soporte de los cables, lo que puede provocar la interrupción del suministro de energía eléctrica y causar daños en el sistema. Además, el viento puede arrastrar objetos voladores y provocar cortocircuitos y fallas en el cableado.

## 2.6 ¿Y un desprendimiento de terreno?

Al estar el cableado fijo a la estructura de los módulos no corren riesgo por desprendimiento.

Los cables podrían verse dañados o cortados, podría haber interrupciones en el suministro de energía eléctrica y fallos en el sistema. Además, el deslizamiento de tierra podría causar daños o desplazamiento en las estructuras de soporte de los cables.

## 2.7 ¿Y un seísmo?

En caso de seísmo, el cableado podría verse dañado si los módulos se desmoronasen debido a las vibraciones del seísmo.

Un seísmo podría afectar significativamente un cableado de baja tensión. Las vibraciones y movimientos fuertes causados por el terremoto podrían dañar o cortar los cables, lo que podría provocar interrupciones en el suministro de energía eléctrica.

## 2.8 ¿Y un fuerte temporal o inundación?

Al estar el cableado resguardado por los módulos, un fuerte temporal no les afectaría.

En caso de inundación es posible que entre agua en el cableado y provoque un fallo en el cableado.

Podría causar penetración de agua en los puntos de entrada o salida del cableado, lo que puede causar cortocircuitos y daños en los componentes electrónicos. Además, la acumulación de agua en el suelo o en estructuras cercanas puede provocar la entrada de agua en las canalizaciones.

# 3 Inversión de la electricidad de DC a AC

## 3.1 ¿Qué pasaría si los inversores se sobrecalentasen?

Si los inversores se sobrecalentasen posiblemente podrían incendiarse y crear un incendio en la zona de los inversores con la posibilidad de propagarse a el resto de los componentes del proyecto. El rango de temperaturas del inversor

es de -30 a 60°C por lo tanto haría falta una temperatura superior a 60°C para producir este sobrecalentamiento.

### 3.2 ¿Y si hubiese una sobrecorriente o cortocircuito en el inversor?

EL inversor cuenta con protección contra sobrecorrientes y cortocircuitos según la ficha técnica. En el caso de fallo de la protección, habría un fallo interno en el inversor y consecuentemente podría haber un peligro de incendio del cableado con posibilidad de propagarse por el resto del proyecto.

### 3.3 ¿Y si un rayo impactase en el inversor?

En ese caso es probable que se produjera daños graves en el equipo y en otros componentes eléctricos cercanos. La corriente eléctrica intensa generada por el rayo podría sobrepasar la capacidad nominal del inversor y otros componentes, lo que podría provocar fallos en el sistema y posiblemente incendios. El inversor se encuentra resguardado por el propio módulo por lo que el módulo protege al inversor de este tipo de casos.

### 3.4 ¿Y si impactase granizo?

Si granizo impactase en el inversor de una instalación fotovoltaica, es probable que se produjera daño en la carcasa y otros componentes externos del equipo. El impacto del granizo podría causar grietas en la carcasa o en las piezas de plástico que protegen los componentes electrónicos, lo que permitiría la entrada de agua y otros elementos que podrían dañar el equipo. Tenemos el mismo caso que el apartado anterior, donde el inversor se encuentra resguardado por el propio módulo por lo que el módulo protege al inversor de este tipo de casos.

### 3.5 ¿Y cómo le afectaría una fuerte racha de viento?

Si una racha de viento fuerte impactara en un inversor de una instalación fotovoltaica, es posible que se produjera un desplazamiento o daño en la estructura del equipo.

### 3.6 ¿Y un seísmo?

Es posible que se produzcan deformaciones en la estructura del inversor, rotura de las patas de montaje, o daños internos en el equipo.

### 3.7 ¿Y un fuerte temporal?

En el caso de un temporal, el inversor se encuentra resguardado por los módulos, por lo tanto no habría ningún efecto adverso.

### 3.8 ¿Y una inundación?

En este caso el agua podría penetrar en los inversores y provocar cortocircuitos o incluso dañarlos y dejar de invertir la corriente. En el inversor del caso de estudio, este cuenta con el grado de protección IP 66, por lo tanto, está protegido frente a grandes volúmenes de agua.

#### 4 Transporte de la electricidad al transformador

##### 4.1 Qué pasaría si hubiese un fallo eléctrico de aislamiento en el transporte de la electricidad generada?

En este caso habría un peligro de electrocución al tocar el cableado, al estar el aislamiento a una alta tensión. En este caso los cables posiblemente se sobrecalentarían y dejarían de producir electricidad. Es posible que debido al sobrecalentamiento de los cables, estos empezasen a incendiarse.

##### 4.2 ¿Y si este fallo provocase un incendio del aislante cableado?

El incendio del cableado se podría propagar por el resto de la instalación. En el caso de estudio los cables cumplen con la norma UNE-21123.

##### 4.3 ¿Qué pasaría si impactase un rayo en el cableado?

Esto es muy improbable debido a que el cableado de corriente alterna circula por las canalizaciones enterradas.

Si un rayo impactara en un cableado de corriente alterna, podría causar una sobretensión transitoria en la línea, lo que podría dañar los equipos conectados, incluyendo interruptores, transformadores y otros componentes eléctricos. Además, una sobretensión transitoria podría generar un fallo de corriente en el sistema, lo que podría causar un incendio.

##### 4.4 Y si impactase granizo en el cableado?

Debido a que el cableado de corriente alterna circula por las canalizaciones enterradas, este caso no se contempla.

##### 4.5 ¿Y cómo afectaría una fuerte racha de viento al cableado?

Debido a que el cableado de corriente alterna circula por las canalizaciones enterradas, este caso no se contempla.

##### 4.6 ¿Y un desprendimiento de terreno?

Debido a que el cableado de corriente alterna circula por las canalizaciones enterradas, este caso no se contempla.

Los cables podrían verse dañados o cortados, podría haber interrupciones en el suministro de energía eléctrica y fallos en el sistema. Además, el deslizamiento de tierra podría causar daños o desplazamiento en las estructuras de soporte de los cables.

#### 4.7 ¿Y un seísmo?

Un seísmo podría afectar significativamente un cableado de baja tensión. Las vibraciones y movimientos fuertes causados por el terremoto podrían dañar o cortar los cables, lo que podría provocar interrupciones en el suministro de energía eléctrica.

#### 4.8 ¿Y un fuerte temporal o inundación?

En caso de inundación es posible que entre agua en el cableado y provoque un fallo en el cableado.

Podría causar penetración de agua en los puntos de entrada o salida del cableado, lo que puede causar cortocircuitos y daños en los componentes electrónicos. Además, la acumulación de agua en el suelo o en estructuras cercanas puede provocar la entrada de agua en las canalizaciones.

#### 4.9 ¿Y qué pasaría con el agua acumulada en las canalizaciones?

En caso de no haber un aislamiento correcto, entraría agua en el cableado y provocaría fallos de corriente. En ese caso, se cortaría la electricidad por el fallo en el cableado.

