



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ANÁLISIS DE RIESGOS Y ESTUDIO DE  
PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE (PML POR  
SUS SIGLAS EN INGLÉS) DE UNA  
DESALADORA**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Civil**

**P R E S E N T A**

Daniel Alfonso Reséndiz García

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Luis Antonio García Villanueva



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023



# Contenido

**1.-Introducción ..... 3**

**2.-Análisis de Riesgos ..... 6**

    2.1.-Información general del proyecto ..... 6

    2.2.-Identificación de la zona ..... 8

    2.3.-Riesgos ..... 9

    2.4.-Exposición a riesgos geo-hidrometeorológicos ..... 10

    2.5.-Exposición a riesgos antrópicos ..... 21

    2.6.-Histórico de accidentes en el sistema de agua potable ..... 26

    2.7.-Mapas de riesgos ..... 27

    2.8.-Inspección de campo ..... 31

    2.9.-Resumen de riesgos ..... 31

**3.-Valores del proyecto ..... 32**

**4.-Pérdida Máxima Probable (PML) ..... 33**

    4.1.-Escenarios Geo-Hidrometeorológicos ..... 34

    4.2.-Escenarios Antrópicos ..... 39

    4.3.-Resultados de Escenarios por cobertura ..... 45

    4.4.-Simulaciones Software @Risk ..... 46

**5.-Conclusiones ..... 50**

**Referencias de estudio ..... 51**

**Agradecimientos ..... 54**





## **1.-Introducción**

El análisis de riesgos implica la consideración de las causas y las fuentes del riesgo, sus consecuencias, y la probabilidad de que éstas consecuencias puedan ocurrir. Se deberían identificar los factores que afectan a las consecuencias y a la probabilidad. Un suceso puede tener múltiples consecuencias y puede afectar varios objetivos (AENOR, 2011).

Una vez realizado el análisis y la identificación de riesgos, se procede con la jerarquización de éstos, considerando principalmente a los más catastróficos, para posteriormente establecer estrategias, planes y actividades para reducir la magnitud de daños ante la presencia de estos, para lo cual se realiza la implementación de mitigadores.

La Pérdida Máxima Probable o Probable Maximum Loss (PML), se define como: La pérdida más grande que se cree posible en un periodo de retorno definido, tal como 1 en 10 años o uno en 250 años (The World Bank, 2009).

Existen diversos fenómenos tanto de origen geo-hidrometeorológico como antrópico de los cuales pueden derivarse situaciones que pongan en riesgo la integridad de los factores de producción de una empresa, por lo que es indispensable realizar análisis de riesgos y cuantificar la Pérdida Máxima Probable a la cual está expuesta una zona de interés, lo que conlleva a conocer cuáles son los peores escenarios y en qué magnitud pueden afectar física y económicamente a ésta, así como en cuestiones de operación y continuidad de los procesos. De esta forma conocer que sistemas mitigadores son los adecuados.

Considerando todo lo anterior y teniendo una perspectiva de prevención, existen compañías dedicadas a brindar servicios de aseguramientos para diferentes tipos de pérdidas asociadas a los diversos eventos que pueden generar afectaciones, por lo que es muy importante cuantificar las posibles pérdidas económicas y físicas para tener un respaldo financiero. Así mismo, en las diferentes etapas de los proyectos la realización de análisis de riesgos y el contar con un seguro es un requisito primordial.

Dentro del proceso de aseguramiento y reaseguramiento de cualquier tipo de bien o instalación, es necesario la intervención de empresas de ingeniería que funjan como una parte neutra, sin intereses de por medio para la realización de evaluaciones objetivas, análisis y estudios. Por lo que, tanto el asegurado como el asegurador contratan estos servicios de ingeniería para identificar cuáles son las exposiciones más grandes, determinar si los mitigadores son los suficientes y adecuados y determinar las posibles pérdidas físicas y económicas que podrían surgir en las diversas etapas de proyecto.





Con esto, tener valores de referencia para definir los costos para las diferentes coberturas correspondientes.

### *Descripción del problema*

Ante el crecimiento de la sociedad, el incremento acelerado de la demanda de consumo de recursos vitales, como el agua, surge la necesidad de desarrollar proyectos para poder satisfacer y cubrir con las dotaciones mínimas requeridas para la población.

Una desaladora, cumple con la función aportar agua para el consumo humano. Esto, mediante la extracción de agua de pozos y pasando por diversos procesos con el fin de obtener los valores establecidos en los parámetros de la NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”, (DOF, 2021).

El desarrollo de este proyecto se encuentra expuesto a condiciones tanto de origen natural como de las actividades humanas que pudiesen generar daños a uno o varios de sus factores de producción en algún momento de su vida útil.

### *Objetivo general*

- Realizar un Análisis de Riesgos para la determinación la Pérdida Máxima Probable mediante la estimación de daños asociados a los diferentes fenómenos catastróficos a los que se encuentra expuesta la Desaladora.

### *Objetivos Específicos*

- Identificar las amenazas a las cuáles se encuentra expuesta la Desaladora para la determinación de las que representan los niveles de riesgo mayor con base en la revisión de la estadística, las condiciones geológicas e hidrometeorológicas de la zona y las características del proyecto.
- Proponer posibles escenarios asociados a los fenómenos que se encuentra expuesta la Desaladora para la estimación de los daños generados en cada evento mediante curvas de





fragilidad, considerando diversas variables de afectación, relación media de daño, periodos de retorno y la incidencia.

- Determinar un rango de valores de pérdida en cada escenario (pesimista, conservador y optimista) para la obtención de porcentajes de confiabilidad mediante la realización de iteraciones con el software @Risk.





## **2.-Análisis de Riesgos**

### **2.1.-Información general del proyecto**

Este proyecto surge ante la necesidad de aportar agua al actual suministro proveniente de un acuífero, ya que los altos niveles de demanda, los cuales surgen de diversos municipios en el estado de Sonora sobrepasan la capacidad del acuífero. Esta demanda de agua tiene como fin el uso doméstico, comercial, industrial y público. La operación de esta desaladora consiste en:

- Captación de agua proveniente de pozos.
- Desalación de agua.
- Potabilización de agua.
- Conducción y entrega del producto final.
- Disposición del agua de rechazo (salmuera).

El proceso consiste en la captación de agua por medio de pozos para posteriormente pasar a la desalinización mediante el método de ósmosis inversa, luego al depósito de agua producto, tratamiento de efluentes y entrega del agua potable. Este proyecto contempla una capacidad de diseño de 210 l/s y una capacidad nominal de 200 l/s.

Las instalaciones y los activos de este proyecto se encuentran expuestos a diferentes fenómenos y sus respectivas consecuencias de acuerdo con el tipo de actividades realizadas, las características de la zona, así como también de las condiciones que se tengan durante su vida útil, como el mantenimiento preventivo, correctivo, uso adecuado, capacitación del personal, etc.

El fin de la realización de este estudio, es la identificación y determinación de los posibles riesgos de la zona de interés durante la construcción, puesta en marcha y operación, tomando en cuenta las exposiciones y los mitigadores, considerando:

- Ubicación (hidrología y geología).
- Históricos de eventos en la zona y en el giro.
- Actividades durante las construcción y operación.
- Manejo y disposición de sustancias y residuos.
- Tipo constructivo.
- Contenido.
- Capacitación y planes de emergencia.
- Señalización.
- Elementos de protección personal.





### *Consideraciones para el estudio*

Para la realización del presente Análisis de Riesgos y Pérdida Máxima Probable, se consideran diseños generales y especificaciones establecidas en las normativas correspondientes para cada actividad. También se consideran datos paramétricos de proyectos similares para estimar porcentajes en cantidades de materiales, mano de obra y todos los conceptos involucrados en el proyecto.

Los escenarios propuestos están basados en los fenómenos y sus respectivas consecuencias que presentan los niveles de riesgo mayor y en la magnitud de la afectación de dichos eventos.

Para el desarrollo particular del Estudio de Pérdida Máxima Probable, se especifican las consideraciones en cada caso específico, en los cuales han sido valorados mediante alguno de los siguientes métodos;

- Curvas de fragilidad.
- Probabilidad binomial.
- Confiabilidad del sistema.
- Árbol de fallas.
- Históricos de siniestralidad.



## 2.2.-Identificación de la zona

La instalación se encuentra en el estado de Sonora, al noroeste de la República Mexicana. No se cuenta con población civil alrededor del predio del proyecto. En dirección sur se encuentra el océano pacífico, al este el Mar de Cortés, al norte se cuenta con el camino de acceso que conecta con vías federales y al este, terrenos abiertos. En la figura 2.1 se muestra la distribución de las instalaciones.

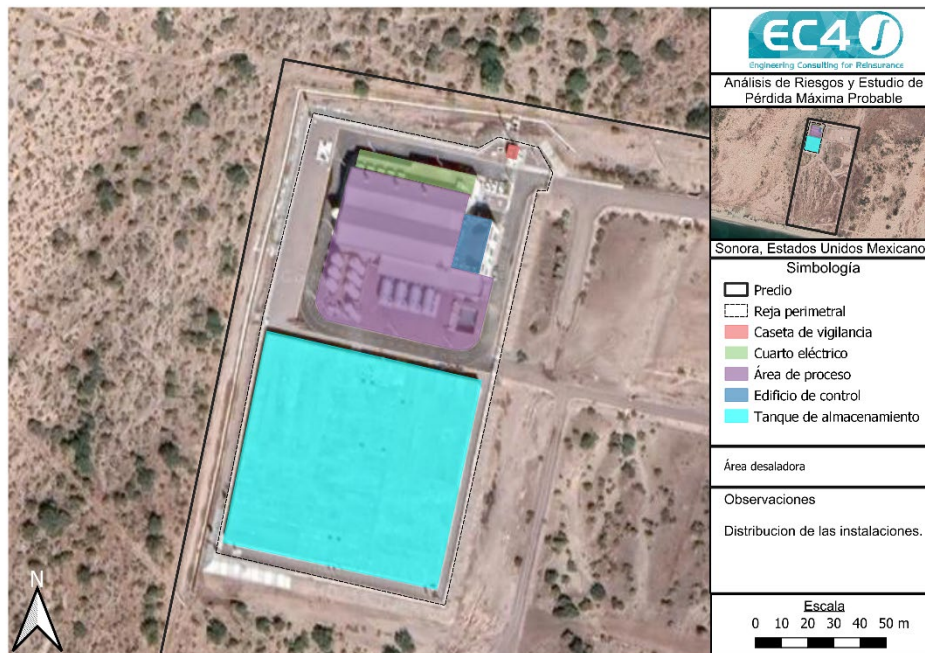


Figura 2. 1.-Identificación de la zona. Elaboración propia para EC4 mediante el software, QGIS y Google Earth Pro.

Mediante una matriz de exposición y mitigación, se asignan los grados de riesgo ante cada fenómeno. Para el caso de los fenómenos geo-hidrometeorológicos, se hace uso de la información emitida por el Centro Nacional de Prevención del Desastre (CENAPRED), que en su apartado Atlas Nacional de Riesgos se proporcionan capas de zonificación de la República Mexicana con los grados de riesgo y las respectivas áreas que abarca.

Para el caso de los fenómenos antrópicos, se hace el uso de los históricos de siniestralidad, así como también la información estadística proporcionada por organizaciones como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (INEGI).





### 2.3.-Riesgos

Mediante herramientas de Sistema de Información Geográfica (SIG) como el software QGIS y Google Earth Pro se identifican las zonas en las que se encuentra el proyecto. Posteriormente, se determinan los grados de riesgo conforme a la siguiente clasificación:

- Exposición. - Nula, Muy Baja, Baja, Media, Alta, Muy Alta
- Mitigación. - Nula, Muy Baja, Baja, Media, Alta, Muy Alta
- Riesgo. - Nulo, Muy Bajo, Bajo, Medio, Alto, Muy Alto
- Colores para riesgo. - Nulo  Muy bajo  Bajo  Medio  Alto  Muy Alto

En la tabla 2.1, se presenta la distribución de los niveles de riesgo considerando la exposición y mitigación ante cada fenómeno.

		Exposición					
		Nula	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Mitigación	Nula	Nulo	Medio	Alto	Alto	Muy Alto	Muy Alto
	Muy Baja	Nulo	Medio	Medio	Alto	Alto	Muy Alto
	Baja	Nulo	Bajo	Medio	Medio	Alto	Alto
	Media	Nulo	Bajo	Bajo	Medio	Medio	Alto
	Alta	Nulo	Muy Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
	Muy Alta	Nulo	Muy Bajo	Muy Bajo	Bajo	Bajo	Medio

Tabla 2. 1.-Matriz de riesgos. Elaboración propia para EC4, adaptado de (SMARNAT, ASEA., 2020) y con información de (SALUD OCUPACIONAL UNIVERSIDA EAFIT, 2010)





## 2.4.-Exposición a riesgos geo-hidrometeorológicos

Tabla 2. 2.-Niveles de riesgos geo-hidrometeorológicos por fenómeno y consecuencia. Elaboración propia para EC4.

Fenómeno	Consecuencias	Exposición	Mitigación	Riesgo
Tormenta/Huracán	Daños por fuertes vientos	Muy Baja	Baja	Bajo
Tormenta/Huracán	Inundaciones	Media	Media	Medio
Terremoto	Daños estructurales o derrumbes	Alta	Alta	Medio
Terremoto	Fugas	Baja	Media	Bajo
Incendio Forestal	Incendio	Muy Baja	Media	Bajo
Avalancha/ Lahares	Enterramiento	Muy Baja	Baja	Bajo
Deslizamientos de tierra	Enterramiento	Muy Baja	Baja	Bajo
Deslizamientos de tierra	Tsunami	Muy Baja	Baja	Bajo
Epidemias	Daños a la salud	Baja	Media	Bajo
Nevada	Afectación a equipos o a la producción	Baja	Media	Bajo
Sequía	Afectación a la producción, materias primas o producto terminado	Media	Alta	Bajo
Terremoto	Tsunami	Baja	Media	Bajo
Terremoto	Explosión	Baja	Media	Bajo
Terremoto	Incendio	Baja	Media	Bajo
Tormenta eléctrica	Daños por rayos	Muy Baja	Media	Bajo
Tormenta/Huracán	Daños por granizo	Muy Baja	Media	Bajo
Tormentas de nieve	Afectación a equipos o a la producción	Muy Baja	Media	Bajo
Tornados	Daño físico a las instalaciones	Muy Baja	Media	Bajo
Erupción volcánica	Daños por ríos de lava	Nula	Muy Baja	Nulo
Erupción volcánica	Daños por cenizas	Nula	Muy Baja	Nulo
Erupción volcánica	Daños por piroclastos	Nula	Muy Baja	Nulo
Plagas	Daños a activos productivos	Muy Baja	Baja	Bajo



## Terremotos

**Exposición:** Con base a la regionalización sísmica proporcionada por la Comisión Federal de Electricidad (CFE 2015), la instalación se encuentra en una zona C, en la cual los sismos no tienen una frecuencia elevada o no se presentan aceleraciones altas, no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

De acuerdo con la información del Servicio Sismológico Nacional (S.S.N., 2022) y tomando como punto de referencia la localización de este proyecto, se considera un radio de 100 km, en el cual se tiene un total de 815 sismos entre los años 1950 y 2021, donde, las magnitudes oscilan entre 2.4° como mínima y 6.6° como máxima en la escala de Richter. En la tabla 2.3, se muestran las posibles afectaciones considerando diferentes rangos de magnitudes:

Tabla 2. 3.-Efectos del sismo o terremoto con base en la magnitud de la escala de Richter. Elaboración propia con información de (S.G.M., 2017)

Magnitud Escala Richter	Efectos del sismo o terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero solo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
<b>6.1 - 6.9</b>	<b>Puede ocasionar daños severos</b>
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8.0 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas

Con base en la información obtenida del software Prodisis (IIE, CFE 2015), las aceleraciones de referencia en la zona que se encuentra ubicado este proyecto son de 326.16 cm/s<sup>2</sup>.

