

“PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA  
DE ANÁLISIS DE RIESGO DE DAÑOS  
EN LA MAQUINARIA DE UN PUERTO  
ANTE LA OCURRENCIA DE UN  
TSUNAMI POR SISMO DE ORIGEN  
CERCANO, ANALIZADO PARA EL  
PUERTO DE IQUIQUE”



CAROLINA SEGOVIA LÓPEZ  
INGENIERA CIVIL OCEÁNICA (E)  
UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO  
**[carolina.segovia.l@gmail.com](mailto:carolina.segovia.l@gmail.com)**

Preparado para SIOP «Seminario Internacional de Ingeniería y Operación Portuaria»  
Noviembre 2018



# CONTENIDO

1. Contextualización del Tema
2. Esquema de los tópicos fundamentales
3. Metodología/Aplicación
4. Conclusiones
5. Discusiones y Recomendaciones
6. Referencias

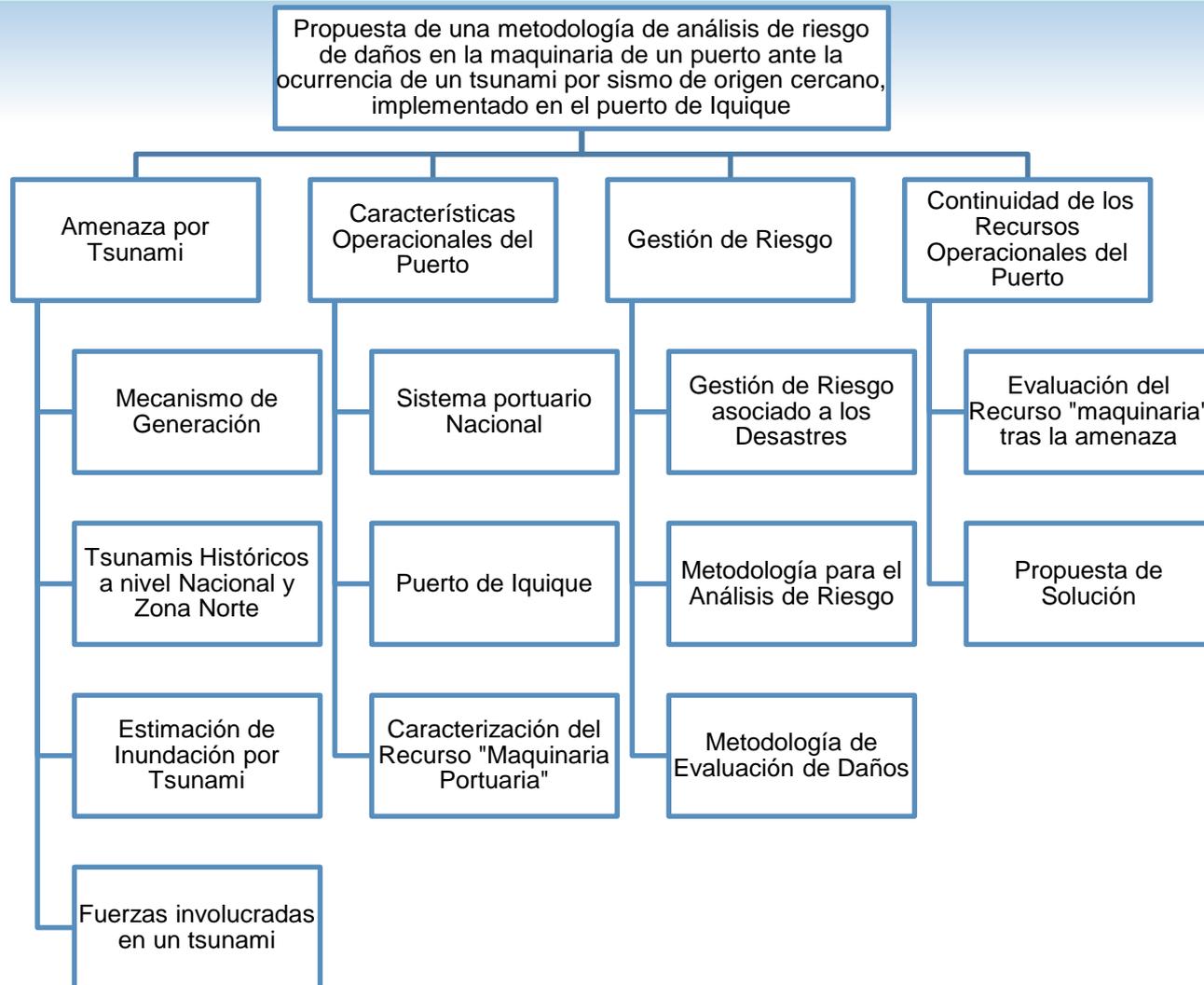


# 1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL TEMA

- Chile es un país altamente sísmico propenso a terremotos y tsunamis.
- Actualmente existen planes para resguardar a la comunidad.
- Escasa protección hacia las instalaciones Portuarias.
- Proponer una metodología de análisis de riesgo para la recuperación de la maquinaria de un puerto.
- Área de estudio Puerto de Iquique.
- Proyecto de investigación conjunta entre Chile y Japón, a través de la JICA.

