

TALLERES DE IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO:
DOCUMENTOS DE APOYO A LA APLICACIÓN DE LA GUÍA

Catálogo para otras tipologías: plantas fotovoltaicas y escombreras

Expresamos nuestro agradecimiento al Japan Special Fund (JSF) por hacer posible esta publicación a través de la cooperación técnica RG-T3528: Implementación de la metodología para fortalecer la resiliencia al riesgo de desastre y cambio climático en los proyectos del BID.

Coautoría: La producción y difusión de esta Guía Metodológica y sus Catálogos fueron coordinados por Raimon Porta y Ginés Suárez con los valiosos aportes de Julia Ciano, María Alejandra Escovar y Adriana Zambrano. El desarrollo del contenido de la Guía y la catalogación de Modos de Fallo fueron realizados por Ignacio Escuder, Adrián Morales, Sandra Navarro y Helena Yarritu, equipo técnico de la firma consultora iPresas.

Agradecimientos: El proceso de revisión técnica contó con la inestimable colaboración de Melissa Barandiarán, Karen Piñeros y Carolina Rogelis. El desarrollo del curso de capacitación online asociado a esta Guía fue realizado por la firma TAEC con el apoyo del equipo de INDES y la retroalimentación de Álvaro Adam, Leandro Kazimierski y Luis Mora. La producción de contenido, su publicación y difusión fue posible gracias a Edoardo Brovero, Lara Chinarro, Wilhelm Dalaison, Maricarmen Esquivel, Patricia Henríquez, Sergio Lacambra, Roberto Leal, Katherine López, David Maier, Lidia Marcelino, Pamela Ogando, Harold Rodríguez y Serge Troch.

Diseño y diagramación: Alejandro Scaff.

Citación sugerida: Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Talleres de Identificación de Modos de Fallo. Documentos de apoyo a la aplicación de la Guía. Catálogo para otras tipologías: plantas fotovoltaicas y escombreras. 2025.

Palabras clave: modo de fallo, infraestructura, riesgo, desastre, resiliencia, sostenibilidad.

Copyright©2025 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra está sujeta a una licencia de Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0 CÓDIGO LEGAL) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.es>). Se deben cumplir los términos y condiciones indicados en el enlace URL y se debe otorgar el reconocimiento correspondiente al BID.

Cualquier disputa que surja bajo esta licencia y que no pueda resolverse de manera amistosa se resolverá de acuerdo con el siguiente procedimiento. Conforme a un aviso de mediación comunicado por medios adecuados por usted o el concedente de la licencia al otro, la disputa se someterá a mediación no vinculante realizada de acuerdo con las Reglas de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa que no pueda resolverse de manera amistosa se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI). Tanto el uso del nombre del BID para cualquier fin que no sea el reconocimiento respectivo, como el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Tenga en cuenta que el enlace URL incluye términos y condiciones que son parte integral de esta licencia. Las opiniones expresadas en esta obra son las de los autores y no necesariamente reflejan los puntos de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, su Directorio Ejecutivo o los países que representan.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



Documentos de apoyo a la aplicación de la guía: Catálogo para otras tipologías: plantas fotovoltaicas y escombreras

Siglas y abreviaturas	4
1. Introducción	5
I. Placas fotovoltaicas	6
1. Características particulares a tener en cuenta para placas fotovoltaicas	6
1.1. Participantes	6
1.2. Revisión de información	8
1.3. Visita técnica	8
2. Modos de Fallo	9
2.1. Modos de Fallo hidrológicos	11
2.2. Modos de Fallo por fuertes vientos	14
2.3. Modos de Fallo por marejadas	19
2.4. Otros Modos de Fallo	21
3. Relación de estudios científico-técnicos	24
4. Recomendaciones y mejores prácticas	25
II. Escombreras	29
1. Características particulares para escombreras	29
1.1. Participantes	29
1.2. Revisión de información	31
1.3. Visita técnica	31
2. Modos de Fallo	32
2.1. Modos de Fallo estructurales	32
2.2. Otros Modos de Fallo	32
3. Relación de estudios científico-técnicos	38
4. Recomendaciones y mejores prácticas	39
Referencias	41

Siglas y abreviaturas

ANCOLD	<i>Australian National Committee on Large Dams</i> (Comité Nacional Australiano de Grandes Presas)
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i> (Asociación Americana de Ingenieros Civiles)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CDA	<i>Canadian Dam Association</i> (Asociación Canadiense de Presas)
CCS	División de Soluciones de Cambio Climático del BID
CPR	Comunidad de Práctica de Resiliencia del BID
CWC	<i>Central Water Commission</i> (Comisión Central de Agua)
DRM	Unidad de Gestión de Riesgo de Desastres del BID
ESG	División de Soluciones Ambientales y Sociales del BID
ESR	Unidad de Gestión de Riesgos Ambientales y Sociales del BID
FERC	<i>Federal Energy Regulatory Commission</i> (Comisión Federal de Regulación de Energía)
FMEA	<i>Failure Modes and Effects Analysis</i> (Análisis de Modos de Fallo y sus Efectos)
ICOLD	<i>International Commission on Large Dams</i> (Comisión Internacional de Grandes Presas)
INE	Sector de Infraestructura y Energía del BID
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organización Internacional de Normalización)
MERDCC	Metodología de Evaluación de Riesgos de Desastre y Cambio Climático del BID (en inglés, DCCRAM)
MF	Modo de Fallo
MPAS	Marco de Política Ambiental y Social del BID
OP-704	Política de Gestión de Riesgo de Desastres del BID
PADE	Plan de Acción Durante Emergencias
PGRD	Plan de Gestión de Riesgo de Desastre
SPANCOLD	Comité Nacional Español de Grandes Presas
TIMF	Taller de Identificación de Modos de Fallo
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i> (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos)
USBR	<i>United States Bureau of Reclamation</i> (Oficina de Recuperación de Recursos Hidrológicos de los Estados Unidos)

1. Introducción

El objeto de este documento, junto con la “Guía Metodológica para la realización de Talleres de Identificación de Modos de Fallo”, es desarrollar la metodología de los talleres de identificación de Modos de Fallo (TIMF) y su aplicación específica a ciertas infraestructuras.

Los talleres son la parte principal del análisis cualitativo de riesgos de desastre y cambio climático en infraestructuras. Por ello y con el fin de asegurar la correcta aplicación de la guía, se han desarrollado varios documentos de referencia que proporcionan de manera clara y exhaustiva para cada tipo de infraestructura, las técnicas, los procesos y las herramientas necesarias para un adecuado desarrollo de los Talleres de Identificación de Modos de Fallo y la posterior toma de decisiones. Cabe destacar que el fallo no significa necesariamente la rotura de la infraestructura, sino también la pérdida del servicio que brinde.

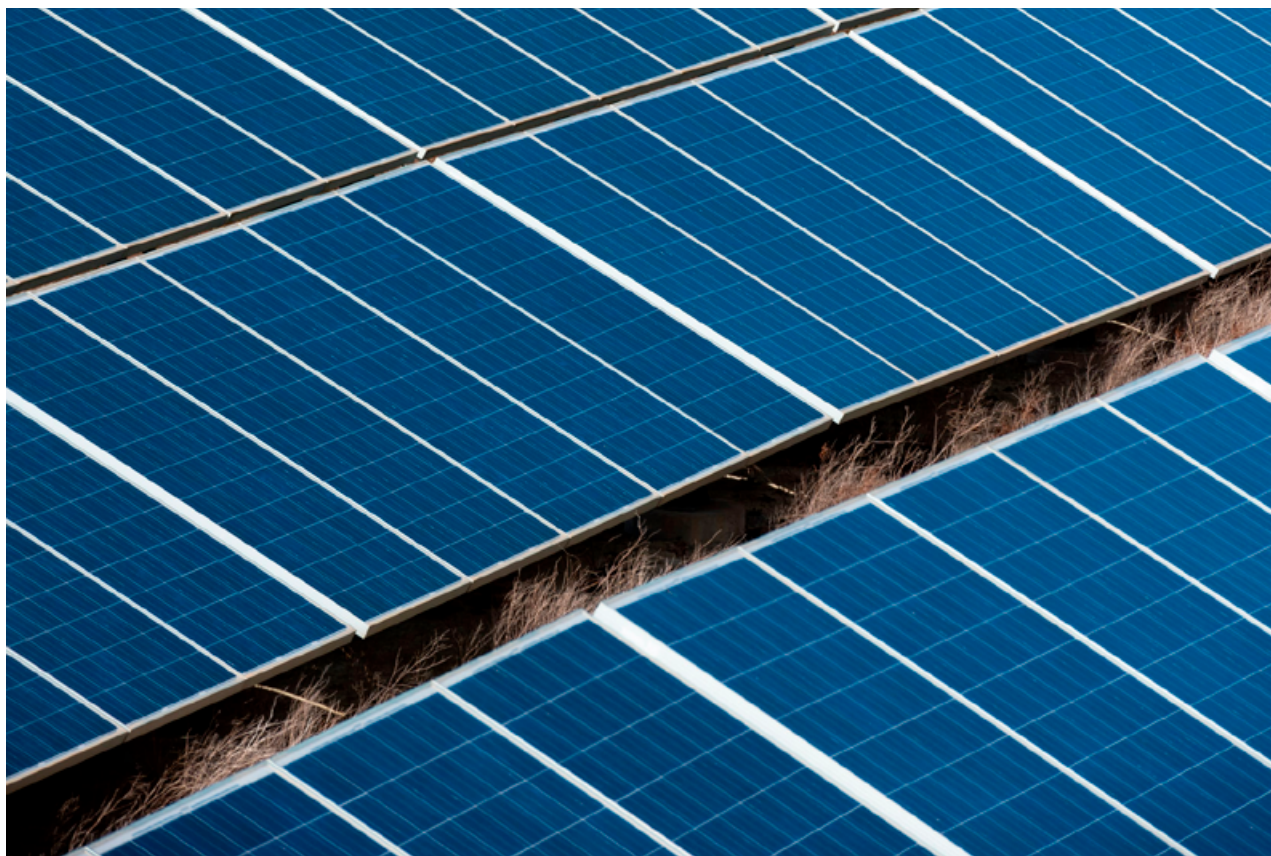
Concretamente, este Catálogo pretende dar apoyo y complementar a la aplicación de la “Guía Metodológica para la realización de Talleres de Identificación de Modos de Fallo” en infraestructuras singulares, particularmente, para los casos de placas fotovoltaicas y de escombreras.

Este documento está organizado en 4 secciones. La primera detalla las características particulares de las infraestructuras singulares a tener en cuenta a la hora de realizar sesiones de Modos de Fallo, lo cual va desde qué participantes deben asistir, pasando por los elementos clave de la revisión de información y la visita técnica.

La segunda sección recoge los ejemplos de los Modos de Fallo más representativos clasificados según su evento desencadenante. Para cada Modo de Fallo se ha elaborado una ficha, la cual incluye su descripción, un esquema y los factores que influyen en el riesgo. Dichos factores podrán aumentar o disminuir el riesgo en función de en qué situación o de qué información se disponga en cada una de las infraestructuras que se vayan a analizar. Como se comentará más adelante, estos ejemplos son referencias para el lector, el cual deberá definir los Modos de Fallo y factores asociados a su infraestructura a lo largo de los talleres y con la participación de todos los integrantes del grupo de trabajo.

Finalmente, la tercera y cuarta sección incluyen una relación de estudios científico-técnicos y de recomendaciones y mejores prácticas, las cuales quedan agrupadas según la tipología de los Modos de Fallo empleada en la segunda sección. Estos dos últimos apartados permiten enriquecer las prácticas de intervención de los Talleres de Identificación de Modos de Fallo haciendo hincapié en las cuestiones que pueden presentar una menor definición en los proyectos o que presentan una mayor relevancia en el diseño y la operación de la infraestructura.