**Mitigación:** La estructura de la zona del área de proceso es metálica, los muros del sótano, área de control y oficinas son de block de concreto. Las tuberías son de fibra de vidrio descansan sobre soportes metálicos, los materiales usados en toda la instalación se consideran como los adecuados ante la presencia de algún terremoto.

De acuerdo con el plan de respuesta a emergencias, se identificó que se cuenta con un protocolo ante este tipo de eventos para una adecuada evacuación y considera las medidas de acción correspondientes para las actividades de operación de los equipos y maquinaria.

Con todo esto se tiene un nivel de Riesgo Medio por afectaciones por sismo.



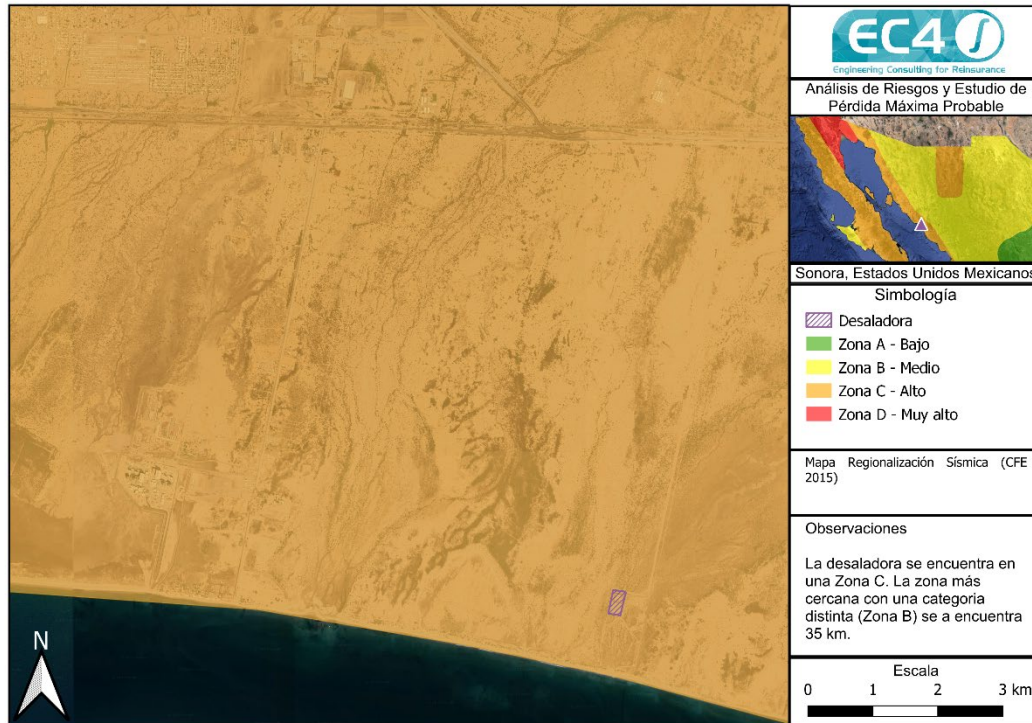


Figura 2. 2.-Regionalización sísmica (CFE 2015). Elaboración propia para EC4 mediante el software, QGIS y Google Earth Pro con información del Atlas Nacional de Riesgos, (CENAPRED, 2022).

## Huracán/Tormenta

**Exposición:** El riesgo ante la presencia de ciclones tropicales es de nivel bajo, se considera que los efectos de inundación pueden ser derivados de estos eventos, sin embargo, el riesgo por inundación se considera como un evento aparte sin estar asociado a un ciclón tropical, puesto que ante este se presentan eventos extraordinarios.

Haciendo uso de la información publicada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, DGEIA., 2022), se toman en cuenta los ciclones tropicales que han generado daños en el estado de Sonora, dentro de un periodo comprendido desde el año 1976 hasta el año 2020, tomando como referencia los eventos más significativos para la realización del estudio.



Tabla 2. 4.-Histórico de Ciclones Tropicales con impacto al estado de Sonora. Elaboración propia para EC4 con base en información de (SEMARNAT, DGEIA., 2022)

Año	Categoría del ciclón (Entre paréntesis categorías de impacto posterior)	Descripción	Estados afectados	Velocidad de impacto (km/h) (Entre paréntesis velocidad posterior de impacto)
2020	Depresión Tropical "Hernán"	Después de mantener gran parte de su trayectoria frente a la costa occidental de México, tocó tierra como depresión tropical a 4 km al sursureste de la localidad Los Frailes y a 11 km al sur de Cabo Pulmón, en la costa oriental del municipio Los Cabos, B. C. S.	Sonora, Baja California Sur, Sinaloa, Jalisco, Nayarit	55
2019	Huracán Categoría 1 "Lorena" (Depresión Tropical)	El centro del huracán "Lorena" tocó tierra a 3 km al noroeste de la población de Tenacatita, municipio La Huerta, Jal. Después de atravesar las aguas del Golfo de California, "Lorena" se degradó a depresión tropical; el centro de la depresión tropical tocó tierra en la costa de Sonora, a 7 km al sursureste de la localidad El Embudo	Jalisco, Colima, Nayarit, Michoacán, Baja California Sur, Sonora	120 (55)
2019	Tormenta Tropical "Narda" (Depresión Tropical)	"Narda" tocó tierra en la desembocadura del Río Balsas, en las inmediaciones de la Ciudad de Lázaro Cárdenas, Michoacán. La depresión tropical "Narda" tocó tierra a 10 km al sursuroeste de la población de Villa Guadalupe, Son., y a 40 km al sursuroeste de Ciudad Obregón, Son.	Jalisco, Colima, Sinaloa, Michoacán, Baja California Sur, Sonora	75 (55)





Tabla 2. 4.-Histórico de Ciclones Tropicales con impacto al estado de Sonora. Elaboración propia para EC4 con base en información de (SEMARNAT, DGEIA., 2022) (Cont.)

Año	Categoría del ciclón (Entre paréntesis categorías de impacto posterior)	Descripción	Estados afectados	Velocidad de impacto (km/h) (Entre paréntesis velocidad posterior de impacto)
2018	Tormenta Tropical "Sergio"	Toca tierra como tormenta tropical aproximadamente a 80 km al sursureste de Punta Abreojos, BCS, Después toco tierra por segunda ocasión, sobre territorio de Sonora, en la Reserva de la Biosfera Cajón del Diablo, con vientos máximos sostenidos de 65 km/h	Baja California Sur, Sinaloa, Sonora	70 (65)
2016	Huracán categoría 1 "Newton" (Tormenta Tropical)	Tocó tierra a 45 km al SE de Ciudad Constitución, BCS. El segundo impacto ocurrió a 15 km de la Bahía Kino, Son.	Baja California Sur, Sinaloa, Sonora	120 (110)
2014	Huracán categoría 3 "Odile" (Tormenta Tropical)	Tocó tierra a 10 km, al este de Cabo San Lucas, B.C. [tocó tierra en la costa noroeste de Sonora a 75 km. al sureste de Puerto Peñasco]	Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Colima, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Sonora, Baja California Sur	205 (65)





Tabla 2. 4.-Histórico de Ciclones Tropicales con impacto al estado de Sonora. Elaboración propia para EC4 con base en información de (SEMARNAT, DGEIA., 2022) (Cont.)

Año	Categoría del ciclón (Entre paréntesis categorías de impacto posterior)	Descripción	Estados afectados	Velocidad de impacto (km/h) (Entre paréntesis velocidad posterior de impacto)
1986	Huracana Categoría 1 "Newton"	Yavaros, Son	Sonora	120
1976	Huracán categoría 4 "Liza"	La Paz, BCS. [Topolobampo, Sin]	Baja California Sur, Sinaloa, Sonora	220 (215)





Con base en el histórico de ciclones tropicales con impacto en el estado de Sonora, se tiene que en el año 1986 hubo un impacto directo (esto se refiere a que la trayectoria de este fenómeno toco tierra en un punto determinado y las consecuencias en este son graves.), de un huracán categoría 1 en un municipio ubicado a 200 km al sur de la instalación. Los demás eventos no han tenido grandes repercusiones en el área del proyecto, puesto que impactan primero en la península de Baja California sur, la cual funge como una barrera para todos los ciclones tropicales formados en el océano pacifico. (SEMARNAT, DGEIA., 2022)

Los eventos con afectaciones más representativas en el estado de Sonora son depresiones y tormentas tropicales, las cuales generan vientos de entre 45 km/h – 62 km/h y 63 km/h-117km/h respectivamente. (SEMARNAT, DGEIA., 2022)

**Mitigación:** Se cuenta un plan de contingencia ante este tipo de eventos, que considera la evacuación de las instalaciones. Las estructuras de los edificios, los equipos y las tuberías se observaron en buenas condiciones y con los anclajes adecuados para resistir las velocidades de viento que pudieran generarse ante un evento.

Adicionalmente, se cuenta con actividades de monitoreo de ciclones tropicales, en donde se revisan las trayectorias y posibles fechas de impacto, con el fin de realizar las actividades preventivas y los protocolos correspondientes, en los que se realizan acciones como el resguardo de equipos, protección de las instalaciones, posible paros parciales o totales de operación, etc.

## Inundación

**Exposición:** El índice de vulnerabilidad que presenta la instalación es medio, sin considerar los elementos de mitigación, el área en la cual se encuentra este proyecto es susceptible a inundaciones.

La precipitación anual en el municipio es de 245.1 milímetros, esto en combinación con la altitud sobre el nivel del mar y la cercanía al mismo de la Desaladora, lo que deja a esta en una situación vulnerable ante eventos de inundación. El periodo registrado con lluvias más intensas está comprendido entre el 30 de junio y el 19 de septiembre (2.6 meses). El mes con mayor precipitación es agosto, el cual tiene un promedio de 10.5 días de lluvia.





**Mitigación:** En este proyecto está considerado un estudio de inundación continental y costera, para lo cual se toman en cuenta los siguientes aspectos:

- Metodología
- Definición de la cuenca correspondiente
- Parámetros morfométricos de la cuenca
- Criterios de diseño correspondientes
- Cálculo de caudales
- Hidráulica continental

Durante la visita de inspección, se observó que la instalación se encuentra desplantada sobre un terraplén de 5 metros de altura sobre el nivel natural del terreno. El camino de acceso y los caminos a los pozos de toma de agua cruda cuentan con obras de drenaje que permiten el flujo libre del agua para evitar su acumulación y socavaciones. La instalación cuenta con un canal de derivación, el cual tiene como salida la escorrentía natural del agua, lo cual evita las afectaciones a los caminos o a la instalación.

La instalación cuenta con un nivel de riesgo medio por afectaciones de inundación.

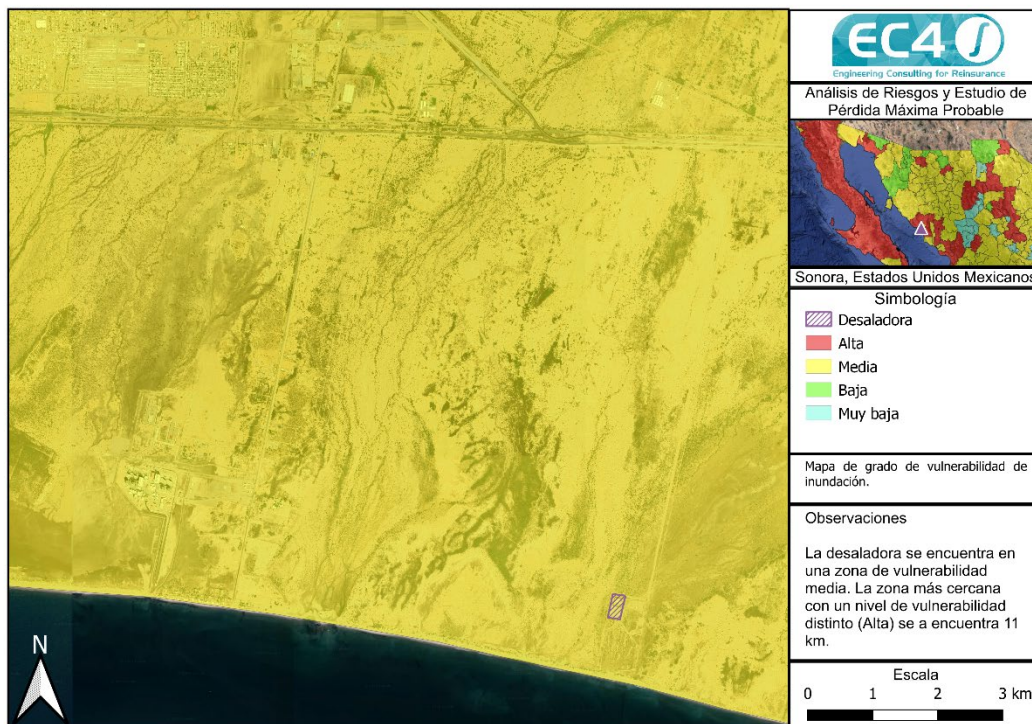


Figura 2. 3.-Índice de vulnerabilidad de inundación. Elaboración propia para EC4 mediante el software, QGIS y Google Earth Pro con información del Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2022).



## **Granizo**

**Exposición:** El área de proyecto se encuentra en una zona de riesgo muy baja por granizo, ya que en la región el clima es de templado a cálido, donde la formación de fenómenos como el granizo es de una probabilidad muy baja.

