

Metodología para incorporar la Gestión de Riesgos de Desastres (GRD) en los proyectos de Infraestructura de Integración Regional

Manual del Usuario

-Versión Preliminar-





Gestión de riesgo de desastres en la infraestructura de integración de COSIPLAN/IIRSA



Manual de Usuario - Orientaciones para emprender análisis de riesgo

Versión para ser usada en pilotaje 2015



Tabla de contenido

Introducción	4
FASE I - Identificación	6
FASE II - Análisis de riesgo	7
.....	7
.....	7
Paso 1: Definir los objetivos e indicadores de desempeño (“Riesgo aceptable”)	8
Paso 2 – Caracterización básica de amenazas e infraestructura expuesta	10
Caracterización básica de amenaza.....	10
Caracterización básica de la infraestructura	12
Priorización de componentes y equipos a analizar	12
.....	13
Paso 3 – Definir el nivel de profundidad de análisis de riesgo para infraestructura y componentes priorizados (Términos de referencia para el estudio de riesgo).....	13
Paso 4 – Análisis de riesgo e identificación de posibles medidas de reducción de riesgo	14
Análisis de desempeño del sistema.....	16
Posibles medidas de reducción de riesgo.....	16
FASE III- Gestionando el riesgo.....	17
Reduciendo el riesgo	18
Preparativos para la respuesta.....	20
Ejemplo FASE I – Identificación (a): Motivación en infraestructura	21
Infraestructura de interés	21
Ubicación y área de influencia de la infraestructura.....	22
Identificar amenazas a que está expuesta la infraestructura.....	22
Priorizar infraestructura a estudiar	23
Infraestructura/s expuesta a amenaza/s que se desean estudiar.....	23
Ejemplo Fase I – Identificación (b) – Motivación en Cartera de Proyectos	24
Cartera de infraestructura.....	24
Ubicación y área de influencia de cada infraestructura	24
Identificar amenazas a que está expuesta cada infraestructura	25
Priorizar amenazas que serán estudiadas	25
Infraestructura/s expuesta a amenaza/s que se desean estudiar.....	26
Ejemplo FASE I – Identificación (c) - Motivación en Amenaza	27
Amenaza de interés.....	27
Definir área de influencia de la amenaza	27
Identificar infraestructura expuesta.....	28
Identificar infraestructura expuesta.....	29
Priorizar infraestructura a estudiar	29

Infraestructura/s expuesta a amenaza/s que se desean estudiar.....	30
Ejemplo FASE II – Análisis de riesgo en el Puerto de Ilo, Perú.....	32
Paso 1: Definir los objetivos e indicadores de desempeño (“Riesgo aceptable”).....	32
Paso 2 – Caracterización básica de amenazas e infraestructura expuesta	34
Paso 3 – Definir el nivel de profundidad de análisis de riesgo para infraestructura y equipos priorizados	42
Paso 4 – Análisis de riesgo e identificación de posibles medidas de reducción de riesgo	43
Ejemplo FASE II – Análisis de riesgo en Carretera Iquique-Colchane (Chile).....	53
Paso 1: Definir los objetivos e indicadores de desempeño (“Riesgo aceptable”).....	53
Paso 2 – Caracterización básica de amenazas e infraestructura expuesta	54
Paso 3 – Definir el nivel de profundidad de análisis de riesgo para infraestructura y componentes priorizados.....	60
Paso 4 – Análisis de riesgo e identificación de medidas de reducción de riesgo	61
Ejemplo FASE II – Análisis de riesgo en Aeropuerto Chacalluta, Arica (Chile).....	72
Paso 1: Definir los objetivos e indicadores de desempeño (“Riesgo aceptable”).....	72
Paso 2 – Caracterización básica de amenazas e infraestructura expuesta	74
Paso 3 – Definir el nivel de profundidad de análisis de riesgo para infraestructura priorizada.....	80
Paso 4 – Análisis de riesgo e identificación de medidas de reducción de riesgo	80
Análisis de desempeño del sistema.....	82
Anexo 1 – Cálculo de Índice de Nivel.....	85
Índice de nivel.....	85
Magnitud de la Amenaza (P)	85
Vulnerabilidad (V).....	86
Consecuencias (C).....	86
Interpretación del Índice de Nivel (I_N)	87
Anexo 2 – Consideraciones según nivel de profundidad de estudios de riesgo.....	88
Anexo 3 – Actividades y alcance de estudios de riesgo según nivel de profundidad.....	89
Análisis de amenaza	89
Análisis de vulnerabilidad.....	91

Introducción

El objetivo de este documento es que los países miembros de COSIPLAN/IIRSA puedan incorporar el proceso de gestión de riesgo de desastres (GRD) en la planificación y desarrollo de la infraestructura regional de integración, planificada e implementada por COSIPLAN/IIRSA. Este Manual complementa la “Guía Metodológica de Gestión de Riesgo en la Infraestructura de COSIPLAN/IIRSA” desarrollada en el año 2013, donde ambos aún son considerados una versión preliminar hasta que sean aplicadas de manera piloto por parte de COSIPLAN/IIRSA que permita validar y complementar la metodología planteada.

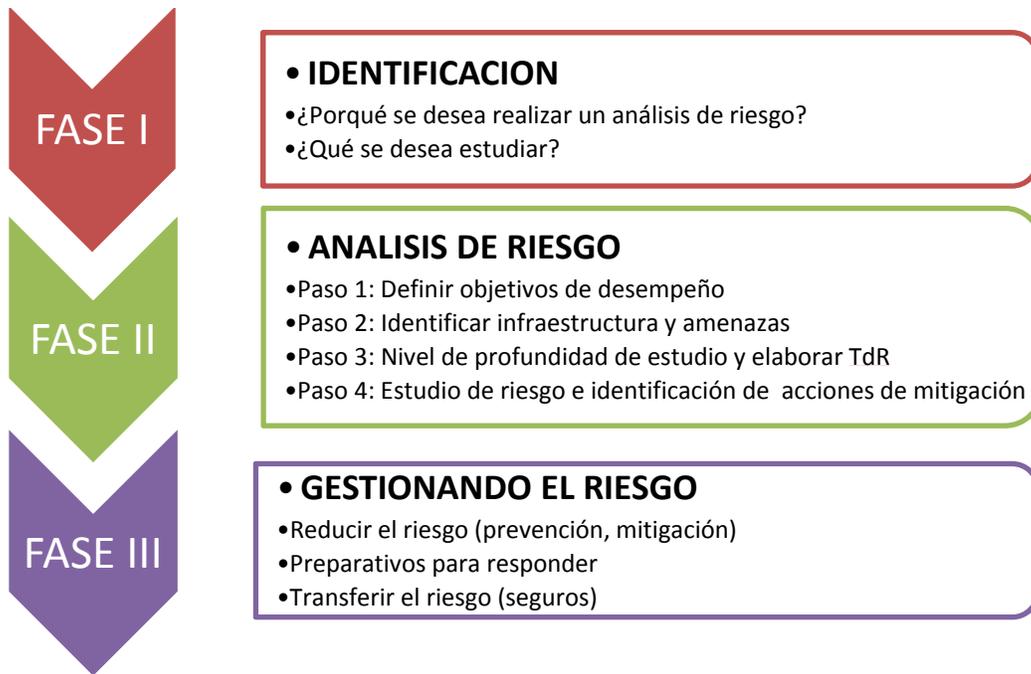
El documento está organizado en dos capítulos, donde en el primer capítulo se presenta de manera genérica en enfoque metodológico propuesto para planificar y desarrollar con éxito un estudio de riesgo, y en el capítulo 2 se aplica dicho enfoque metodológico a infraestructura específica (Puerto de Ilo-Perú, Carretera Iquique-Colchane en Chile y Aeropuerto Chacalluta-Arica Chile). La idea de usar estos ejemplos es facilitar el entendimiento de los usuarios sobre el uso de este Manual de manera práctica.

Si bien el Plan de Acción COSIPLAN/IIRSA 2012-2022 (PAE 2012-2022) determina cierto tipo de amenazas que se deben de tomar en cuenta en el Manual (terremotos, inundaciones, deslizamientos y tsunamis), la versión actual y preliminar de este Manual de Usuario se enfoca principalmente a la amenaza sísmica y tsunami. Cada amenaza tiene diferentes abordajes tanto para su caracterización, vulnerabilidad de infraestructura expuesta y por ende las posibles medidas para reducir el riesgo.

Se reconoce que los proyectos de integración de COSIPLAN/IIRSA se encuentran en diferentes fases de desarrollo, algunos proyectos existentes requieren ampliación, mejoramiento o rehabilitaciones, algunos están en construcción, y otros en etapa de planificación. El presente Manual se enfoca a los proyectos e infraestructura existente. Los proyectos en fase de planificación y diseño deben observar las normas de diseño y construcción existente en los respectivos países, muchas de la cuales ya consideran el estudio de amenazas y consideraciones de reducción de riesgo frente a las mismas, por otra parte algunos países cuentan con lineamientos generales de gestión de riesgo de desastres en los sistemas nacionales de inversión pública de los cuales se hacen uso para el desarrollo de la infraestructura de integración de COSIPLAN/IIRSA.

El enfoque metodológico incluido en el presente documento cuenta con tres fases claramente definidas que se detallan a continuación:

- FASE I** – “Identificación” que permite definir que se desea estudiar, explicitando preliminarmente la/s infraestructura/s y amenaza/s que serán consideradas en el estudio de riesgo.
- FASE II** – “Análisis de riesgo”, la cual inicia con la definición de los objetivos de desempeño, la caracterizar las amenazas e infraestructura expuesta, y en base a esto definir la profundidad, alcance y términos de referencia para el análisis de riesgo. En esta fase también se lleva a cabo el análisis de riesgo como tal y la identificación de posibles medidas de reducción de riesgo.
- FASE III** – “Gestionando el riesgo”, donde en base a los resultados de la Fase II se toman decisiones para reducir el riesgo, transferir el riesgo y/o prepararse para emergencias y desastres.



El resultado final del uso de este Manual debe permitir identificar la necesidad de acciones de reducción de riesgo y clasificar las posibles intervenciones a ser implementadas. Es decir tras la aplicación de este Manual se podrá identificar, de manera general, el tipo de intervenciones concretas de gestión de riesgo necesarias, (obras de reforzamientos, o plan de contingencia, continuidad de operaciones, etc.), los costos económicos y beneficios asociados a las diferentes alternativas de reducción de riesgo posibles, que faciliten la toma de decisiones.