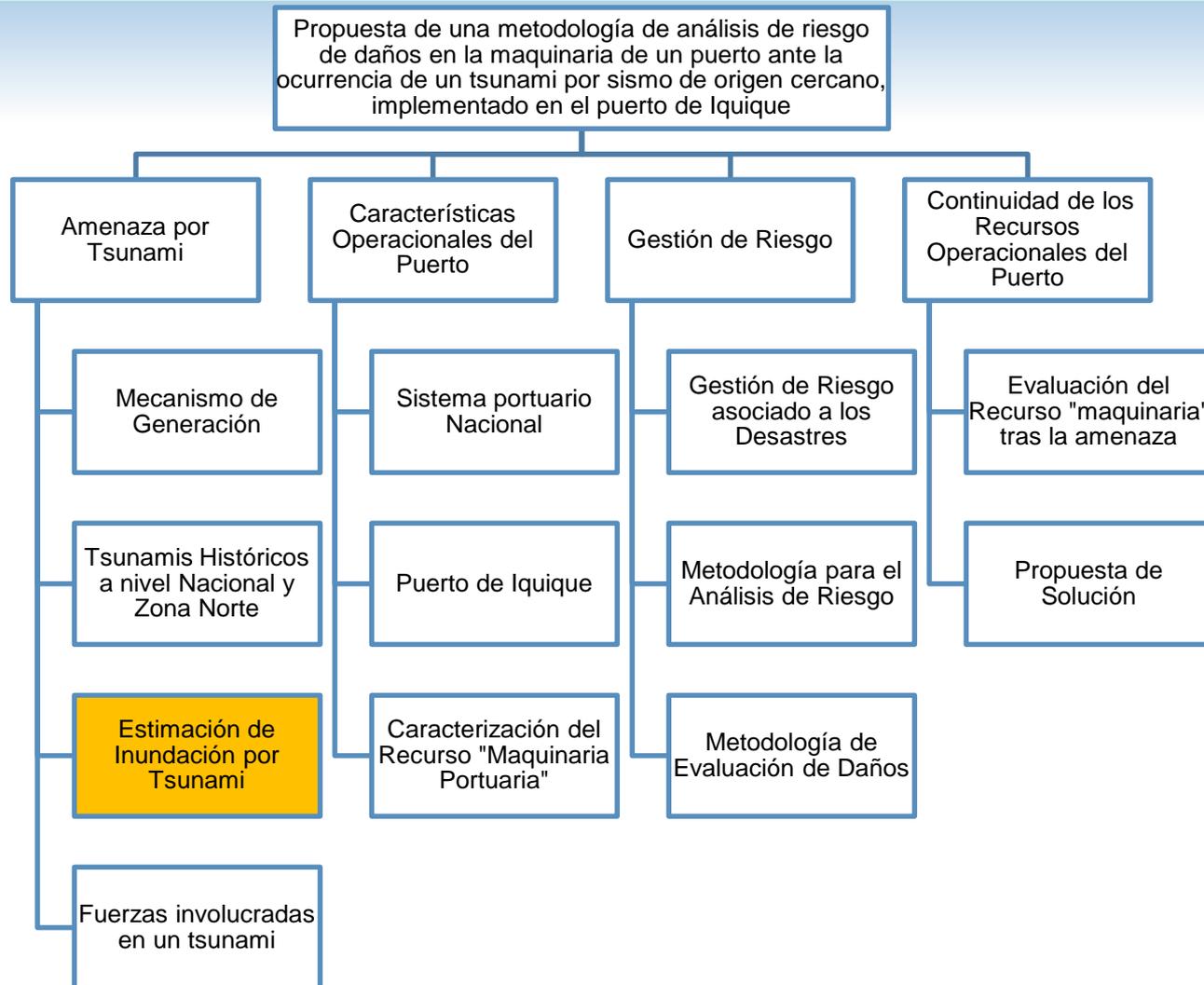


# 2. ESQUEMA DE LOS TÓPICOS RELACIONADOS



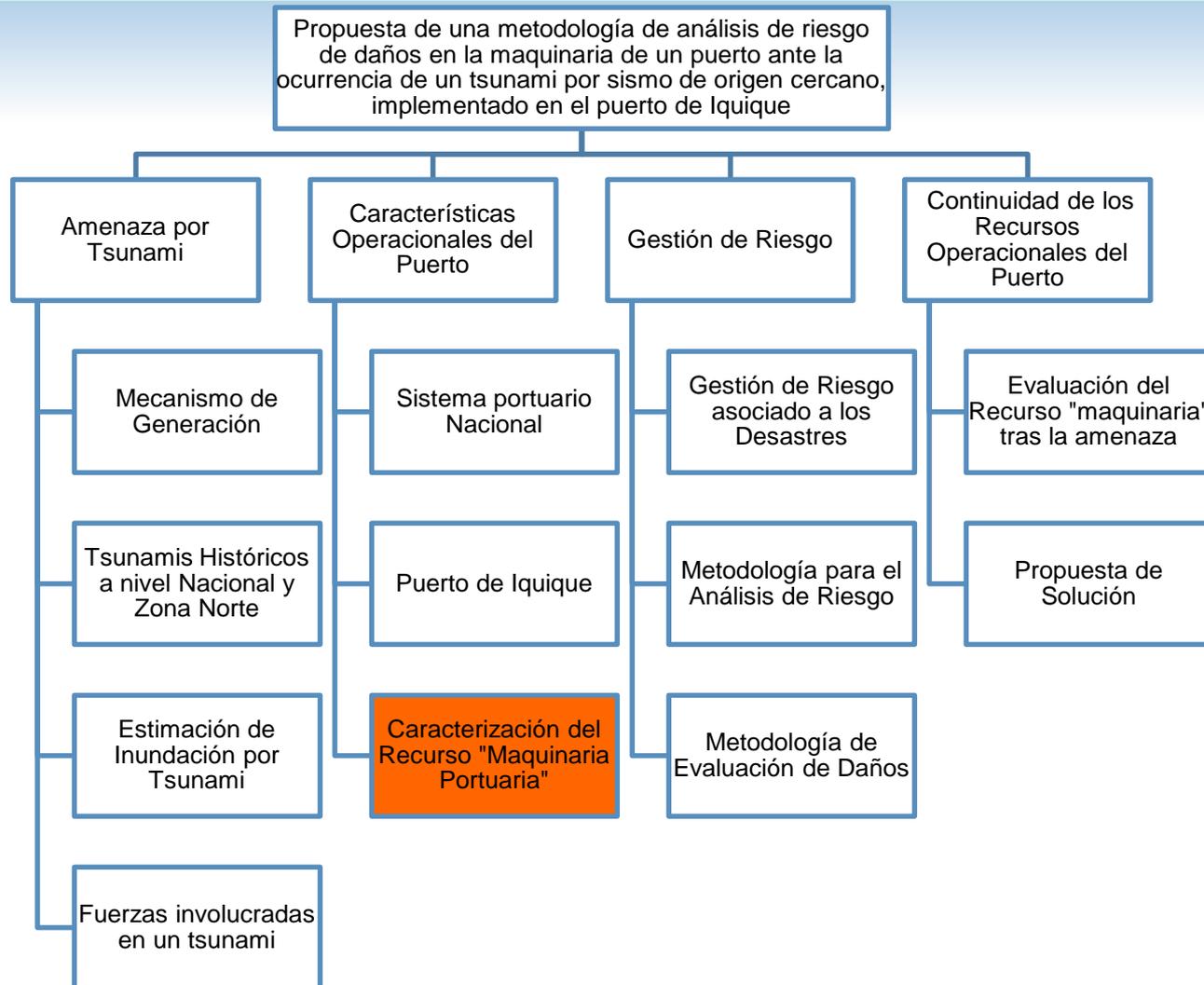