**Mitigación:** Las instalaciones son adecuadas para resistir los impactos de granizo.

## **Tormentas eléctricas**

**Exposición:** De acuerdo con el Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2022), la zona en donde se encuentra esta instalación es una zona de riesgo muy bajo por afectaciones por tormentas eléctricas.

**Mitigación:** Durante la visita de inspección se identificó un sistema de pararrayos y bajadas a tierra adecuadas, por lo que se considera que para este sistema se realizaron las consideraciones correspondientes.

## **Sequias/Altas temperaturas**

**Exposición:** En el Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2022), se identifica la zona del proyecto con riesgo medio por sequía, la cual está asociada con la presencia de altas temperaturas para lo que las principales consecuencias es el calentamiento de equipos y maquinaria.

**Mitigación:** La extracción de agua es por medio de pozos y el transporte es un sistema cerrado, por lo cual no existen afectaciones o pérdidas de producto. Para el caso de equipos y maquinaria, se toma en cuenta el adecuado mantenimiento preventivo para evitar afectaciones por sobrecalentamiento. Tomando en cuenta todo lo anterior, se tiene un riesgo bajo por afectaciones de sequía y altas temperaturas.

## **Bajas temperaturas**

**Exposición:** La zona del proyecto se considera como de riesgo bajo ante la presencia de bajas temperaturas. La temperatura media anual es de 14.7 C°. El registro de las temperaturas mínimas se tiene en los meses de enero y febrero, alrededor de 3.0 C°.





**Mitigación:** La operación de esta instalación es continua e ininterrumpida, el flujo de agua constante evita que el agua pudiese llegar a su punto de fusión, además de que la temperatura no llega a los niveles tan bajos.

## **Tornados**

**Exposición:** La presencia de tornados en la zona del proyecto es prácticamente nula. Tomando en cuenta el registro histórico de tornados en el estado de Sonora (CENAPRED, 2022), se tiene solo el dato de un evento inusual, el cual fue la formación de un tornado tipo tromba terrestre sin superar los 80 km/h. No hay registros de daños materiales o personas lesionadas, el evento tuvo una duración de apenas unos minutos. La presencia de estos eventos en el municipio que se encuentra este proyecto es atípica.

**Mitigación:** La infraestructura se considera con la resistencia suficiente en caso de que se presentara un evento de este tipo, por lo que se tiene un nivel de riesgo bajo por afectaciones de tornados.

## **Actividad volcánica**

**Exposición:** Se tiene un volcán tipo escudo en el Golfo de California en el fondo marino, el cual ha sido formado por la acumulación sucesiva de flujos de lava. Este volcán está activo y constantemente presenta fumarolas.

**Mitigación:** La distancia que se tiene entre la instalación y el volcán activo más cercano es de 140 km, por lo que todas las afectaciones asociadas a la actividad volcánica como ríos de lava, cenizas o piroclastos se considera con un nivel de riesgo nulo.

## **Avalanchas/Lahares/Deslizamientos**

**Exposición:** Debido a las condiciones topográficas y de suelo en la región, se tiene un nivel de riesgo bajo, puesto que la instalación se encuentra en un terreno plano y no hay cuerpos montañosos cercanos a la instalación que pudiesen afectar.





**Mitigación:** Algunas de las consideraciones del diseño de esta instalación, fue la nivelación del terreno y el desplante de las estructuras sobre un terraplén, por lo que tiene un nivel de riesgo bajo ante estos fenómenos.

### **Incendios forestales**

La zona del proyecto se encuentra en un terreno rodeado con pequeños matorrales, cactus y vegetación muy poco densa, por lo cual no hay vulnerabilidad de generarse o propagarse un incendio.





## 2.5.-Exposición a riesgos antrópicos

Tabla 2. 5.-Niveles de riesgos Antrópicos por fenómeno y consecuencia. Elaboración propia para EC4

Fenómeno	Consecuencias	Exposición	Mitigación	Riesgo
Transportes	Pérdida de activos en transporte	Baja	Media	Bajo
Robo Simple	Pérdida de activos menores	Baja	Media	Bajo
Responsabilidad Civil, personas y activos	Daños a personas y activos ajenos al giro del negocio	Media	Media	Medio
Responsabilidad Civil, medio ambiente.	Daños ecológicos	Media	Media	Medio
Rotura de maquinaria	Pérdida de activos	Media	Media	Medio
Intromisión cibernética	Pérdida de Fondos y activos no tangibles	Baja	Media	Bajo
Robo de Efectivo y Mercancías	Pérdida de activos mayores	Muy Baja	Baja	Bajo
Caída de proyectiles	Daños por proyectiles	Muy Baja	Baja	Bajo
Vehículos	Daños por vehículo	Muy Baja	Media	Bajo
Aeronaves	Daños por proyectiles	Muy Baja	Baja	Bajo
Izajes y montajes	Daño a equipos e infraestructura	Baja	Media	Bajo
Incendio	Daños por humo y fuego	Media	Media	Medio
Terrorismo	Daños por terrorismo	Baja	Media	Bajo
Sabotaje	Daños por sabotaje	Baja	Media	Bajo
Vandalismo	Daños por Vandalismo	Baja	Media	Bajo
Explosión	Daños por onda expansiva	Baja	Media	Bajo
Fraude	Pérdida de activos	Baja	Media	Bajo
Contaminación de producto	Pérdida de calidad	Muy Baja	Media	Bajo
Asalto	Pérdida de activos	Baja	Alta	Bajo
Guerra y levantamientos civiles	Pérdida de activos	Muy Baja	Media	Bajo
Fraude electrónico	Pérdida de Fondos y activos no tangibles	Muy Baja	Baja	Bajo
Errores en producto	Recall de producto	Baja	Media	Bajo





## **Aeronaves**

El aeropuerto más cercano se encuentra a 20 km en línea recta, debido a la capacidad de este aeropuerto solo realiza vuelos nacionales y con poca frecuencia. No hay registro de accidentes que pudieran comprometer la integridad de la instalación.

## **Rotura de maquinaria**

**Exposición:** El riesgo a este fenómeno es inherente puesto que la maquinaria con la que se cuenta en la instalación está expuesta al esfuerzo diario, variaciones bruscas del suministro de energía eléctrica, impactos accidentales derivados de maniobras dentro de las instalaciones, o daños derivados de algún otro fenómeno como inundación o sismo.

**Mitigación:** Se considera la gran experiencia con la que cuenta la empresa propietaria de la instalación en el ámbito de gestión de agua y la realización de diversos proyectos en México, tomando en cuenta que trabaja con proveedores de calidad y personal operativo capacitado y con los conocimientos necesarios para llevar a cabo sus actividades operativas, mantenimientos correctivos y preventivos de manera correcta.

De la misma forma, se considera la garantía que se proporciona en cuanto equipos y maquinaria. Por lo que, se tiene un nivel de riesgo medio por afectaciones en equipos de proceso y maquinaria.

## **Responsabilidad Civil Medio Ambiente**

En las instalaciones se tiene el manejo de diferentes sustancias peligrosas, como diésel, solventes y aceites, las cuales son necesarias para alguno de los procesos de las instalaciones. Se considera el manejo y disposición adecuada en sus respectivas zonas de almacenaje.

Se proporcionaron los protocolos ante algún derrame de material peligroso, así como los planes de emergencia por parte de los propietarios de las instalaciones. Se considera un nivel de riesgo medio por daños al ambiente.





## **Responsabilidad Civil, Personas y activos (Daños a personas y activos ajenos al giro del negocio)**

**Exposición:** El personal de la planta es fundamental para la operación y realización de todas las actividades, además, se tienen proveedores que realizan visitas periódicas a la instalación. La combinación de los procesos internos y externos pueden generar exposiciones a riesgos derivados de actividades realizadas por cualquiera de las partes y afectar a todas las personas involucradas.

**Mitigación:** Considerando la experiencia de la empresa propietaria de las instalaciones, se cuenta con protocolos adecuados y personal capacitado para la prevención de accidentes durante el manejo de sustancias peligrosas. Además, se cuenta con un plan de emergencia en el cual se incluye un diagrama de flujo en caso de contingencia ante una fuga o derrame de sustancias peligrosas.

## **Contaminación de producto (Pérdida de calidad o seguridad del producto)**

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017), el agua contaminada puede transmitir enfermedades como diarrea, cólera, disentería, fiebre tifoidea y poliomielitis. Se estima que la contaminación del agua potable provoca más de 502,000 muertes por diarrea al año. También, se puede tener contaminación por fallas como fisuras y fugas que pudiesen permitir la contaminación del agua en algún tramo de su recorrido.

El análisis y la realización de estudios para la calidad del agua de mar por parte los procesos en la desaladora son indispensables, apegándose siempre a los valores establecidos en la NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", (DOF, 2021). Por lo que se determina la contaminación de producto con un nivel de riesgo bajo.





## Robo simple/Vandalismo/Asalto

El municipio en donde se encuentra ese proyecto está dentro de 13 municipios con más incidencia delictiva en homicidios, feminicidios, robo de vehículos, a casa habitación y comercios. Con base a la información generada por parte de la Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad (ENVIPE, INEGI, 2020), que está a disposición pública, se tiene la siguiente información.

De acuerdo con el estudio realizado, se estima que el 30.1% de las viviendas, tuvieron al menos 1 víctima de alguno de los delitos mencionados durante el año 2020. La tasa de víctimas por cada 100,000 habitantes fue de 26,478 hombres y 23,643 mujeres. En la tabla 2.6 se muestran los valores de víctimas que sufrieron algún tipo de actividad delictiva en todo México para los años 2019 y 2020. (ENVIPE, INEGI, 2020), en la columna de cambio se resaltan en color amarillo los estados que tuvieron un incremento o disminución menor al 10 %, en color rojo las que tuvieron incrementos mayores al 10% y en color verde las entidades que tuvieron disminución de actividades delictivas mayor al 10%.

Sin embargo, el tipo de actividades delictivas en la zona no tienen relación con posibles afectaciones en la instalación, por lo que se tiene un riesgo bajo para este fenómeno.

Tabla 2. 6.-Cifras de víctimas de delitos en los años 2019 y 2020. Elaboración propia para EC4 con información (ENVIPE, INEGI, 2020)

Entidad	Víctimas 2019	Víctimas 2020	Cambio ( $\Delta\%$ )	Entidad	Víctimas 2019	Víctimas 2020	Cambio ( $\Delta\%$ )
Nacional	24,849	23,520	-5.30				
Aguascalientes	33,246	26,876	-19.20	Morelos	27,447	24,209	-11.80
Baja California	30,122	25,664	-14.80	Nayarit	13,731	17,859	30.10
Baja California Sur	12,869	19,580	23.20	Nuevo León	24,540	23,313	-5.00
Campeche	16,858	20,672	22.60	Oaxaca	16,530	16,591	0.40
Coahuila	17,456	20,627	18.20	Puebla	25,381	25,381	-0.90
Colima	20,286	22,986	13.40	Querétaro	27,959	27,959	-10.70
Chiapas	12,285	13,400	9.30	Quintana Roo	25,407	25,407	-3.60
Chihuahua	20,843	20,572	-1.30	San Luis Potosí	20,042	20,042	21.10
Ciudad de México	37,254	33,344	-10.50	Sinaloa	21,153	21,153	-16.50
Durango	17,098	17,555	2.70	Sonora	21,589	21,589	15.80
Guanajuato	26,980	22,928	-15.00	Tabasco	24,901	24,901	8.70
Guerrero	20,799	19,072	-8.30	Tamaulipas	16,125	16,125	3.30
Hidalgo	16,610	20,094	21.00	Tlaxcala	25,458	25,458	-3.80
Jalisco	27,293	25,764	-5.60	Veracruz	14,108	14,108	3.50
Estado de México	38,258	32,501	-15.60	Yucatán	15,437	15,437	3.70
Michoacán	16,112	16,708	3.70	Zacatecas	17,601	17,601	2.50







## **Incendio y explosión**

**Exposición:** La instalación cuenta con un tanque de diésel subterráneo, el cual suministra a las plantas de emergencia a través de tuberías que conectan con el cuarto eléctrico. Para el suministro a los tanques se realiza mediante un distribuidor externo. El diésel puede liberar gases inflamables derivado de la deficiencia o ausencia de los sistemas de respiración en su almacenaje, lo que en combinación con otros factores podrían derivar en un conato de incendio.

**Mitigación:** Durante la visita de inspección se identificaron los sistemas contra incendios en proceso de instalación, como extintores, detectores de calor y accesorios para el sistema contra incendios. Adicionalmente se cuenta con protocolos en caso de derrames de sustancias peligrosas como lo es el diésel.

## **Otros riesgos**

Para los casos de pérdidas de activos en transporte, robo de efectivo y mercancía, fraude, sabotaje, intromisión cibernética, daños por impacto de vehículo, fraude electrónico, guerras y levantamientos civiles se consideran con un nivel de exposición baja, debido al giro del proyecto y las características de la zona.





## 2.6.-Histórico de accidentes en el sistema de agua potable

En la tabla 2.7 se presentan ejemplos de accidentes relacionados con infraestructura para el servicio de agua potable en México.

Tabla 2.7.-Histórico de accidentes en el giro de gestión de agua potable. Elaboración propia con información de (Hernández, 2021), (El Financiero, Redacción, 2021), (C.E.S.P.T., 2021), (Corona, 2020), (Ramón, 2020), (García, 2021).

Fecha	Lugar	Siniestro	Causa	Consecuencia
30/06/2021	Villahermosa, Tabasco	Hundimientos y baches	Fuga de agua potable	- 400 socavones nuevos - 300 socavones ya existentes
29/06/2021	Coyoacán, Ciudad de México	Fuga de agua en tubería de 48"	Golpe a la tubería de 48"	-Servicio interrumpido de agua potable para las personas de diferentes colonias. -Azolves en la zona -Afectación por residuos en casa y vía publica
29/06/2021	Rosarito, Baja California	Fuga de acueducto Florido - Aguaje	Elementos dañados por periodo de tiempo	- Interrupción de servicio de agua potable en 700 colonias
04/06/2021	Puerto Vallarta, Jalisco	Fuga de agua en válvula de extracción	Choque automovilístico	-Daños a la tubería -Servicio interrumpido de agua potable en dos colonias
05/09/2020	La Paz, Baja California Sur	Colapso de barandal sobre acueducto que causó su ruptura.	Falta de mantenimiento del acueducto	-Servicio interrumpido de agua potable alrededor de 9 mil personas
23/06/2020	Nezahualcóyotl, Estado de México	Sismo de magnitud de 7.5	Afectaciones al ramal de distribución de agua Mixquic	-Reducción del suministro de agua alrededor de 75,000 habitantes



## 2.7.-Mapas de riesgos

En este apartado se presentan los mapas de exposición de fenómenos con base en el Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2022), con niveles de riesgo bajo o muy bajo, los cuales no tienen un alto impacto en las afectaciones, por lo que se presentan en esta sección ya que han sido evaluados de la misma forma, pero no son representativos para los fines del estudio.