II. Placas fotovoltaicas



1. Características particulares a tener en cuenta para placas fotovoltaicas

A lo largo de este apartado se muestran las características particulares asociadas al taller de identificación de Modos de Fallo para parques de placas fotovoltaicas. En concreto, los aspectos específicos que varían respecto a la metodología general presentada en la guía están relacionados con el mínimo de participantes que deben asistir y la viabilidad o no para realizar la visita técnica online.

1.1 Participantes

Las sesiones de identificación de Modos de Fallo están constituidas por un facilitador y una serie de participantes. En el caso de parques de placas fotovoltaicas es recomendable que como mínimo en el taller haya un técnico experto en los siguientes campos:

- El **diseño de las placas fotovoltaicas**. Es recomendable la presencia de los técnicos responsables del diseño del proyecto y de la construcción, en su caso, para que compartan su experiencia, las problemáticas acaecidas y posibles modificaciones que sufrió el diseño original, así como el proceso constructivo empleado. Estos participantes enriquecen los talleres de Modos de Fallo, pero no son actores críticos para su desarrollo a excepción de los proyectos en fase de diseño, en los cuales este personal es clave.
- La **hidrología e hidráulica**. En proyectos de placas fotovoltaicas la hidrología e hidráulica es importante para evaluar el diseño de las obras de drenaje. Se recomienda invitar al experto/s que haya participado en el estudio de la hidrología e hidráulica durante el diseño

de las obras o en su defecto a un experto en el tema que pueda aportar su opinión. En el caso de inundaciones, la hidrología e hidráulica juegan un papel fundamental en el diseño del sistema eléctrico de las placas fotovoltaicas. El experto en hidrología e hidráulica es relevante independientemente de la fase en la que se encuentre la infraestructura a la hora de realizar el taller (proyecto, construcción u operación).

- **Técnico con experiencia en medidas de adaptación al cambio climático.** Los proyectos de placas fotovoltaicas pueden incluir un estudio hidrológico y/o hidráulico de las obras de drenaje por lo que puede ser importante la influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones y en la variación de las temperaturas. Se recomienda invitar a un experto en el tema de riesgos de cambio climático que pueda aportar su opinión. Independientemente de la fase del proyecto en la que se realice el taller, se recomienda invitar a esta figura para participar en la sesión.
- **La geología, geotecnia y sismicidad de la zona.** Se recomienda invitar al geólogo que haya participado en el estudio geológico-geotécnico del proyecto, o en su defecto a un experto en el tema que pueda aportar su opinión respecto de los materiales de la cimentación. Asimismo, si la infraestructura se encuentra en una zona sísmica, el geólogo debe tener conocimientos suficientes para identificar si se han analizado los riesgos derivados y si se ha diseñado la infraestructura según estas solicitudes. Independientemente de la fase de proyecto en la que se realice en taller, se recomienda invitar a esta figura para participar en la sesión.
- **Los elementos eléctricos.** Las placas fotovoltaicas disponen de elementos eléctricos por lo que es recomendable que al menos una persona experta en el funcionamiento de estos elementos asista a los talleres cuando sean críticas para la seguridad de la infraestructura.
- **Mantenimiento.** Si el proyecto se encuentra en fase de operación, se recomienda la participación de los técnicos encargados de realizar las inspecciones y el mantenimiento de las placas fotovoltaicas, pues su experiencia puede ser fructífera a la hora de identificar potenciales Modos de Fallo por mal funcionamiento y/o operación.
- **Gestión de emergencias.** En infraestructuras de placas fotovoltaicas en operación, se recomienda invitar a los talleres al personal encargado de la gestión de emergencias. Estos participantes ayudan a comprender las consecuencias derivadas del fallo o mal funcionamiento de la infraestructura y entender cómo está organizado el sistema de gestión de emergencias.
- **Representantes locales y de comunidades minoritarias** pueden aportar conocimientos de la zona relevantes para el desarrollo del taller, por ejemplo, acerca de qué zonas del parque de placas fotovoltaicas se ven afectadas cuando hay fuertes lluvias o sobre cómo les afectan las amenazas naturales específicas de la zona.
- **Expertos externos.** Estos expertos no solo aportan su vasto conocimiento en placas fotovoltaicas, sino que ofrecen una visión ajena al proyecto, poniendo de manifiesto aspectos que pueden pasar desapercibidos frente a los técnicos encargados por el simple hecho de estar inmersos en el proyecto.

Si bien estos actores son los recomendables para la realización de talleres de Modos de Fallo para las placas fotovoltaicas, hay que estudiar cada obra y analizar qué actores de los presentados en el listado son realmente necesarios para cada caso concreto, así como la necesidad de incorporar otros actores.

1.2 Revisión de información

Tal y como se ha explicado en la “Guía metodológica para la realización de Talleres de Identificación de Modos de Fallo”, la revisión y el análisis de la información existente constituye el primer paso para la identificación de Modos de Fallo y debe cubrir todos los aspectos clave en materia de gestión de seguridad, partiendo de los aspectos relativos a las fases de diseño y construcción de la infraestructura, para pasar a la evaluación del sistema, el funcionamiento y el estado en el que se encuentra la infraestructura.

La revisión de información debe incluir los puntos clave de los documentos. Por ello, desde el punto de vista conceptual, los elementos fundamentales que deben considerarse para el análisis de placas fotovoltaicas durante la revisión de información se muestran en la Figura 1.

Cabe destacar que algunos puntos clave mencionados en este esquema no serán necesarios según en qué fase de proyecto se encuentre la infraestructura. Por ejemplo, como es previsible, el estado actual no se considerará en una infraestructura en fase de proyecto.

Figura 1. Elementos clave de la revisión de información.



1.3 Visita técnica

La visita técnica es una de las principales etapas de los talleres, ya que permite tener una visión integral del estado actual de la infraestructura y detectar posibles daños que puedan derivar en el fallo de la infraestructura.

Esta tarea es recomendable realizarla de manera presencial, ya que permite una inspección más detallada por parte de los expertos. Sin embargo, en algunas infraestructuras, se puede plantear su realización online en caso de que la opción presencial no sea viable logísticamente.

En este apartado se presenta la viabilidad o no de inspeccionar las placas fotovoltaicas de manera online.

En el caso de parques de placas fotovoltaicas de gran extensión es interesante realizar el taller de manera online, mostrando videos y fotos aéreas de la infraestructura realizadas por dron. Esto se debe a la elevada extensión a visitar que exige un proyecto de grandes dimensiones. Por ello, es recomendable realizar el taller online, ya que el video realizado con dron ofrece de manera rápida una visión general de la infraestructura.

En caso de necesitar detalle de las placas fotovoltaicas, como podrían ser el sistema eléctrico o la orientación de los paneles, debe valorarse la opción de ir en persona, ya que puede aportar información relevante que no se podría obtener a partir de imágenes dron.

2. Modos de Fallo

A continuación, se enumeran los Modos de Fallo más característicos para placas fotovoltaicas según la tipología, entre los que se encuentran Modos de Fallo hidrológicos, por fuertes vientos, por marejadas y otros.

2.1. Modos de Fallo HIDROLÓGICOS:	10
• Inundación pluvial y daños eléctricos.	10
• Erosión de la cimentación del panel.	11
• Daños eléctricos debido a la lluvia.	12
2.2. Modos de Fallo POR FUERTES VIENTOS:	13
• Daños en el panel por caída de escombros.	13
• Levantamiento del panel laminado.	14
• Fallo de la abrazadera.	15
• Fallo en la cimentación.	16
• Fallo en cascada de los paneles.	17
2.3. Modos de Fallo POR MAREJADAS:	18
• Marejada y daños eléctricos.	18
• Destrucción de los paneles por marejadas.	19
2.4. OTROS Modos de Fallo:	20
• Fuego en la planta solar.	20
• Daños por elevado nivel freático.	21
• Daños en el punto de conexión.	22

A continuación, se desarrollan los Modos de Fallo más representativos para placas fotovoltaicas y se detallan los factores que influyen en el riesgo del Modo de Fallo. Tanto los Modos de Fallo como los factores están definidos de manera general, es decir, el lector los puede emplear como referencia, pero deberá desarrollar sus propios Modos de Fallo a lo largo del taller y con la participación de todos los integrantes del grupo de trabajo.

Asimismo, los factores están redactados de manera neutra para cada Modo de Fallo con la finalidad de que el lector los tome como referencia, teniendo él mismo que decidir para su caso concreto si los factores aumentan o disminuyen el riesgo de su Modo de Fallo.

Existen una serie de factores que, de alguna manera, influyen en el riesgo de todos los Modos de Fallo. Por este motivo y, con el fin de evitar repeticiones en cada una de las descripciones realizadas para cada uno de los Modos de Fallo característicos, se presentan estos factores en el siguiente listado y no se repiten en las tablas posteriores.

Factores que considerar en todos los Modos de Fallo de placas fotovoltaicas:

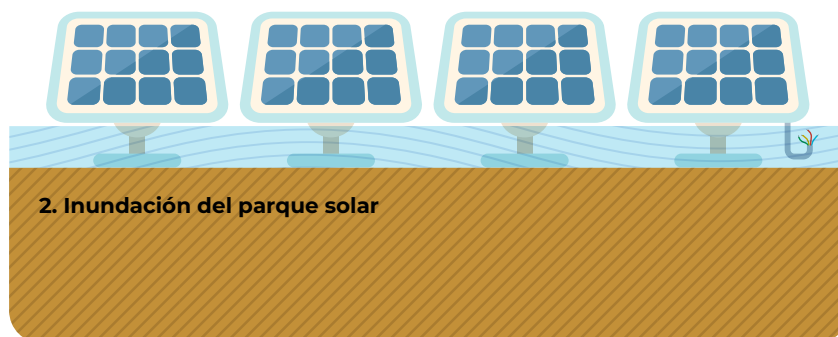
- Disponibilidad de recursos para los estudios previos o de preinversión de los proyectos de placas fotovoltaicas.
- Control de calidad y supervisión en el diseño de las obras de placas fotovoltaicas y en su construcción.
- Existencia de un sistema alternativo para ofrecer energía a los servicios esenciales asociados a la planta en caso de fallo.
- Dependencia energética de la región en la planta, existencia de más fuentes de energía.

2.1 Modos de Fallo hidrológicos

INUNDACIÓN PLUVIAL Y DAÑOS ELÉCTRICOS

En escenario hidrológico, debido a las fuertes lluvias en la zona y a la falta de capacidad del sistema de drenaje de la planta, la planta de paneles solares podría inundarse. Dicha inundación podría dañar los componentes eléctricos y potencialmente causar daños mayores.