# 2. ESQUEMA DE LOS TÓPICOS RELACIONADOS



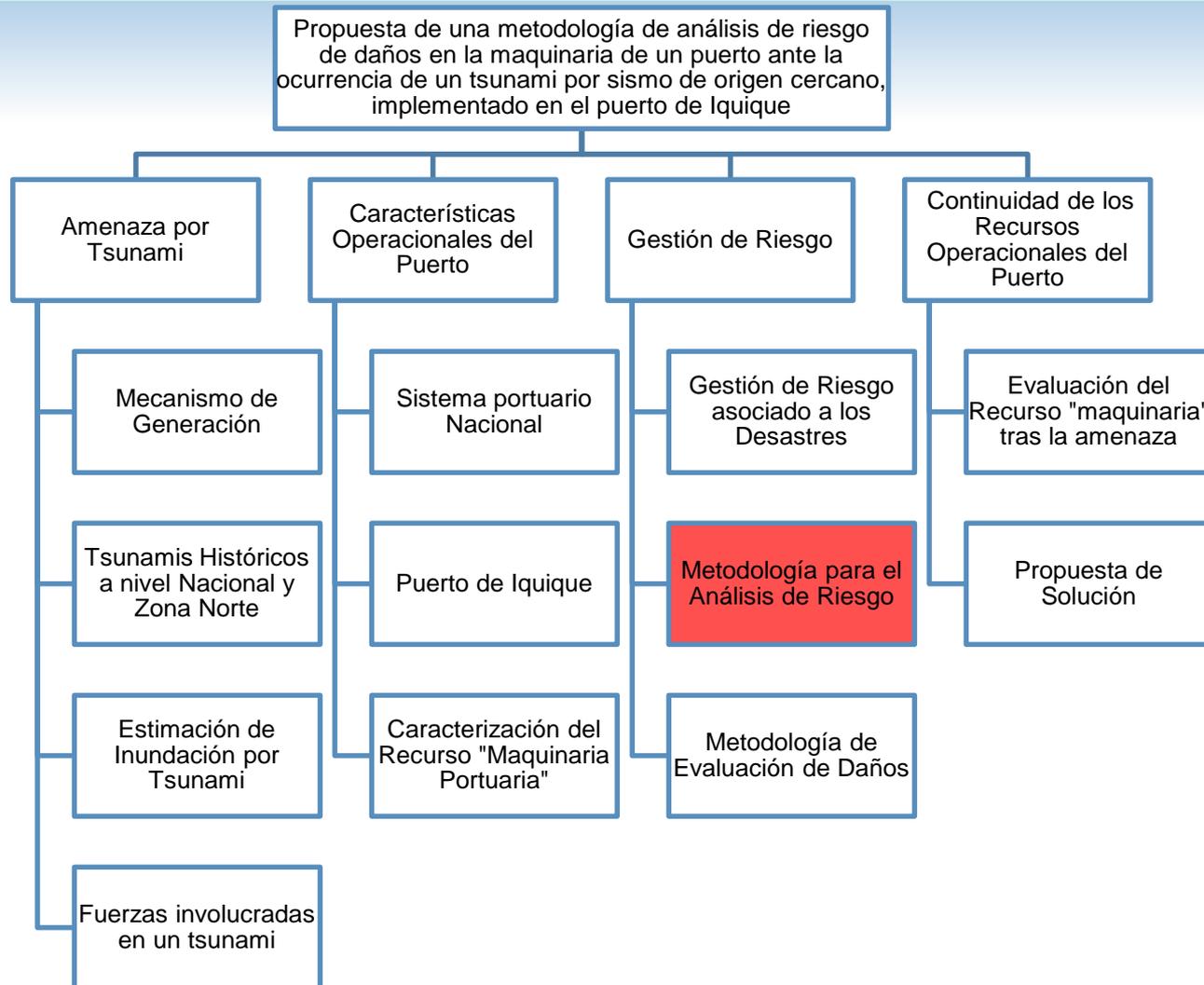


# 2. ESQUEMA DE LOS TÓPICOS RELACIONADOS