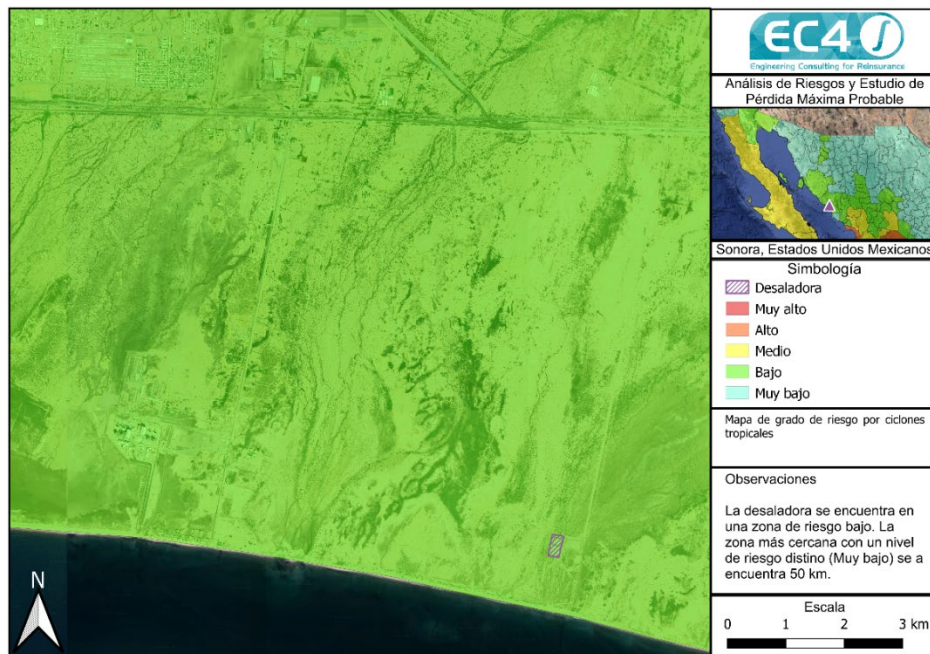


Figura 2. 4.-Riesgo por ciclones tropicales. Elaboración propia para EC4 mediante el software, QGIS y Google Earth Pro con información del Atlas Nacional de Riesgos, (CENAPRED, 2022).

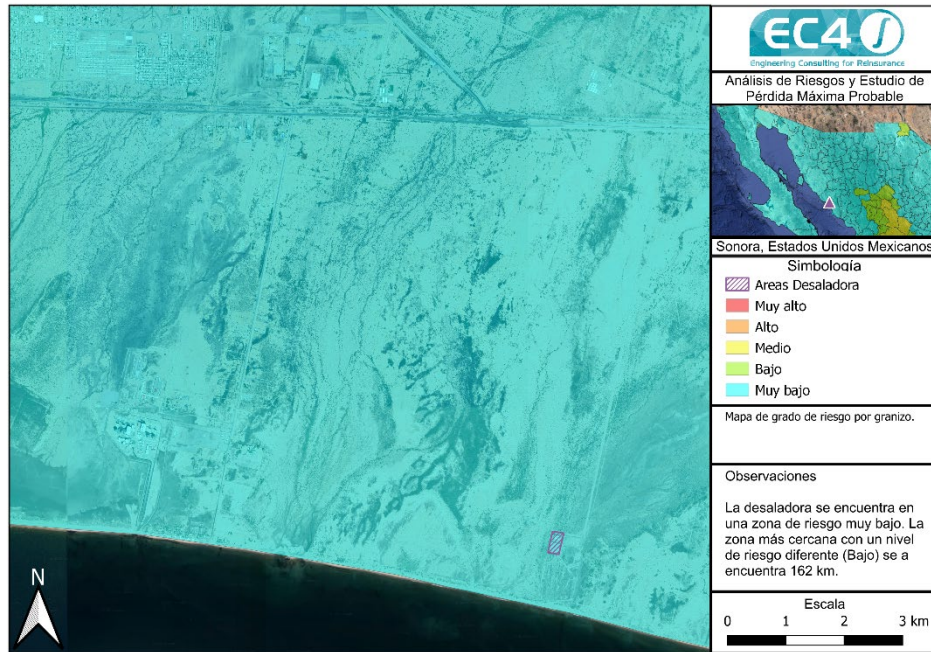


Figura 2. 5.-Riesgo por granizo. Elaboración propia para EC4 mediante el software, QGIS y Google Earth Pro con información del Atlas Nacional de Riesgos, (CENAPRED, 2022).

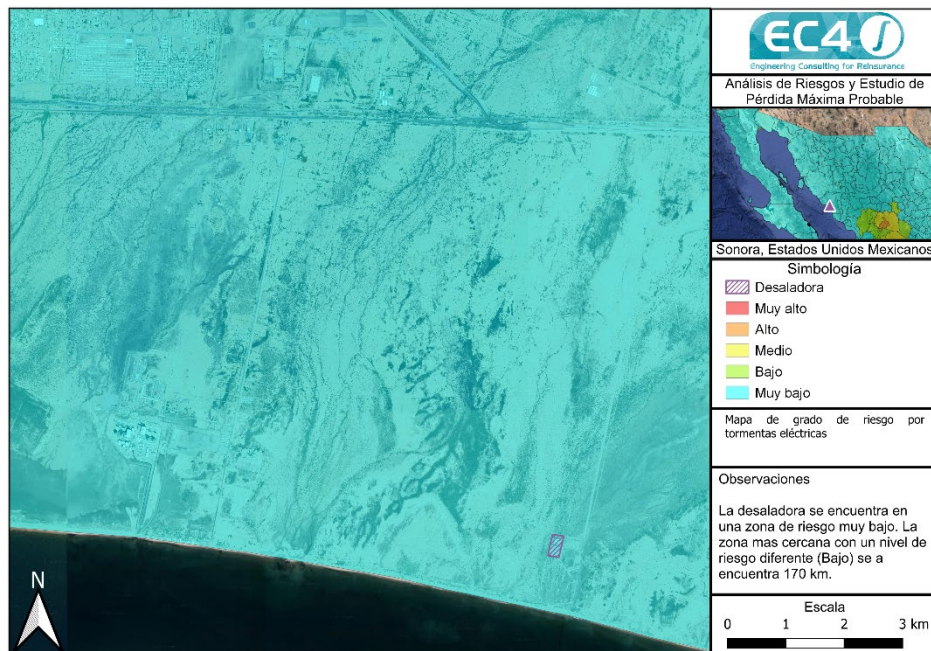


Figura 2. 6.-Riesgo por tormentas eléctricas. Elaboración propia para EC4 mediante el software, QGIS y Google Earth Pro con información del Atlas Nacional de Riesgos, (CENAPRED, 2022).

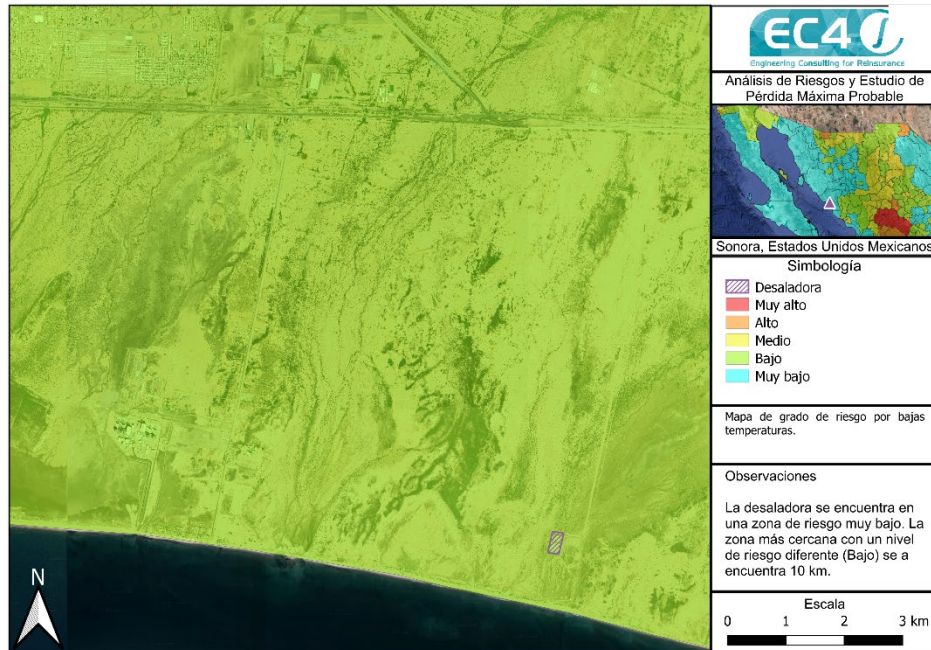


Figura 2. 7.-Riesgo por bajas temperaturas. Elaboración propia para EC4 mediante el software, QGIS y Google Earth Pro con información del Atlas Nacional de Riesgos, (CENAPRED, 2022).

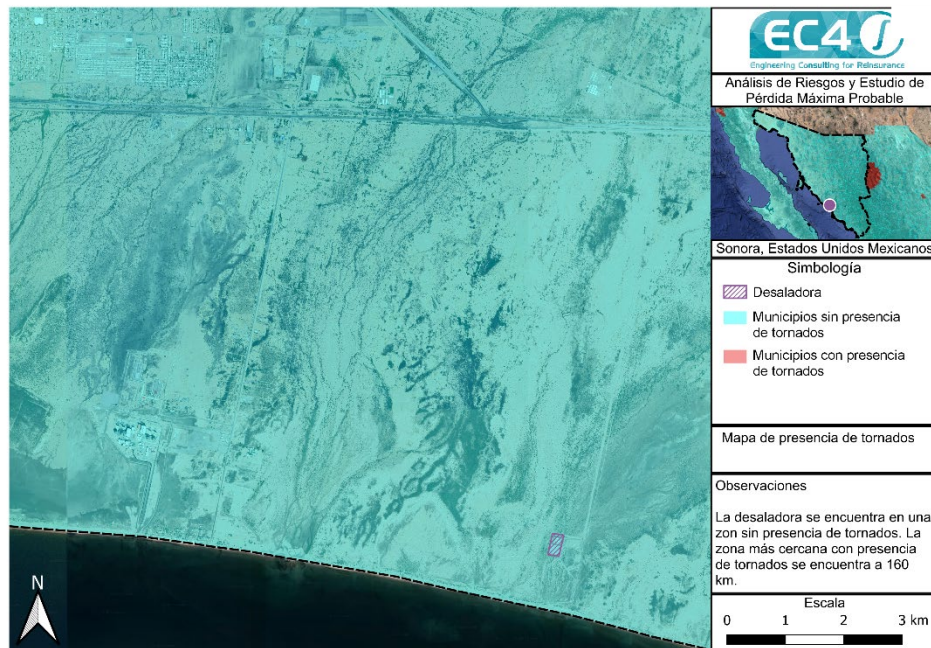


Figura 2. 8.-Presencia de Tornados por Municipio. Elaboración propia para EC4 mediante el software, QGIS y Google Earth Pro con información del Atlas Nacional de Riesgos, (CENAPRED, 2022).

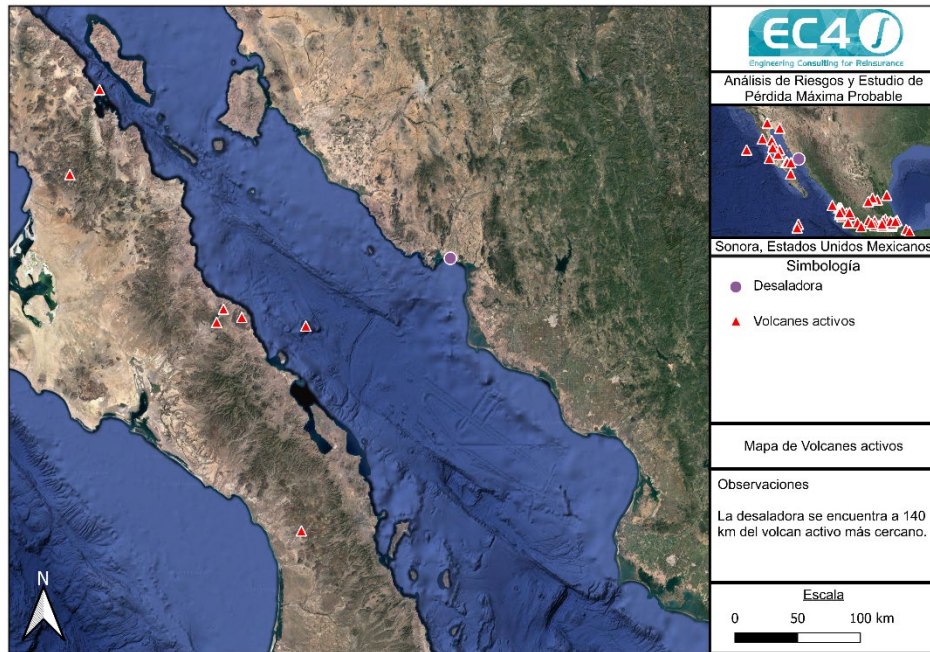


Figura 2. 9.-Riesgo por volcanes. Elaboración propia para EC4 mediante el software, QGIS y Google Earth Pro con información del Atlas Nacional de Riesgos, (CENAPRED, 2022).



## 2.8.-Inspección de campo

En la visita de inspección, se hace una revisión visual para constatar que la información proporcionada por los propietarios de las instalaciones coincida con las condiciones reales. Puesto que en un documento de la información proporcionada se puede considerar algún equipo o maquinaria como nuevo o excelentes condiciones y que en las instalaciones no sea así, lo que podría conllevar a no considerar áreas vulnerables y derivar problemas e incluso ser la causa de un accidente. Por lo que es importante trabajar con la información inicial recibida y durante los recorridos de inspección revisar que las condiciones estén acordes a lo revisado previamente, en caso de no ser así se toman en cuenta las observaciones para la realización del estudio.

De igual forma, se revisa que todos los requerimientos para prevención de emergencia sean suficientes y adecuados, que el personal porte sus equipos de protección personal y realice las actividades con base a los protocolos correspondientes. También se corrobora que conozcan los planes de emergencia y conozcan las actividades que corresponden ante alguna eventualidad.

## 2.9.-Resumen de riesgos

A continuación, se muestran en las tablas 2.8 y 2.9, los riesgos de origen Geo-Hidrometeorológico y Antrópico, mostrando únicamente los fenómenos y sus respectivas consecuencias con los mayores grados de riesgo, de los cuales se proponen los escenarios con mayores afectaciones.