1. Lluvias intensas



2. Inundación del parque solar

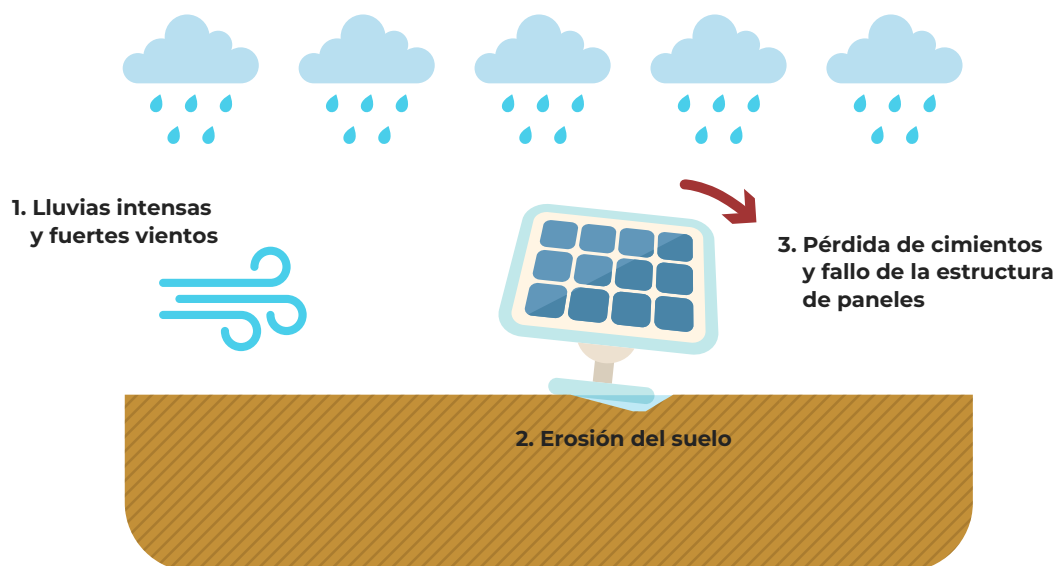
3. Pérdida de componentes eléctricos

Factores que influyen en el riesgo

- Ubicación de la planta (terreno generalmente llano o con pequeñas pendientes).
- Influencia del cambio climático en la intensidad y frecuencia de las precipitaciones.
- Existencia de un estudio de riesgos de inundación en la localización de la planta.
- Existencia y adecuado dimensionamiento de las obras de drenaje.
- Registro de eventos similares en la última década.

EROSIÓN DE LA CIMENTACIÓN DEL PANEL

En escenario hidrológico, las lluvias torrenciales y los fuertes vientos afectan a la zona. La lluvia puede provocar que el terreno alrededor de los cimientos se suelte y lleve a la erosión o depresión localizada de la zona del cimiento. Finalmente, debido a los fuertes vientos, la estructura del panel solar puede fallar por vuelco.

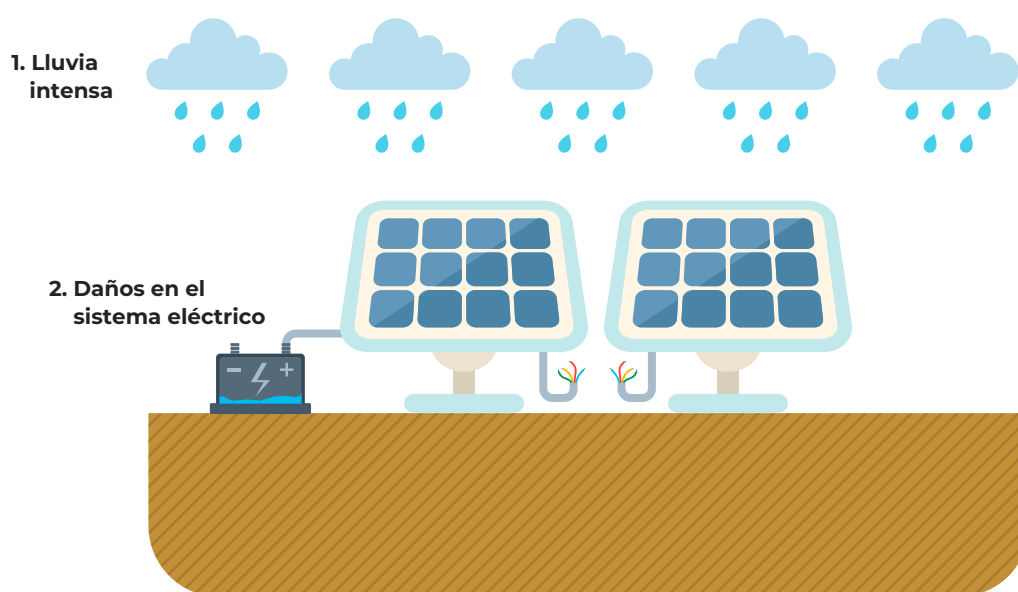


Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Registro de eventos similares en la zona.
- Estudios del viento en la zona (direcciones, frecuencia, magnitud...).
- Influencia del cambio climático sobre la frecuencia e intensidad de eventos extremos.
- Definición del material en el que se cimenta la placa solar.
- Características del material del terreno.
- Tiempo de reposición de la infraestructura dañada.
- Consecuencias económicas en caso de fallo.

DAÑOS ELÉCTRICOS DEBIDO A LA LLUVIA

En escenario hidrológico, las lluvias torrenciales pueden afectar a los componentes eléctricos de la planta fotovoltaica de diferentes maneras. En primer lugar, puede inutilizar el sistema eléctrico generando un cortocircuito si hay un cable desconectado o si la funda está rota. Por otro lado, la lluvia podría penetrar en los cuadros eléctricos o en los inversores, provocando corrosión y fallos de funcionamiento. Por último, otros componentes pueden corroerse si permanecen mojados durante un periodo de tiempo prolongado.



Factores que influyen en el riesgo

- Ubicación del punto de conexión entre la planta y la central, si es exterior o subterráneo.
- Potencial de corrosión de las abrazaderas.
- Influencia del cambio climático sobre la frecuencia e intensidad de eventos extremos.
- Tiempo de reposición de la infraestructura dañada.
- Consecuencias económicas en caso de fallo.

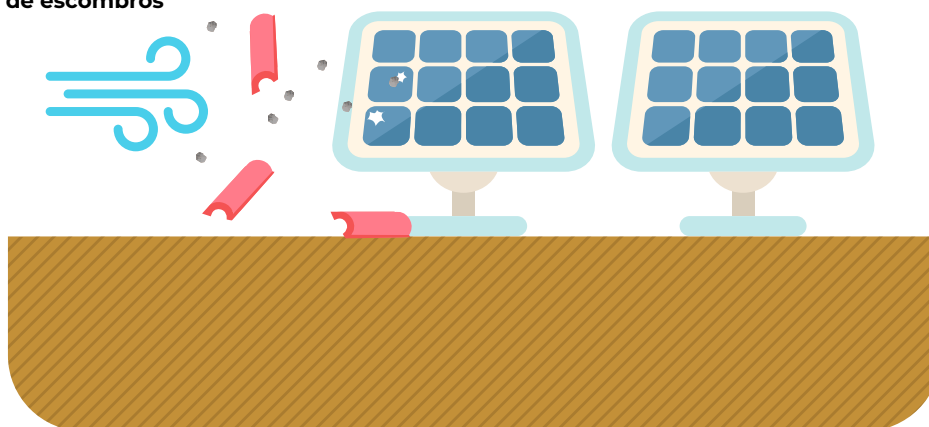
2.2. Modos de Fallo por fuertes vientos

DAÑOS EN EL PANEL POR CAÍDA DE ESCOMBROS

En escenario huracanado, los fuertes vientos pueden afectar a la zona. Estos vientos pueden arrastrar escombros que pueden impactar contra el cristal de los paneles y dañarlos. Si un panel resulta dañado, el funcionamiento normal de la planta se verá afectado.

1. Fuertes vientos y arrastre de escombros

2. Daños en los paneles

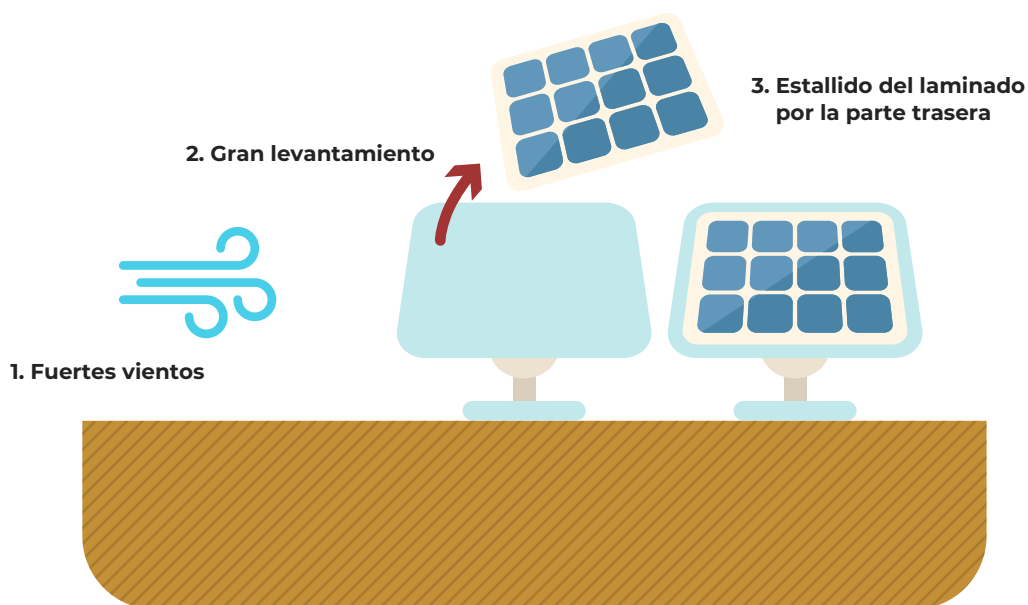


Factores que influyen en el riesgo

- Material del que están hechos los paneles solares.
- Influencia del cambio climático sobre la frecuencia e intensidad de eventos extremos.
- Registro de eventos similares en la zona.
- Estudios del viento en la zona (direcciones, frecuencia, magnitud...).
- Tiempo de reposición de la infraestructura dañada.
- Estadísticas de daños en eventos similares.
- Afección al conjunto de la planta fotovoltaica, si afecta a un porcentaje pequeño o grande de los paneles.

LEVANTAMIENTO DEL PANEL LAMINADO

En escenario huracanado, los fuertes vientos pueden afectar a la zona. Si las abrazaderas no son suficientemente fuertes, estos vientos pueden levantar el laminado y el cristal de la parte posterior del panel, destruyéndolo. Además, si estos objetos salen volando, pueden afectar y causar daños a los paneles solares circundantes si caen sobre ellos.

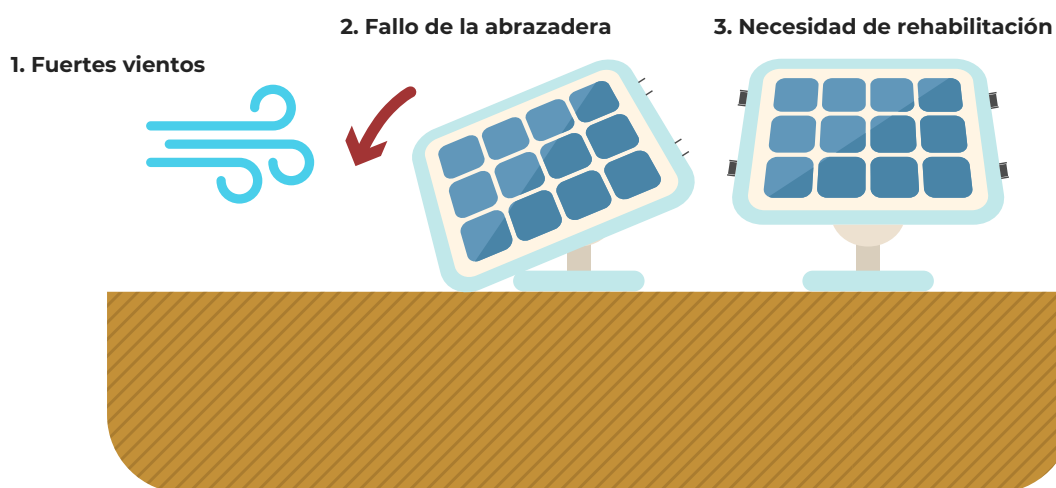


Factores que influyen en el riesgo

- Material del que están hechos los paneles solares.
- Registro de eventos similares en la zona.
- Estudios del viento en la zona (direcciones, frecuencia, magnitud...).
- Influencia del cambio climático sobre la frecuencia e intensidad de eventos extremos.
- Tiempo de reposición de la infraestructura dañada.
- Estadísticas de daños en eventos similares.
- Afección al conjunto de la planta fotovoltaica, si afecta a un porcentaje pequeño o grande de los paneles.