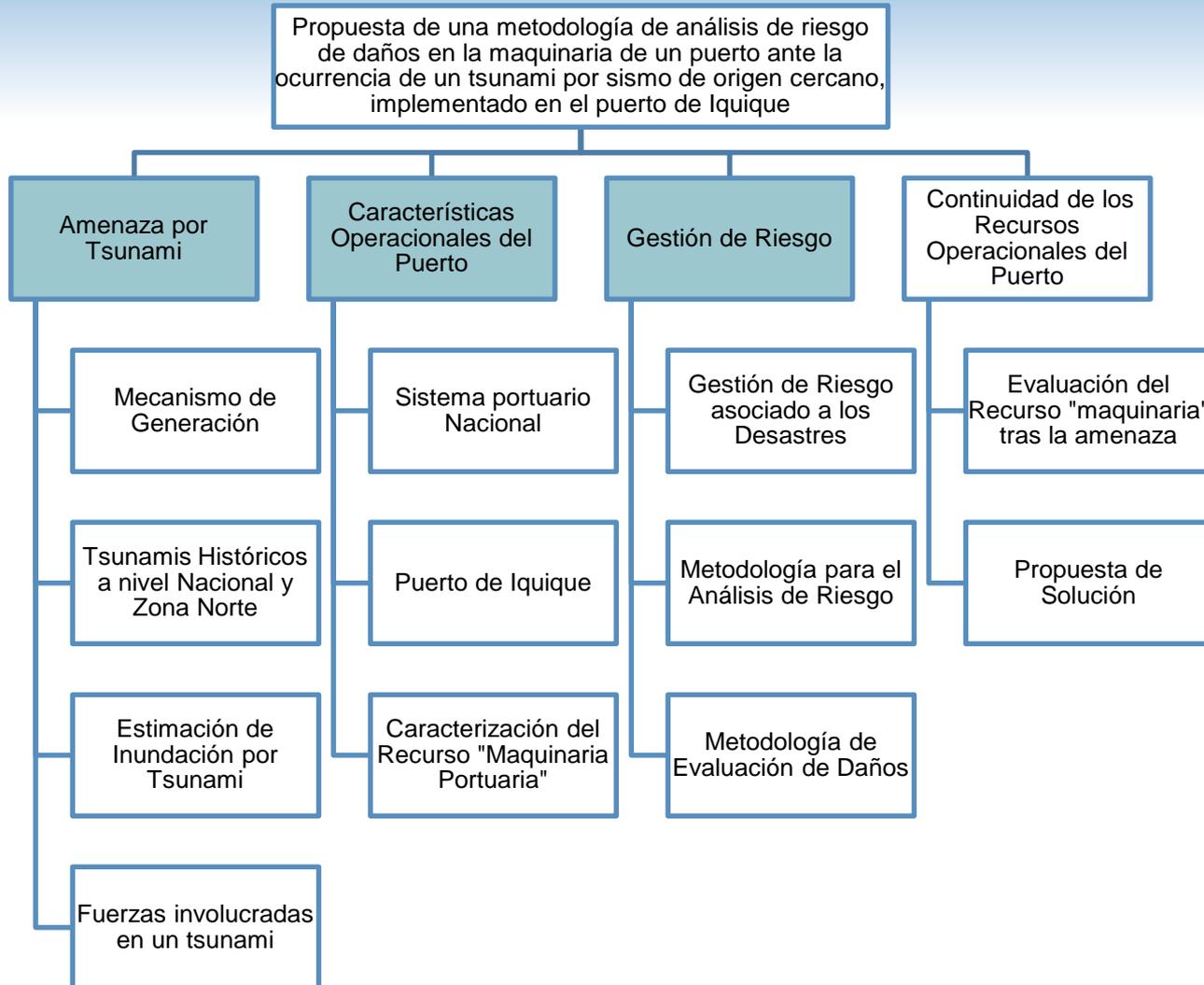


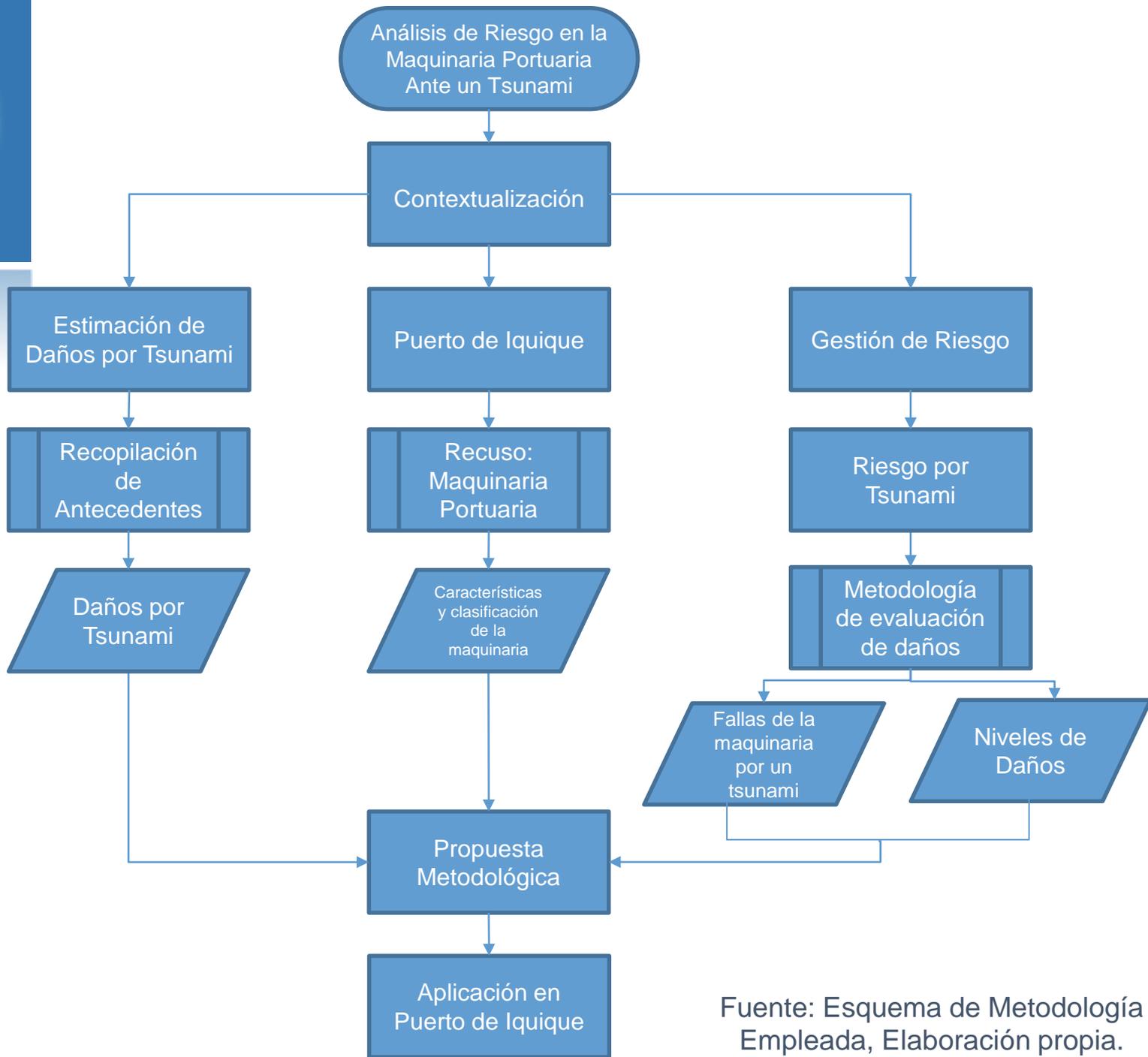
# 2. ESQUEMA DE LOS TÓPICOS RELACIONADOS