*Tabla 2. 8.-Resumen de riesgos geo-hidrometeorológicos. Elaboración propia para EC4.*

Riesgos Geo-Hidrometeorológicos		
Fenómeno	Consecuencias	Riesgo
Tormenta/Huracán	Inundaciones	Medio
Terremoto	Daños estructurales o derrumbes	Medio

*Tabla 2. 9.-Resumen de riesgos antrópicos. Elaboración propia para EC4.*

Riesgos Antrópicos		
Fenómeno	Consecuencias	Riesgo
R.C. Personas y activo	Daños a personas y activos ajenos al giro del negocio	Medio
R.C. Medio ambiente	Daños ecológicos	Medio
Rotura de maquinaria	Pérdida de activos	Medio
Incendio	Daños por humo y fuego	Medio





### 3.-Valores del proyecto

En la tabla 2.10 se presentan los porcentajes de las partidas con respecto al total del valor del proyecto, información proporcionada por los propietarios de la desaladora. En caso de ser necesario, las partidas se dividen en subpartidas para poder estimar las afectaciones con mayor precisión.

Es importante identificar que partidas tienen mayor porcentaje sobre el total, puesto que, en la propuesta de los escenarios, de verse involucradas, los valores obtenidos tendrán aportaciones significativas a los montos de daño resultados de los escenarios.

Tabla 3. 1.-Valores del proyecto por partidas. Elaboración propia para EC4 con información proporcionada por el propietario del proyecto Desaladora.

Proyecto Desaladora	
Concepto	%
Diseños de ingeniería	3.63%
Caminos de acceso y operación	1.48%
Obras de captación (incluye equipos de bombeo)	5.35%
Obras de conducción del agua de la fuente a la planta	0.43%
Planta de pretratamiento	5.83%
Planta desaladora (obras civiles y membranas)	14.13%
Postratamiento	4.41%
Planta de bombeo de alta presión (Incluye equipos)	7.83%
Línea de conducción de agua potable	8.18%
Conexiones en punto de entrega	0.32%
Línea de conducción de agua de rechazo	14.36%
Líneas eléctricas, subestación y control	13.05%
Tanques de almacenamiento de agua potable y otras construcciones	14.33%
Actividades previas al inicio de la operación	0.94%
Pruebas de capacidad y puesta en marcha	1.23%
Gerente supervisor	4.49%
<b>Total</b>	<b>100.00%</b>







## **4.-Pérdida Máxima Probable (PML)**

La Pérdida Máxima Probable o PML (Probable Maximum Loss) es una herramienta que funciona como indicador para cuantificar la magnitud de los montos de pérdida asociados a los diferentes periodos de retorno de los fenómenos considerados o a las tasas de excedencia. Todo esto, considerando ineficiencias o activación parcial de los sistemas de mitigación. (The World Bank, 2009)

Para este análisis, se estudian los escenarios asociados a los daños más catastróficos registrados según los datos históricos, considerando similitudes en los tipos de actividad realizadas, tipos constructivos, características hidrológicas, climatológicas y la probabilidad de ocurrencia.

Debido a las características del estudio y las necesidades de los propietarios del proyecto, se proponen tres versiones para cada evento, pesimista, conservador y optimista, con la finalidad de considerar diferentes combinaciones de variables de pérdida, definir límites, crear modelos específicos e introducir los datos de simulación en el software @Risk, el cual pasa de un modelo determinista a uno probabilista.





## 4.1.-Escenarios Geo-Hidrometeorológicos

### Sismo

Se toman en cuenta 4 periodos de retorno para la aceleración del suelo, 250, 587, 1000 y 2,500 años, las consecuencias y sus respectivos porcentajes de daños asociados.

Para la determinación de estos valores se utilizó el software Prodisis (IIE, CFE 2015), para lo cual se obtuvieron las curvas mostradas en la figura 4.1.

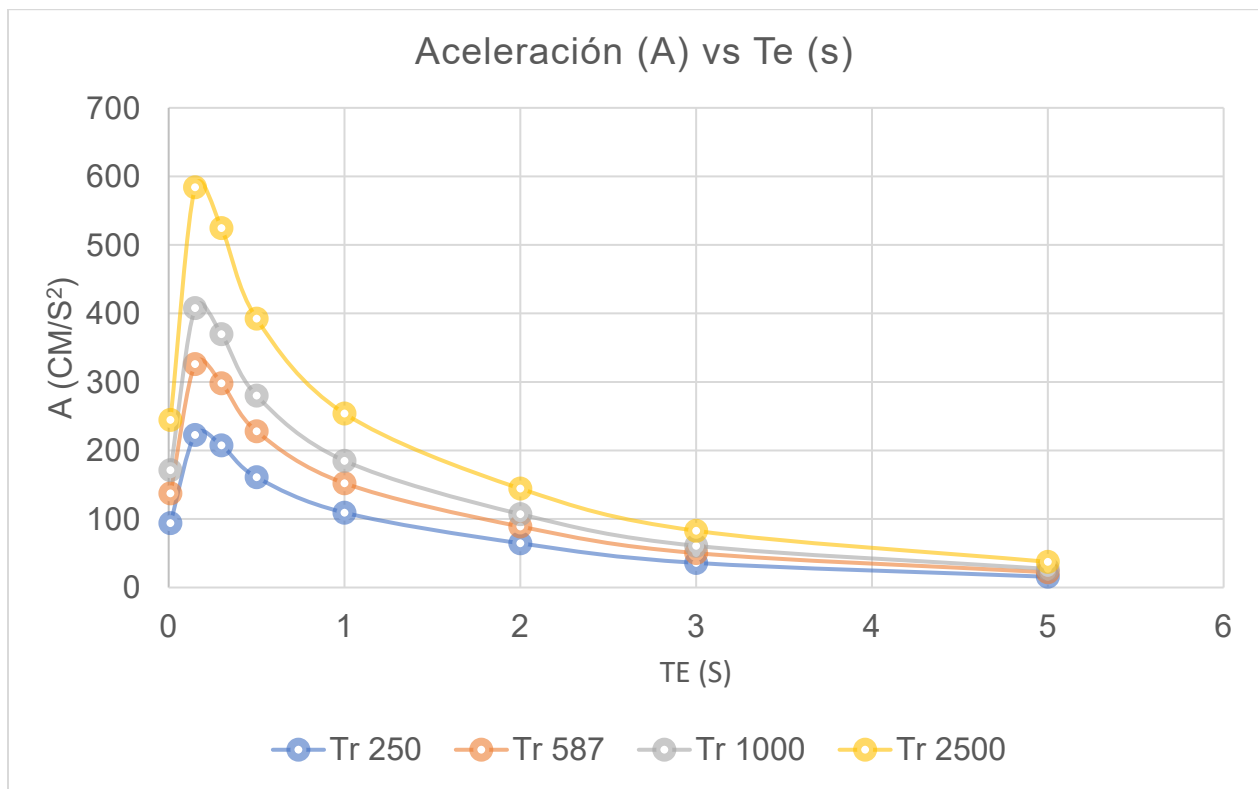


Figura 4. 1.-Espectros de Respuesta asociados a diferentes periodos de retorno. Elaboración propia para EC4 mediante información obtenida del software Prodisis (IIE, CFE 2015).

Con esta información, se procede a la determinación de la relación media de daño para estructuras de concreto y tuberías, mediante el uso de curvas fragilidad. Posteriormente, transformar estos daños al porcentaje de pérdida económica.

Debido a la variación de los periodos de vibración de todos los elementos, se utilizan criterios de incertidumbre para las aceleraciones máximas de los distintos periodos de retorno, dando como





resultado valores máximos cercanos a 15 segundos, valor al cual se considera que estarán sometidas las estructuras.

Se determinaron aceleraciones máximas de 22.62, 326.66, 407.70 y 583.99  $\text{cm/s}^2$ , para los periodos de retorno 250, 587, 1,000 y 2,500 años, respectivamente. Con esto, se asocian las aceleraciones con los niveles de daño probable. Se muestran en la figura 4.2 las diferentes curvas de fragilidad consideradas para este estudio.

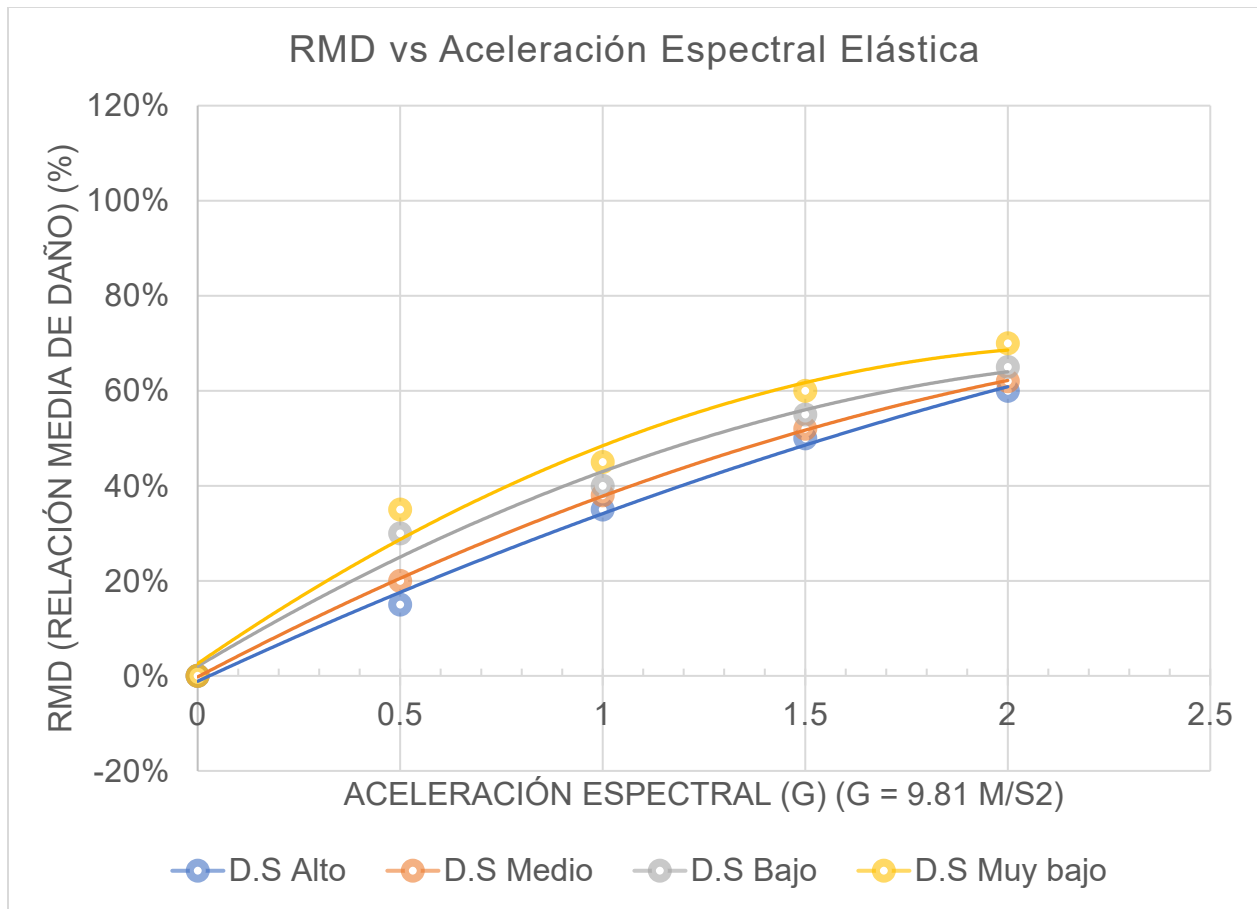


Figura 4. 2.-Curvas de fragilidad para muros confinados, Elaboración propia para EC4 con información de (CIMNE, 2013)





En cuanto a los materiales para la distribución de agua, se muestran las curvas consideradas para el estudio en la figura 4.3:

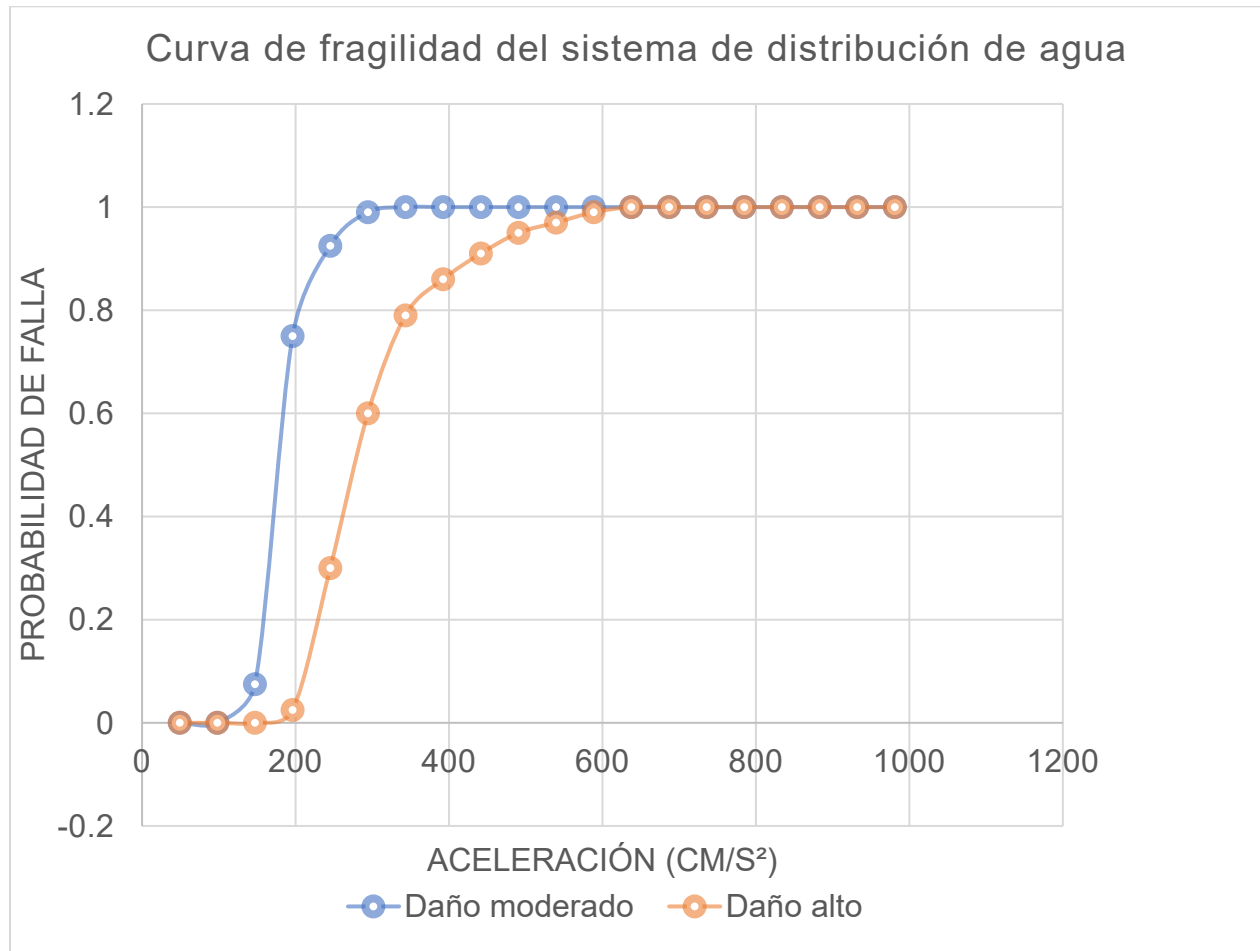


Figura 4. 3.-Curvas de fragilidad para sistemas de distribución de agua. Elaboración propia para EC4 con información de (Martinez, 2020)



## Inundación

Con base en parámetros de afectación asociados a la altura del tirante de agua, ocasionado por inundación, se tiene la figura 4.4 con 4 curvas, las cuales corresponden a los distintos niveles de diseño. Cada curva representa el nivel de tirante de agua asociado a una relación media de daño.