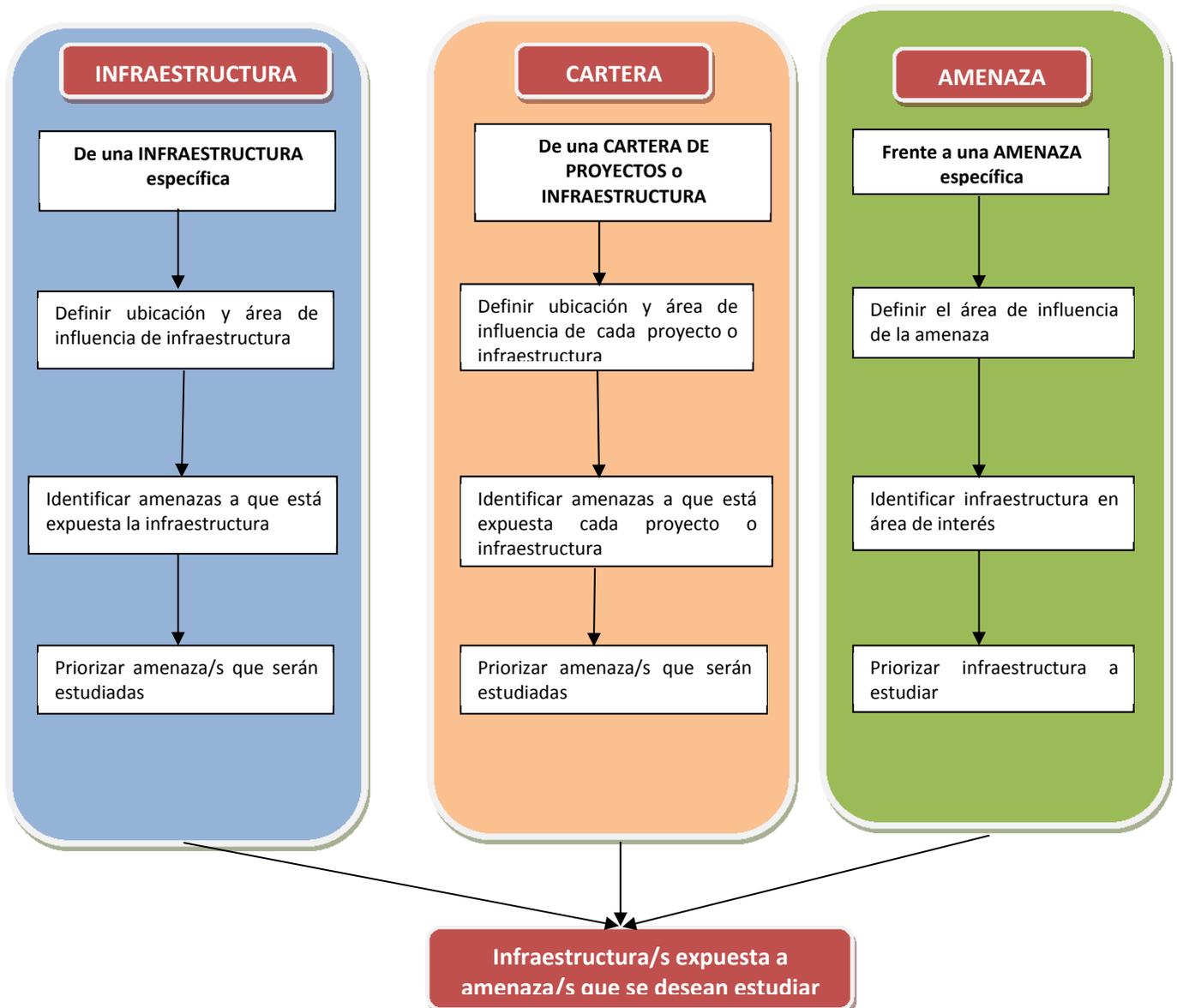
Capítulo 1 – Enfoque Metodológico

FASE I - Identificación

En esta fase se revela la razón(es) de por qué se desea o requiere realizar un estudio de riesgo en una determinada infraestructura, lo cual llevará consigo mismo el definir qué es lo que se desea estudiar.

Por lo anterior, es básico y fundamental delimitar el alcance de cualquier estudio de riesgo, por lo tanto se debe definir la infraestructura objeto del estudio de riesgo, definir una amenaza de interés (inundación, deslizamiento, sismo, etc.) o bien un territorio delimitado sobre el cual se centrará el estudio.

Como se aprecia en el Esquema 1 sin importar la motivación o razones que originen el interés o necesidad de realizar un estudio de riesgo, siempre se tendrá como resultado de esta fase la identificación tanto de la/s infraestructura/s como la/s amenaza/s que serán consideradas en el análisis.



Esquema 1. Posibles motivaciones para seleccionar infraestructura/a y amenaza/s para análisis de riesgo

Tabla 1. Algunas posibles motivaciones para el uso de enfoques

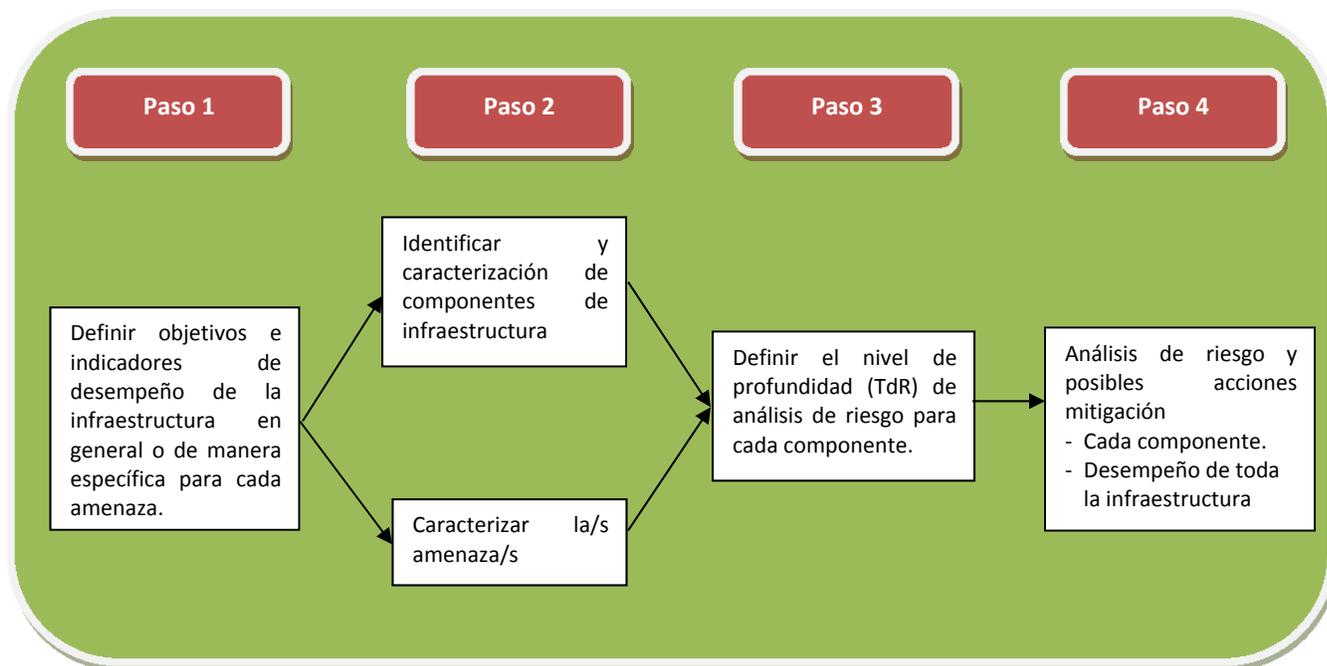
Motivación	Algunos hechos que favorecen las posibles motivaciones
Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> - Daños sufridos en infraestructura debido a desastre reciente. - Exigencia impuesta a nivel normativo, aseguramiento o contractuales. - Cambio de marco normativo de diseño.
Cartera de proyectos	<ul style="list-style-type: none"> - Asegurar flujo de comercio internacional. - Cambio de marco normativo de diseño. - Conocer el riesgo de una determinada ruta comercial - Aseguramiento de infraestructura. - Propiedad/administración común de algunas infraestructuras.
Amenaza	<ul style="list-style-type: none"> - Proximidad/evidencia de la manifestación de un fenómeno natural de poder destructivo (silencio sísmico, volcán activo, ENSO-Fenómeno del Niño, inundaciones por operación de presa, etc.) - Ocurrencia de un desastre que provocan daños tales, que motivan revisión o análisis de riesgo ex post.

Según la motivación que origine el inicio de un estudio de riesgo, será necesario que se sigan las acciones que se detallan en el Esquema 1, haciendo uso de información secundaria, conocimientos disponibles y el criterio técnico de las instituciones y sus representantes, y así definir la/s infraestructura/s y amenaza/s que serán consideradas en el estudio de riesgo, las cuales serán analizadas en mayor profundidad en la Fase II.

FASE II - Análisis de riesgo

Las acciones consideradas en esta fase por lo general son desarrolladas con el apoyo y participación de empresas consultoras, instituciones académicas o similares, en coordinación y diálogo permanente con la institución que encomienda el análisis y hará uso de los resultados del mismo.

A lo largo de los diferentes pasos que se plantean a continuación, el mandante o institución interesada deberá validar y tomar decisiones sobre los resultados preliminares que se vayan obteniendo en cada paso, de manera de asegurar que los productos que se obtengan sean de utilidad.



Llevar cabo un análisis de riesgo, requiere la concurrencia y participación de diferentes actores e instituciones. Para el caso de avanzar en la gestión de riesgo de la infraestructura de integración de COSIPLAN/IIRSA se identifican los siguientes actores relevantes, los cuales se han agrupado según las actividades que les corresponde desarrollar en los pasos definidos anteriormente.

Grupo 1:

Instituciones nacionales vinculadas al diseño, operación y mantenimiento de la infraestructura bajo análisis. (Ministerios, Empresas del estado, Empresas privadas)

Grupo 2:

Representantes de gobiernos locales (Municipio, Departamento, Provincia, etc.), representantes de comunidades y sociedad civil en donde se emplaza la infraestructura.

Grupo 3:

Instituciones técnicas, científicas o académicas (universidades) encargadas del estudio y monitoreo de amenazas naturales que serán consideradas en el estudio.

Grupo 4:

Empresas consultoras, expertos, centros de referencia, etc.

Paso 1: Definir los objetivos e indicadores de desempeño (“Riesgo aceptable”)

En esta etapa el mandante o institución interesada en desarrollo y resultados del estudio de riesgo deberá definir los objetivos e indicadores de desempeño de la infraestructura seleccionada frente a la manifestación de la/s amenaza/s consideradas en el estudio.