FALLO DE LA ABRAZADERA

En escenario huracanado, los fuertes vientos pueden afectar a la zona. Si las abrazaderas se aflojan debido a las vibraciones generadas por el viento, o no están bien mantenidas, el panel puede caer y dañarse.

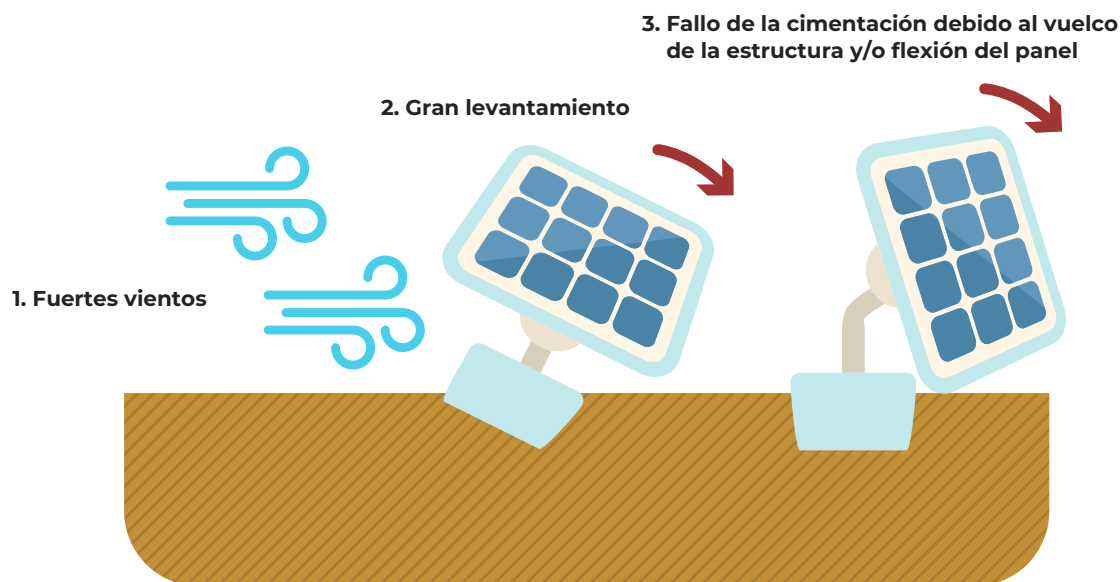


Factores que influyen en el riesgo

- Registro de eventos similares en la zona.
- Estudios del viento en la zona (direcciones, frecuencia, magnitud...).
- Influencia del cambio climático sobre la frecuencia e intensidad de eventos extremos.
- Tiempo de reposición de la infraestructura dañada.
- Consecuencias económicas.
- Afección al conjunto de la planta fotovoltaica, si afecta a un porcentaje pequeño o grande de los paneles.

FALLO EN LA CIMENTACIÓN

En escenario huracanado, los fuertes vientos pueden afectar a la zona. Esos vientos pueden elevar la estructura de la placa fotovoltaica, lo que significa que toda la estructura del panel solar podría volcar debido a un fallo de los cimientos o a deformaciones en la estructura tubular.

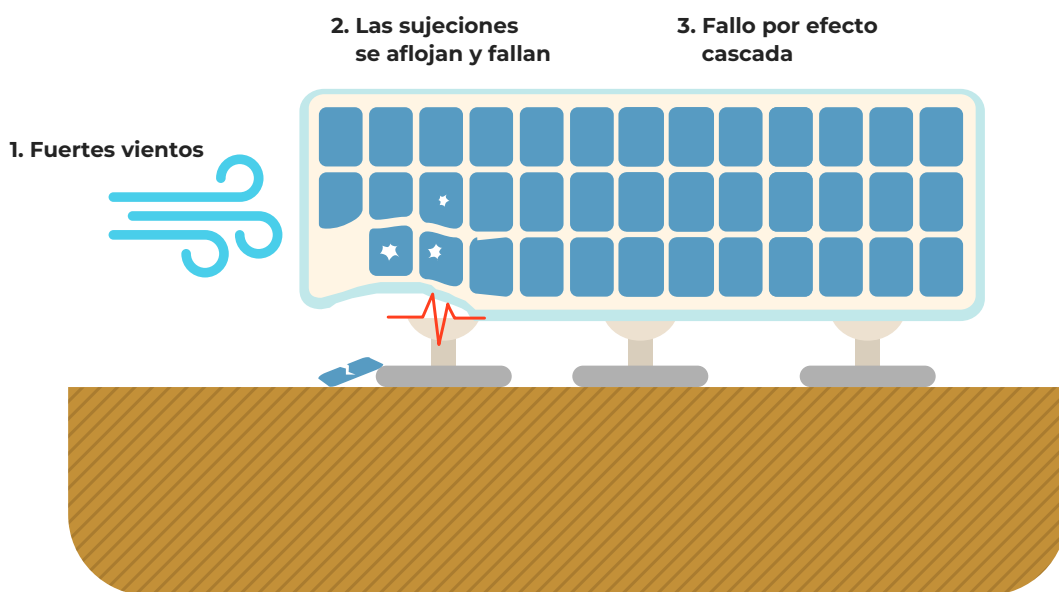


Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Calidad de los estudios de la cimentación.
- Registro de eventos similares en la zona.
- Estudios del viento en la zona (direcciones, frecuencia, magnitud...).
- Influencia del cambio climático sobre la frecuencia e intensidad de eventos extremos.
- Tiempo de reposición de la infraestructura dañada.
- Consecuencias económicas.
- Definición del material en el que se cimenta la placa solar.
- Características del material del terreno.
- Afección al conjunto de la planta fotovoltaica, si afecta a un porcentaje pequeño o grande de los paneles.

FALLO EN CASCADA DE LOS PANELES

En escenario huracanado, los fuertes vientos pueden afectar a la zona. Estos vientos pueden aflojar las fijaciones provocando un fallo estructural, es decir, el vuelco de la placa fotovoltaica. Dado que las plantas de paneles solares están estructuradas en filas y los paneles están sujetos entre sí por abrazaderas, cualquier vuelco afectará a toda la fila generando un fallo en cascada y afectando al funcionamiento normal de la planta.



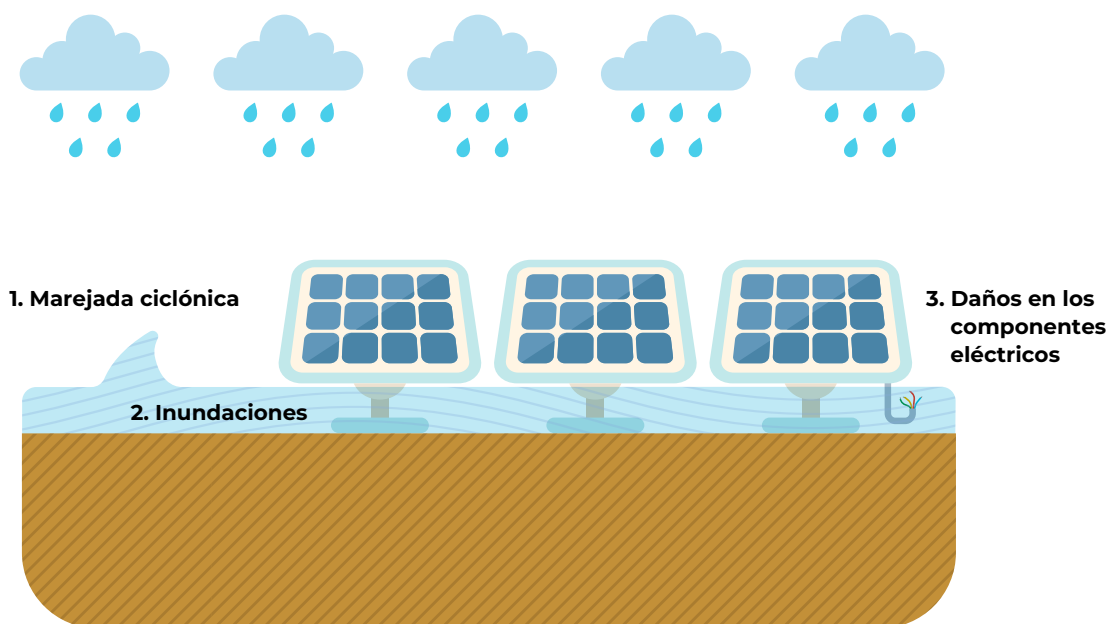
Factores que influyen en el riesgo

- Registro de eventos similares en la zona.
- Estudios del viento en la zona (direcciones, frecuencia, magnitud...).
- Influencia del cambio climático sobre la frecuencia e intensidad de eventos extremos.
- Tiempo de reposición de la infraestructura dañada.
- Consecuencias económicas.

2.3. Modos de Fallo por marejadas

MAREJADA Y DAÑOS ELÉCTRICOS

En escenario huracanado, el nivel del mar puede subir debido a una marejada ciclónica. Esto podría inundar algunas zonas, incluida la planta de paneles solares, produciendo daños en los componentes eléctricos.



Factores que influyen en el riesgo

- Propiedad corrosiva del agua de mar.
- Potencial corrosión de las abrazaderas.
- Registro de eventos similares en la zona.
- Estadísticas de daños en eventos similares.
- Ubicación de la planta (si el terreno es llano o con pendientes)
- Altitud de la ubicación de la planta fotovoltaica.
- Tiempo de reposición de la infraestructura dañada.
- Consecuencias económicas.
- Existencia de un estudio de riesgos de inundación en la localización de la planta.
- Existencia y adecuado dimensionamiento de las obras de drenaje.

DESTRUCCIÓN DE LOS PANELES POR MAREJADAS

En escenario huracanado, el nivel del mar puede subir debido a una marejada ciclónica. Esto podría inundar algunas zonas, incluida la planta de paneles solares. En caso de que la inundación llegara a la planta fotovoltaica, podría erosionar los cimientos y provocar el vuelco y destrucción de los paneles. Además, si la corriente es lo suficientemente fuerte, podría arrastrarlos.



Factores que influyen en el riesgo

- Propiedad corrosiva del agua de mar.
- Potencial de corrosión de las abrazaderas.
- Registro de eventos similares en la zona.
- Estadísticas de daños en eventos similares.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Calidad de los estudios de la cimentación.
- Definición del material en el que se cimienta la placa solar.
- Existencia de un estudio de riesgos de inundación en la localización de la planta.
- La ubicación de la planta (terreno generalmente llano o con pendientes).
- Altitud de la ubicación de la planta fotovoltaica.
- Tiempo de reposición de la infraestructura dañada.
- Consecuencias económicas.
- Existencia y adecuado dimensionamiento de las obras de drenaje.