### 5 Transformación de la electricidad de 4.500 kVA. 0.8: 15/20 kV.

#### 5.1 ¿Qué pasaría si hubiese un fallo de aislamiento en el transformador?

Si hubiese un fallo de aislamiento, toda la estructura del transformador quedaría a alta tensión, causando un alto peligro para cualquier persona que toque la estructura. El fallo de aislamiento tendría estas consecuencias en el caso de fallo de los interruptores diferenciales y automáticos del sistema.

#### 5.2 ¿Y si no saltasen los interruptores del sistema?

En este caso, seguiría circulando corriente y toda la estructura quedaría a alta tensión. Por lo tanto, cualquier persona que entrase en contacto con la estructura recibiría una descarga eléctrica.

#### 5.3 ¿Y si hubiese un fallo de cortocircuito en el transformador?

En caso de haber un fallo de cortocircuito, otra vez habría un peligro de incendio debido al cableado. Otra vez, el fallo de aislamiento tendría estas consecuencias en el caso de fallo de los interruptores diferenciales y automáticos del sistema.

#### 5.4 Y si impactase un rayo en el transformador?

Si un rayo impactase en un transformador en una instalación fotovoltaica, podría ocurrir una descarga eléctrica intensa de unos 100MV según AEMET que pueda dañar o destruir el transformador y otros componentes eléctricos cercanos. La corriente eléctrica causada por el rayo puede generar un

sobrecalentamiento, una sobretensión, o un cortocircuito en el transformador. Al estar el transformador resguardado en el centro de transformación, es complicado que el rayo impacte directamente en el transformador.

#### 5.5 ¿Y si impactase granizo?

Al estar el transformador resguardado en el centro de transformación, el granizo no llegaría a impactar al transformador.

#### 5.6 ¿Y cómo le afectaría una fuerte racha de viento?

Tenemos la misma situación que en el apartado anterior, al estar en transformador resguardado, no hay ningún riesgo.

#### 5.7 ¿Y un seísmo?

En caso de un seísmo, es posible que el container que contiene el transformador se dañe, lo que podría resultar en filtraciones de agua y otros problemas que afectarían el funcionamiento del transformador. Además, el movimiento del suelo durante un terremoto podría causar vibraciones y tensiones en los cables y componentes del transformador, lo que podría resultar en daños estructurales y eléctricos.

#### 5.8 ¿Y un fuerte temporal?

Al estar el transformador resguardado por el container, un temporal no le afectaría.

#### 5.9 ¿Y una inundación?

Una inundación del transformador podría resultar en un cortocircuito y en una interrupción del suministro eléctrico. También podría provocar daños de aislamiento y corrosión de las partes metálicas del transformador. También podría provocar la fuga de aceite del transformador al entorno.

#### 5.10 ¿Y cómo afectaría la fuga de aceite al entorno?

El aceite contiene sustancias tóxicas y podría contaminar el medio ambiente en caso de su fuga.

### 6 Transporte de la electricidad (media tensión) al centro de medición y al punto de conexión

#### 6.1 ¿Qué pasaría si hubiese un fallo eléctrico de aislamiento en el transporte de la electricidad generada?

En esta parte del cableado, este se encuentra enterrado bajo tubo en una canalización. En caso de fallo de aislamiento habría un peligro de electrocución al tocar el cableado, al estar el aislamiento a una alta tensión. En este caso los

cables posiblemente se sobrecalentarían y dejarían de producir electricidad. Es posible que debido al sobrecalentamiento de los cables, estos empezasen a incendiarse.

#### 6.2 ¿Y si este fallo provocase un incendio del aislante cableado?

El incendio del cableado se podría propagar por el resto del cableado de la canalización.

#### 6.3 ¿Qué pasaría si impactase un rayo en el cableado?

Esto es muy improbable debido a que el cableado de media tensión circula por las canalizaciones enterradas.

Si un rayo impactara en un cableado de media tensión, podría causar una sobretensión transitoria en la línea, lo que podría dañar los equipos conectados, incluyendo interruptores, transformadores y otros componentes eléctricos. Además, una sobretensión transitoria podría generar un fallo de corriente en el sistema, lo que podría causar un incendio.

#### 6.4 ¿Y si impactase granizo en el cableado?

Debido a que el cableado de media tensión circula por las canalizaciones enterradas, este caso no se contempla.

#### 6.5 ¿Y cómo afectaría una fuerte racha de viento al cableado?

Debido a que el cableado de media tensión circula por las canalizaciones enterradas, este caso no se contempla.

#### 6.6 ¿Y un desprendimiento de terreno?

Debido a que el cableado de media tensión circula por las canalizaciones enterradas, este caso no se contempla.

#### 6.7 ¿Y un sismo?

Un sismo podría afectar significativamente un cableado de baja tensión. Las vibraciones y movimientos fuertes causados por el terremoto podrían dañar o cortar los cables, lo que podría provocar interrupciones en el suministro de energía eléctrica.

#### 6.8 ¿Y un fuerte temporal o inundación?

En caso de inundación es posible que entre agua en el cableado y provoque un fallo en el cableado.

Podría causar penetración de agua en los puntos de entrada o salida del cableado, lo que puede causar cortocircuitos y daños en los componentes electrónicos. Además, la acumulación de agua en el suelo o en estructuras cercanas puede provocar la entrada de agua en las canalizaciones.

#### 6.9 ¿Y qué pasaría con el agua acumulada en las canalizaciones?

En caso de no haber un aislamiento correcto, entraría agua en el cableado y provocaría fallos de corriente. En ese caso, se cortaría la electricidad por el fallo en el cableado.

### 7 Medición de los valores necesarios

#### 7.1 ¿Qué pasaría si en el centro de medición hubiese un cortocircuito en alguno de los componentes?

En este caso el componente dejaría de funcionar y habría una posibilidad de incendio debido al cortocircuito. Esto sería en caso de fallo de la protección frente a cortocircuitos del sistema.

### 8 Servicios auxiliares

#### 8.1 ¿Qué pasaría si un sensor de la estación meteorológica cortocircuitase?

En este caso el sensor dejaría funcionar con posibilidad de incendiarse en caso de fallo del sistema de protección frente a cortocircuitos del sistema.

#### 8.2 ¿Y si impactase un rayo en uno de estos sensores?

En este caso los sensores recibirían una sobrecarga y dejarían de funcionar con posibilidad de incendiarse.

### 9 Caso Incendios:

#### 9.1 ¿Cómo afectaría un incendio de uno de los componentes al resto de la instalación?

El incendio de uno de los componentes podría propagarse por la instalación en caso de que el terreno de la planta fotovoltaica esté compuesto por flora de fácil propagación de fuego. En caso de que la flora esté húmeda o recientemente tratada por un mantenimiento contra incendios no habría propagación del incendio.

#### 9.2 ¿Y si el incendio proviene de una parcela colindante?

Entonces la propagación del incendio depende completamente del estado del terreno, en casos desfavorables cómo terreno seco y frondoso, el incendio se propagaría por la instalación. Este estado del terreno sería causa de una falta de atención y mantenimiento.

### 7.3.2 Evaluación de Riesgos

Mediante la técnica SWIFT cualitativa, es posible identificar los riesgos, y con la técnica de conjuntos difusos cuantitativa se le asigna una valoración difusa a cada uno de ellos. Esto nos permite priorizarlos de manera adecuada y tomar decisiones informadas respecto a su gestión.