Los objetivos e indicadores de desempeño deberán definirse de manera independiente para las distintas infraestructuras y amenazas consideradas, definiendo indicadores de desempeño para diferentes intensidades y periodo de retorno de las amenazas que serán consideradas en el análisis.

Los objetivos e indicadores de desempeño, por lo general evitan afectación e impacto para eventos menores y recurrentes, se permitirán impactos menores para eventos moderados y se establecerán límites claros para eventos mayores con gran periodo de retorno.

El punto inicial para definir estos objetivos e indicadores, es revisar la normatividad y reglamentación relacionada al diseño y funcionamiento de la infraestructura en estudio. Es habitual que en algunos de estos instrumentos normativos se incorporen consideraciones sobre el comportamiento (desempeño) de la infraestructura con fines de:

- Resguardar la seguridad del personal y usuarios (Proteger la vida);
- Resguardar la seguridad de las comunidades y sus bienes (Proteger vida, bienestar y patrimonio);
- Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema (Proteger funcionamiento);
- Prevenir daños directos y/o pérdidas económicas y (Proteger inversión y negocio);
- Prevenir el daño al medioambiente. (Proteger medioambiente)

Cabe destacar que el mero cumplimiento de una determinada normativa o código, representa un nivel básico de desempeño, y por lo general solamente vinculado a la protección de la vida.

Si no se contara con un marco normativo que permita definir los objetivos e indicadores de desempeño de la infraestructura de interés frente a la/s amenaza/s consideradas, se recomienda:

- Observar normativas y marcos legales de otros países que hagan referencia a la seguridad y desempeño de la infraestructura de interés ; o bien
- Convocar a grupo de profesionales y expertos (Ministerios, Instituciones gubernamentales, Empresas consultoras, Universidades, Colegios Profesionales, entre otros) para definir los objetivos e indicadores de desempeño.

En la decisión y validación de los objetivos e indicadores de desempeño (“riesgo aceptable”) deberán, de manera general, participar las instituciones que se detallan a continuación

Instituciones	Paso 1 – Definición de objetivos e indicadores de desempeño. Roles y actividades
Grupo 1: Instituciones nacionales vinculadas al diseño, operación y mantenimiento de la infraestructura bajo análisis. (Ministerios, Empresas del Estado, Empresas privadas)	<ul style="list-style-type: none"> - Establecer los objetivos e indicadores de desempeño para la infraestructura en análisis, en base al marco normativo nacional. - En ausencia y/o complemento de normativas nacionales, sugerir adoptar para el estudio de riesgo los objetivos de desempeño contenidos en normativas y marcos legales de otros países. - Bajo la coordinación de la institución encargada y competente de la infraestructura de análisis y mediante reunión de trabajo con otros actores relevantes definir los valores de los indicadores que serán usados para definir el desempeño.
Grupo 2: Representantes de gobiernos locales (Municipio, Departamento, Provincia, etc.) y representantes de las comunidades en donde se emplaza la infraestructura.	<ul style="list-style-type: none"> - Dar su conformidad en relación a los indicadores de desempeño relacionados con: Alteración en servicios y accidentes (muertes, heridos). - Ratificar amenazas identificadas para el estudio.

Al final de este paso se debe conocer con claridad, tanto el/los objetivo/s de desempeño que orientarán el análisis, así como los indicadores y unidades que se utilizarán para verificar su cumplimiento una que se cuente con los resultados del análisis de riesgo. En la Tabla 2 se presentan algunos de los objetivos de desempeño, indicadores y medidas utilizados habitualmente en análisis de riesgo.

Tabla 2. Objetivos de desempeño, indicadores y unidades habitualmente utilizados

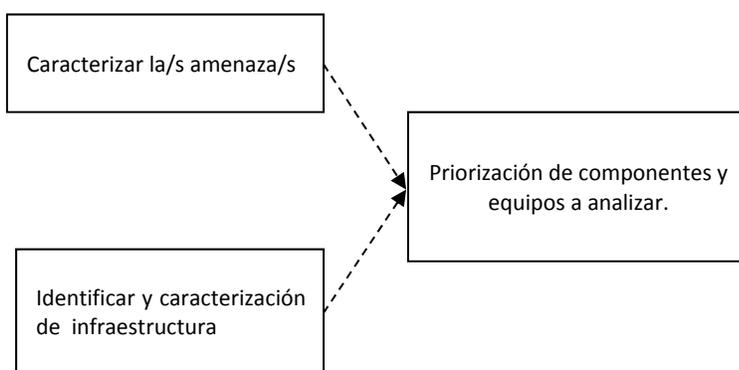
Objetivos de Desempeño	Indicadores y unidades para estimar el desempeño de un sistema
Proteger la seguridad del personal.	Accidentes (número de personas afectadas, muertes, lesiones)
Proteger la seguridad y bienestar de la comunidad y sus bienes.	Pérdidas de Capital y/o Costos adicionales (\$) Accidentes (número de personas afectadas, muertes, lesiones)
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema.	Alteraciones en servicios (% población) Tiempo de interrupción (horas/días)
Evitar daños directos y pérdidas económicas.	Pérdidas de Capital y/o Costos adicionales (\$) Pérdidas de Rentabilidad (\$)
Evitar el daño medioambiental	Derrames, incendios, explosiones, etc.

Paso 2 – Caracterización básica de amenazas e infraestructura expuesta

En este paso se busca realizar una caracterización básica, con la información que se encuentre disponible, tanto de las amenazas como la infraestructura que han sido seleccionadas para el análisis de riesgo. Esta caracterización se hace con información primaria y secundaria existente, la cual por lo general está dispersa pero disponible en diversas instituciones.

La caracterización básica de las amenazas e infraestructura de interés la puede realizar el mandante o institución interesada, así como ser delegada a empresa consultora o experto que facilite la recopilación y análisis de información disponible.

Si además fuera de interés, o por limitaciones técnicas o financieras, realizar el análisis de riesgo solo en algunos de los componentes de la infraestructura de interés, como resultado de este paso además se deberá priorizar la infraestructura, componentes y/o equipos que por su importancia relativa y/o exposición a la amenaza contribuyen al logro de los objetivos de desempeño definidos en el Paso 1.



Caracterización básica de amenaza

En esta parte del análisis de riesgo, se trata de recopilar información existente que permitan caracterizar la/s amenaza/s que serán objeto de estudio, la cual habitualmente está disponible en Instituciones técnicas y científicas encargadas del estudio y monitoreo de amenazas naturales a nivel nacional, ya sea en forma de mapas de peligro o informes narrativos.

Algunos parámetros que habitualmente se usan para caracterizar las distintas amenazas se presentan en la Tabla 3, que se presenta a continuación.

Tabla 3. Parámetros habituales para caracterización de amenazas

Tipo de Amenaza	Parámetros de caracterización
Sismicidad	Magnitud Richter (Ms) Escala de Mercalli Modificada (MM) Momento sísmico (Mw) Aceleración del suelo (g) etc.
Tsunami	Altura máxima de inundación Tiempo de arribo Dirección de propagación Área afectada Periodo de retorno Grado del tsunami (Según escala Inamura - lida) etc.
Movimientos en masa	Pendiente taludes Volúmen Velocidad de reptación etc.

Tipo de Amenaza	Parámetros de caracterización
Viento	Velocidad sostenida de viento Escala Saffir-Simpson para huracanes etc.
Inundaciones	Caudal Profundidad/altura de agua Velocidad del agua Duración Pluviosidad/precipitaciones Superficie de inundación etc.
Vulcanismo	Tipo de volcán Frecuencia de ocurrencia Zonas expuestas a flujo lava, lahares, piroclastos, cenizas. Características de cenizas Duración de proceso eruptivo etc.

Para caracterizar las amenazas que serán sujetas al análisis de riesgo, podrán contribuir las instituciones que se detallan a continuación

Instituciones	Paso 2 - Identificación y caracterización de amenazas Roles y actividades
Grupo 1: Instituciones nacionales vinculadas al diseño, operación y mantenimiento de la infraestructura bajo análisis. (Ministerios, Empresas del estado, Empresas privadas)	<ul style="list-style-type: none"> - Invitar y asegurar el involucramiento de las instituciones técnico científicas (grupo 3) y Grupo 1 para que provean la información básica sobre amenazas. - Definir las escalas de los mapas de amenaza que serán elaborados para que resulten de utilidad para el estudio. - Identificar zonas y/o componentes expuestos a diferentes amenazas naturales.
Grupo 2: Representantes de gobiernos locales (Municipio, Departamento, Provincia, etc.), representantes de comunidades en donde se emplaza la infraestructura.	<ul style="list-style-type: none"> - Proporcionar información histórica y zonas propensas a diversas amenazas naturales. - Compartir información existente (mapas, documentos, microzonificación, etc.) relacionados las amenazas en el territorio donde se emplaza el sistema. - Validar mapas de amenazas que sean elaborados por instituciones técnico científicas (Grupo 3).
Grupo 3: Instituciones técnicas, científicas o académicas (universidades) encargadas del estudio y monitoreo de amenazas naturales que serán consideradas en el estudio.	<ul style="list-style-type: none"> - Proveer información histórica sobre frecuencia e intensidad de los fenómenos naturales en área de estudio. - Caracterizar las amenazas presentes a las cuales está expuesta la infraestructura (Elaboración de mapas y/o estudios de microzonificación). - Definir los niveles de magnitud de amenazas (Alto, medio bajo) definidos para cada amenaza identificada.
Grupo 4: Empresas consultoras, expertos, etc.	<ul style="list-style-type: none"> - Asistir a Grupo 1 en lo que sea requerido para llevar a cabo caracterización básica de amenazas.

Caracterización básica de la infraestructura

Una infraestructura por lo general está compuesta por diferentes componentes, equipos y suministros indispensables para su normal funcionamiento, los cuales en este paso deben ser identificados y caracterizados. Esta labor que se hace más sencilla cuando se trata de una infraestructura puntual (puerto, aeropuerto, central hidroeléctrica, etc.), en cambio para infraestructura extensiva (carretera, sistema de transmisión eléctrica, redes de gas/oleoducto) se requiere de una mayor atención ya que las características de los componentes así como de las amenazas por lo general varían a lo largo del territorio.

Algunas de las informaciones esenciales que se recopilan en este paso, entre otras son:

- ✓ Memorias o criterios de diseño y/o construcción de la infraestructura.
- ✓ Planos generales y detalle de las edificaciones, equipos, etc.
- ✓ Reportes y/o memorias de operación y funcionamiento de la infraestructura.
- ✓ Informes de mantenimiento, siniestros y/o daños.