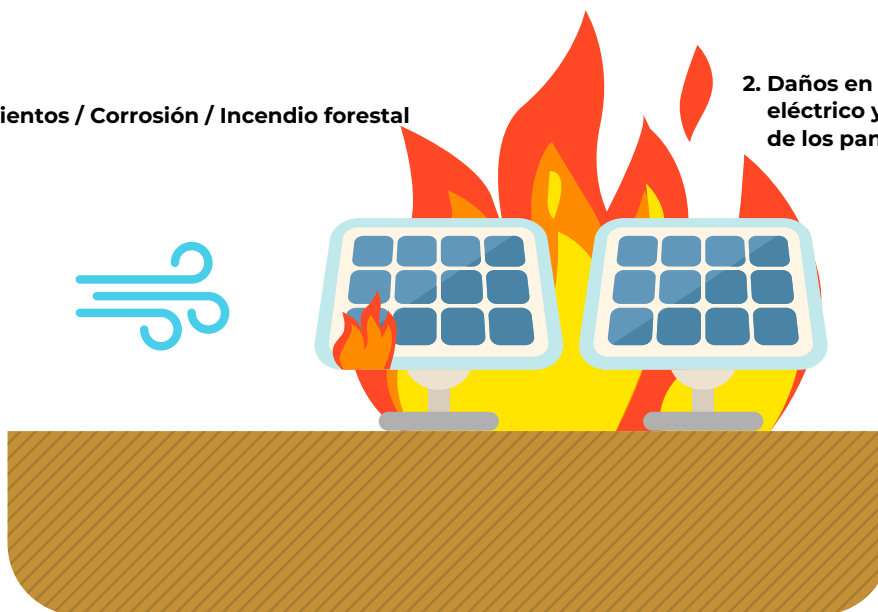
2.4. Otros Modos de Fallo

FUEGO EN LA PLANTA SOLAR

En un escenario con fuertes vientos y/o corrosión que dañe el sistema eléctrico (o en un escenario con incendios forestales), puede producirse un incendio. Si el fuego alcanza la planta fotovoltaica, puede destruir los paneles solares y/o los edificios de la instalación, afectando también al cableado que conecta los paneles solares.

1. Fuertes vientos / Corrosión / Incendio forestal

2. Daños en el sistema eléctrico y destrucción de los paneles

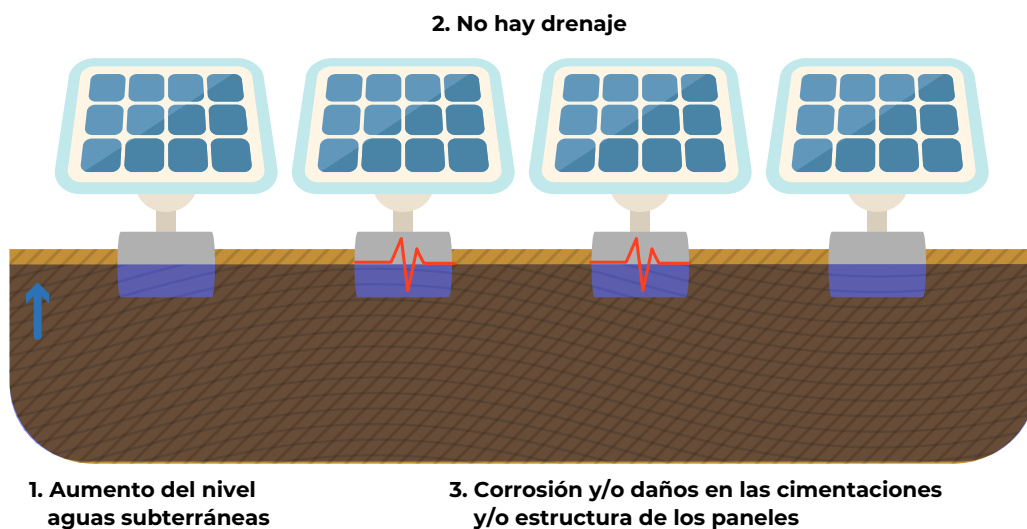


Factores que influyen en el riesgo

- Influencia del cambio climático sobre la frecuencia e intensidad de eventos extremos.
- Estudios del viento en la zona (direcciones, frecuencia, magnitud...).
- Tiempo de reposición de la infraestructura dañada.
- Vulnerabilidad de los elementos frente al fuego.
- Presencia de elementos inflamables.
- Humedad de la zona y los elementos inflamables.

DAÑOS POR ELEVADO NIVEL FREÁTICO

En un escenario en el que el nivel de las aguas subterráneas sea alto y no haya drenaje, podría producirse una alta humedad y/o intrusión de agua de mar en los pilotes de los paneles solares. Esta intrusión puede provocar la corrosión de la estructura de los paneles y/o de las cimentaciones, lo que podría inducir un mal comportamiento estructural a largo plazo y provocar su colapso.

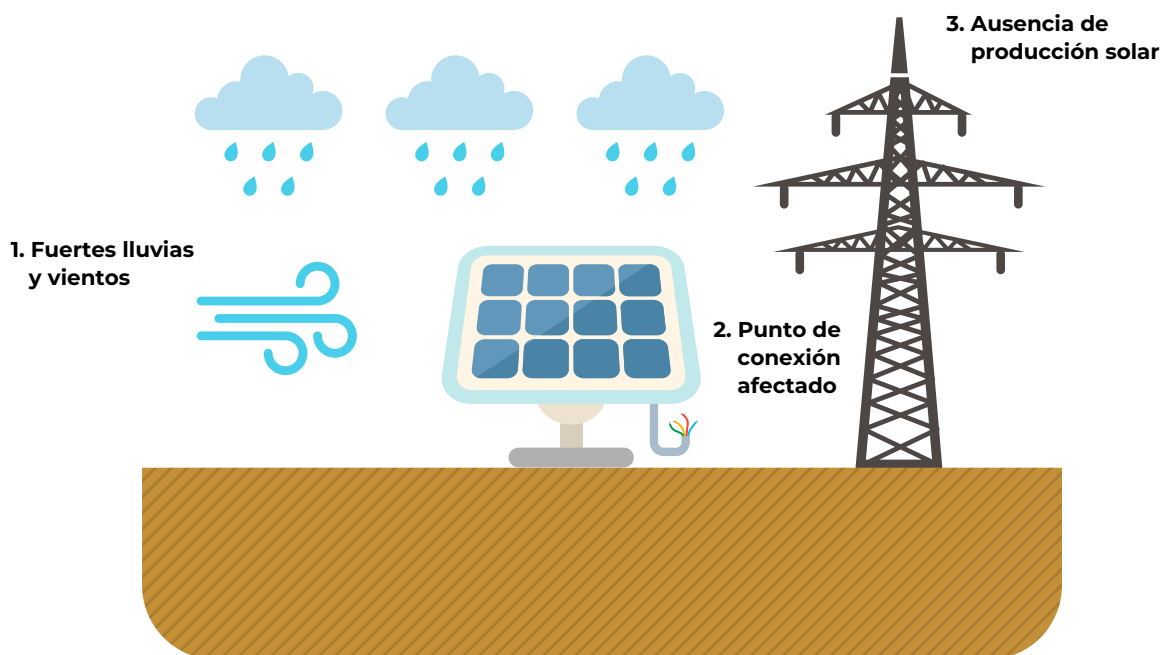


Factores que influyen en el riesgo

- Propiedad corrosiva del agua de mar.
- Ubicación del punto de conexión entre la planta y la central, si es exterior o subterráneo.
- La ubicación de la planta (terreno generalmente llano o con pequeñas pendientes).
- Altitud de la ubicación de la planta fotovoltaica.
- Existencia de un estudio de riesgos de inundación en la localización de la planta.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos.
- Existencia y adecuado dimensionamiento de las obras de drenaje.

DAÑOS EN EL PUNTO DE CONEXIÓN

En escenario huracanado, las lluvias torrenciales y/o los fuertes vientos pueden afectar al punto de conexión si no está bien aislado. Esto puede provocar la ausencia de producción solar y pérdidas económicas.



Factores que influyen en el riesgo

- Número de puntos de conexión.
- Ubicación del punto de conexión entre la planta y la central ¿exterior o subterráneo?
- Estanqueidad del punto de conexión.
- Influencia del cambio climático sobre la frecuencia e intensidad de eventos extremos.

3. Relación de estudios científico-técnicos

En este apartado se mencionan una serie de estudios científico-técnicos, según la tipología de Modos de Fallo, que deben tenerse en cuenta para reducir el riesgo de los Modos de Fallo y disminuir la incertidumbre para mejorar el diseño de las plantas fotovoltaicas y sus paneles.

MODO DE FALLO HIDROLÓGICO

- Recopilar datos meteorológicos.
- Tener en cuenta eventos extremos por cambio climático.
- Estudio de inundación de la zona.
- Estudio estructural de la infraestructura.
- Estudio geológico y geotécnico de la cimentación.
- Plan de acción durante emergencias.

MODO DE FALLO POR FUERTES VIENTOS

- Estudio estructural de la infraestructura.
- Estudio geológico y geotécnico de la cimentación.

MODO DE FALLO POR MAREJADAS

- Recopilar datos meteorológicos.
- Tener en cuenta eventos extremos por cambio climático.
- Estudio estructural de la obra de protección.
- Estudio geológico y geotécnico de la cimentación.
- Plan de acción durante emergencias.

OTROS MODOS DE FALLO

- Planes de ordenación urbana de los municipios afectados por el parque de placas fotovoltaicas.
- Planes de operación y mantenimiento de las placas fotovoltaicas.
- Protocolos de alerta a la población en caso de incendio.
- Programas de acción frente emergencias.
- Estudios de impacto ambiental.

4. Recomendaciones y mejores prácticas

A continuación, se recopilan una serie de recomendaciones y mejores prácticas de intervención según las tipologías de Modos de Fallo.

MODO DE FALLO HIDROLÓGICO

Para disminuir el riesgo de los Modos de Fallo de tipología hidrológica se tendrá en cuenta:

- En caso de que haya falta de datos de precipitaciones en el país por escasez de red de estaciones meteorológicas y alta variabilidad geográfica de la precipitación, se realizarán los análisis y ajustes pertinentes de las series históricas.
- Se considerará la incertidumbre en los datos de precipitaciones existentes por problemas en el registro de datos y el mantenimiento de la red.
- Se deberá tener en cuenta la gran variabilidad climática entre diferentes años.
- Tener en cuenta los estudios existentes sobre el cambio climático, este producirá mayor recurrencia de las precipitaciones extremas y caudales pico.
- El diseño del proyecto debe incluir un diseño detallado del sistema de drenaje, asegurando que haya un adecuado drenaje de toda la planta solar y evitar concentraciones de escorrentías en el terreno que erosione el suelo.
- Situar las instalaciones eléctricas de los paneles solares (interconexiones, cajas de cadenas, etc.) en las partes altas de las estructuras para evitar problemas durante posibles inundaciones.
- Situar los centros de transformación de la planta en terrenos elevados para evitar la entrada de agua por escorrentía e inundaciones.
- Deberán analizarse las características topográficas, geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas del terreno donde se ubiquen las placas fotovoltaicas. El alcance de las investigaciones y estudios a realizar será tal que permita caracterizar los terrenos afectados por la obra y obtener los parámetros de cálculo necesarios para determinar la resistencia, deformabilidad, permeabilidad y estabilidad físico-química del terreno.
- Los parámetros resistentes a emplear en los cálculos se justificarán con un número suficiente de ensayos, además de con otros métodos indirectos que redunden en una mayor robustez de la estimación.
- Se tendrán en cuenta las acciones sísmicas sobre las placas fotovoltaicas, de conformidad con la actividad sísmica de la región en la que se ubica la infraestructura.
- Realizar visitas técnicas al emplazamiento donde se ubican las placas fotovoltaicas para detectar posibles aspectos que no se hayan tenido en cuenta durante el diseño o averiguar los motivos del mal funcionamiento.
- Elaborar un Manual de operación y mantenimiento de la infraestructura, con el fin de disponer de los procedimientos y el personal necesario para la realización de la operación y el mantenimiento. Se recomienda que el manual incluya: tareas a realizar (inspecciones, mediciones, mantenimiento de auscultación, revisiones de seguridad, etc.), los responsables de realizar cada tarea, la periodicidad de cada una y el departamento/administración local de la que dependen.