#### 7.3.2.1 Evaluación por la teoría de los conjuntos difusos

Con esta técnica somos capaces de evaluar cuantitativamente los riesgos identificados con la técnica SWIFT. Analizamos paso a paso los riesgos identificados y clasificamos el riesgo con su probabilidad e impacto asociado.

El primer paso es enumerar todos los riesgos identificados en el apartado anterior:

Caso	i
Sobrecalentamiento del módulo	1
Sobrecarga del módulo	2
Fallo en la estructura del módulo	3
Impacto de un rayo en el módulo	4
Impacto de granizo en el módulo	5
Racha de viento afectando al módulo	6
Desprendimiento del terreno afectando al módulo	7
Seísmo afectando al módulo	8
Temporal fuerte afectando al módulo	9
Inundación afectando al módulo	10
Fallo de Aislamiento en el cableado de CC	11
Impacto de rayo en el cableado de CC	12
Impacto de granizo en el cableado de CC	13
Racha de viento afectando al cableado de CC	14
Desprendimiento del terreno afectando al cableado de CC	15
Seísmo afectando al cableado de CC	16
Inundación en el cableado de CC	17

Sobrecalentamiento de los inversores	18
Sobrecorriente o cortocircuito en los inversores	19
Impacto de un rayo en el inversor	20
Impacto de granizo en el inversor	21
Racha de viento afectando al inversor	22
Desprendimiento del terreno afectando al inversor	23
Seísmo afectando al inversor	24
Inundación del inversor	25
Fallo de Aislamiento en el cableado de baja tensión	26
Impacto de rayo en el cableado de baja tensión	27
Impacto de granizo en el cableado de baja tensión	28
Racha de viento afectando al cableado de baja tensión	29
Desprendimiento del terreno afectando al cableado de baja tensión	30
Seísmo afectando al cableado de baja tensión	31
Inundación en el cableado de baja tensión	32
Fallo de Aislamiento en el transformador	33
Fallo de cortocircuito en el transformador	34
Impacto de un rayo en el transformador	35
Impacto de granizo en el transformador	36
Racha de viento afectando al transformador	37
Seísmo afectando al transformador	38
Temporal afectando al transformador	39
Inundación del transformador	40
Fuga de aceite en el transformador	41
Fallo de Aislamiento en el cableado de media tensión	42
Impacto de rayo en el cableado de media tensión	43

Impacto de granizo en el cableado de media tensión	44
Racha de viento afectando al cableado de media tensión	45
Desprendimiento del terreno afectando al cableado de media tensión	46
Seísmo afectando al cableado de media tensión	47
Inundación en el cableado de media tensión	48
cortocircuito de un componente del centro de medición	49
cortocircuito de un componente de la estación meteorológica	50
Incendio de uno de los componentes	51
Incendio de una parcela colindante	52

Tabla 8.Enumeración de todos los riesgos identificados. Fuente: Elaboración propia

#### 7.3.2.1.1 Asignación de variables lingüísticas a los nodos

Una vez completado el primer paso, se introduce la ecuación perteneciente al factor riesgo y clasificamos a cada riesgo identificado su probabilidad e impacto. Para completar la clasificación de probabilidad e impacto, acudimos a las tablas de clasificación de las variables lingüísticas del apartado 6.2.6.

A los riesgos relativos a las catástrofes de seísmos, granizo e impacto de un rayo se le atribuye una probabilidad baja debido al emplazamiento del caso de estudio y la ausencia de granizo, tormentas eléctricas y seísmos; Ayamonte, Huelva. Además, en el apartado anterior, las potenciales consecuencias de los riesgos producidos por seísmos y granizo son leves, así que se clasifican cómo impacto menor. En el caso de impacto de un rayo en el módulo, inversor, cableado o transformador se clasifica como impacto grave. Esto se debe a la posibilidad de incendio de cualquier componente debido al impacto del rayo además de la peligrosidad de la alta corriente en el componente producida por la descarga eléctrica.

A el riesgo de incendio de parcela colindante se le atribuye una probabilidad media al estar emplazado entre huerta y parajes naturales, e impacto crítico por la peligrosidad de propagación del incendio.

La probabilidad de una inundación o un temporal se clasifica como media al encontrarse el caso de estudio al lado de las Marismas de Isla Cristina. Y respecto a su impacto, las inundaciones del terreno pueden producir fallos en la corriente en el cableado de baja y media tensión debido a su emplazamiento en la canalización, y por eso en esos casos se considera impacto al no haber consecuencias inmediatas respecto al medio ambiente

en caso de inundación de las canalizaciones. El caso de inundaciones de los módulos se considera impacto menor e inundación respecto al inversor se considera también menor por su grado de protección IP66.

Para el caso de las rachas de viento se clasifica como probabilidad media, debido a la posibilidad de fuertes rachas producidas por el oleaje cercano. El impacto sobre el medio ambiente de riesgos derivados por rachas de viento es menor, aunque en casos como el transformador o cableado es despreciable.

Respecto al caso de desprendimiento de terreno, se considera probabilidad baja y riesgo menor al ser el emplazamiento plano y sus potenciales riesgos no muy graves para el medio ambiente.

Relativo a los accidentes graves y fallos de los componentes, se clasifica como probabilidades bajas los riesgos de sobrecalentamiento de los módulos e inversores ya que los inversores se encuentran a la sombra y los módulos nunca van a superar los 85°C, valor máximo de temperatura de trabajo. El riesgo de este sobrecalentamiento es grave al poder resultar en un incendio de los componentes.

El fallo de la estructura soporte del módulo se considera probabilidad baja e impacto menor por sus consecuencias leves en caso de ocurrencia.

Un exceso de corriente en los módulos e inversores se considera como probabilidad baja debido a la baja corriente nominal de trabajo de los módulos y la existencia de los actuadores que intervienen en caso de sobrecorrientes. Aun así, se considera como grave por poder resultar en incendio.

Respecto al fallo de aislamiento en los distintos tipos de cableado (corriente continua, baja tensión y media tensión), se considera probabilidad baja debido al aislamiento existente en el cableado. Estos riesgos se consideran impacto menor al no amenazar al medio ambiente.

Respecto al transformador, un fallo de aislamiento o cortocircuito tiene probabilidad baja debido a la actuación de los componentes de protección e impacto moderado ya que es peligroso para el trabajador en caso de ocurrencia pero no produce efectos adversos para el medio ambiente.

i	IR	PR
1	Grave	Baja
2	Grave	Baja
3	Menor	Baja
4	Grave	Baja

5	Menor	Baja
6	Menor	Media
7	Menor	Baja
8	Moderado	Baja
9	Menor	Media
10	Moderado	Media
11	Grave	Baja
12	Grave	Baja
13	Grave	Baja
14	Menor	Media
15	Menor	Baja
16	Menor	Baja
17	Grave	Baja
18	Grave	Baja
19	Grave	Baja
20	Grave	Baja
21	Menor	Baja
22	Menor	Media
23	Despreciable	Baja
24	Menor	Baja
25	Menor	Media
26	Menor	Baja
27	Grave	Baja
28	Despreciable	Baja
29	Despreciable	Media
30	Menor	Baja

31	Menor	Baja
32	Moderado	Media
33	Moderado	Baja
34	Menor	Baja
35	Grave	Baja
36	Despreciable	Baja
37	Despreciable	Media
38	Menor	Baja
39	Despreciable	Media
40	Moderado	Media
41	Menor	Baja
42	Moderado	Baja
43	Grave	Baja
44	Menor	Media
45	Menor	Media
46	Menor	Baja
47	Menor	Baja
48	Moderado	Media
49	Grave	Baja
50	Grave	Baja
51	Grave	media
52	Crítico	Baja

Tabla 9. Clasificación de las variables lingüísticas de los riesgos identificados. Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso será la conversión de los valores lingüísticos en números difusos. Esta conversión dependerá de las valoraciones asignadas a la probabilidad de ocurrencia y el impacto del riesgo.