A continuación se detallan algunos de roles y responsabilidades de las principales instituciones involucradas en la caracterización básica de la infraestructura expuesta.

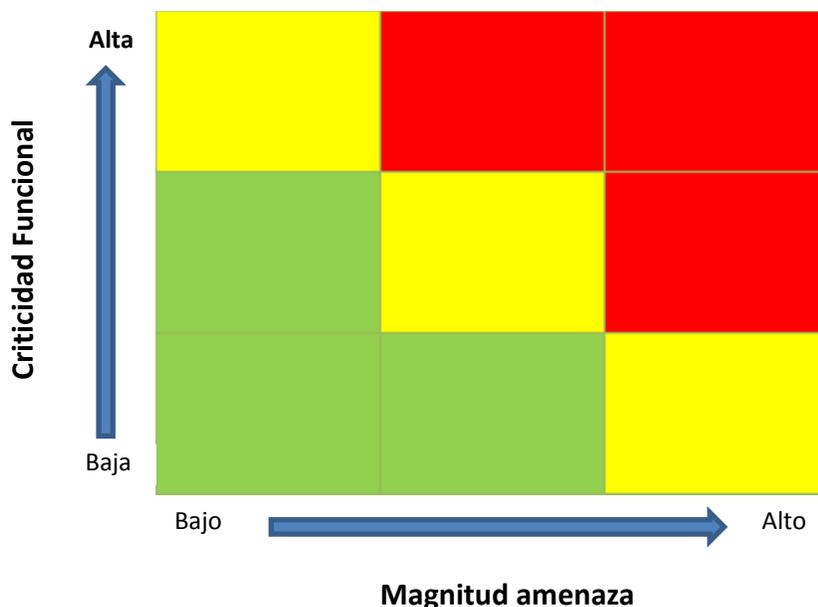
Instituciones	Estudio de vulnerabilidad Roles y actividades
Grupo 1: Instituciones nacionales vinculadas al diseño, operación y mantenimiento de la infraestructura bajo análisis. (Ministerios, Empresas del estado, Empresas privadas)	<ul style="list-style-type: none">- Individualizar la infraestructura, componentes y/o equipos que conforman el sistema en estudio.- Caracterizar físicamente la infraestructura, componentes y/o equipos (localización, material, dimensiones, antigüedad, etc.)- Caracterizar funcionalmente y físicamente la infraestructura, componentes y/o equipos identificados (función que desempeña, vínculo con otros componentes, etc.)- Definir la normatividad y criterios de diseño que deben cumplir las diferentes infraestructuras, componentes y/o equipos.
Grupo 4: Empresas consultoras, expertos, etc.	<ul style="list-style-type: none">- Asistir a Grupo 1 en lo que sea requerido para llevar a cabo caracterización básica de la infraestructura.

Priorización de componentes y equipos a analizar

Esta priorización de componentes y equipos a ser estudiados, sólo debe realizarse cuando existen razones o intereses de realizar el análisis de riesgo sólo a parte de la infraestructura expuesta. La priorización se deberá realizar en base a la selección de aquella infraestructura, equipos y/o servicios que resulten críticos y fundamentales para asegurar los objetivos de desempeño definidos en el paso 1.

- Resguardar la seguridad del personal y usuarios (Proteger la vida);
- Resguardar la seguridad de las comunidades y sus bienes (Proteger vida, bienestar y patrimonio);
- Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema (Proteger funcionamiento);
- Prevenir daños directos y/o pérdidas económicas y (Proteger inversión y negocio);
- Prevenir el daño al medioambiente. (Proteger medioambiente)

Por lo general, aquellos componentes vitales para el funcionamiento ubicados en zonas de peligro formarán parte de los estudios de riesgo, pudiendo también incluirse otros cuyo costo o facilidad de reemplazo justifiquen su protección.



Paso 3 – Definir el nivel de profundidad de análisis de riesgo para infraestructura y componentes priorizados (Términos de referencia para el estudio de riesgo)

En este paso se espera definir la profundidad requerida para el estudio de riesgo en los diferentes componentes y equipos de la infraestructura de interés, para los cuales se desarrollarán los términos de referencia y alcances del estudio de riesgo.

No siempre se requerirán análisis exhaustivos de riesgo para todos los componentes de una infraestructura. Por ejemplo aquellos componentes poco relevantes para el funcionamiento de un sistema y de fácil reemplazo, o bien ubicadas en zonas seguras fuera del impacto de amenazas naturales, solamente sería necesario que las mismas fuesen inspeccionadas por profesionales expertos en la materia.

Por otra parte, si un sistema se ha visto afectado de manera reiterada por fenómenos naturales generando alteraciones en el servicio, pérdidas económicas importantes y afectación a comunidades cercanas, seguramente se deseará realizar un análisis de riesgos que no sólo explique las razones y causas de los impactos, sino que también genere la información básica para reducir el riesgo. En este caso, será necesario desarrollar estudios exhaustivos que recopilen y/o generen información que permita entre otras cosas caracterizar las amenazas y elementos expuestos y así modelar el comportamiento del sistema frente a eventos adversos.

La Metodología de Gestión de Riesgo de Desastres en la Infraestructura de COSIPLAN/IIRSA, propone tres niveles de profundidad que se detallan en la Tabla 4.

El nivel de profundidad con el cual se llevará a cabo el estudio de riesgo de una determinada infraestructura o componentes puede estar definida por el ámbito normativo, de manera ejecutiva por alguna de las

instituciones que impulsan o se benefician de los resultados del análisis de riesgo (Grupo 1) o por la opinión de “expertos”. De carecer de lo anterior, en el Anexo 2 y 3 se presenta una forma simple para definir el nivel en base a una estimación preliminar de la exposición, vulnerabilidad y posibles consecuencias de afectación y criterios complementarios.

Siempre será necesario justificar debidamente el nivel de profundidad del análisis de riesgo, en particular cuando se utilice “criterio de experto”.

Tabla 4. Niveles de análisis de riesgo

Niveles de análisis de riesgo¹
<p><u>Nivel 1 - Cualitativo:</u> Diseñado para entregar una estimación simplificada de la amenaza, vulnerabilidad y desempeño de la infraestructura analizada. Este nivel de análisis puede ser realizado en un periodo corto de tiempo por personal técnico con conocimiento en el tipo de componente bajo análisis.</p>
<p><u>Nivel 2 - Determinístico:</u> Se caracteriza por ser un análisis cuantitativo, en base a información histórica o estadística para caracterizar la amenaza, vulnerabilidad y desempeño del componente, e incluye la validación y obtención de información a nivel de terreno. Este nivel de análisis puede ser desarrollado por personal técnico con conocimiento en el tipo de infraestructura en análisis con la asistencia técnica y participación de especialistas en la caracterización de amenazas y modelamiento de sistemas.</p>
<p><u>Nivel 3 - Probabilístico:</u> Provee resultados detallados de manera cuantitativa, los cuales se basan en el uso de información precisa y herramientas de modelamiento y análisis probabilístico adecuadas al estado del arte del conocimiento. Se espera en este nivel el uso de metodologías avanzadas de análisis, por lo cual es necesaria la participación de expertos y especialistas. Asimismo, este nivel de análisis requiere de importante trabajo de terreno, ensayos de laboratorio, instrumentación y generación de información.</p>

Una vez definido el alcance y profundidad con la cual se desarrollará el estudio de riesgo en los diferentes componentes, se deberán elaborar los términos de referencia para desarrollar el mismo, para lo cual se puede guiar utilizando como base las actividades que se detallan en el Anexo 3.

Así mismo, lo exhaustivo que se pueda o quiera realizar un análisis de riesgo dependerá en gran medida de:

- Cantidad y calidad de información con que se cuente.
- Recursos disponibles (técnicos y financieros).
- Tiempo disponible.
- Usos que se darán a los resultados que se obtengan del análisis.

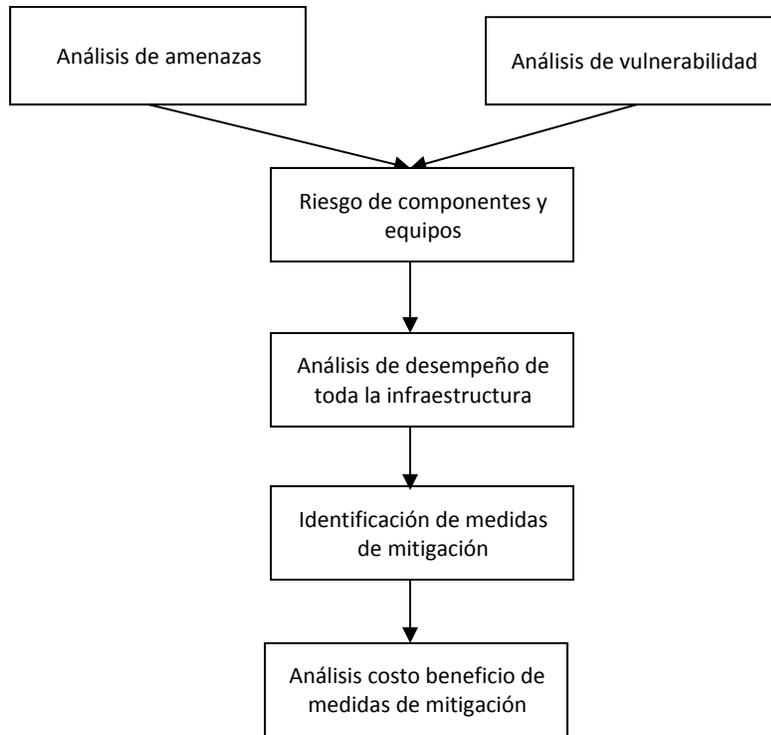
Paso 4 – Análisis de riesgo e identificación de posibles medidas de reducción de riesgo

El análisis de riesgo como tal, es por lo general desarrollado por empresas consultoras, en base a términos de referencia desarrollados en el paso anterior por el mandante e institución interesada en los resultados. Sin importar el nivel de profundidad del estudio de riesgo, entre los resultados se debe considerar la identificación de las medidas de reducción de riesgo (prevención y mitigación) frente al riesgo identificado, para su posterior análisis y toma de decisiones.

En algunas oportunidades se podrá incluir en los términos de referencia, el paso del diseño y ejecución de las medidas de mitigación respectiva, sin embargo habitualmente el diseño y ejecución de obras de mitigación sólo se hace una vez que se tiene certeza sobre el nivel de riesgo de la infraestructura de interés.

¹ Algunas consideraciones para identificar el nivel adecuado de profundidad de un estudio de riesgo se presentan en el Anexo 2.