MODO DE FALLO FUERTES VIENTOS

Para disminuir el riesgo de los Modos de Fallo de tipología fuertes vientos se tendrá en cuenta:

- Realizar cálculos estructurales considerando la acción del viento.
- Con el fin de reducir la incertidumbre sobre las cargas de diseño de viento, se recomienda realizar un estudio específico de vientos para el emplazamiento del parque de placas fotovoltaicas. El cambio climático debe incorporarse en la modelización.
- Seleccionar una carga de diseño superior a la velocidad del viento recomendada en las Directrices ASCE (American Society of Civil Engineers) y otros estudios, considerando también que el cambio climático puede aumentar la frecuencia e intensidad de los huracanes en el futuro.
- Para que la estructura de los paneles soporte la acción del viento, se recomienda que se diseñen los cimientos y los bastidores de los paneles con cálculos de ingeniería específicos. Las barras y uniones deben tener suficiente resistencia y los cimientos deben ser suficientemente profundos y anchos.
- Incluir un análisis de resonancia de estas estructuras para evaluar el efecto potencial de las cargas dinámicas del viento en los bastidores de paneles.
- Incluir suficiente separación entre los bastidores y los marcos para evitar el fallo en cascada.
- Analizar la viabilidad de incluir muros cortavientos exteriores que impidan la proyección de escombros sobre la planta durante estos eventos.
- El uso de cables subterráneos para el nivel de distribución dentro de la central eléctrica cuando sea posible puede reducir los fallos debidos al fuerte viento o al impacto de escombros en las líneas aéreas y en la subestación, aparatos o transformadores.
- Realizar el mantenimiento de la infraestructura.
- Las placas fotovoltaicas y su cimiento deberán disponer de equipos de auscultación adecuados para poder analizar su comportamiento de forma periódica y detectar las anomalías que pudieran afectar a su seguridad.
- Proteger los equipos de monitorización con herramientas para la detección y prevención del vandalismo frente a estos elementos.

MODO DE FALLO POR MAREJADAS

Para disminuir el riesgo de los Modos de Fallo por marejadas se tendrá en cuenta:

- Se considerará el conocimiento disponible sobre los posibles cambios a largo plazo en las condiciones hidrológicas y las posibles repercusiones del cambio Climático. Se justificará el grado de fiabilidad de las metodologías utilizadas en el proyecto.
- Realizar visitas técnicas al emplazamiento donde se ubican las placas fotovoltaicas para detectar posibles aspectos que no se hayan tenido en cuenta durante el diseño o averiguar los motivos del mal funcionamiento de la infraestructura.
- Deberán analizarse las características topográficas, geológicas, hidrogeológicas y geotécnicas del terreno donde se vayan a construir las placas fotovoltaicas. El alcance de las investigaciones y estudios a realizar será tal que permita caracterizar los terrenos afectados por las placas fotovoltaicas y obtener los parámetros de cálculo necesarios para determinar la resistencia, deformabilidad, permeabilidad y estabilidad físico-química del terreno.
- Los parámetros resistentes a emplear en los cálculos se justificarán con un número suficiente de ensayos, además de con otros métodos indirectos que redunden en una mayor robustez de la estimación.
- Elaborar un Manual de operación y mantenimiento de la infraestructura, con el fin de disponer de los procedimientos y el personal necesario para la realización de la operación y el mantenimiento. Se recomienda que el manual incluya: tareas a realizar (inspecciones, mediciones, mantenimiento de auscultación, revisiones de seguridad, etc.), los responsables de realizar cada tarea, la periodicidad de cada una y el departamento/administración local de la que dependen.

OTROS MODOS DE FALLO

Para disminuir el riesgo de los otros Modos de Fallo se tendrá en cuenta:

- Cuando se trate de problemas sociales, se tendrá en cuenta la opinión de la población y se realizarán reuniones para tratar de llegar a acuerdos.
- Se crearán alertas de aviso de incendios, se diseñarán planes de evacuación y procedimiento de actuación de los servicios de emergencia.
- Se elaborará un plan ambiental que especifique los usos y limitaciones del suelo.
- Utilizar componentes de montaje que contengan los mismos metales, o metales con un potencial electroquímico similar. Si los componentes de montaje están formados por dos metales con una gran diferencia de potencial electroquímico, deberán añadirse arandelas aislantes a los componentes de montaje.
- Disponer de un sistema de comunicaciones que permita la supervisión continua del funcionamiento de los distintos equipos, así como su control remoto y la regulación de la producción.
- Debe disponerse de generadores diésel en la planta que puedan suplir las altas demandas o actuar en caso de fallo de la planta fotovoltaica.
- El sistema de baterías debe estar ubicado en un punto alto de la planta y con conexión directa a la estación transformadora para dar estabilidad a la red y permitir a los generadores diésel adaptarse a las fluctuaciones de la generación de energía solar.
- El estudio de prefactibilidad del proyecto debería analizar qué disposición sería mejor para los inversores de la central eléctrica (centralizada o descentralizada) para hacerlos más resistentes a los riesgos naturales.
- Para reducir los daños a toda la central eléctrica durante huracanes o inundaciones, debe realizarse un estudio de la separación física de los generadores fotovoltaicos (grupo de módulos de paneles solares). Esta separación podría complementarse con una separación eléctrica del generador, utilizando varias centrales conectadas a través de un anillo de media tensión para reducir la vulnerabilidad del proyecto.
- La configuración de la central solar debe facilitar la posibilidad de generar energía en modo isla si se pierde la red externa. En esta situación, los inversores deben estar preparados para generar su propia red y desconectarse de la red externa, suministrando energía a los servicios básicos como los hospitales.
- Disponer de un Plan de Acción de Emergencia que detalle todas las acciones a tomar antes y después de un huracán, así como describir los procedimientos de comunicación y gestión durante eventos.

II. Escombreras



1. Características particulares para escombreras

A lo largo de este documento se muestran las características particulares asociadas al Taller de Identificación de Modos de Fallo para escombreras. En concreto, los aspectos específicos que varían respecto de la metodología general presentada en la guía están relacionados con el mínimo de participantes que deben asistir y la viabilidad o no para realizar la visita técnica en línea.

1.1 Participantes

Las sesiones de identificación de Modos de Fallo están constituidas por un facilitador y una serie de participantes. En el caso de escombreras es recomendable que como mínimo en el taller haya un técnico experto en los siguientes campos:

- El **diseño de la escombrera**. Es recomendable la presencia de los técnicos responsables del diseño del proyecto y de la construcción, en su caso, para que compartan su experiencia, las problemáticas acaecidas y posibles modificaciones que sufrió el diseño original, así como el proceso constructivo empleado. Estos participantes enriquecen los talleres de Modos de Fallo, pero no son actores críticos para su desarrollo a excepción de los proyectos en fase de diseño, en los cuales este personal es clave.
- La **hidrología e hidráulica**. Se recomienda invitar al experto/s que haya participado en el estudio de la hidrología e hidráulica durante el diseño de las obras o en su defecto a un

experto en el tema que pueda aportar su opinión. En el caso de inundaciones, la hidrología e hidráulica juegan un papel fundamental en el diseño del sistema de drenaje de las escombreras. El experto en hidrología e hidráulica es relevante independientemente de la fase en la que se encuentre la infraestructura a la hora de realizar el taller (proyecto, construcción u operación).

- Técnico con experiencia en medidas de **adaptación al cambio climático**. Los proyectos de escombreras incluyen un estudio hidrológico y/o hidráulico para evaluar el comportamiento de las obras de drenaje, por lo que puede ser importante la influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones. Por es que se recomienda invitar a un experto en el tema de riesgos de cambio climático que pueda aportar su opinión. Independientemente de la fase de proyecto en la que se realice el taller, se recomienda invitar a esta figura a participar en la sesión.
- La **geología, geotecnia y sismicidad de la zona**. Se recomienda la presencia de un técnico experto en el campo de geología y geotecnia que pueda aportar su opinión respecto de los materiales de la cimentación y los potenciales deslizamientos de los taludes de la escombrera. Asimismo, si la obra se encuentra en una zona sísmica, el geólogo debe tener conocimientos suficientes para identificar si se han analizado los riesgos derivados y si se ha diseñado la escombrera según estas solicitudes. Independientemente de la fase de proyecto en la que se realice el taller, se recomienda invitar a esta figura a participar en la sesión.
- **Personal encargado de la explotación y vigilancia de la escombrera**. En caso de estar evaluando una escombrera en fase de operación, se recomienda que los técnicos encargados de realizar las inspecciones y la vigilancia de la escombrera asistan al taller, pues su experiencia puede ser fructífera a la hora de identificar potenciales Modos de Fallo por mal funcionamiento.
- **Gestión de emergencias**. Se recomienda invitar a los talleres al personal encargado de la gestión de emergencias en caso de fallo o mal funcionamiento de la escombrera. Estos participantes ayudan a comprender las consecuencias derivadas del fallo o mal funcionamiento de la infraestructura y a entender cómo está organizado el sistema de gestión de emergencias.
- **Representantes locales y de comunidades minoritarias** que pueden aportar conocimientos de la zona relevantes para el desarrollo del taller, por ejemplo, acerca del impacto que genera la escombrera en las comunidades cercanas o sobre cómo les afectan las amenazas naturales específicas de la zona.
- **Especialista en medio ambiente**. Es recomendable invitar a los talleres a personal experto en medio ambiente, puesto que puede aportar su opinión respecto a las consecuencias ambientales que puede desencadenar un fallo en la operación de la escombrera.
- Finalmente, es recomendable la presencia de **expertos externos** al proyecto. Los expertos no solo aportan su vasto conocimiento en escombreras, sino que ofrecen una visión ajena al proyecto, poniendo de manifiesto aspectos que pueden pasar desapercibidos frente a los técnicos encargados por el simple hecho de estar inmersos en el proyecto.

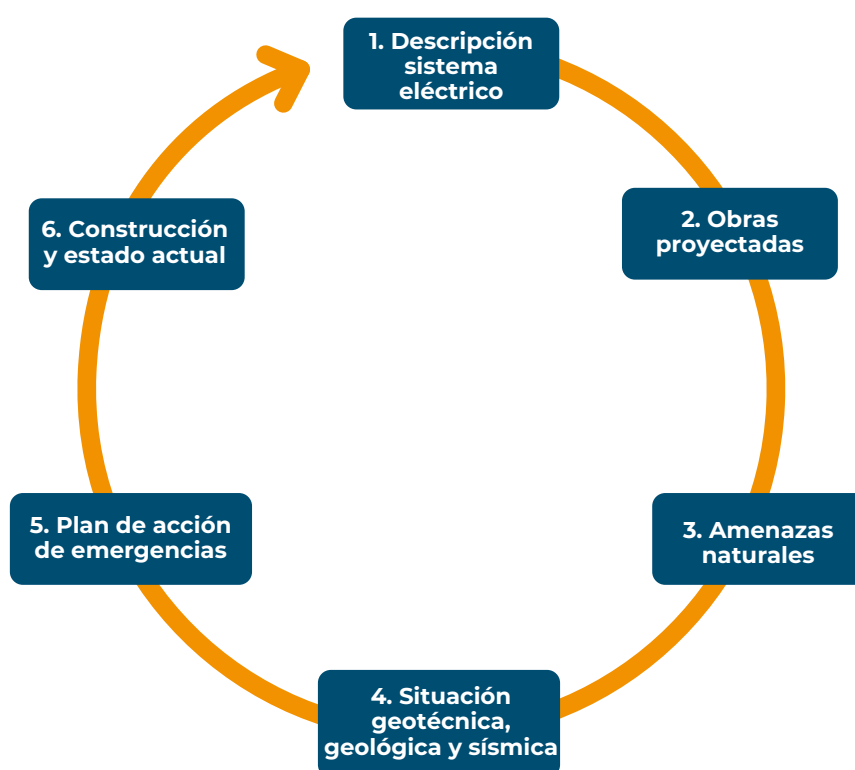
Si bien estos actores son los recomendables para la realización de Talleres de Identificación de Modos de Fallo para escombreras, hay que estudiar cada obra y analizar que actores de los presentados en el listado son realmente necesarios para cada caso concreto, así como la necesidad de incorporar otros actores.