Para el presente estudio se considera la curva F2H de la figura 4.4, con base en las buenas condiciones observadas durante la visita de inspección.

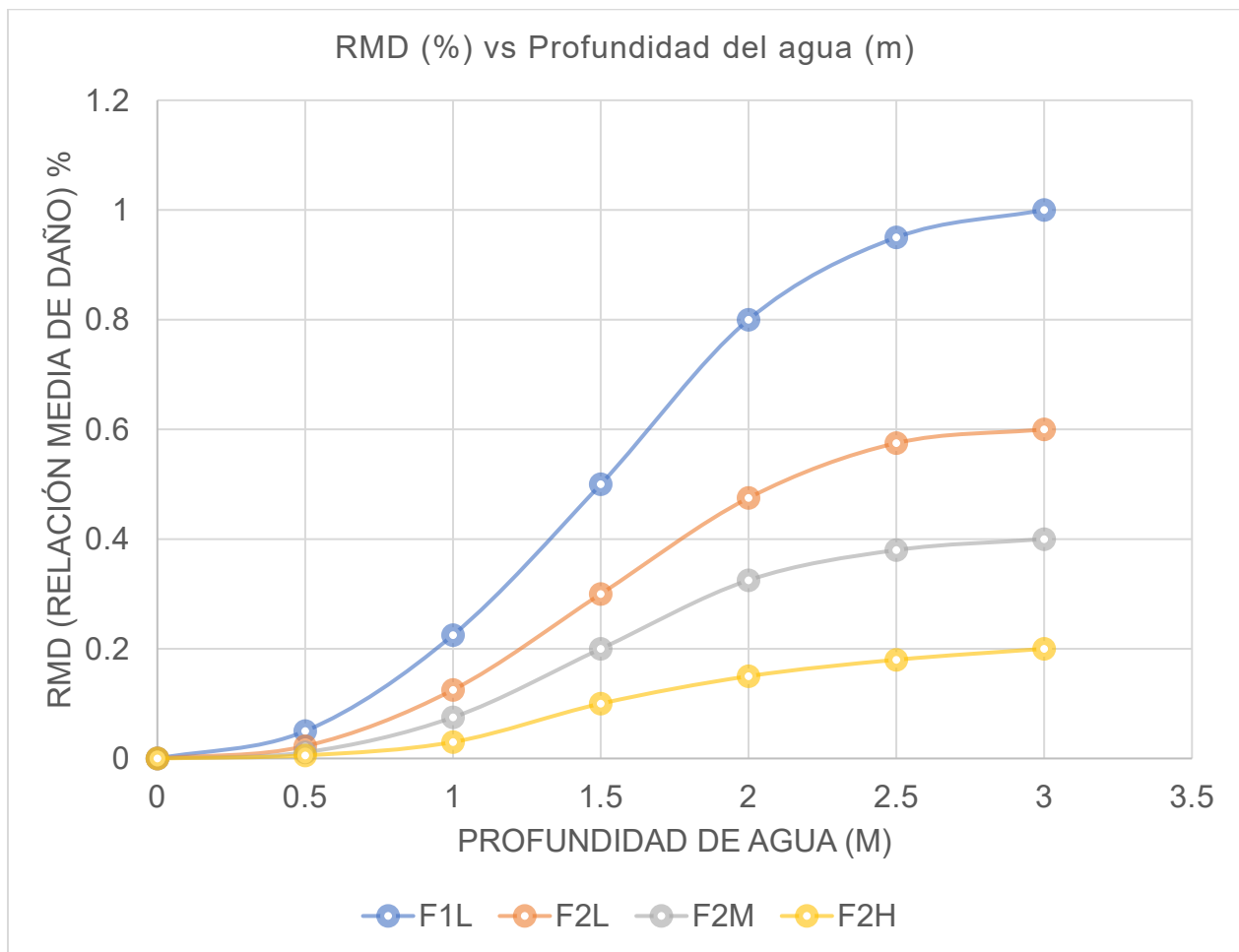


Figura 4. 4.- Curvas de fragilidad para inundaciones. Elaboración propia para EC4 con información de (CIMNE, 2013).



Las consideraciones para este evento son:

Las funciones de vulnerabilidad representadas en las curvas de la figura 4.4, se expresan en términos de la altura del tirante de agua medido desde el nivel medio del terreno. Por cuestiones de practicidad y efectos de obtener valores representativos con base en el Centro Internacional de Métodos Numéricos e Ingeniería (CIMNE, 2013), se tiene que:

- El análisis considera solo inundaciones lentas, la duración de la precipitación es inversamente proporcional a la intensidad.
- Se omiten los daños por inundaciones menores a 10 centímetros.
- Los daños son principalmente en acabados e instalaciones.
- No se presentan daños totales, a excepción de estructuras de madera y tierra.





## 4.2.-Escenarios Antrópicos

### Incendio

Durante las maniobras de suministro del combustible diésel, para la operación de las plantas de emergencia, existen riesgos inherentes como fugas, malas prácticas o afectaciones externas como impacto proveniente de alguna actividad alterna lo cual implicaría afectaciones físicas y económicas.

Tomando en cuenta las condiciones del sitio y la forma en la que se lleva a cabo el suministro de este combustible, para el cual se supone una fuga por medio de un orificio, el cual puede presentar diferentes dimensiones y consecuencias para cada caso, para lo cual se consideran tres eventos, pesimista, conservador y optimista, contemplando variaciones de diámetros de fuga para cada caso.

Las afectaciones consideradas en este escenario son a personas, daños al cuarto eléctrico, barda perimetral, obra civil de las estructuras alrededor de la zona del evento y daños parciales a otras zonas.

Haciendo uso del software ALOHA se realizan las simulaciones considerando los valores mostrados en la tabla 4.1:

Tabla 4. 1.-Valores considerados para simulaciones. Elaboración propia para EC4 mediante el software QGIS y Google Earth Pro.

Simulaciones ALOHA				
Parámetro	Unidad	Optimista	Moderado	Pesimista
		Valor		
Altura sobre el nivel medio del mar	metros	2.7	2.7	2.7
Velocidad del viento	kt	7	7	7
Dirección del viento	-	ESE	ESE	ESE
Temperatura del aire	°C	30	30	30
Estabilidad del aire	-	C	C	C
Humedad relativa	%	50%	50%	50%
Orificio de fuga	in.	1	2	4



## Escenario Optimista

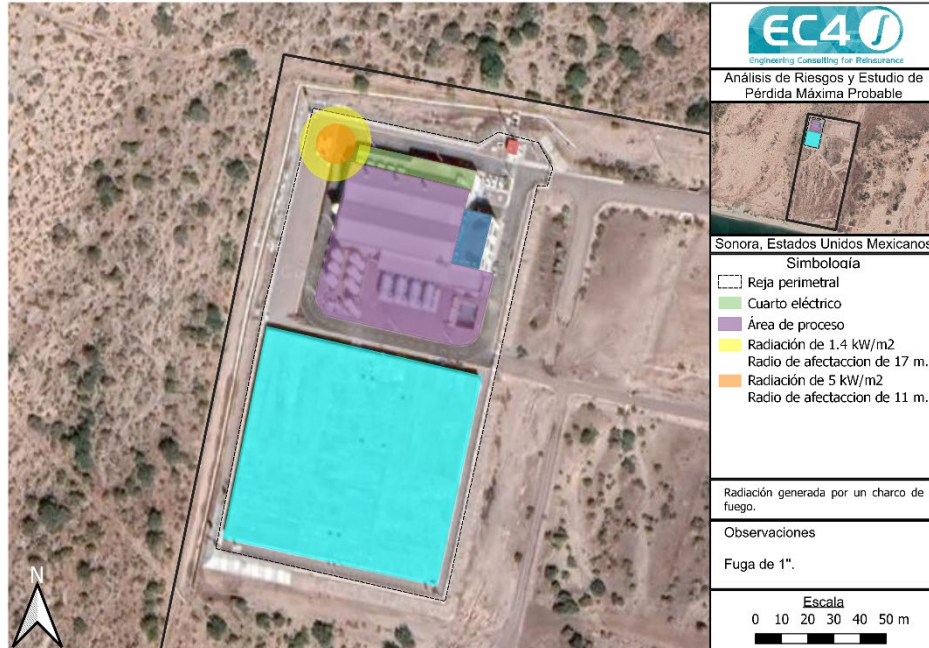


Figura 4. 5.-Radiación generada por un charco de fuego, derivado de un orificio de 1 pulgada. Elaboración propia para EC4 mediante el software ALOHA, QGIS y Google Earth Pro.

Tabla 4. 2.-Radios de afectación obtenidos para escenario optimista. Elaboración propia para EC4 con información de (Leza, Escriña & Asociados S.A. Consultores en Ingeniería de Riesgos y Valuaciones, 2022).

Código	Radio de afectación (m)	Radiación	Afectación a estructuras y equipos	Afectación a personas
	<10	12.5 kW/m <sup>2</sup>	Ignición de tubos y recubrimientos de plástico en cables eléctricos. Daños severos a equipos de instrumentación.	Sin trajes especiales, 100% de mortalidad en 1 minuto, quemaduras de 1er grado en 10 segundos.
	11	5 kW/m <sup>2</sup>	Sin daños	Suficiente para causar dolor al personal si éste no puede protegerse en 20 segundos, formación de ampollas.
	17	1.4 kW/m <sup>2</sup>	Zona de amortiguamiento	No causará incomodidad durante la exposición prolongada



## Escenario Conservador

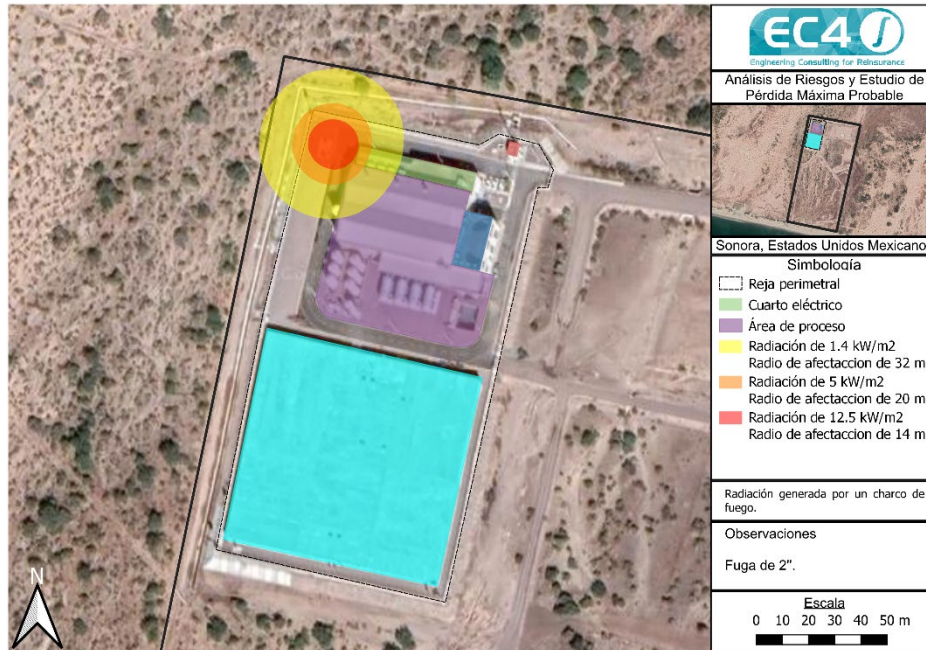


Figura 4. 6.- Radiación generada por un charco de fuego derivado de un orificio de 2 pulgadas. Información propia para EC4 mediante el software ALOHA, QGIS y Google Earth Pro.

Tabla 4. 3.-Radios de afectación obtenidos para escenario conservador. Elaboración propia para EC4 con información de (Leza, Escriña & Asociados S.A. Consultores en Ingeniería de Riesgos y Valuaciones, 2022)

Código	Radio de afectación	Radiación	Afectación a estructuras y equipos	Afectación a personas
	14	12.5 kW/m <sup>2</sup>	Ignición de tubos y recubrimientos de plástico en cables eléctricos. Daños severos a equipos de instrumentación.	Sin trajes especiales, 100% de mortalidad en 1 minuto, quemaduras de 1er grado en 10 segundos.
	20	5 kW/m <sup>2</sup>	Sin daños	Suficiente para causar dolor al personal si éste no puede protegerse en 20 segundos, formación de ampollas.
	32	1.4 kW/m <sup>2</sup>	Zona de amortiguamiento	No causará incomodidad durante la exposición prolongada

## Escenario Pesimista

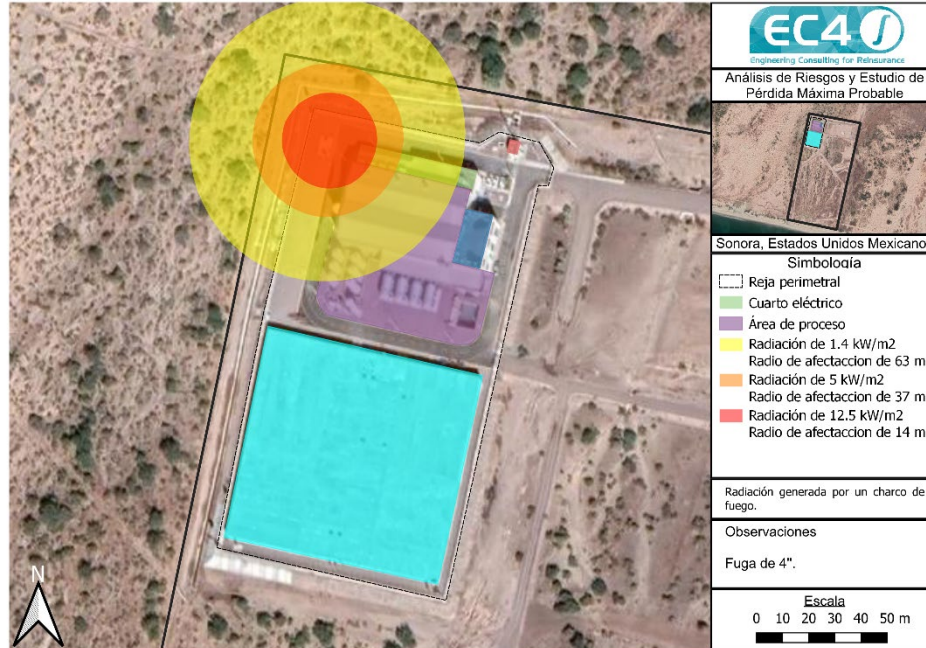


Figura 4. 7.-Radiación generada por un charco de fuego derivado de un orificio de 4 pulgadas. Elaboración propia para EC4 mediante el software ALOHA, QGIS y Google Earth Pro.