En este caso, hay solo un miembro del equipo de trabajo, es decir, la identificación y valoración de riesgos es realizada por una sola persona que está llevando a cabo el proyecto. Por lo tanto, no es necesario calcular una valoración global de los parámetros de riesgo, ya que solo se dispone de una sola valoración. Sin embargo, esto también significa que el líder del proyecto debe ser consciente de su evaluación y asegurarse de que sea precisa, ya que cualquier error en la valoración puede tener consecuencias irreparables en los resultados del análisis.

A continuación, se utiliza la ecuación 13 para calcular el factor de riesgo, que será el resultado de multiplicar la probabilidad de ocurrencia de un riesgo y su impacto.

Los números difusos de cada caso y el resultado de esta operación queda reflejado en la siguiente tabla:

i	IR				PR				FR			
	la	lb	lc	ld	Pa	Pb	Pc	Pd	Fa	Fb	Fc	Fd
1	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
2	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
3	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
4	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
5	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
6	0,1	0,25	0,25	0,4	0,2	0,5	0,5	0,8	0,02	0,125	0,125	0,32
7	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
8	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3	0	0	0,05	0,21
9	0,1	0,25	0,25	0,4	0,2	0,5	0,5	0,8	0,02	0,125	0,125	0,32
10	0,3	0,5	0,5	0,7	0,2	0,5	0,5	0,8	0,06	0,25	0,25	0,56
11	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
12	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
13	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27

14	0,1	0,25	0,25	0,4	0,2	0,5	0,5	0,8	0,02	0,125	0,125	0,32
15	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
16	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
17	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
18	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
19	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
20	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
21	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
22	0,1	0,25	0,25	0,4	0,2	0,5	0,5	0,8	0,02	0,125	0,125	0,32
23	0	0,1	0,1	0,2	0	0	0,1	0,3	0	0	0,01	0,06
24	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
25	0,1	0,25	0,25	0,4	0,2	0,5	0,5	0,8	0,02	0,125	0,125	0,32
26	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
27	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
28	0	0,1	0,1	0,2	0	0	0,1	0,3	0	0	0,01	0,06
29	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,5	0,8	0	0,05	0,05	0,16
30	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
31	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
32	0,3	0,5	0,5	0,7	0,2	0,5	0,5	0,8	0,06	0,25	0,25	0,56
33	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3	0	0	0,05	0,21
34	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
35	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
36	0	0,1	0,1	0,2	0	0	0,1	0,3	0	0	0,01	0,06
37	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,5	0,8	0	0,05	0,05	0,16
38	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
39	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,5	0,8	0	0,05	0,05	0,16

40	0,3	0,5	0,5	0,7	0,2	0,5	0,5	0,8	0,06	0,25	0,25	0,56
41	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
42	0,3	0,5	0,5	0,7	0	0	0,1	0,3	0	0	0,05	0,21
43	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
44	0,1	0,25	0,25	0,4	0,2	0,5	0,5	0,8	0,02	0,125	0,125	0,32
45	0,1	0,25	0,25	0,4	0,2	0,5	0,5	0,8	0,02	0,125	0,125	0,32
46	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
47	0,1	0,25	0,25	0,4	0	0	0,1	0,3	0	0	0,025	0,12
48	0,3	0,5	0,5	0,7	0,2	0,5	0,5	0,8	0,06	0,25	0,25	0,56
49	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
50	0,6	0,75	0,75	0,9	0	0	0,1	0,3	0	0	0,075	0,27
51	0,6	0,75	0,75	0,9	0,2	0,5	0,5	0,8	0,12	0,375	0,375	0,72
52	0,8	0,9	1	1	0	0	0,1	0,3	0	0	0,1	0,3

Tabla 10. Obtención del Factor Riesgo. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se utiliza la ecuación 14 (respectiva al método del centroide) para desfuzzificar los valores difusos y obtener valores reales para cada uno de los riesgos identificados. La ecuación de desfuzzificación permite convertir el valor difuso en un número real representativo del impacto y la probabilidad del riesgo.

i	Fa	Fb	Fc	Fd	Defuzzificación
1	0	0	0,075	0,27	0,0700
2	0	0	0,075	0,27	0,07
3	0	0	0,025	0,12	0,03
4	0	0	0,075	0,27	0,07
5	0	0	0,025	0,12	0,03
6	0,02	0,125	0,125	0,32	0,14
7	0	0	0,025	0,12	0,03

8	0	0	0,05	0,21	0,05
9	0,02	0,125	0,125	0,32	0,14
10	0,06	0,25	0,25	0,56	0,27
11	0	0	0,075	0,27	0,07
12	0	0	0,075	0,27	0,07
13	0	0	0,075	0,27	0,07
14	0,02	0,125	0,125	0,32	0,14
15	0	0	0,025	0,12	0,03
16	0	0	0,025	0,12	0,03
17	0	0	0,075	0,27	0,07
18	0	0	0,075	0,27	0,07
19	0	0	0,075	0,27	0,07
20	0	0	0,075	0,27	0,07
21	0	0	0,025	0,12	0,03
22	0,02	0,125	0,125	0,32	0,14
23	0	0	0,01	0,06	0,01
24	0	0	0,025	0,12	0,03
25	0,02	0,125	0,125	0,32	0,14
26	0	0	0,025	0,12	0,03
27	0	0	0,075	0,27	0,07
28	0	0	0,01	0,06	0,01
29	0	0,05	0,05	0,16	0,06
30	0	0	0,025	0,12	0,03
31	0	0	0,025	0,12	0,03
32	0,06	0,25	0,25	0,56	0,27
33	0	0	0,05	0,21	0,05

34	0	0	0,025	0,12	0,03
35	0	0	0,075	0,27	0,07
36	0	0	0,01	0,06	0,01
37	0	0,05	0,05	0,16	0,06
38	0	0	0,025	0,12	0,03
39	0	0,05	0,05	0,16	0,06
40	0,06	0,25	0,25	0,56	0,27
41	0	0	0,025	0,12	0,03
42	0	0	0,05	0,21	0,05
43	0	0	0,075	0,27	0,07
44	0,02	0,125	0,125	0,32	0,14
45	0,02	0,125	0,125	0,32	0,14
46	0	0	0,025	0,12	0,03
47	0	0	0,025	0,12	0,03
48	0,06	0,25	0,25	0,56	0,27
49	0	0	0,075	0,27	0,07
50	0	0	0,075	0,27	0,07
51	0,12	0,375	0,375	0,72	0,39
52	0	0	0,1	0,3	0,08

Tabla 11. Proceso de desfuzzificación. Fuente: Elaboración propia.