1.2 Revisión de información

Tal y como se ha explicado en la “Guía metodológica para la realización de Talleres de Identificación de Modos de Fallo”, la revisión y el análisis de información existente constituye el primer paso para la identificación de Modos de Fallo y debe cubrir todos los aspectos clave en materia de gestión de seguridad, partiendo de los aspectos relativos a las fases de diseño y construcción de la infraestructura, para pasar a la evaluación del sistema, el funcionamiento y el estado en el que se encuentra la infraestructura.

La revisión de información debe incluir los puntos clave de los documentos. Por ello, desde el punto de vista conceptual, los elementos fundamentales que deben considerarse para el análisis de escombreras durante la revisión de información se muestran en la Figura 1.

Figura 1. Elementos clave de la revisión de información



Cabe destacar que algunos puntos clave mencionados en este esquema no serán necesarios según en qué fase de proyecto se encuentre la infraestructura, por ejemplo, como es previsible, el estado actual no se considerará en una infraestructura en fase de proyecto.

1.3 Visita técnica

La visita técnica es una de las principales etapas de los talleres, ya que permite tener una visión integral del estado actual de la infraestructura y detectar posibles daños que puedan derivar en el fallo de la infraestructura.

Esta tarea es recomendable realizarla de manera presencial, ya que permite una inspección más detallada por parte de los expertos. Sin embargo, en algunas infraestructuras, se puede plantear su realización online en caso de que la opción presencial no sea viable logísticamente.

En el caso de escombreras, es interesante realizar el taller de manera online, mostrando videos y fotos aéreas de la infraestructura realizadas por dron. Esto se debe a que, durante la operación de la escombrera, puede haber una gran cantidad de movimientos de maquinaria pesada y un continuo movimiento de tierras, por lo que, si se realiza una visita presencial, podría haber peligros y riesgos, además de entorpecer las labores de los trabajadores. Por ello, es recomendable realizar el taller online, ya que el video realizado con dron ofrece de manera rápida una visión general de la infraestructura. No obstante, esto no descarta que se pueda realizar de manera presencial, tomando las correspondientes medidas de seguridad.

2. Modos de Fallo

A continuación, se enumeran los Modos de Fallo más característicos para escombreras y una clasificación según la tipología de los Modos de Fallo, que se divide en estructurales y otros Modos de Fallo.

2.1. Modos de Fallo ESTRUCTURALES:	32
• Deslizamiento de las laderas de la escombrera.	32
• Mala impermeabilización de la escombrera y contaminación.	33
2.2. OTROS Modos de Fallo:	34
• Fuego en la escombrera.	34
• Inundación de la escombrera y contaminación.	35
• Conflictos sociales por falta de socialización de nuevos proyectos.	36

A continuación, se desarrollan los Modos de Fallo más representativos para escombreras y se detallan los factores que influyen en el riesgo del Modo de Fallo. Tanto los Modos de Fallo como los factores están definidos de manera general, es decir, el lector los puede emplear como referencia, pero deberá desarrollar sus propios Modos de Fallo a lo largo del taller y con la participación de todos los integrantes del grupo de trabajo.

Asimismo, los factores están redactados de manera neutra para cada Modo de Fallo con la finalidad de que el lector los tome como referencia, teniendo él mismo que decidir para su caso concreto si los factores aumentan o disminuyen el riesgo de su Modo de Fallo.

Existen una serie de factores que, de alguna manera, influyen en el riesgo de todos los Modos de Fallo. Por este motivo, y con el fin de evitar repeticiones en cada una de las descripciones realizadas para cada uno de los Modos de Fallo característicos, se presentan estos factores en el siguiente listado y no se repiten en las tablas posteriores.

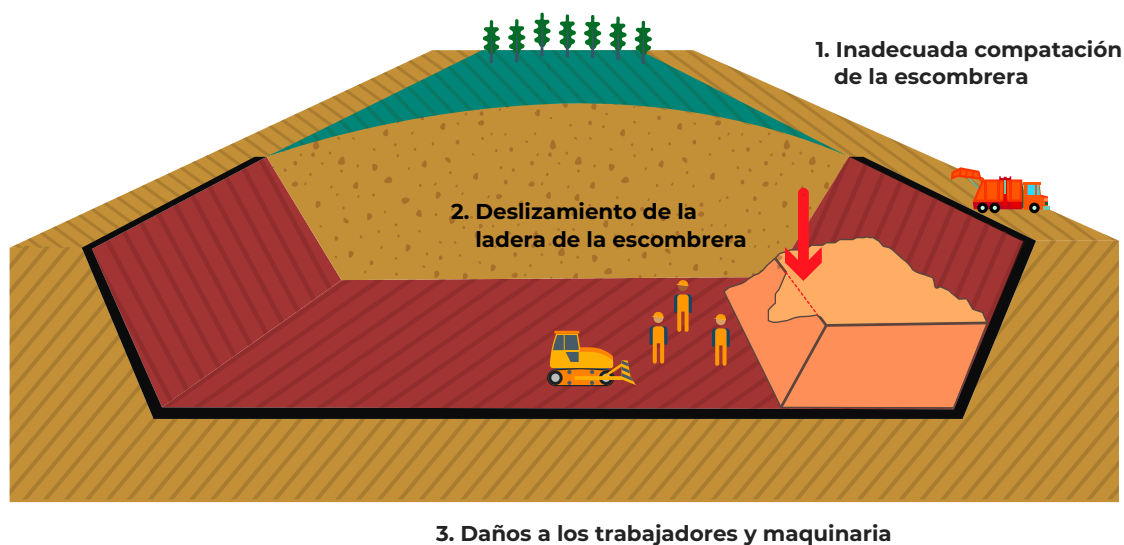
Factores que considerar en todos los Modos de Fallo de las escombreras:

- Disponibilidad de recursos para los estudios previos o de preinversión de los proyectos de escombreras.
- Control de calidad y supervisión durante la operación de la escombrera.
- Existencia de Planes de Actuación Durante Emergencias.
- Existencia de marco legal e institucional de regulación.

2.1. Modos de Fallo estructurales

DESLIZAMIENTO DE LAS LADERAS DE LA ESCOMBRERA

En escenario sísmico o de operación normal, debido a la mala ejecución de la compactación de las capas de la escombrera, se produce un deslizamiento de un elevado volumen de tierra y residuos. Este arrastre de material llega a la zona baja de la escombrera donde pueden encontrarse trabajadores y maquinaria que quedarían soterrados, provocando grandes consecuencias económicas y sociales.

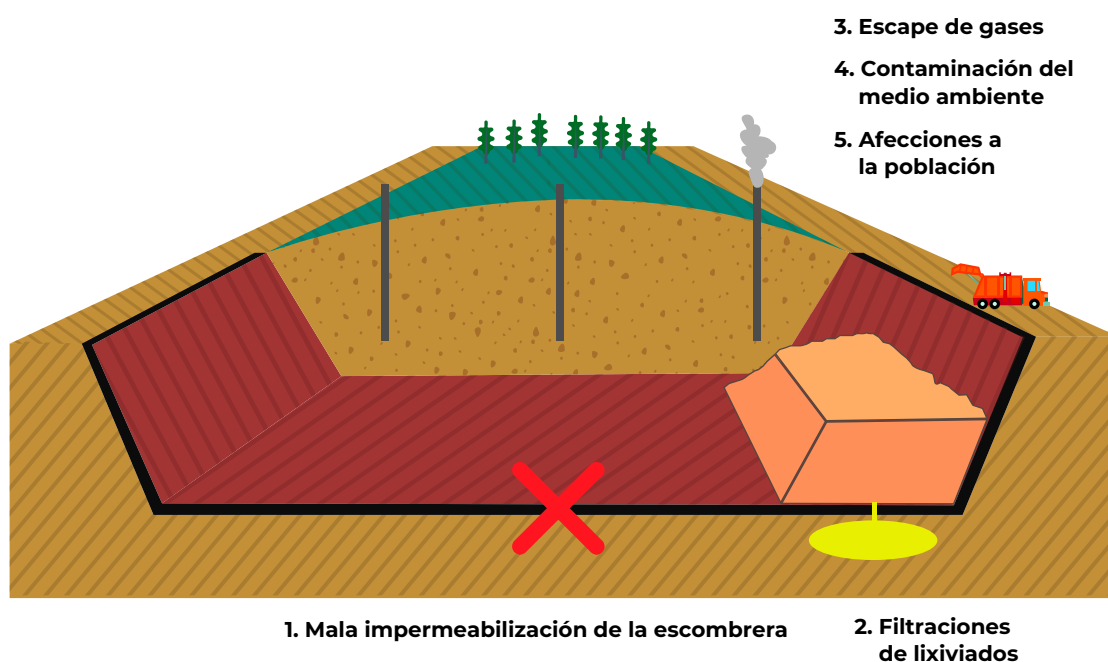


Factores que influyen en el riesgo

- Presencia de instrumentación y vigilancia en las escombreras para detectar problemas.
- Identificación de puntos críticos de deslizamientos.
- Adecuado diseño estructural de la escombrera, control de la inclinación de los taludes.
- Conocimiento de las reglas de operación por los trabajadores.

MALA IMPERMEABILIZACIÓN DE LA ESCOMBRERA Y CONTAMINACIÓN

En escenario de operación normal, debido a la mala ejecución de la impermeabilización de las capas de la escombrera, se producen escapes de gases y filtraciones de lixiviados. Las fugas de los lixiviados penetran en el terreno natural contaminándolo y pudiendo llegar a afectar a masas de agua superficiales o acuíferos cercanos a la escombrera. Asimismo, el escape de gases contamina el ambiente, pudiendo llegar a las poblaciones cercanas y generando problemas de salud.