Tabla 4. 4.-Radios de afectación obtenidos para escenario pesimista. Elaboración propia para EC4 con información de (Leza, Escriña & Asociados S.A. Consultores en Ingeniería de Riesgos y Valuaciones, 2022).

Código	Radio de afectación (m)	Radiación	Afectación a estructuras y equipos	Afectación a personas
	24	37.5 kW/m <sup>2</sup>	Energía suficiente para causar daños a equipos de proceso; colapso de estructuras.	100 % de mortalidad en 1 minuto.
	37	5 kW/m <sup>2</sup>	Sin daños	Suficiente para causar dolor al personal si éste no puede protegerse en 20 segundos, formación de ampollas.
	63	1.4 kW/m <sup>2</sup>	Zona de amortiguamiento.	No causará incomodidad durante la exposición prolongada.



## Rotura de maquinaria

Para este escenario, se consideran equipos con valores monetarios importantes y elementos mecánicos que tiene probabilidades altas de falla, con lo que se realiza un análisis de diferentes variables:

- Integridad superficial
- Integridad interna
- Uniones de elementos
- Instrumentos

Con estas consideraciones y utilizando una distribución de probabilidad discreta, la cual describe el número de éxitos al realizar “n” experimentos independientes entre sí y considerando una variable aleatoria, se determina si los elementos que componen el sistema fallan.

## Responsabilidad ambiental

Para este escenario se considera derrame de combustible diésel, que es un líquido Clase II. Dicho escenario puede surgir durante un inadecuado proceso de suministro al tanque de la instalación.

También, considerando la información recabada durante la visita de inspección, se identificó que, en la entrada de la línea al cuarto de control, un tramo de la tubería estaba expuesto, por lo que es vulnerable a algún impacto y derivar en una fuga.

## Interrupción de negocios

Derivado de cualquiera de los escenarios considerados en este estudio, se pueden presentar afectaciones al personal interno como externo, a la obra civil o equipos y maquinaria, por lo cual, es necesario considerar que, ante un cualquier evento, se puede suscitar el paro de operaciones. Considerando los tiempos de reparación, puesta en marcha o remplazo de elementos dañados, durante este periodo no se tendrá operación en las instalaciones.

Tomando en cuenta los eventos que pudieran generar las mayores afectaciones, como lo son sismo, inundación, incendio e incluso la rotura de algún equipo o maquinaria indispensable para el funcionamiento de las instalaciones, se estima que los tiempos para volver a operar normalmente serían alrededor de 135 días naturales.





Este periodo de tiempo considera diferentes aspectos, puesto que posterior a cualquier evento podría ser necesario realizar actividades de demolición, retiro de escombros, peritajes, pruebas de puesta en marcha, estudios de fitness for service o la espera de algún equipo, maquinaria o refacciones críticas internacionales, etc.





### 4.3.-Resultados de Escenarios por cobertura

Se presentan en la tabla 4.5, los valores obtenidos de los escenarios propuestos, con base en la identificación de las amenazas con afectaciones mayores, considerando, para cada caso valores optimista, conservador y pesimista.

Tabla 4. 5.-Resumen Escenarios por cobertura. Elaboración propia para EC4.

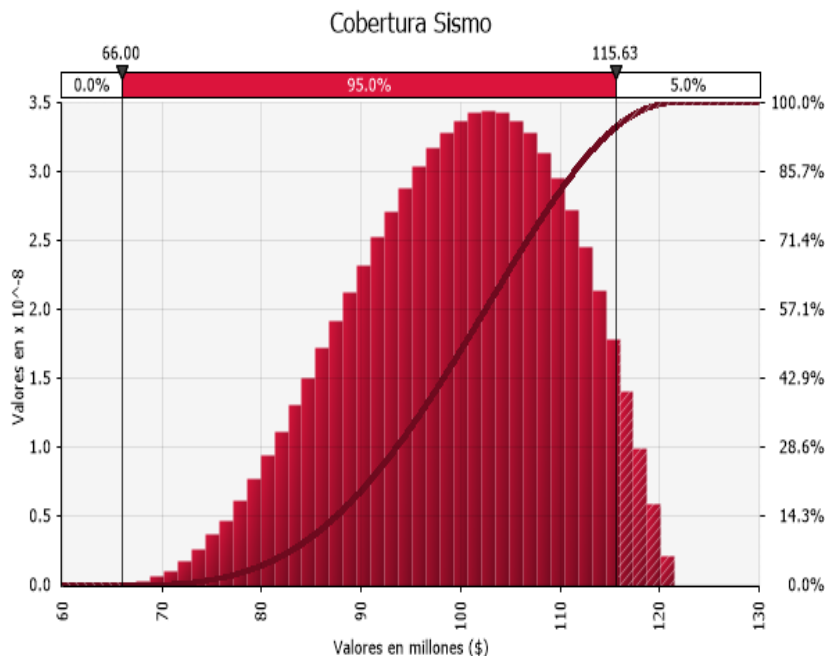
PML Escenarios							
Coberturas		Optimista %		Conservador %		Pesimista %	
<b>A. Todo Riesgo</b>							
Sismo		8.6%		13.7%		16.2%	
Inundación		0.9%		1.8%		3.6%	
Incendio		0.8%		1.7%		5.2%	
Rotura de maquinaria		0.7%		1.0%		2.0%	
Remoción de escombros		1.0%		1.6%		1.9%	
<b>B. Responsabilidad Civil</b>							
Daños a terceros		0.3%		0.7%		1.5%	
Responsabilidad Ambiental		0.1%		0.4%		1.5%	
<b>C. Interrupción de negocios</b>							
Interrupción de negocios		60	Días	180	Días	360	Días



#### 4.4.-Simulaciones Software @Risk

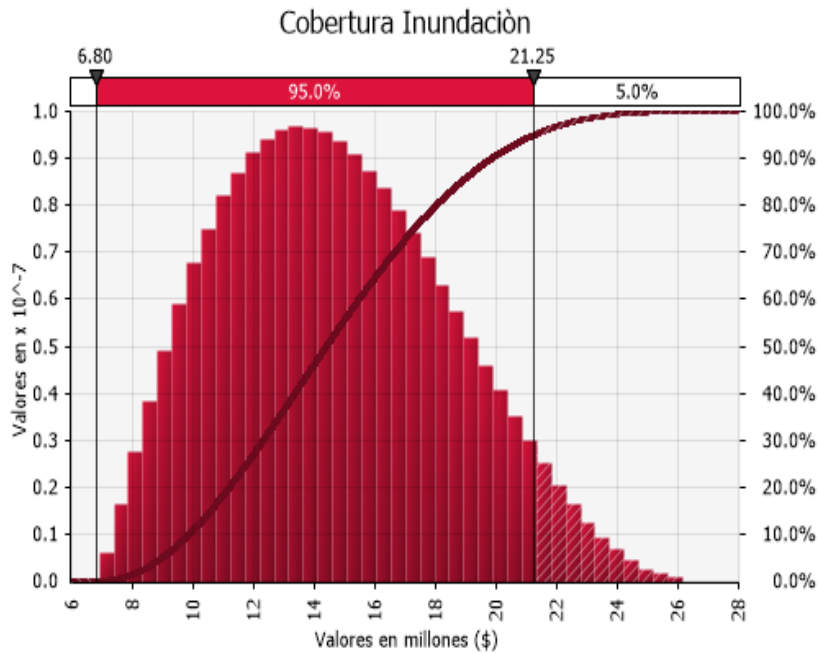
En este apartado se describen las simulaciones realizadas en el software @Risk y se muestran los resultados gráficos de las distribuciones de las iteraciones, considerando lo siguiente:

- Se utilizaron distribuciones de “Pert” para cada una de las coberturas utilizando los valores optimista, conservador y pesimista.
- Se realizaron 10,000 iteraciones para cada simulación, con el objetivo de obtener un resultado confiable.
- El software simula con las consideraciones tomadas para cada uno de los escenarios.
- Se utilizó una confiabilidad del 90-95% para todas las coberturas, lo que significa que solo en el 5-10% de los casos los montos podrían ser mayores.



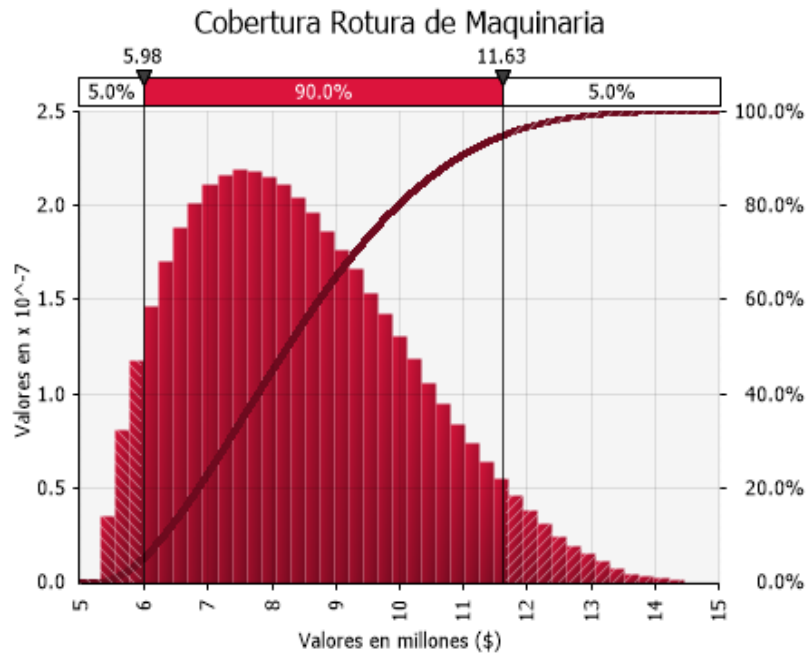
Porcentaje de pérdida del 15.41% con respecto al valor total del proyecto para el escenario de sismo, que de acuerdo con las coberturas sería la de “Todo Riesgo”.

Figura 4. 8.-Distribución para cobertura de sismo. Elaboración propia para EC4 mediante el software @Risk.



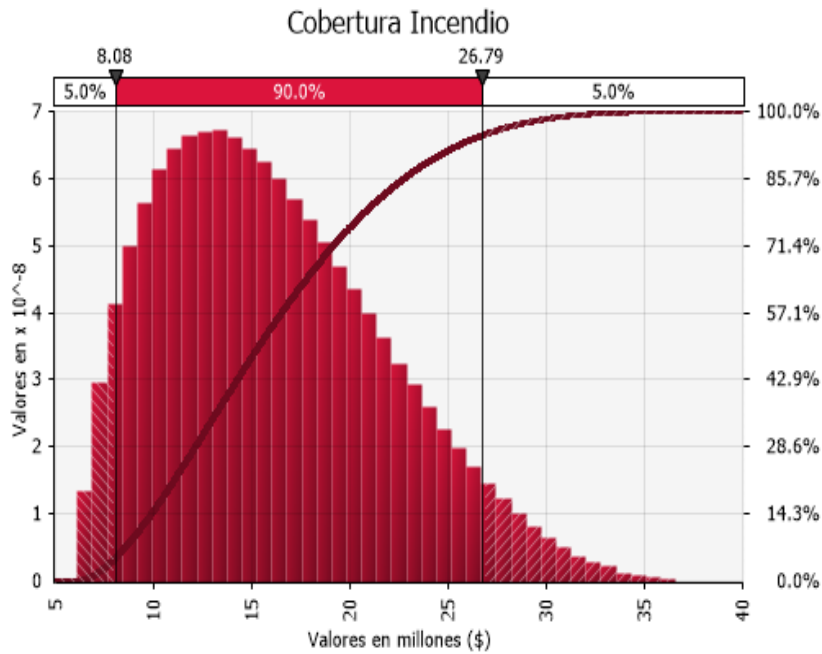
Porcentaje de pérdida del 2.83% con respecto al valor total del proyecto para el escenario de inundación.

Figura 4. 9.-Distribución para cobertura de inundación. Elaboración propia para EC4 mediante el software @Risk.



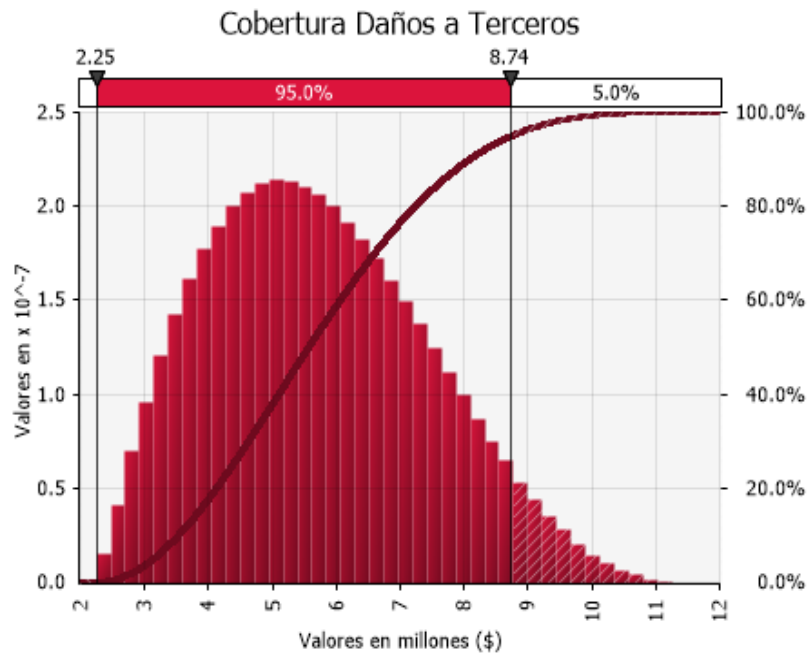
Porcentaje de pérdida del 1.55% con respecto al valor total del proyecto para el escenario rotura de maquinaria.