Por fin, gracias a la desfuzzificación, tenemos números concretos que representan el peligro asociado a cada situación reconocida. Al utilizar la siguiente escala que categoriza el factor de riesgo, podemos clasificar cada evento.

- Si  $(F_{Ri})_t$  está entre 0 y 0.2, entonces el riesgo  $R_i$  se considera Despreciable y pertenece a la clase I.
- Si  $(F_{Ri})_t$  está entre 0.2 y 0.5, entonces el riesgo  $R_i$  se considera Aceptable y pertenece a la clase II.

- Si  $(F_{Ri})_t$  está entre 0.5 y 0.8, entonces el riesgo  $R_i$  se considera No Aceptable y pertenece a la clase III.
- Si  $(F_{Ri})_t$  está entre 0.8 y 1, entonces el riesgo  $R_i$  se considera Intolerable y pertenece a la clase IV.

Caso	clase
Sobrecalentamiento del módulo	I
Sobrecarga del módulo	I
Fallo en la estructura del módulo	I
Impacto de un rayo en el módulo	I
Impacto de granizo en el módulo	I
Racha de viento afectando al módulo	I
Desprendimiento del terreno afectando al módulo	I
Seísmo afectando al módulo	I
Temporal fuerte afectando al módulo	I
Inundación afectando al módulo	I
Fallo de Aislamiento en el cableado de CC	I
Impacto de rayo en el cableado de CC	I
Impacto de granizo en el cableado de CC	I
Racha de viento afectando al cableado de CC	I
Desprendimiento del terreno afectando al cableado de CC	I
Seísmo afectando al cableado de CC	I
Inundación en el cableado de CC	I
Sobrecalentamiento de los inversores	I
Sobrecorriente o cortocircuito en los inversores	I
Impacto de un rayo en el inversor	I
Impacto de granizo en el inversor	I
Racha de viento afectando al inversor	I

Desprendimiento del terreno afectando al inversor	I
Seísmo afectando al inversor	I
Inundación del inversor	I
Fallo de Aislamiento en el cableado de baja tensión	I
Impacto de rayo en el cableado de baja tensión	I
Impacto de granizo en el cableado de baja tensión	I
Racha de viento afectando al cableado de baja tensión	I
Desprendimiento del terreno afectando al cableado de baja tensión	I
Seísmo afectando al cableado de baja tensión	I
Inundación en el cableado de baja tensión	II
Fallo de Aislamiento en el transformador	I
Fallo de cortocircuito en el transformador	I
Impacto de un rayo en el transformador	I
Impacto de granizo en el transformador	I
Racha de viento afectando al transformador	I
Seísmo afectando al transformador	I
Temporal afectando al transformador	I
Inundación del transformador	II
Fuga de aceite en el transformador	I
Fallo de Aislamiento en el cableado de media tensión	I
Impacto de rayo en el cableado de media tensión	I
Impacto de granizo en el cableado de media tensión	I
Racha de viento afectando al cableado de media tensión	I
Desprendimiento del terreno afectando al cableado de media tensión	I
Seísmo afectando al cableado de media tensión	I

Inundación en el cableado de media tensión	II
cortocircuito de un componente del centro de medición	I
cortocircuito de un componente de la estación meteorológica	I
Incendio de uno de los componentes	II
Incendio de una parcela colindante	II

*Tabla 12. Categorización de los riesgos. Fuente: Elaboración propia*

### 7.3.3 Medidas Correctivas y preventivas

Una vez realizada la transformación de los valores difusos y clasificados de acuerdo con los intervalos establecidos se analiza cada uno de los riesgos clasificados y se determina su gravedad y la urgencia en la que deben ser abordados. De esta forma, se puede establecer un plan de acción eficaz para minimizar o eliminar los riesgos identificados y garantizar la seguridad de los proyectos en cuestión. Para ello, se debe considerar el impacto potencial de cada riesgo y evaluar las medidas preventivas que son viables y efectivas para cada uno de ellos. De esta manera, se puede implementar un sistema de gestión de riesgos efectivo y asegurar el éxito del proyecto.

La mayoría de riesgos han sido clasificados en el nivel I, es decir, despreciables. Esto quiere decir que la mayoría de las situaciones de riesgo potencial identificadas no son riesgos que sea necesario tratar o corregir. Esto se debe a la gran variedad de situaciones que se han llegado a plantear durante la aplicación de la metodología SWIFT, por ejemplo seísmos o granizo, cuyas probabilidades de ocurrencia son ínfimas en el caso de estudio.

Al no haber riesgos clasificados de nivel III o IV se opta por plantear las medidas correctivas para los riesgos clasificados de nivel II. Estos son:

- Inundación en el cableado de baja tensión
- Inundación en el transformador
- Inundación en el cableado de media tensión
- Incendio de uno de los componentes.
- Incendio de una parcela colindante.

El hecho de que la mayor parte de riesgos con mayor valor de factor riesgo sea por inundaciones concuerda con el emplazamiento del parque fotovoltaico. Las zonas cercanas a las marismas y pantanos suelen tener un nivel de agua más alto que otras áreas. Esto se debe a que estas zonas son propensas a inundaciones debido a las lluvias fuertes, mareas altas o tormentas. En consecuencia, la instalación fotovoltaica en estas áreas tiene más riesgo de sufrir inundaciones que una ubicada en una zona más alta.

La alta probabilidad de inundaciones en la zona también se debe a los flujos de agua. Las marismas y los pantanos son zonas donde se producen flujos de agua que se desplazan con mayor velocidad. Estos flujos pueden ser impredecibles y afectar la instalación fotovoltaica de manera brusca e inesperada.

#### 7.3.3.1 Medidas preventivas respecto a los riesgos por inundaciones

Respecto a los riesgos causados por inundaciones, una medida correctiva que se podría aplicar a el transformador es elevar el elemento. Es decir, elevar este componente a cierta altura para evitar que sea inundado. Esta medida podría ser eficaz para reducir el riesgo de daños causados por inundaciones, ya que el agua no podría llegar a la altura del transformador y, por lo tanto, no podría afectarlo.

Para elevar el transformador, es importante considerar algunos factores clave, como el peso y las dimensiones de este, la capacidad de carga de la plataforma o soporte en el que se instalaría y la estabilidad de la estructura. También es importante asegurarse de que la plataforma o soporte se diseñe y construya de acuerdo con las normas y regulaciones de seguridad aplicables, para garantizar que se cumplan los requisitos de resistencia y estabilidad necesarios.

Respecto a al cableado de baja y media tensión que se encuentra en las canalizaciones, colocar barreras de protección para las canalizaciones puede ser una medida efectiva para reducir el riesgo de inundaciones y minimizar los daños que estas puedan causar. Las barreras de protección pueden ayudar a contener el agua y prevenir su propagación hacia las canalizaciones.

Estas barreras podrían ser de diferentes tipos, como barreras de contención de agua, diques, muros de contención, o incluso sacos de arena. La elección del tipo de barrera ha de cumplir con las normativas y regulaciones de seguridad aplicables.