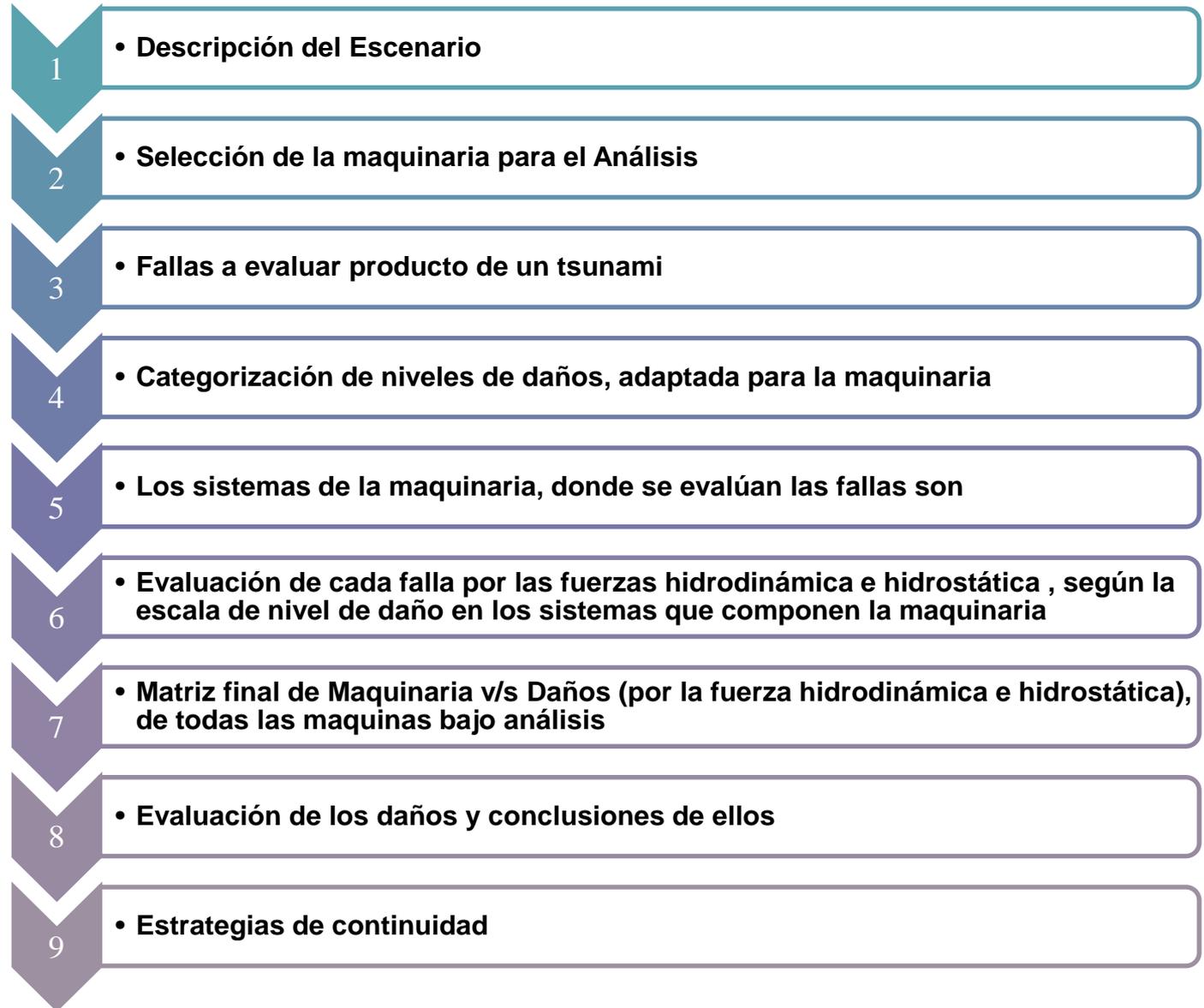
# 2. ESQUEMA DE LOS TÓPICOS RELACIONADOS







# PROPUESTA METODOLÓGICA





# 3. METODOLOGÍA/APLICACIÓN

## PROPUESTA METODOLÓGICA

### 1. Descripción del Escenario



Fuente: Escenario seleccionado, Elaboración Propia.



## 2. Selección de la Maquinaria para el Análisis

La máquina fue seleccionada por los siguientes conceptos: su operatividad en la zona de operaciones terrestres, cantidad, dimensiones y uso.