Por otra parte, se debe tener claro que el análisis de riesgo no debe enfocarse solamente en determinar si sus diversos componentes cumplen o no los criterios y límites normativos establecidos por un determinado marco legal o normativo, si no que se busca sobre todo conocer si su desempeño se ajusta a los objetivos e indicadores de desempeño definidos en el paso 1.



Para análisis de riesgo e identificación de medidas de reducción de riesgo, deberán participar las instituciones que detallan en la Tabla 5

Tabla 5. Roles y actividades institucionales para análisis de riesgo e identificación de medidas de mitigación

Instituciones	Estudio de vulnerabilidad Roles y actividades
<p>Grupo 1: Instituciones nacionales vinculadas al diseño, operación y mantenimiento de la infraestructura bajo análisis. (Ministerios, Empresas del Estado, Empresas privadas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Definir la normatividad y critérios de diseño que deben cumplir los diferentes componentes y equipos de la infraestructura. - Definir la normatividad y critérios de funcionamiento que deben cumplir los componentes y equipos de la infraestructura, tanto en casos de normalidad como de emergencia. - Definir el alcance del estudio de riesgo, mediante la elaboración de los términos de referencia para el desarrollo de los mismos. - Encomendar el estudio de riesgo. - Validar los resultados de los estudios. - Toma de decisiones sobre el uso de los resultados del estudio para la gestión de riesgo.

Instituciones	Estudio de vulnerabilidad Roles y actividades
<p>Grupo 3: Instituciones técnicas, científicas o académicas (universidades) encargadas del estudio y monitoreo de amenazas naturales que serán consideradas en el estudio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Validar la caracterización de las amenazas que desarrolle el Grupo 4.
<p>Grupo 4: Empresas consultoras, expertos, etc.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar el análisis de riesgo según los términos de referencia elaborados por el Grupo 1. - Aplicar metodologías existentes (o desarrollar ad-hoc) para el análisis de riesgo. - En base a los resultados de vulnerabilidad de la infraestructura, realizar el análisis de desempeño de la misma. - Identificar posibles medidas de mitigación.

Análisis de desempeño del sistema

Una vez que se hayan realizado el análisis de amenaza y vulnerabilidad para conocer el riesgo de los componentes y equipos de la infraestructura bajo análisis, será necesario integrar los resultados obtenidos mediante un análisis de desempeño de todo el sistema, para lo cual al menos deberán ser considerados en el análisis de desempeño del sistema los aspectos que se detallan a continuación:

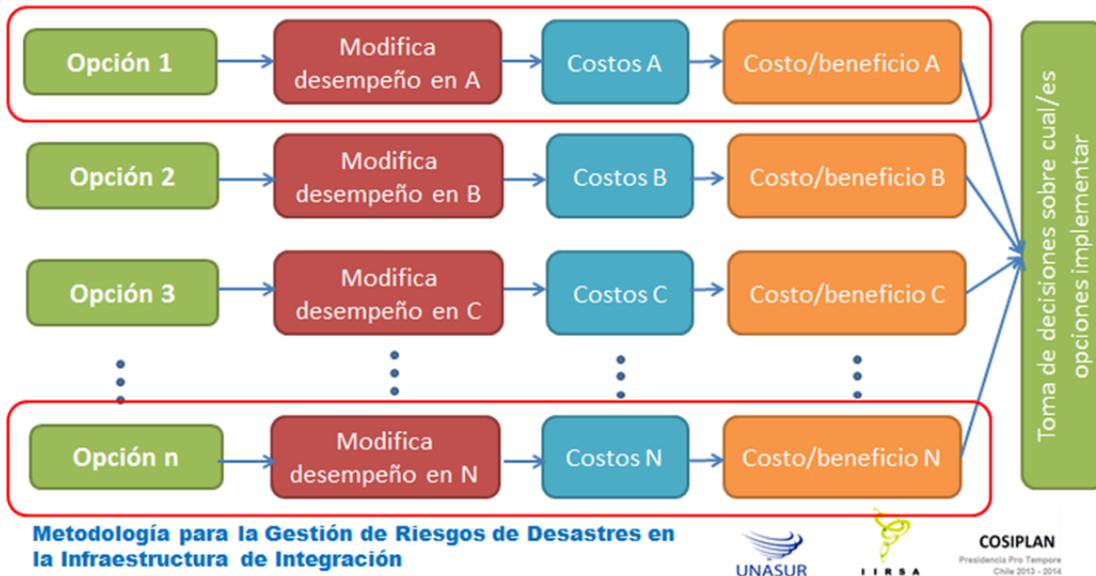
- ✓ Analizar los planos, sistemas de gestión, informes de la infraestructura de interés, para entender el funcionamiento, la interconexión e importancia relativa de cada componente y equipos de la infraestructura bajo análisis.
- ✓ Revisar el funcionamiento de la infraestructura durante situaciones normales, accidentes laborales o industriales, emergencias y desastres pasados, para identificar componentes esenciales, capacidad operativa, redundancias y aspectos críticos.
- ✓ Definir un modelo de sistema de operaciones críticas, que permita que el servicio que presta el sistema se dé considerando el “riesgo aceptable” definido en los objetivos e indicadores de desempeño (Paso 1 de la metodología)
- ✓ Estimar el desempeño del sistema usando criterio experto, definiendo escenarios (mínimo 3) o análisis probabilístico.

Posibles medidas de reducción de riesgo

Una vez conocido el riesgo en los componentes y equipos esenciales de la infraestructura que permiten cumplir con los objetivos de desempeño definidos en el paso 1, será necesario identificar posibles medidas de reducción de riesgo (prevención o mitigación) que permitirían asegurar los niveles de desempeño deseados.

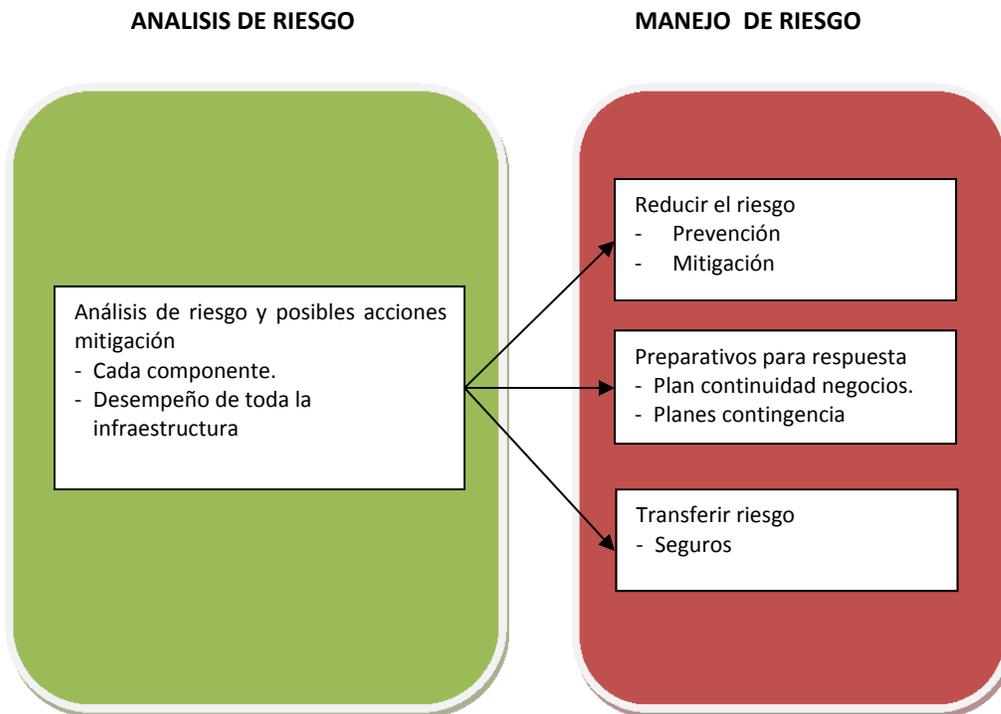
Para las diferentes opciones de medidas de reducción de riesgo, se deberán indicar los niveles de desempeño que permiten cumplir las mismas, así como realizar un análisis costo beneficio de medidas de mitigación propuestas que permitan al mandante tomar la decisiones del caso.

La reducción de riesgo como un proceso, significará la priorización de las opciones de reducción de riesgo según su importancia y/o recursos disponibles para su implementación. Por lo tanto, las diferentes opciones de reducción del riesgo se implementarán de manera progresiva y planificada junto con otras acciones de operación, mantenimiento y expansión de la infraestructura.



FASE III- Gestionando el riesgo

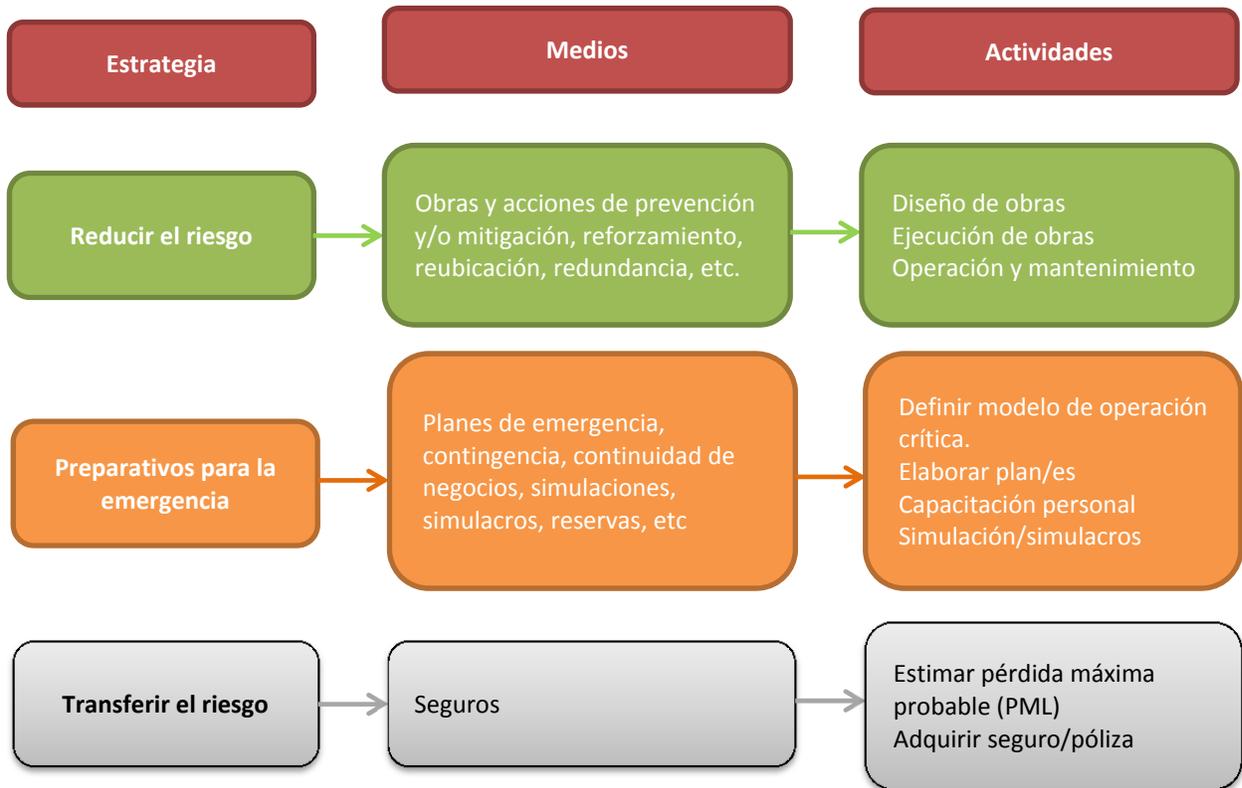
Habiendo conocido el riesgo y las posibles acciones de reducción de riesgo, será necesario tomar decisiones que podrán estar orientadas por el marco legal, análisis costo-beneficios o bien por la certeza, convicciones y aprensiones de las personas e instituciones involucradas en la toma de dichas decisiones.