Figura 4. 10.-Distribución para cobertura de rotura de maquinaria. Elaboración propia para EC4 mediante el software @Risk.



Porcentaje de pérdida del 3.57% con respecto al valor total del proyecto para el escenario de incendio.

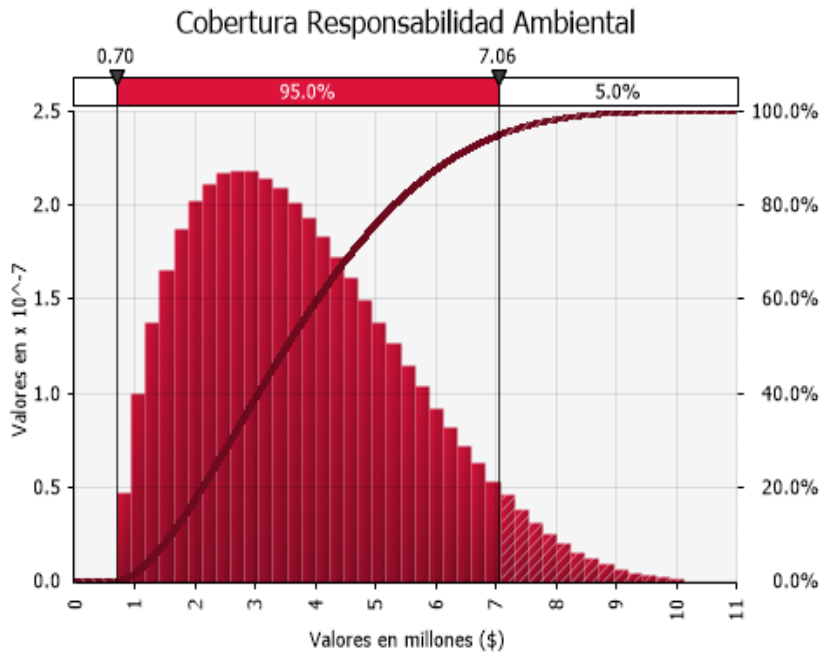
Figura 4. 11.-Distribución para cobertura de incendio. Elaboración propia para EC4 mediante el software @Risk.



Para afectaciones a terceros, se determinó un porcentaje de pérdida del 1.16% con respecto al valor total del proyecto.

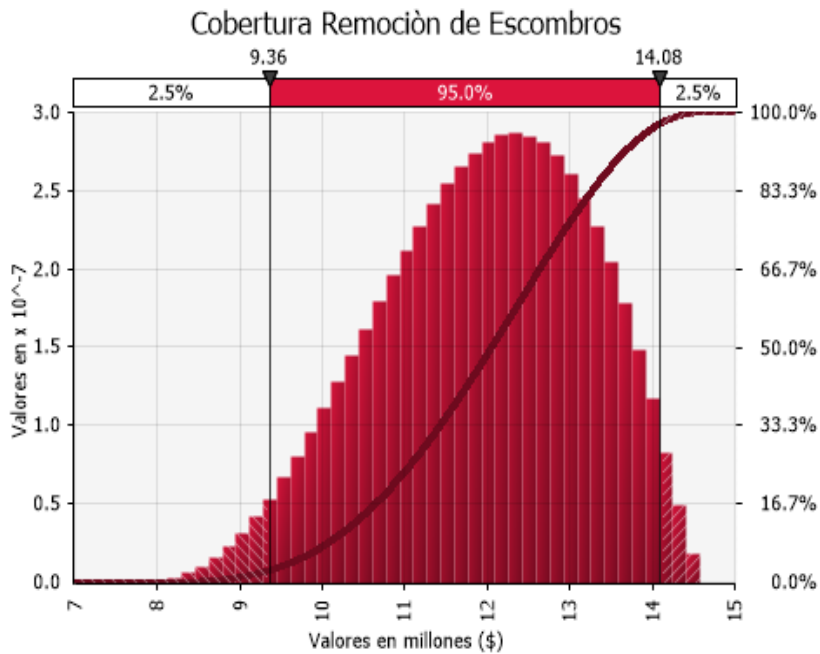
Figura 4. 12.-Distribución para cobertura de daño a terceros. Elaboración propia para EC4 mediante el software @Risk.





Para cobertura de responsabilidad ambiental se determinó un porcentaje de pérdida del 0.94% con respecto al valor total del proyecto.

Figura 4. 13.-Distribución para cobertura de daño a terceros, Elaboración propia para EC4 mediante el software @Risk.



Para cobertura de remoción de escombros se determinó un porcentaje de pérdida del 1.88% con respecto al valor total del proyecto.

Figura 4. 14.-Distribución para cobertura remoción de escombros. Elaboración propia para EC4 mediante el software @Risk.



## **5.-Conclusiones**

Como resultado de este estudio, se obtiene que los eventos de mayor relevancia de origen Geo-Hidrometeorológico son sismo e inundación, con un nivel de riesgo medio para ambos casos.

Para los eventos de origen antrópico, los casos de incendio, responsabilidad civil, responsabilidad ambiental y rotura de maquinaria presentan un nivel de riesgo medio.

Una vez realizado el análisis de riesgos y habiéndose determinado cuales son los eventos con niveles de riesgo más alto, se procedió a la propuesta de escenarios de pérdida.

Para cada caso, se proponen tres versiones, optimista, conservador y pesimista, esto con el fin de introducir parámetros a las simulaciones realizadas con el software @Risk, de ésta forma obtener valores con una confiabilidad del 90-95% para los montos de la Pérdida Máxima Probable.

De acuerdo con las simulaciones realizadas bajo distribuciones probabilísticas y el método de Monte Carlo, se tiene que el evento de **sismo** es el que generaría más afectaciones, con un porcentaje de pérdida del **15.41%** con respecto al valor total del proyecto o valor asegurable.

En la sección de PML se describen los eventos más relevantes y las coberturas en las que afectarían, teniendo los escenarios de:

- Inundación **2.38%**
- Incendio **3.57%**
- Remoción de escombros **1.88%**
- Rotura de maquinaria **1.55%**,

Todos los porcentajes con respecto al valor total de la instalación.

Cabe mencionar que todas las consideraciones se realizan con base en la información proporcionada por el propietario del proyecto y por lo observado durante la visita de inspección. Para lo cual se observó que las instalaciones se encontraban en excelente estado físico, las pruebas realizadas fueron exitosas y con resultados satisfactorios.





## Referencias de estudio

- AENOR. (Mayo de 2011). Gestión del riesgo. *Técnicas de apreciación del riesgo*. Madrid, España.
- C.E.S.P.T. (29 de Junio de 2021). *Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana*. Obtenido de Cada gota cuenta: <https://www.cespt.gob.mx/noticiascespt/noticia.aspx?id=985>
- CENAPRED. (2022). *Centro Nacional de Prevención a Desastres*. Obtenido de Sistema nacional de información sobre riesgos: <http://www.atlasmacionalderiesgos.gob.mx/archivo/visor-capas.html>
- CIMNE. (2013). *International Centre for Numerical Methods in Engineering & ITEC S.A.S. INGENIAR LTDA. EAI S.A.* Obtenido de Probabilistic Modelling of Natural Risks at the Global Level: The Hybrid Loss Exceedance Curve.
- Corona, A. (05 de Septiembre de 2020). Se quedan sin agua habitantes de Puerto San Carlos. La paz, Baja California Sur, México. Obtenido de <https://www.elsudcaliforniano.com.mx/local/municipios/se-quedan-sin-agua-habitantes-de-puerto-san-carlos-5717503.html>
- DOF. (2021). *Secretaría de Gobernación, Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0)
- El Financiero, Redacción. (29 de Junio de 2021). ¿Otrooo? Se abre socavón en Coyoacán tras fuerte fuga de agua. Ciudad de México, Ciudad de México, México. Obtenido de <https://www.elfinanciero.com.mx/cdmx/2021/06/29/otrooo-se-abre-socavon-en-coyoacan-tras-fuerte-fuga-de-agua/>
- ENVIPE, INEGI. (2020). *Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad, Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Obtenido de Percepción sobre Seguridad Pública.
- García, A. (04 de Junio de 2021). Reparar fuga de agua potable en Manuel Corona y Avenida de los Poetas. Puerto Vallarta, Jalisco, México. Obtenido de <https://tribunadelabahia.com.mx/reparan-fuga-de-agua-potable-46353>
- Hernández, M. A. (30 de Junio de 2021). Villahermosa ‘está colapsando’, tiene 400 hundimientos en sus calles. Villahermosa, Tabasco, Mexico. Obtenido de <https://www.elfinanciero.com.mx/estados/2021/06/30/villahermosa-esta-colapsando-tiene-400-hundimientos-en-sus-calles/>





- Leza, Escriña & Asociados S.A. Consultores en Ingeniería de Riesgos y Valuaciones. (2022). Radiación térmica: su efecto en incendios de líquidos y gases. Buenos Aires, Argentina.
- MARTINEZ, I. M. (2020). DESARROLLO DE CURVAS DE FRAGILIDAD PARA SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN CHILE. SANTIAGO DE CHILE, CHILE.
- OMS. (02 de Mayo de 2017). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Enfermedades diarreicas: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease>
- Ramón, R. (23 de Junio de 2020). El temblor dañó red principal del ramal de distribución Mixquic-Tláhuac. Ciudad Nezahualcoyotl, Estado de México, México. Obtenido de <https://www.jornada.com.mx/ultimas/estados/2020/06/23/el-temblor-dano-red-principal-del-ramal-de-distribucion-mixquic-tlahuac-1476.html>
- S.G.M. (Enero de 2017). *Escalas de los sismos*. Obtenido de [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Informacion\\_complementaria/Escalas-sismos.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Informacion_complementaria/Escalas-sismos.html)
- S.S.N. (Febrero de 2022). *Servicio Sismológico Nacional*. Obtenido de <http://www.ssn.unam.mx/>
- SALUD OCUPACIONAL UNIVERSIDA EAFIT. (Mayo de 2010). MANUAL PARA ELABORACION DE MATRICES DE PELIGRO DE INVESTIGACIONES Y PROYECTOS DESARROLLADOS EN LA UNIVERSIDA EAFI. Medellin, Colombia.
- SEMARNAT, DGEIA. (Febrero de 2022). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección General de Estadística e Información Ambiental*. Obtenido de [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_AIRE04\\_01&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_AIRE04_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce)
- SMARNAT, ASEA. (Julio de 2020). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente*. Obtenido de GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGO PARA EL SECTOR HIDROCARBUROS.
- The World Bank. (2009). *Catastrophe Risk Financing in Developing Countries*. (O. M. J. David Cummins, Ed.)





### *Referencias de Softwares Utilizados para la realización de este informe*

QGIS Development Team, 2009. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.org>.

Google. 2022. [Imágenes satelitales de la zona en la cual se encuentra la desaladora en el estado de Sonora, México]. Recuperado en febrero 2022, <http://www.google.cn/maps/vt?lyrs=s@189&gl=cn&x={x}&y={y}&z={z}>.

@Risk, Palisade Corporation, 1987. <https://www.palisade.com/risk/>.

ALOHA 5.4.7, Office of Emergency Management (EPA) and Emergency Response Division (NOAA) 2016, Areal Locations of Hazardous Atmospheres. <https://www.epa.gov/cameo/aloha-software>.

Prodisis V 4.1, Instituto de Investigaciones Eléctricas y Comisión Federal de Electricidad, 2015.





## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de ser parte de ella y brindarme las herramientas para poder aportar a engrandecer este país.

A la Facultad de Ingeniería, por enseñarme lo magnifico que puede ser el conocimiento.

Al capítulo estudiantil de ASCE, por darme grandes experiencias y amistades.

A mi padre, que siempre me enseñó a ser creativo, trabajar bien, ver la vida de una buena manera y que todo tiene solución.

A mi madre, que nunca me ha dejado solo y siempre me recuerda lo bueno que puedo ser y lo mucho que puedo lograr, que debo de ser agradecido, valorar lo que tengo y trabajar día con día por ser mejor.

A mi hermano, que siempre me ha cuidado, apoyado y estado conmigo en los buenos y malos momentos, por ser el mejor amigo y hermano que pudiera tener.

A mi abuelo Seniorino, que ni siquiera tengo las palabras para definir cuanto aportó en mi vida y la forma en que me hizo feliz.

A mis abuelos Rita y Francisco, que me brindan alegría, paz y felicidad.

A toda mi familia que, aunque no seamos muy cercanos han aportado cosas valiosas en mi vida.

A Ilse Carolina, que me ha apoyado y querido de una forma muy especial y ha alegrado mi vida en momentos muy difíciles y me ha hecho feliz como no podría explicarlo.

A Alejandra y Luisa, que llegaron a mi familia y son muy especiales.

A la familia Montero Díaz, que de ser amigos se convirtieron en mi familia y siempre han estado presentes.

A la familia Jiménez, que siempre han buscado la forma de apoyarme y darme su mano para seguir adelante.





A muchos amigos que sería difícil nombrarlos a todos, Irving, Mariana, Ignacio, Fabian, Andrés, Valeria, Danna, Evelyn, Jorge, Oswaldo, Cesar, Chuy, Andrea, Ithan, Gerardo, Uziel, Daniel, Ulises, Israel, Edgar, Rubén, Mauricio, Gabriela, Xóchitl, Carlos, Francisco, Diego y muchos otros que, aunque por las circunstancias de la vida hay distanciamiento, han trascendido en mí y siempre los tendré presentes.

A EC4 que son un equipo increíble y me hacen ver el trabajo como algo tranquilo, interesante y lleno de retos, es muy grato trabajar con compañeros que al mismo tiempo son tus amigos.

A todos mis profesores y compañeros que me apoyaron durante la carrera y cada día me motivaron y me hicieron crecer.

A mi honorable jurado, La Dra. Georgina, Dr. Luis, M.A.I. Claudia, Dra. Berenice y Dr. José que me han acompañado, apoyado y aportado tanto, como lo hacen ahora para cerrar este ciclo y son un gran ejemplo e inspiración en mi vida.

A Elías, que ha sido un magnífico amigo, maestro y lo considero parte de mi familia.

A Luis, que ocupa tantos roles en mi vida, siempre está presente y cada día le aprendo algo más.

A todos, gracias por sumar algo en mi día con día, por ser pacientes conmigo y mi forma de ser, por creer en mí y estar cerca.