<b>Cantidad</b>	<b>Tipo</b>	<b>Modelo</b>
4	Grúas de muelle (100 toneladas)	Grúa super Post-Panamax HMK8410
10	Equipos de patio Top-Lifter y Reach- Stacker	Top-Lifter DCF 80-100 Reach Stacker C4531 TL/5
9	Tractocamiones de uso permanente en el Puerto	Kalmar Ottawa

Fuente: Elaboración Propia



### 3. Fallas a Evaluar Producto de un Tsunami en la Maquinaria

Las posibles fallas provocadas producto de un tsunami se señalan en la siguiente tabla:

Evento de Desastre	Causas provocadoras	Fallas
Tsunami	Fuerza Hidrodinámica	Desmante de elementos Pérdidas de elementos Deformación Fractura Desmante de material
	Fuerza Hidrostática	Sulfatación Corto circuito

Fuente: Elaboración Propia



#### 4. Categorización de Niveles de Daños, adaptada para la Maquinaria.

Número del nivel de daño	Nivel de Daño	Rango del nivel de daño	Definición del nivel de daño
0	Nulo	0 - 0.9	No hay presencia de daño en el elemento o pieza
1	Muy bajo	1 - 1.9	Hay presencia de daño superficial, pero no afecta el funcionamiento de la pieza o elemento, no se aprecia daño a simple vista
2	Bajo	2 – 2.9	Hay presencia de daño en el elemento, en este caso se visualiza un daño, pero no impide su funcionamiento
3	Medio	3 – 3.9	Se observa un daño parcial de la pieza o elemento, este produce fallas intermitentes en el funcionamiento
4	Alto	4 – 4.9	Presencia de un daño considerable en la pieza o elemento, requiere reparación inmediata para su funcionamiento
5	Muy alto	5 – 5.9	Deterioro irreversible del elemento o pieza, que impide su uso y debe ser sustituido

Fuente: Elaboración Propia

## 5. Sistemas de la Maquinaria, donde se Evalúan las Fallas

Sistema	Descripción
1. Sistema o unidad de potencia	Este sistema está constituido por el motor de combustión interna y por el tipo de combustible, con el que funciona la maquinaria. Cabe señalar que puede ser del tipo: diésel, gasolina, eléctricos, entre otros.
2. Sistema o unidad de transmisión	Este sistema está referido a los elementos que intervienen en el acto de transferencia de la fuerza del motor a las ruedas motrices, que permiten poner en movimiento la máquina. Dentro de estos elementos se encuentran: el embrague, la caja de cambios, mando final (conecta potencia a las ruedas) entre otros.
3. Sistema o unidad de locomoción	Esta comprendido por los elementos que ocupa la maquinaria para su desplazamiento, este se divide en dos tipos; los que ocupan tren de rodaje (elementos que sufren mayor desgaste y requieren mantención continua) y los neumáticos (son más comunes, utilizados y con desgaste menor al tren de rodaje).
4. Sistema hidráulico	Este sistema se fundamenta teóricamente en las leyes de los fluidos y está constituido por bombas, válvulas, líneas de trabajo entre otros.
5. Sistema eléctrico y control electrónico	Sistema presente en toda maquinaria, se caracteriza por dar facilidad a una gran variedad de operaciones, está compuesto por: baterías, alternador, motor de arranque, sensores entre otros.
6. Sistema de frenos	Este sistema se caracteriza por equipar a la maquinaria con una serie de mecanismos encargados de disminuir la velocidad o detener por completo la máquina con adecuadas condiciones de seguridad reflejadas con frenadas proporcionales al esfuerzo del conductor en distancias mínimas y conservando la trayectoria de la máquina. Entre sus elementos están: los forros, cilindros, cañerías del sistema de neumáticos, discos, pastillas, retardador.
7. Sistema de suspensión	Se denomina suspensión al grupo de elementos elásticos que se encuentran entre los órganos de suspendidos (bastidor, carrocería, pasajeros y carga) y los órganos no suspendidos (ruedas y ejes). Como sistema su misión es dar estabilidad a la máquina, asegurando la comodidad del vehículo y del conductor, para que esto sea posible los neumáticos se encargan de absorber los impactos por inestabilidad que puede presentar el terreno. Conformado por: muelles, barras y almohadillas
8. Sistema de carrocería	Sistema asociado al Chasis, ya que este es la armazón que sostiene a toda la máquina, su cálculo actualmente es por métodos de elementos finitos para conseguir el peso ideal de este elemento. Dependiendo del tipo de máquina, será su configuración, puede ser más o menos rígida para que pueda soportar todos los componentes presentes en la máquina. Elementos del sistema: chasis, protecciones, bastidor.



**6. Evaluación de cada Falla, según la escala de Nivel de Daño en los Sistemas que componen la Maquinaria, relacionando las Tablas de los puntos anteriores (puntos 3, 4 y 5), para Cada Maquinaria.**

Matriz de riesgo en escenario propuesto

SISTEMAS DE LA MÁQUINA	GRUA SUPER POST-PANAMAX	REACH-STACKER	TOP-LIFTER	TRACTOCAMIÓN
Sistema de potencia	Medio	Medio	Medio	Alto
Sistema de transmisión	Alto	Medio	Medio	Medio
Sistema de locomoción	Muy bajo	Medio	Medio	Bajo
Sistema hidráulico	Bajo	Medio	Medio	Medio
Sistema eléctrico	Alto	Alto	Alto	Alto
Sistema de frenos	Alto	Medio	Medio	Bajo
Sistema de suspensión	Medio	Medio	Medio	Medio
Sistema de carrocería	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo

Fuente: Elaboración propia

GRÚA	Tipo de Falla por Fuerza Hidrodinámica P(1)					P(1)	Tipo de Falla por Fuerza Hidrostática P(2)			Ponderación Final		
	Desmonte de elementos	Pérdidas de elementos	Deformación	Fractura	Desmonte de material		Sub total	Sulfatación	Corto circuitos	Sub total	Total	Nivel cualitativo de l Daño
Sistemas de la Máquina												
Sistema de potencia	1	1	2	3	1	3	4	4	4	3,5	Medio	
Sistema de transmisión	2	1	1	3	1	3	4	5	5	4	Alto	
Sistema de	3	3	1	2								