La Metodología de Gestión de Riesgo de Desastres en la Infraestructura de COSIPLAN/IIRSA, plantea algunas posibles decisiones y acciones a seguir con los resultados del análisis de riesgo, tales como la reducción de

riesgo de desastres (prevención y mitigación), la transferencia de riesgo y/o los preparativos para la respuesta², siendo posible y recomendable una combinación óptima de las acciones anteriores.

En el siguiente esquema se presentan las diferentes estrategias para gestionar el riesgo, los medios y posibles actividades que se pueden tener en cuenta al momento de planificar e implementar acciones de gestión de riesgo.



Reduciendo el riesgo

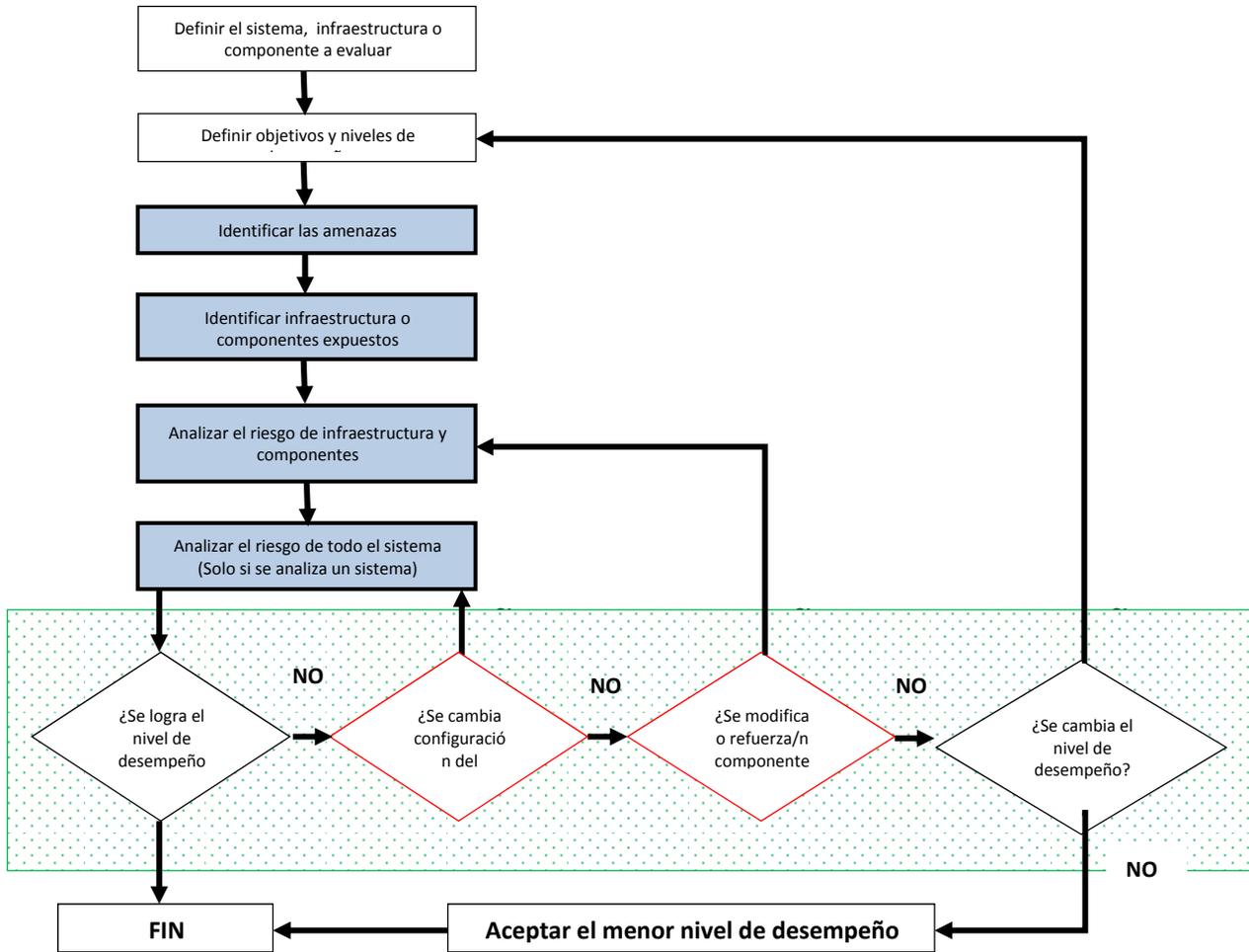
La reducción de riesgo es considerada como la principal acción de la gestión de riesgo de desastre, ya que la misma se hace de manera prospectiva (nueva infraestructura) o correctiva (infraestructura existente) a fin de evitar o disminuir el impacto de una amenaza.

En este sentido, la intervención para la reducción del riesgo pueden ser estructurales (por ejemplo obras de reforzamiento como las presentadas anteriormente) y medidas no estructurales o funcionales (por ejemplo definir un modelo de sistema de operaciones críticas, que permita que el servicio que presta el sistema se dé considerando el “riesgo aceptable”)

Para modificar las condiciones de riesgo, se deben planificar y ejecutar medidas que actúen sobre los factores de vulnerabilidad del sistema expuesto (mitigación) y/o sobre la amenaza (prevención) cuando esto sea posible.

² Que también se corresponden con los Planes de Continuidad del Negocio y Operaciones

En el siguiente esquema se presenta las diferentes acciones y actividades consideradas en el análisis de riesgo y se muestra en color verde las diferentes decisiones que se pueden tomar una vez conocidos los resultados del análisis de riesgo, destacándose en color rojo las posibles decisiones sobre reducción de riesgo que se pueden tomar.



Si la infraestructura, componente o equipo analizado cumple con los objetivos e indicadores de desempeño, no será necesario planificar, diseñar y ejecutar acciones de reducción de riesgo. Sin embargo, cuando el análisis arrojen que la infraestructura no permite asegurar los niveles de desempeño establecidos (paso 1), será necesario tomar decisiones orientadas a:

- Modificar la configuración del sistema o componente para lograr los niveles de desempeño.
- Modificar y aceptar niveles de desempeño a niveles menores a los deseados.

Si se optara por tomar acciones concretas para reducir el riesgo, será necesario elaborar los términos de referencia y alcance para el posterior diseño de las obras de reforzamiento, que incluyan un análisis de costo beneficio de la implementación de las mismas, para la posterior licitación para la construcción de las obras físicas para la reducción de riesgo.

Preparativos para la respuesta

Considerando que los riesgos frente a desastres difícilmente pueden eliminarse del todo, y por más esfuerzos que se haga para reducir el riesgo siempre existirá la posibilidad de que la infraestructura y componentes sea afectada por amenazas naturales, por lo cual es necesario conocer los puntos débiles y críticos (los cuales se identifican como resultado del estudio de riesgo) de manera de conocer anticipadamente los recursos y acciones a ser implementadas durante el momento de la emergencia o cuando el desastres se presente.

Por lo general, el contar con planes de emergencia y/o contingencia frente a situaciones de emergencia y/o desastres, forma parte de lo marco legales sectoriales, institucionales o de la normativa nacional referente a sistemas nacionales de gestión de riesgo, protección civil o similares. Así mismo, en infraestructura pública bajo regímenes de concesión, la elaboración de estos planes de contingencia son parte de las bases de los contratos.

Los preparativos para la respuesta, por lo general abordan los siguientes niveles de responsabilidad:

1. **Operativa:** De carácter geográfico, es la respuesta a la emergencia. Los responsables son los operadores y técnicos encargados de la operación, para lo cual se elaboran e implementan programas internos de protección, Planes/protocolos específicos de respuesta a emergencias.

2. **Estratégica:** De carácter funcional, es la respuesta que garantiza la operación institucional de una entidad. La responsabilidad es de los tomadores de decisiones y se plasma entre otros en un Plan de Continuidad de Operaciones.

Considerando los servicios y beneficios que prestan la infraestructura de COSIPLAN/IIRSA a los países y sus comunidades, los preparativos para desastres de este tipo de sistemas, deben enfocarse inicialmente desde una perspectiva de continuidad de operaciones (o negocio), en donde se reconocen claramente cuatro fases que son:

- Preparación
- Activación y reubicación
- Operaciones y continuidad de las instalaciones
- Reconstitución.

La capacidad de asegurar o restablecer la continuidad de un determinado servicio o institución descansará en componentes claves como: Liderazgo y personal; comunicaciones, instalaciones y finanzas.

El *liderazgo y personal* deberá considerar delegación de autoridad, sucesión, definir funciones esenciales, entrenamiento permanente y ejercicios de simulación o simulacros.

Las *comunicaciones* deben tomar en cuenta el ámbito interno y externo, ser redundantes, disponibles 24/7 y protección de archivos esenciales.

Las *instalaciones* deben ser lo suficientemente seguras que permitan y faciliten la continuidad de su funcionamiento.

Finalmente las *finanzas* deben ser tales que permitan atender las acciones emergentes a causa del desastre, así como enfrentar los gastos adicionales tanto operacionales como para la reconstrucción, para lo cual en oportunidades la transferencia del riesgo mediante instrumentos financieros como los seguros contribuyen a asegurar liquidez en momentos críticos.