#### *7.3.3.2 Medidas preventivas respecto al riesgo de incendio de un componente*

El caso del incendio de los componentes se debe principalmente a fallos de protección incluyendo los diferenciales y automáticos. Frente a estos fallos, la probabilidad de incendio provocado por sobrecorrientes o cortocircuitos incrementa. Por lo tanto, la medida correctiva propuesta es: Recambio periódico de los cuadros de protección y control y mantenimiento de estos cuadros.

#### *7.3.3.3 Medidas preventivas respecto al riesgo de incendio de una parcela colindante*

Una medida que podría ayudar a reducir la propagación de un incendio procedente de una parcela colindante es la creación de una zona de seguridad alrededor de la instalación. Esta zona de seguridad podría actuar como un cortafuegos, es decir, una barrera que impide o ralentiza la propagación del fuego.

La zona de seguridad se podría crear mediante la eliminación de vegetación, ramas y otros materiales combustibles en un radio determinado alrededor de la instalación fotovoltaica. La anchura de esta zona de seguridad dependerá del espacio disponible en la parcela, y se deberá definir en función de la peligrosidad del incendio y la capacidad de la zona de seguridad para proteger la instalación.

Otra medida que se podría aplicar para reducir la propagación de incendios hacia la instalación es introducir barreras físicas. Estas barreras podrían ser muros de contención o canales de drenaje que se construyen alrededor de la instalación.

Al construir un muro de contención alrededor de la instalación, se podría detener la propagación del fuego hacia la misma. Además, estos muros también podrían actuar como protección contra inundaciones, evitando que el agua llegue a la instalación fotovoltaica.

Los canales de drenaje son otra forma de barrera física que se podría construir alrededor de la instalación. Estos canales se diseñan para llevar el agua de lluvia y evitar la erosión del terreno. También podrían utilizarse para prevenir la propagación del fuego. Si se construyen canales alrededor de la instalación, se podrían detener las llamas en caso de un incendio cercano.

#### *7.3.3.4 Comentarios sobre las categorías de los riesgos*

Es adecuado resaltar que no ha habido ningún riesgo clasificado en la categoría III, no aceptable, o IV, intolerable. Esto se debe a la ausencia de actividades implicando productos químicos tóxicos o peligrosos en el caso de estudio, por ejemplo en un puerto industrial o en una fábrica de productos químicos. Por lo tanto, la ausencia de situaciones de riesgo graves o intolerables se le adjudica a la naturaleza del proceso que se está estudiando, en este caso una planta fotovoltaica.

La energía fotovoltaica es una fuente de energía renovable y limpia que no produce emisiones de gases de efecto invernadero ni genera residuos peligrosos. Esto quiere decir que los peligros normalmente asociados a la generación de energía no están presentes al tratarse de energía solar. En el caso de plantas de generación de energía de uso combustible gas o carbón habría un mayor número de riesgos no aceptables o intolerables, y por lo tanto haría falta un control más exhaustivo en esos casos.

## 8 Conclusiones

En este apartado se buscan presentar las conclusiones alcanzadas como producto del análisis llevado a cabo en el presente proyecto.

En este tipo instalaciones fotovoltaicas, instalaciones de gran tamaño (4MW), es obligatorio incluir un Estudio de Impacto Ambiental ya sea a nivel nacional o autonómico. Teniendo en cuenta la nueva norma normativa, donde es necesario tener en cuenta los riesgos potenciales debido a accidentes graves y catástrofes, se ha propuesto una metodología que cubre estas situaciones, estando la metodología respaldada por la norma UNE 31000-10 de gestión del riesgo.

Con la metodología propuesta, se pretende hacer un proceso de apreciación de riesgo completo y detallado en el caso de accidentes graves y catástrofes. Se han planteado dos técnicas distintas, SWIFT y conjuntos difusos, que se complementan la una a la otra de manera que se consigue hacer el proceso de: identificación, análisis y evaluación del riesgo constantemente manteniéndose dentro de la norma UNE 31000-10, consiguiendo así una metodología firme y normalizada.

Con la metodología SWIFT de enfoque cualitativo, según se ha explicado en el proyecto, se busca detectar los posibles riesgos asociados a los distintos nodos de los subsistemas que conforman la planta fotovoltaica. Se ha procedido a la identificación de estos riesgos a través del planteamiento y la resolución de diversas cuestiones que se han ido presentando, evaluando cada uno de los pasos necesarios en el proceso de generación y evacuación de la electricidad.

Tras la identificación de todos los riesgos asociados a la planta fotovoltaica, se ha procedido a su clasificación numérica utilizando la Teoría de los Conjuntos Difusos, una metodología que intenta abarcar todo el espectro numérico en una clasificación determinista. En una primera etapa, se han utilizado números difusos para el análisis, y mediante el método del centroide, se han transformado en números reales para su posterior clasificación en distintas categorías.

Con esta clasificación, se ha comprobado que no existen riesgos no aceptables o intolerables en este tipo de instalaciones, aunque se han propuesto medidas correctivas para los riesgos con mayor valor de función del riesgo. Este resultado se debe a la gran seguridad de este tipo de instalaciones eléctricas, al tener en todo momento un equipo de protección frente a sobrecorrientes o cortocircuitos formados por interruptores diferenciales o automáticos. También es adecuado comentar, que en una planta fotovoltaica no hay sustancias tóxicas o peligrosas y tampoco procesos de fabricación, por lo tanto, el riesgo en comparación con instalaciones de fabricación o de gestión de residuos es mucho menor.

Por último, este proyecto contribuye a cumplir ciertos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en concreto energía asequible y no contaminante (7) al tratarse de una planta fotovoltaica y acción por el clima (13) al estudiar el impacto de riesgos sobre el medio ambiente.

## 9 Bibliografía

### 9.1 Documentos electrónicos

AEMET. (2019). Agencia Estatal de Meteorología. Obtenido de [https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos\\_en\\_linea/publicaciones\\_y\\_estudios/publicaciones/Climatologia\\_de\\_descargas\\_electricas/Climatologia\\_de\\_descargas\\_electricas.pdf](https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Climatologia_de_descargas_electricas/Climatologia_de_descargas_electricas.pdf)

INSST. (2003). Fichas Internacionales de Seguridad Química (ICSCs)-Número CAS 1508. Obtenido de [https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_lang=es&p\\_card\\_id=1508&p\\_version=2#:~:text=Reacciona%20violentamente%20con%20hexafluoruros%20met%C3%A1licos,hidr%C3%B3geno%20%2D%20ver%20FISQ%200001\).silicio](https://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=1508&p_version=2#:~:text=Reacciona%20violentamente%20con%20hexafluoruros%20met%C3%A1licos,hidr%C3%B3geno%20%2D%20ver%20FISQ%200001).silicio)

UN. (s.f.). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado el Febrero de 2023, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible>

### 9.2 Trabajos citados

Colmenarejo, J. I. (2022). Propuesta metodológica para el análisis de riesgos en los sistemas temporales durante la fase final de la construcción y el comisionado. UNED.

Pérez, M. P. (2014). Análisis de riesgos del almacenamiento de productos inflamables en el puerto de valencia. Universitat de Valencia.