Fuente: Elaboración Propia



## 7. Matriz Final de Maquinaria v/s Daños (por la fuerza hidrodinámica e hidrostática), de Todas las Máquinas bajo Análisis

Matriz de Maquinarias v/s Daños

MÁQUINA	FUERZAS HIDRODINÁMICA	FUERZAS HIDROSTÁTICA	TOTAL
Grúa Super Post-Panamax	Alto	Muy alto	Alto
Reach- Stacker	Muy alto	Muy alto	Muy alto
top- Lifter	Muy alto	Muy alto	Muy alto
Tractocamión	Muy alto	Muy alto	Muy alto

Fuente: Elaboración propia

Fuerza Hidrodinámica	Sistemas de la Maquina								Ponderación final	
Maquina	Sistema de potencia	Sistema de transmisión	Sistema de locomoción	Sistema hidráulico	Sistema eléctrico	Sistema de frenos	Sistema de suspensión	Sistema de carrocería	Total	Nivel cualitativo del Daño
Grúa super post-panamax	3	3	3	3	3	4	4	4	4	Alto
Reach- stacker	3	4	4	4	4	4	4	4	4	Muy alto

Fuente: Elaboración Propia

## 8. Evaluación de los Daños y Conclusiones de Ellos

Se indica los resultados de las evaluaciones de las tablas anteriores con respecto a los daños encontrados y se indican las conclusiones de manera particular y general de cada maquinaria analizada.





## 9. Estrategias de Continuidad

Finalmente se definen las **estrategias** como medida de resiliencia respecto de los resultados entregados en el análisis, para esto se debe focalizar en el o los sistema/s que tuvo o tuvieron **mayores daños** para generar medidas de **recuperación a corto, mediano y largo plazo**.

Como primer paso, se deben asociar los distintos niveles de daños (Tabla punto 4) a una categorización que permita **identificar si los elementos o piezas debe ser mantenidos, reparados o cambiados**, para ello se propone la implementación de tarjetas de identificación las que se definen de la siguiente manera:



TARJETA	COLOR	USO
SERVIBLE	VERDE	<ul style="list-style-type: none"><li>• Para identificar componentes y accesorios mecánicos, electromecánicos, eléctricos y electrónicos originales o reparados, cuya <b>operatividad ha sido asegurada</b> luego de ocurrido el tsunami.</li><li>• Para identificar componentes y accesorios mecánicos, electromecánicos, eléctricos y electrónicos originales o reparados, (cuya operatividad ha sido asegurada luego de ocurrido el tsunami) retirados de una máquina <b>para ser usados en otra o ser almacenados para un uso posterior.</b></li></ul>
REPARABLE	AMARILLO	<ul style="list-style-type: none"><li>• Para la identificación de cualquier elemento de una máquina, cuya operatividad luego de ocurrido el tsunami no se encuentre asegurada y <b>requiera ser probado funcionalmente, sometido a revisión, reparado, modificado o recertificado.</b></li><li>• Para identificar elementos de una máquina, cuya <b>condición sea desconocida luego de ocurrido el tsunami.</b></li><li>• Para identificar cualquier elemento que habiendo sido APROBADO o que tenga tarjeta de condición SERVIBLE luego de ocurrido el tsunami, <b>se descubra o sospeche de daños internos o externos.</b></li></ul>
INSERVIBLE	ROJO	<ul style="list-style-type: none"><li>• Para identificar cualquier elemento que <b>haya perdido las características de diseño</b> luego de ocurrido el tsunami y que habiendo sido reparado o intentado su reparación no puede volver a cumplir con sus funciones para las cuales fue diseñado y fabricado.</li><li>• Para identificar aquellos productos cuya <b>vida de servicio este próxima a finalizar o hayan caducado</b> y no puedan ser recalificados o recertificados.</li></ul>



- **El Procedimiento de Trabajo como mínimo debe Contemplar:**

### **Mano de Obra**

- Especialistas calificados en las distintas áreas de mantenimiento (eléctricos, electrónicos, mecánicos, entre otros).
- Normas y procedimientos.
- Horas de trabajo necesarias (HH)

### **Materiales**

- Disponibilidad de repuestos necesarios según sea el caso.
- Herramientas de trabajo, útiles, instrumentos especializados, bitácoras entre otros.
- Contemplar actividades auxiliares (traslado de elementos)



Además, cada procedimiento debe contener:

- Descripción de las **operaciones a realizar**
- Número de **personas necesarias** y calificadas para cada operación
- Condiciones e indicaciones de **seguridad en tareas riesgosas**

Por su parte, para conocer los **tiempos de trabajo** es necesario:

- Programarlos
- Medir la eficiencia de los equipos humanos

Finalmente, para **estimar el tiempo total**, se debe considerar el **ciclo completo del trabajo** contemplando todas las especialidades involucradas y todos los tiempos empleados:

- Tiempo de preparación
- Tiempo de ejecución
- Tiempo de esperas e imprevistos
- Tiempos de desplazamientos (traslado de piezas)



## MEDIDAS DESPUÉS DEL EVENTO DE TSUNAMI

### **Realizar:**

1. Previo a la implementación de la metodología:
  - Realizar un catastro con las maquinarias que lograron soportar el evento de tsunami.
  - Clasificación de ellas según tipo e importancia para la empresa portuaria.
2. Implementación de la metodología propuesta
3. Aplicación del uso de las tarjetas de identificación

### **Utilidad:**

Con los tres pasos indicados, se podrán estimar el tiempo de recuperación de la maquinaria y verificar la vida útil efectiva que tendrá luego de ocurrido el tsunami.