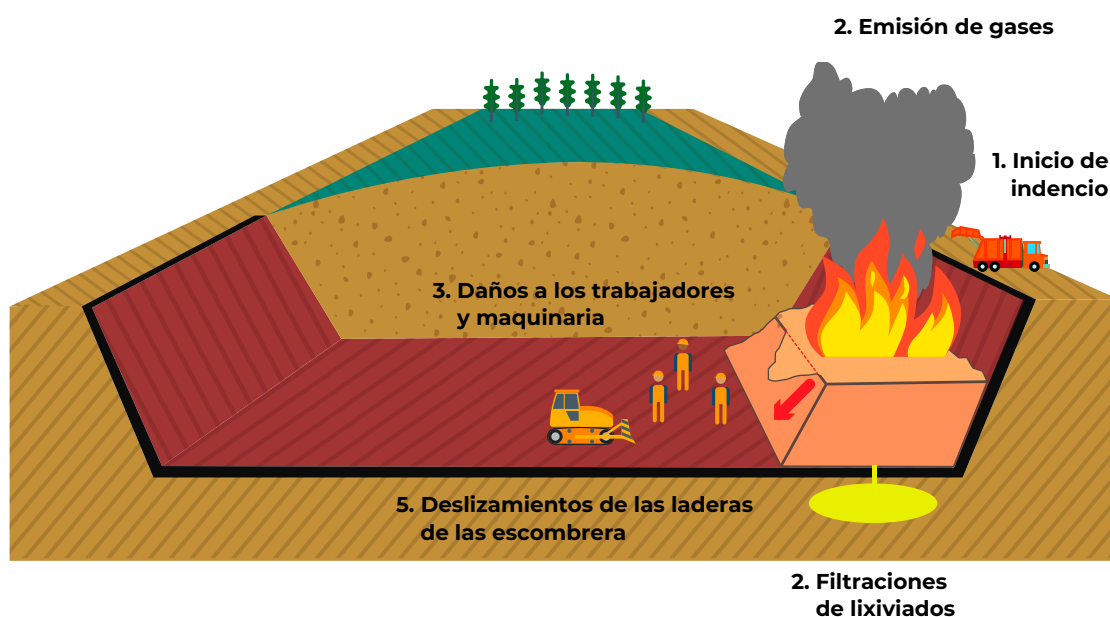
Factores que influyen en el riesgo

- Presencia de instrumentación y vigilancia en las escombreras para detectar problemas.
- Disponibilidad de estudios y ensayos geotécnicos del material de la zona donde se ubica la escombrera.
- Adecuado dimensionamiento de las obras de drenaje de lixiviados y de aguas pluviales.
- Conocimiento de las reglas de operación por los trabajadores.

2.2. Otros Modos de Fallo

FUEGO EN LA ESCOMBRERA

En un escenario de operación normal, puede producirse un incendio en la escombrera a causa de fallos técnicos o eléctricos de la maquinaria, a la actividad humana, la autoignición provocada por el autocalentamiento de los residuos o la existencia de incendios forestales cercanos a la ubicación de la escombrera. El fuego lleva ligado la emisión de gases tóxicos, posibles destrucciones de instalaciones, daños a las personas, contaminación por lixiviados y deslizamientos de las laderas de la escombrera, generando grandes consecuencias económicas y sociales.

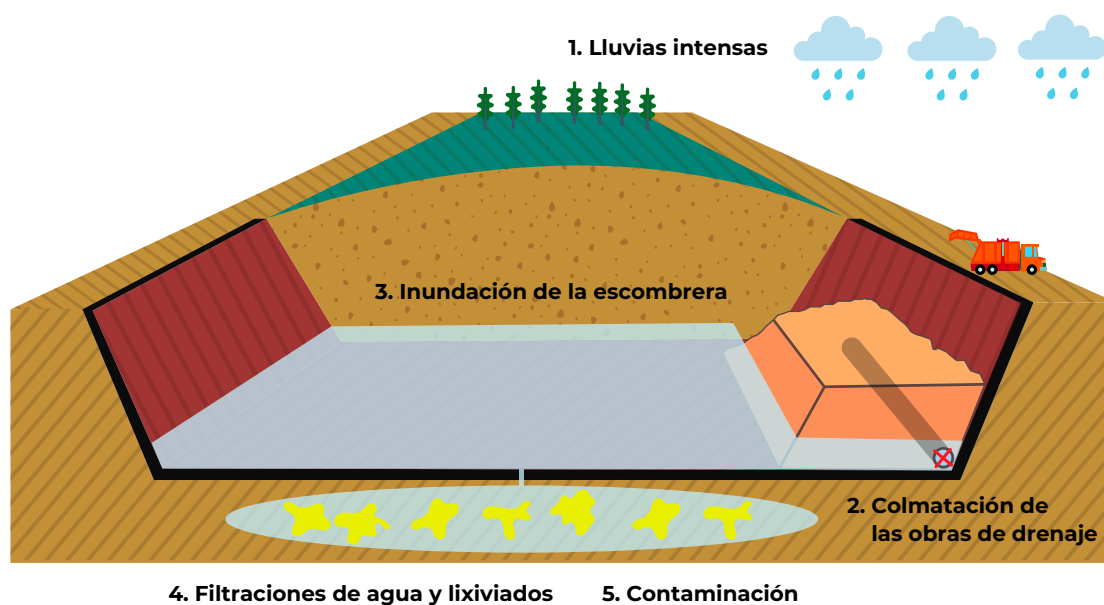


Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos meteorológicos y existencia de redes de estaciones meteorológicas.
- Influencia cambio climático en las temperaturas.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las escombreras para detectar problemas.
- Conocimiento de las reglas de operación por los trabajadores.
- Existencia de escombreras clandestinas y/o sin cumplimiento de normativa ni medidas de seguridad.
- Adecuado mantenimiento de la maquinaria que evite sobrecalentamientos.

INUNDACIÓN DE LA ESCOMBRERA Y CONTAMINACIÓN

En escenario hidrológico, tras un periodo prolongado de lluvias se produce la colmatación de las obras de drenaje y la inundación de la escombrera. Si la impermeabilización de cada capa no está bien ejecutada, las filtraciones de agua en el terreno pueden arrastrar con ellas lixiviados produciendo la contaminación del medio ambiente y provocando consecuencias económicas, sociales y ambientales.



Factores que influyen en el riesgo

- Disponibilidad de datos de precipitaciones, existencia de redes de estaciones meteorológicas y variabilidad geográfica de la precipitación.
- Influencia del cambio climático en la intensidad de las precipitaciones.
- Presencia de instrumentación y vigilancia en las escombreras para detectar problemas.
- Adecuado diseño hidráulico de las obras de drenaje.

CONFLICTOS SOCIALES POR FALTA DE SOCIALIZACIÓN DE NUEVOS PROYECTOS

Durante la construcción de las obras y debido a la incorrecta socialización de las obras, especialmente entre la población cercana a la escombrera, se producen conflictos sociales que van en aumento, produciendo el rechazo a la escombrera y bloqueos durante su construcción, impidiendo el éxito del proyecto desarrollado.



2. Bloqueos durante la construcción de las obras

Factores que influyen en el riesgo

- Acompañamiento social en las fases de preinversión, de proyecto y de construcción, de manera que los beneficiarios conozcan el proyecto.
- Manejo y conservación de información de los proyectos a lo largo de los años.

3. Relación de estudios científico-técnicos

En este apartado se mencionan una serie de apartados científico-técnicos, según la tipología de los Modos de Fallo, que deben tenerse en cuenta para reducir el riesgo de los Modos de Fallo y disminuir la incertidumbre para mejorar el diseño de las escombreras.

MODO DE FALLO ESTRUCTURAL

- Estudio estructural de la escombrera, por ejemplo, inclinación de los taludes, espesores de las capas, etc.
- Estudio geológico y geotécnico del área donde se ubica la escombrera.
- Estudio geológico y geotécnico del material que conforme los filtros o impermeabilizaciones de la escombrera.
- Estudio de amenaza sísmica.

OTROS MODOS DE FALLO

- Recopilar datos meteorológicos.
- Tener en cuenta eventos extremos por cambio climático.
- Plan de acción durante emergencias.
- Protocolos de alerta a la población en caso de incidentes en la escombrera (inundaciones, incendios, emisión de gases...).
- Planes de ordenación urbana de los municipios afectados por la construcción de la escombrera.

4. Recomendaciones y mejores prácticas

A continuación, se recopilan una serie de recomendaciones y mejores prácticas de intervención según las tipologías de Modos de Fallo.

MODO DE FALLO ESTRUCTURAL

Para disminuir el riesgo de los Modos de Fallo de tipología estructural se tendrá en cuenta:

- Realizar visitas técnicas al emplazamiento donde se ubica la escombrera para detectar posibles aspectos que no se hayan tenido en cuenta durante el diseño.
- Elaborar un Manual de operación de la escombrera, con el fin de disponer de los procedimientos y el personal necesario para la realización de la operación de la escombrera y el mantenimiento de la maquinaria. Se recomienda que el manual incluya: tareas a realizar (inspecciones, mediciones, mantenimiento de auscultación, revisiones de seguridad, etc.), los responsables de realizar cada tarea, la periodicidad de cada una y el departamento/administración local de la que dependen.
- Los rellenos sanitarios deben ser compactados cada día para favorecer el asentamiento de los residuos, evitando los deslizamientos.
- Los materiales utilizados para impermeabilizaciones, filtros y drenes deben ser adecuados y no estar contaminados.
- Proveer a la escombrera de la instrumentación pertinente y vigilancia para detectar de forma temprana posibles problemas (auscultación).
- Proteger los equipos de monitorización con herramientas para la detección y prevención del vandalismo frente a estos elementos.

OTROS MODOS DE FALLO

Para disminuir el riesgo de los otros Modos de Fallo se tendrá en cuenta:

- Estudios existentes sobre el cambio climático. Éste producirá mayor recurrencia de las precipitaciones extremas y eventos extremos.
- Realizar un adecuado dimensionamiento de las obras de drenaje de aguas pluviales, teniendo en cuenta los datos de precipitaciones del país.
- Realizar un adecuado dimensionamiento del sistema de recogida de lixiviados y de las chimeneas de emisión de gases, planificado con capacidad suficiente para eventos de lluvias intensas.
- Cuando se trate de problemas sociales, se tendrá en cuenta la opinión de la población y se realizarán reuniones para tratar de llegar a acuerdos.
- Se crearán alertas de aviso de incendios, se diseñarán planes de evacuación y procedimiento de actuación de los servicios de emergencia.
- Garantizar que la escombrera tenga más de una vía de acceso, en caso de emergencias.
- Se elaborará un plan ambiental que especifique los usos y limitaciones del suelo.
- En el caso de afecciones al medio ambiente, se implantarán las medidas necesarias para preservar el medio ambiente.

Referencias

Banco Interamericano de Desarrollo. *Resumen ejecutivo de la metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático del BID*. 2018.

Banco Interamericano de Desarrollo. *Metodología de evaluación del riesgo de desastres y cambio climático para proyectos del BID*. 2019.

International Standardization Organization (ISO). *Risk Management – Principles and Guidelines*. ISO 31000. 2009.

International Electrotechnical Commission. *Analysis Techniques for System Reliability – Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*. International Standard. 2006.

Mecca, S., y Masera, M. *Technical Risk Analysis in Construction by Means of FMEA Methodology*. 1999.

Kim, J. H., H. Y. Jeong, y J. S. Park. *Development of the FMECA Process and Analysis Methodology for Railroad Systems*. 2009.

Aguilar Otero, J., Torres Arcique, R., y Magaña Jiménez, D. *Análisis de modos de fallo, efectos y criticidad (FMECA) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad*. 2010.

Zeng, S. X., Tam, C. M., y Tam, V. W. Y. *Integrating Safety, Environmental and Quality Risks for Project Management using a FMEA Method*. 2010.

Carlson, C. S. *Effective FMEAs. Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis*. 2012.

SPANCOLD. *Guías Técnicas de Seguridad de Presas. Guía Técnica N° 8 de Explotación de Presas y Embalses. Análisis de Riesgos aplicado a la Gestión de Seguridad de Presas y Embalses*. 2012.

Hwang, H., Lansey, K., y Quintanar, D. R. *Resilience-based Failure Mode Effects and Criticality Analysis for Regional Water Supply System*. 2015.

Rasoul, Y. y Hanewinkel, M. *Climate Change and Decision-Making Under Uncertainty*. 2016.

Marchau, Vincent A.W.J., Warren E. Walker, Pieter J.T.M. Bloemen, y Steven W. Popper. *Decision Making Under Deep Uncertainty. From Theory to Practice*. 2019.

Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Bolivia). *Medidas de protección y mitigación para reducir riesgos para eventos de inundación y crecidas en áreas agrícolas y urbanas en cuencas Alta y Baja*. 2021.