Peris, P. F. (2022). Análisis de riesgos en una instalación de suministro de combustible para embarcaciones en el puerto de valencia. Universitat Politècnica de Valencia.

Ramírez, V. C. (2014). Análisis de riesgos de una industria de fabricación de piensos compuestos. Universitat de Valencia.

Tapia, R. S. (2019). Análisis de Riesgos Ligados al Diseño del Sistema en Grandes Parques Fotovoltaicos. Universidad Politècnica de Cartagena.

### 9.3 Artículo Científico

Tixier J., G. D. (2002). Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. Ecole des Mines d'Ales.

Fuentes Bargues, José Luis, M. J.-C.-G.-C. (2020). Study of Major-Accident Risk Assessment Techniques in the Environmental Impact Assessment Process. Universitat Politècnica de València.

Zeleňáková Martina, S. L. (2020). Methodology for environmental assessment of proposed activity using risk analysis. Technical University of Košice.

P.K. Marhavidas, D. K. (2011). Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000-2009. Democritus Univ. of Thrace.

Chen, S. a. (1992). Fuzzy Multiple Attribute Decision Making. Springer, NY. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-46768-4>

## 9.4 Normativa

Norma Española UNE-EN 31010. (2011). Gestión del riesgo - Técnicas de apreciación del riesgo.

Norma Española UNE-ISO 31000. (2010). Gestión del riesgo - Principios y Directrices.

Parlamento Europeo. ((4/07/2012)). Directiva 2012/18/UE del parlamento europeo y del consejo.

Ministerio de la Presidencia. (s.f.). BOE . Obtenido de Real Decreto 903/2010: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2010/BOE-A-2010-11184-consolidado.pdf>

BOE. (2013). Ley 21/2013 de evaluación ambiental.

BOE. (2015). Real Decreto 840/2015, de 21 de septiembre.

BOE. (2018). Ley 9/2018, modificación de la ley 21/2013.

## PRESUPUESTO

En esta sección se busca generar un estimado de los costos asociados a la evaluación de riesgos de la estación de abastecimiento de combustible para embarcaciones en el Puerto de Valencia.

El presupuesto está estructurado en dos categorías:

Categoría 1. Maquinaria

Categoría 2. Mano de obra

Para llevar a cabo el proyecto se emplearon equipos informáticos (ordenadores) con software de oficina (Excel, Word, Power Point, etc.). El gasto relacionado con estos equipos es determinado utilizando la siguiente fórmula:

$$I = \frac{A}{B} * C * D$$

Siendo:

- I = Gasto por amortización
- A= Meses de uso
- B = Tiempo de vida útil
- C = Precio de compra
- D Porcentaje de uso

Se ha asumido que la vida útil de un ordenador y las aplicaciones informáticas empleadas (Excel, Word y Power Point) es de 5 años. El precio del equipo informático empleado (ordenador portátil) es de 800 euros. Mientras que el precio del paquete completo de Microsoft Office es de 70 euros anuales, 5,85 euros mensuales. Teniendo en cuenta que los programas se han utilizado durante 6 meses, se obtienen los siguientes costes de amortización:

- Ordenador portátil=  $6/5 * 800 * 30\% = 288\text{€}$
- Microsoft Office =  $6/5 * (70/2) * 100\% = 42\text{€}$

Además, se tiene en cuenta en la mano de obra el alumno y el tutor del proyecto. Según el Servicio de Gestión de la I+D+i de la UPV el coste del coste del tutor de este proyecto, en este caso José Luis Fuentes Bagues, profesor titular de la universidad es de 324,93€/h. El Servicio de Gestión de la I+D+i también dicta que el coste del alumno autor de este proyecto es de 17,59€/h. Además, durante la ejecución del proyecto el alumno le ha dedicado 50 horas mensuales y el tutor 10.

Por lo tanto, el detalle del presupuesto general del proyecto es:

Concepto	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Importe (€)
<b>Maquinaria</b>				330
Ordenador de mesa	Ud	288	1	288
Microsoft Office	Ud	42	1	42
<b>Mano de obra</b>				7372.80
Alumno autor	h	17,59	300	5277
Tutor del proyecto	h	34,93	60	2095.80
<b>Presupuesto de ejecución material</b>				7702.80
13% de gastos generales				1001.37
6% de beneficio industrial				462.17
<b>Presupuesto de ejecución por contrata</b>				9166.34
21% de IVA				1924.93
<b>Presupuesto de inversión</b>				11091.27

Tabla 13. Presupuesto económico del proyecto

El presupuesto de inversión asciende a la cantidad de ONCE MIL NOVENTA Y UN EUROS CON VEINTISIETE CENTIMOS.

## ANEXO

Se anexan las fichas técnicas del módulo y el inversor (SG125HX) del caso de estudio (Tiger Pro 72HC). Estas fichas técnicas han sido utilizadas durante el apartado 7.3.1.4, perteneciente a la técnica SWIFT, donde se ha estudiado el rango de las temperaturas y corrientes de trabajo de ambos componentes, y sus posibles efectos en caso de uso fuera de su rango correspondiente.

Además de estos valores, las fichas técnicas también se han utilizado para comprobar otras variables. Por ejemplo, para el módulo es importante tener en cuenta el grosor del cristal protector para casos como impacto de granizo. También se ha tenido en cuenta los actuadores de protección del inversor, para evaluar las probabilidades de riesgos por sobrecorrientes y cortocircuitos. Más aun, es importante resaltar la protección IP 66 del inversor, certificado de protección total contra el contacto y hermético al polvo.

www.jinkosolar.com



# Tiger Pro 72HC

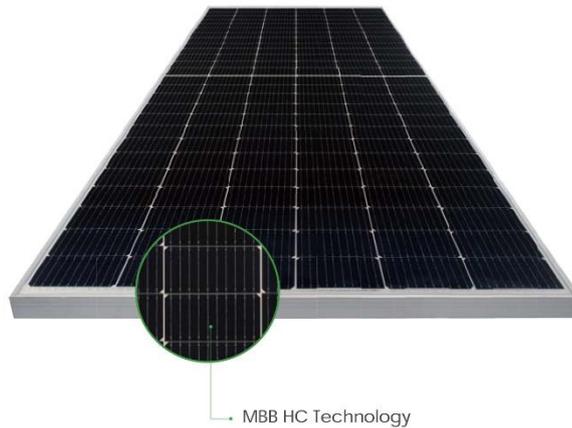
## 530-550 Watt

### MONO-FACIAL MODULE

P-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

IEC61215(2016), IEC61730(2016)  
 ISO9001:2015: Quality Management System  
 ISO14001:2015: Environment Management System  
 ISO45001:2018 Occupational health and safety management systems



## Key Features



**Multi Busbar Technology**  
 Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.



**Durability Against Extreme Environmental Conditions**  
 High salt mist and ammonia resistance.



**Reduced Hot Spot Loss**  
 Optimized electrical design and lower operating current for reduced hot spot loss and better temperature coefficient.



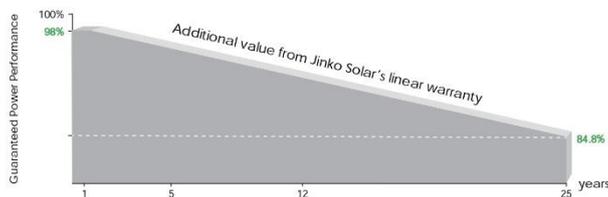
**Enhanced Mechanical Load**  
 Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).