La estructura y contenido de estos planes pueden seguir diferentes estándares, contenidos en normativas internacionales y enfoques metodológicos diversos.

Capítulo 2 – Ejemplos de aplicación

En este capítulo se presenta la aplicación de las consideraciones anteriores para las Fase I y Fase II para llevar adelante estudios de riesgo en infraestructura específica que forma parte del quehacer de COSIPLAN/IIRSA, la información que se presenta en cada uno de los ejemplos es referencial y sólo con fines de ilustrar la metodología propuesta.

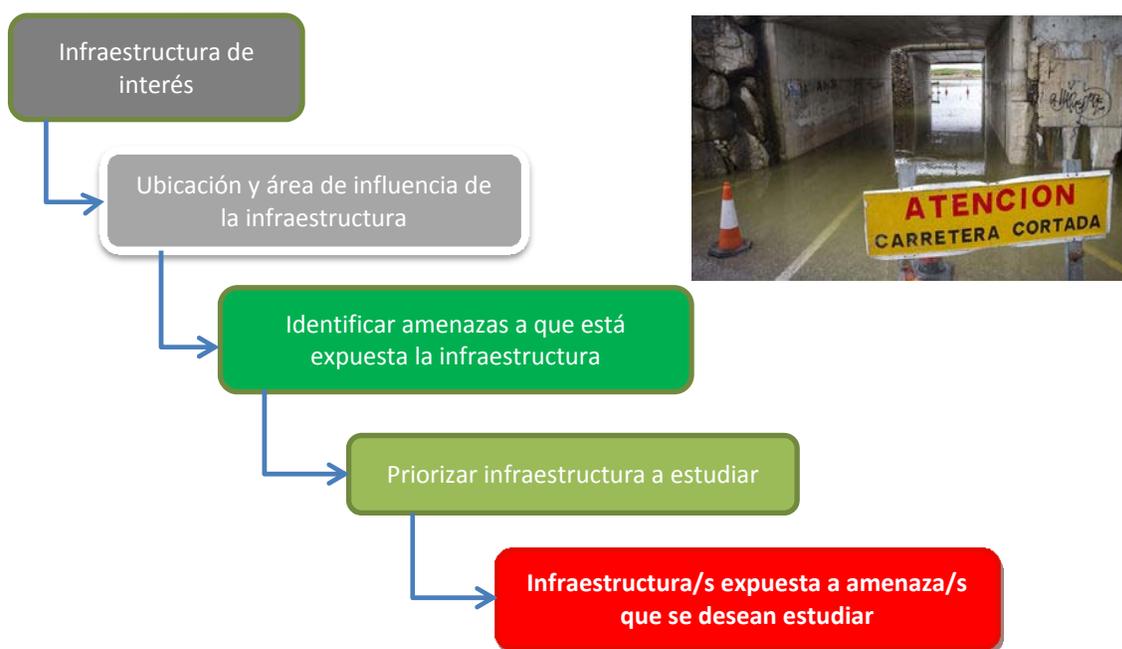
Se presentarán ejemplos para la **FASE I-Identificación**, para las diversas motivaciones (Infraestructura, Cartera de proyecto y Amenaza) consideradas en el capítulo anterior. Los ejemplos de la **FASE II-Análisis de Riesgo**, se desarrollan en la base a infraestructuras seleccionadas aleatoriamente.

Ejemplos FASE I

Ejemplo FASE I – Identificación (a): Motivación en infraestructura

Para el desarrollo de este ejemplo, se usará la motivación de realizar el estudio de riesgo enfocado en una **infraestructura** en particular, donde todo inicia respondiendo las preguntas ¿Qué deseo estudiar? ¿Por qué?

De forma esquemática, a continuación se presentan las acciones necesarias desarrollar antes de seguir con la siguiente FASE II – Análisis de riesgo.



Infraestructura de interés

Para los fines de este ejemplo, se define que la infraestructura que nos interesa estudiar es la “**Carretera Panamericana-América del Sur**”, la cual en varias referencias se indica que “*es un sistema de carreteras, de aproximadamente 25 800 km de largo, que vincula casi a todos los países del hemisferio occidental del continente americano con un tramo unido de carretera. Fue concebida en la V Conferencia Internacional de los Estados Americanos en 1923*”, sobre su trazado no hay consenso pleno, pero para este ejemplo consideraremos el trazado que se detalla en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Ubicación y área de influencia de la infraestructura

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra como la Carretera Panamericana, está presente en Argentina, Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Panamá, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Honduras, Guatemala, México, Estados Unidos y Canadá), sin embargo otras referencias también reconocen que países como Brasil y Bolivia forman parte del sistemas de carreteras panamericana.

Considerando los interés de COSIPLAN/IIRSA, la sección de la carretera panamericana que será tomada en cuenta la sección de la carretera panamericana que se desarrolla en Argentina, Chile, Perú, Ecuador y Colombia, como se muestra en la Ilustración 1



Ilustración 2. Carretera Panamericana



Ilustración 1. Carretera Panamericana – América de Sur.

Identificar amenazas a que está expuesta la infraestructura

A continuación se muestra información disponible en internet, sobre mapas de amenazas de alcance regional para América del Sur, que son coincidentes con el territorio y ubicación de la sección sudamericana de la carretera panamericana que se muestra en la Ilustración 1.

Amenazas naturales identificadas			
Sismos	Volcanes	Tsunamis	Inundaciones
<p>Map showing seismic hazard levels in South America. A legend indicates hazard levels in 10% in 50 years (PGA) with values: 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.6, 2.8, 3.0. It also shows plate boundaries, subduction, and other features.</p>	<p>Map showing volcanic activity in South America, with red triangles indicating active volcanoes.</p>	<p>Map showing tsunami hazard in South America, with colored dots indicating hazard levels along the coast.</p>	<p>Map showing flood hazard in South America, with blue areas indicating flood-prone regions.</p>

Priorizar infraestructura a estudiar

Si bien se puede realizar el estudio de riesgo a todas las secciones de la carretera panamericana en América del Sur, del análisis preliminar de los mapas de amenazas mostrados anteriormente se puede apreciar la presencia de amenaza sísmica y tsunamis en la costa pacífica que involucra a Chile, Perú, Ecuador y Colombia. Así mismo la presencia y actividad volcánica que está presente en la Cordillera de los Andes compromete a Chile, Argentina, Perú, Ecuador y Colombia. Finalmente las inundaciones son evidentes en países de la zona andina tales como Ecuador y Colombia.



Considerando, exclusivamente las amenazas mencionadas anteriormente, se podría priorizar basados en la exposición a la amenaza, las secciones de la carretera panamericana en territorios de Chile, Perú, Ecuador y Colombia.

Infraestructura/s expuesta a amenaza/s que se desean estudiar

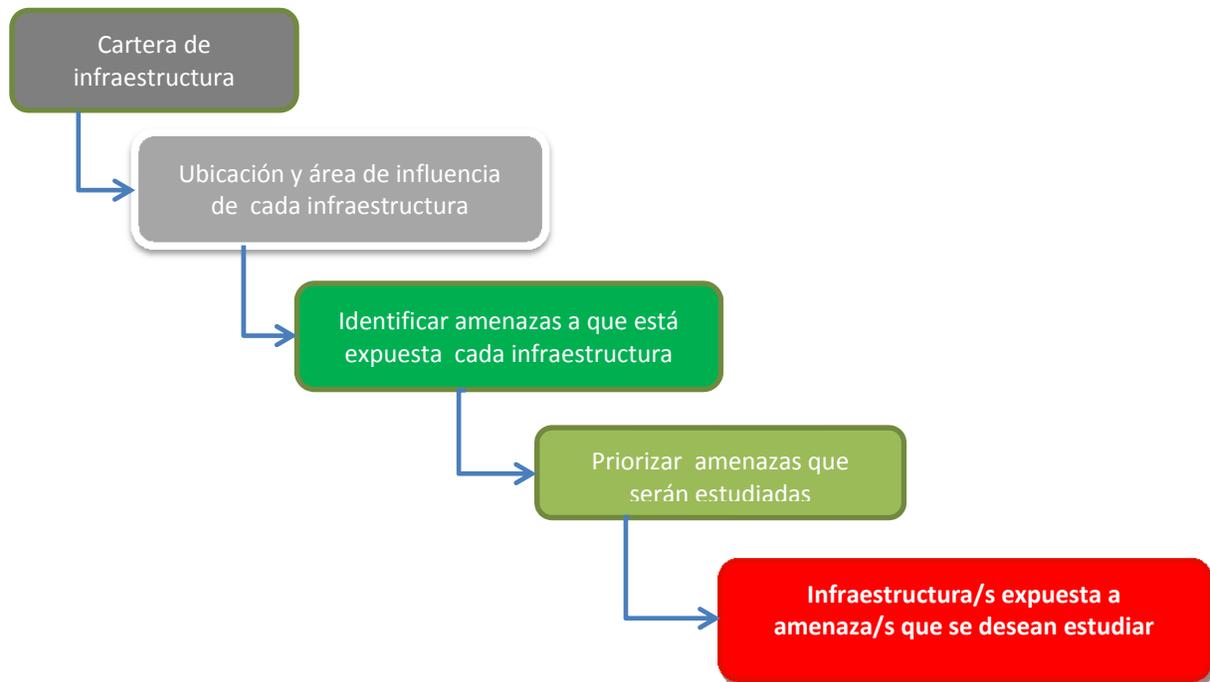
Conociendo la infraestructura y amenazas, se pueden definir claramente la infraestructura y amenazas a ser consideradas en la **FASE II-Análisis de Riesgo**, considerado en el manual de usuario

Sección de carretera panamericana	Amenazas a ser consideradas
	Inundaciones Sismos Tsunamis Volcanes
	Inundaciones Sismos Tsunamis
	Inundaciones Sismos
	Inundaciones Sismos Tsunamis

Ejemplo Fase I – Identificación (b) – Motivación en Cartera de Proyectos

Para el desarrollo de este ejemplo, se usará la motivación de realizar el estudio de riesgo enfocado en una **cartera de proyecto**, que puede representar una ruta comercial en particular, ruta de producto específico, conjunto de infraestructura homogénea, infraestructura bajo una administración común, etc.

De forma esquemática, a continuación se presentan las acciones necesarias desarrollar antes de seguir con la siguiente FASE II – Análisis de riesgo.