## MEDIDAS ANTES DEL EVENTO POR TSUNAMI

### Realizar:

Historial de cada máquina (registro de sus actividades)

El registro debe contemplar:

1. **Fabricante:** País de procedencia y razón social del fabricante.
2. **Representante:** Chile y en la zona.
3. **Adquisición del equipo:** Fecha de adquisición y el valor de compra del equipo.
4. **Máquina o Equipo:** Se registra el nombre de la máquina.
5. **Tipo o Modelo:** Se indica el tipo o modelo de la máquina.
6. **Número de registro:** Número de registro de la máquina o equipo en el inventario.
7. **Características técnicas del equipo:** Registro de medidas y capacidades (potencia, torque, entre otras).
8. **Número de serie:** Se obtiene de la placa del equipo.
9. **Ubicación:** Se señala la sección donde se encuentra el equipo.
10. **Tipo de mantenimiento:** Mantenimiento del equipo durante su uso habitual
11. **Registro de estado de piezas:** Se debe registrar si alguna pieza o elemento a sido cambiado o reparado en el interior del equipo.

### Utilidad:

En el caso de requerir un repuesto de alguna pieza se tendrán los datos del fabricante y representante en Chile

Con el historial de cada máquina se puede tener con claridad en que momento de su vida útil se encuentra



# 4. CONCLUSIONES

- Si bien la amenaza de tsunami afecta en su conjunto al sistema portuario, las consecuencias que este fenómeno provoque dependerán de la capacidad de respuesta que tenga cada puerto.
- La inundación producto de un tsunami además de provocar un rápido ascenso del nivel de agua, puede provocar la flotación de las máquinas más livianas.
- Los tiempos de arribo y la velocidad pueden provocar deriva de la maquinaria, como también choques con otros elementos y provocar daños internos como externos.
- El análisis fue a nivel cualitativo en relación a los daños físicos que pueden presentar las máquinas.
- la gestión de desastres no corresponde a un fin último sino a un proceso con el objetivo de disminuir los riesgos existentes y la prevención de nuevos riesgos.
- Las fallas del tipo catastrófica son repentinas y complejas, por lo tanto, luego de ocurrido un desastre natural, se debería observar de qué forma quedan afectados los distintos elementos, partes o el sistema en su totalidad de cada maquinaria



## 5. DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De la búsqueda bibliográfica se constata que hay escaso material que relacione el análisis de riesgo con la maquinaria portuaria en caso de la ocurrencia de un tsunami.
- Se recomienda realizar una modelación específica de lo que puede ocurrir en el puerto, para obtener resultados más precisos de los parámetros principales de un tsunami focalizados solo en la zona de interés.
- Para los daños en los distintos sistemas de cada maquinaria se recomienda que sea realizada por expertos especializados en cada área del mantenimiento industrial (eléctricos, electrónicos, instrumentistas, entre otros), con el fin de tener resultados más probables y certeros de lo que pueda suceder en el tipo de escenario propuesto.



## 5. DISCUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un nuevo análisis de las fallas propias de una maquinaria pesada, debido que ellas se pueden ver agravadas y/o aceleradas en el tiempo producto del tsunami (fallas anormales) y en complemento considerar nuevos tipos de mantenimientos post-tsunami.
- Se recomienda tener resguardo con la infraestructura que componen el puerto, ya que, si esta se ve afectada también se podrían ver afectadas las maquinarias que trabajan sobre ellas.
- Finalmente, se recomienda considerar la reducción del riesgo de desastre con el fin de poder prevenir en las distintas áreas que constituye el sistema portuario pérdidas futuras producto de fenómenos como un tsunami



## 6. REFERENCIAS

- Álvarez, R. P. (2010). ZONAS OSCURAS EN EL SISTEMA DE ALARMA DE ADVERTENCIA DE TSUNAMI EN CHILE. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052010000300005>: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052010000300005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-33052010000300005&script=sci_arttext)
- católica, u. (s.f.). [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/geo\\_mar/html/h714.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h714.html). Obtenido de [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/geo\\_mar/html/h714.html](http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h714.html).
- CIIFEN. (2009). CENTRO INTERNACIONAL PARA LA INVESTIGACIÓN DEL FENÓMENO DEL NIÑO. Obtenido de [http://www.ciifen.org/index.php?option=com\\_content&view=category&id=84&layout=blog&Itemid=111&lang=es](http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&id=84&layout=blog&Itemid=111&lang=es)
- Dirección de Obras Portuarias del Ministerio de Obras Públicas. (2005). Sistema Portuario de Chile.
- Empresa Portuaria Iquique. (7 de julio de 2015). Empresa Portuaria Iquique. Obtenido de Empresa Portuaria Iquique: <http://www.epi.cl/wordpress/puerto-de-iquique/caracteristicas/>
- Ferrer, R. (2006). METODOLOGIA DE ANALISIS DE RIESGO. METODOLOGIA DE ANALISIS DE RIESGO. Bogotá , Colombia .
- Lagos. (2000). Tsunamis de Origen cercano a la costa de Chile. Revista de Geografía Norte Grande, 27:93-102.



## 6. REFERENCIAS

- Omar, C. (2003). EVALUACIÓN DE LA AMENAZA, LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO. Obtenido de <http://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/html/cap3.htm>
- Revista Cubana de Higiene y Epidemiología. (diciembre de 2011). Scielo . Obtenido de Definiciones acerca del riesgo y sus implicaciones: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30032011000300014](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032011000300014)
- Reyes, M. (2013). A PROPOSAL OF TSUNAMI RISK ASSESSMENT METHOD FOR IQUIQUE CITY, CHILE. Tokyo, Japan.
- Reyes, M. (2do semestre de 2014). Gestión de desastres naturales en zonas costeras. (p. p. 2014, Intérprete) Chile.
- SHOA. (2008). generalidades de un tsunami: shoa.cl. Obtenido de <http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/generalidades.htm>
- SHOA. (s.f.). Tsunamis Históricos. Obtenido de Tsunamis Históricos: [http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/data/tsunamis\\_historico.pdf](http://www.shoa.cl/servicios/tsunami/data/tsunamis_historico.pdf)
- Winckler, R. C. (2011). recomendaciones de Diseño de obras Marítimas y terrestres sometidas a cargas de Tsunami. Instituto de Ingenieros de Chile.



**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**