**Longer Life-time Power Yield**  
 0.55% annual power degradation and 25 year linear power warranty.



## LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

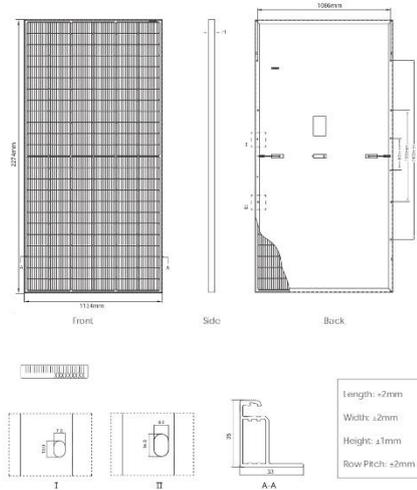


12 Year Product Warranty

25 Year Linear Power Warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years

## Engineering Drawings

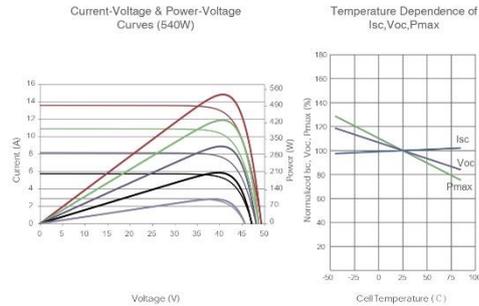


## Packaging Configuration

( Two pallets = One stack )

31pcs/pallets, 62pcs/stack, 620pcs/ 40'HQ Container

## Electrical Performance & Temperature Dependence



## Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6×24)
Dimensions	2274×1134×35mm (89.53×44.65×1.38 inch)
Weight	28.9 kg (63.7 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm (+): 400mm , (-): 200mm or Customized Length

## SPECIFICATIONS

Module Type	JKM530M-72HL4		JKM535M-72HL4		JKM540M-72HL4		JKM545M-72HL4		JKM550M-72HL4	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	530Wp	394Wp	535Wp	398Wp	540Wp	402Wp	545Wp	405Wp	550Wp	409Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.56V	37.84V	40.63V	37.91V	40.70V	38.08V	40.80V	38.25V	40.90V	38.42V
Maximum Power Current (Imp)	13.07A	10.42A	13.17A	10.50A	13.27A	10.55A	13.36A	10.60A	13.45A	10.65A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.26V	46.50V	49.34V	46.57V	49.42V	46.65V	49.52V	46.74V	49.62V	46.84V
Short-circuit Current (Isc)	13.71A	11.07A	13.79A	11.14A	13.85A	11.19A	13.94A	11.26A	14.03A	11.33A
Module Efficiency STC (%)	20.55%		20.75%		20.94%		21.13%		21.33%	
Operating Temperature(°C)	-40°C ~ +85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

\*STC: ☀ Irradiance 1000W/m<sup>2</sup> 📱 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5  
 NOCT: ☀ Irradiance 800W/m<sup>2</sup> 📱 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌀 Wind Speed 1m/s

©2020 Jinko Solar Co., Ltd. All rights reserved.  
 Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

JKM530-550M-72HL4-(V)-F1-EN

# SG125HX

Multi-MPPT String Inverter for 1500 Vdc System

NEW



## HIGH YIELD

- 6 MPPTs with max. efficiency 99%
- Compatible with bifacial module
- Built-in anti-PID and PID recovery function



## SMART O&M

- Touch free commissioning and remote firmware upgrade
- Smart IV Curve Diagnosis \*
- Fuse free design with smart string current monitoring



## SAVED INVESTMENT

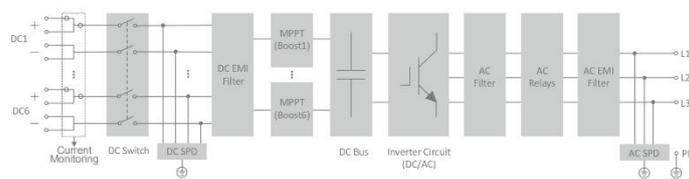
- Compatible with Al and Cu AC cables
- DC 2 in 1 connection enabled
- Power line communication (PLC)
- Q at night function



## PROVEN SAFETY

- IP66 and CS protection
- DC type II SPD and AC type I + II SPD
- Compliant with global safety and grid code

## CIRCUIT DIAGRAM



© 2021 Sungrow Power Supply Co., Ltd. All rights reserved. Subject to change without notice. Version 1.1.1

**SUNGROW**  
Clean power for all

Type designation	SG125HX
<b>Input (DC)</b>	
Max. PV input voltage	1500 V
Min. PV input voltage / Start-up input voltage	500 V / 550 V
Nominal PV input voltage	1160 V
MPP voltage range	500 V – 1500 V
MPP voltage range for nominal power	860 V – 1300 V
No. of independent MPP inputs	6
Max. number of input connector per MPPT	2
Max. PV input current	30 A * 6
Max. DC short-circuit current	50 A * 6
<b>Output (AC)</b>	
AC output power	125kVA @ 40 °C / 113.6kVA @ 50 °C
Max. AC output current	90.2 A
Nominal AC voltage	3 / PE, 800 V
AC voltage range	680 – 880 V
Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 – 55 Hz, 60 Hz / 55 – 65 Hz
Harmonic (THD)	< 3 % (at nominal power)
Power factor at nominal power / Adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading – 0.8 lagging
Feed-in phases / AC connection	3 / 3
<b>Efficiency</b>	
Max. efficiency / European efficiency	99.0 % / 98.7 %
<b>Protection</b>	
DC reverse connection protection	Yes
AC short circuit protection	Yes
Leakage current protection	Yes
Grid monitoring	Yes
DC switch	Yes
AC switch	No
PV String current monitoring	Yes
Q at night	Yes
PID protection	Anti-PID and PID recovery
Surge protection	DC Type II / AC Type I + II
<b>General Data</b>	
Dimensions (W*H*D)	916*690*340 mm
Weight	75 kg
Isolation method	Transformerless
Degree of protection	IP66
Night power consumption	< 7 W
Operating ambient temperature range	-30 to 60 °C
Allowable relative humidity range (non-condensing)	0 – 100 %
Cooling method	Smart forced air cooling
Max. operating altitude	5000 m (> 4000 m derating)
Display	LED, Bluetooth+APP
Communication	RS485 / PLC
DC connection type	MC4-Evo2 (Max. 6 mm <sup>2</sup> , optional 10 mm <sup>2</sup> )
AC connection type	OT/DT terminal (Max. 120 mm <sup>2</sup> )
Compliance	IEC 62109, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, VDE-AR-N 4110:2018, VDE-AR-N 4120:2018, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-4, EN 50549-2, P.O.12.2, G99, VDE 0126-1-1/A1:VFR2019
Grid Support	Q at night function, LVRT, HVRT, active & reactive power control and power ramp rate control

\*: Only compatible with Sungrow Logger, EyeM4 and iSolarCloud



© 2021 Sungrow Power Supply Co., Ltd. All rights reserved. Subject to change without notice. Version 1.1.1