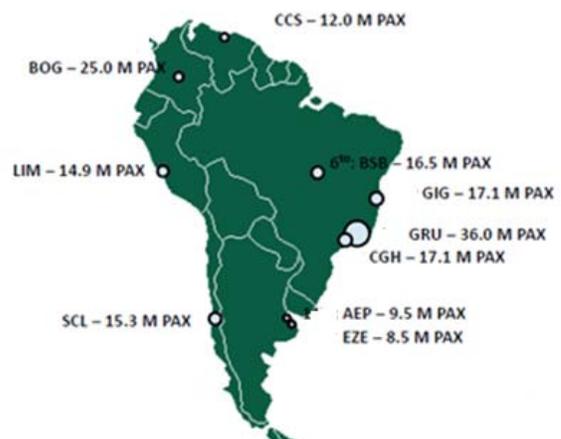
Cartera de infraestructura

Para los fines de este ejemplo, se define que la cartera de infraestructura que nos interesa estudiar, son los **“Principales aeropuertos de América del Sur”** de manera de conocer la confiabilidad del tráfico aéreo de personas en América del Sur.

Ubicación y área de influencia de cada infraestructura

Según información de COSIPLAN/IIRSA, a continuación se detallan los 10 aeropuertos de América del Sur con mayor tráfico de pasajeros. Los Aeropuertos están ordenados de mayor a menor tráfico de pasajeros:

1. Aeropuerto Internacional Sao Paulo-Brasil
2. Aeropuerto El Dorado, Bogotá – Colombia
3. Aeropuerto Galeao, Río de Janeiro – Brasil
4. Aeropuerto Congonhas, Sao Paulo – Brasil
5. Aeropuerto Brasilia – Brasil
6. Aeropuerto Santiago – Chile
7. Aeropuerto Lima – Perú
8. Aeropuerto Caracas – Venezuela
9. Aeropuerto Aeroparque, Bs Aires – Argentina
10. Aeropuerto Ezeiza, Bs Aires – Argentina



Identificar amenazas a que está expuesta cada infraestructura

A esta altura de la FASE I, se han individualizado 10 aeropuertos ubicados en diferentes ciudades y países de América del Sur los cuales se ubican en contextos y entornos socio-ambientales diferentes. Es necesario identificar las amenazas a las cuales está expuesta cada uno de los aeropuertos, lo cual dependerá de las condiciones locales donde se emplaza cada aeropuerto y de los fenómenos naturales presentes en el sitio.

Se deberá recurrir a estudios de peligros naturales (sismos, inundaciones, tsunamis, deslizamientos, etc) disponibles de carácter nacional, municipal o local para identificar si cada aeropuerto de la lista anterior está emplazado en áreas de influencia de fenómenos naturales. El efecto de emplazamiento, hará que la exposición de amenazas de cada aeropuerto sea particular. Las principales ciudades de América del Sur cuentan con detallados estudios de amenazas que pueden ser utilizados para conocer los niveles de exposición.

Aeropuerto	Ciudad/País	Amenazas
1. Aeropuerto Internacional	Sao Paulo-Brasil	lluvias
2. Aeropuerto El Dorado	Bogotá – Colombia	Sismo
3. Aeropuerto Galeao	Rio de Janeiro – Brasil	Inundación
4. Aeropuerto Congonhas	Sao Paulo – Brasil	Lluvias, viento
5. Aeropuerto Presidente Juscelino Kubitschek	Brasilia, Brasil	Lluvias, viento
6. Aeropuerto Santiago	Chile	Sismo
7. Aeropuerto Lima	Perú	Sismo, tsunami
8. Aeropuerto Caracas	Venezuela	Sismo, deslizamientos
9. Aeropuerto Aeroparque	Bs Aires – Argentina	Inundación
10. Aeropuerto Ezeiza	Bs Aires – Argentina	Lluvias, viento

Priorizar amenazas que serán estudiadas

En este proceso de priorización, existirán diferentes razones para hacer una selección que defina los estudios de riesgo que se llevarán en la FASE II. La naturaleza de las decisiones que se tomen dependerán del marco normativo existente, de las motivaciones para haber iniciado el proceso de la FASE I (¿Por qué hacer un estudio de riesgo?) y de los intereses nacionales y/o institucionales de quienes tomen dichas decisiones.

Algunas decisiones a ser consideradas al momento de priorizar, entre otras pueden ser:

- Seleccionar **todas las amenazas** a la cuales está expuesto cada aeropuerto.
- Seleccionar **las principales las amenazas** a la cuales está expuesto cada aeropuerto.
- Seleccionar **la amenaza común** para todos los aeropuertos.
- Otro criterio

Si se usara el criterio “**seleccionar la amenaza común para todos los aeropuertos**”, de manera de usar metodologías de análisis de riesgo similares y hacer comparables los resultados de los análisis se obtendría el resultado que se presenta en el siguiente punto.

Infraestructura/s expuesta a amenaza/s que se desean estudiar

Con el criterio de priorización explicitado en el punto anterior, se podrían agrupar los 10 aeropuertos de América del Sur de la manera siguiente, a fin de continuar con la FASE II del proceso metodológico

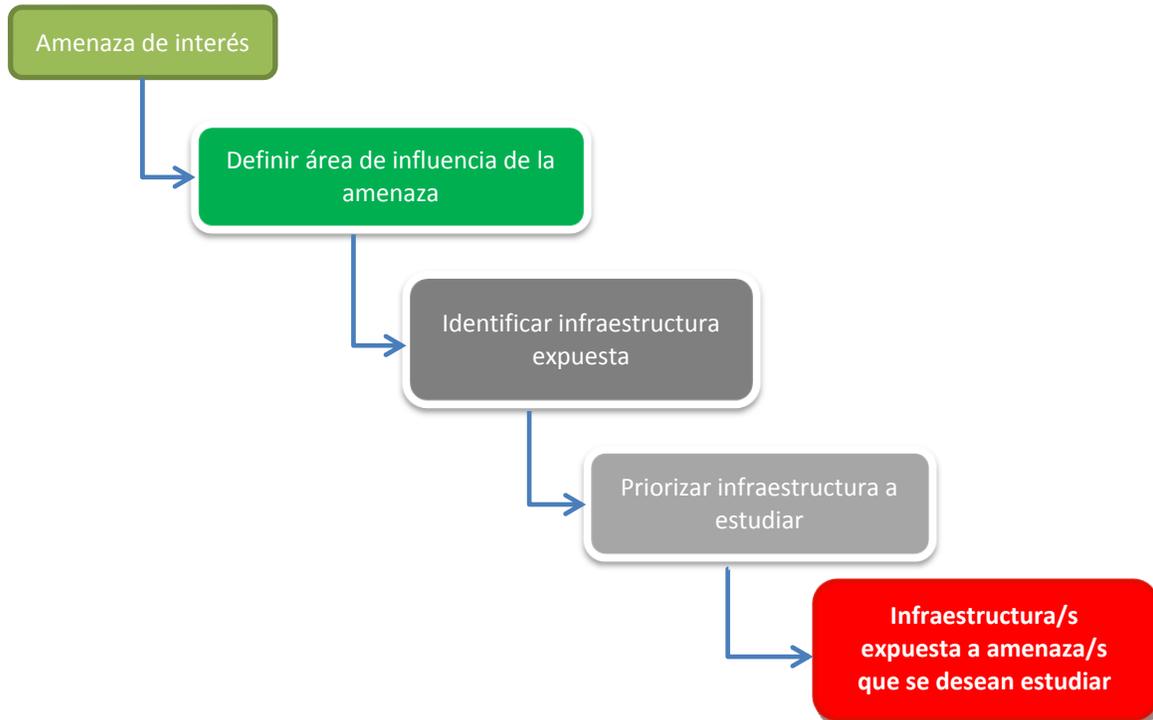
Aeropuertos de Sudamérica expuesto a fenómenos hidrometeorológicos		
Aeropuerto	Ciudad/País	Amenazas
Aeropuerto Internacional	Sao Paulo-Brasil	lluvias
Aeropuerto Congonhas	Sao Paulo – Brasil	Lluvias, viento
Aeropuerto Galeao	Rio de Janeiro – Brasil	Inundación
Aeropuerto Presidente Juscelino Kubitschek	Brasilia, Brasil	Lluvias, viento
Aeropuerto Aeroparque	Bs Aires – Argentina	Inundación
Aeropuerto Ezeiza	Bs Aires – Argentina	Lluvias, viento

Aeropuertos de Sudamérica expuesto a peligro sísmico		
Aeropuerto	Ciudad/País	Amenazas
Aeropuerto El Dorado	Bogotá – Colombia	Sismo
Aeropuerto Santiago	Chile	Sismo
Aeropuerto Lima	Perú	Sismo, tsunami
Aeropuerto Caracas	Venezuela	Sismo, deslizamientos

Ejemplo FASE I – Identificación (c) - Motivación en Amenaza

Para el desarrollo de este ejemplo, se usará la motivación de realizar el estudio de riesgo enfocado en la **amenaza** que representa el silencio sísmico ampliamente reconocido por autoridades y académicos de la silenció sísmico ubicada en el sur de Perú y norte de Chile

De forma esquemática, a continuación se presentan las acciones necesarias desarrollar antes de seguir con la siguiente FASE II – Análisis de riesgo.



Amenaza de interés

Las autoridades e instituciones técnicas y científicas tanto de Perú como Chile, son conscientes del peligro que reviste la zona de **silencio sísmico del sur de Perú y norte de Chile**, ya que el sismo que se genere afectara a ambos países sin importar la fronteras, es por lo mismo que desde el año 2010 las autoridades de ambos países han suscrito convenios de cooperación en asuntos humanitarios y realizado simulacros en la zona fronteriza de Tacna (Perú) y Arica (Chile) preparándose para el sismo.

Definir área de influencia de la amenaza

Existe acuerdo entre científicos peruanos y chilenos, que existe una laguna³ (brecha, “gap” o silencio) sísmica en el norte de Chile y Sur del Perú, de sismos de gran magnitud de origen interplaca (Plaza de Nasca y Placa Sudamericana) que históricamente han sido registrados entre las latitudes 15°S y los 24°S, correspondientes a las zonas entre el Sur de Perú y el Norte de Chile, lo cual coincide aproximadamente entre las localidades Ilo-Perú y Mejillones-Chile.



Figura 1. Zona de silencio sísmico en sur de Perú y norte de Chile

³ Una **brecha sísmica**, es una zona de convergencia entre placas tectónicas en la que, a pesar de tener una historia de sismicidad conocida, no se han producido terremotos ni ha presentado actividad sísmica relevante en los últimos treinta años.

De acuerdo a los registros, se considera la existencia de una laguna sísmica en esta zona de lo cual se infiere la madurez del ciclo sísmico de un gran evento, vale decir, la ocurrencia de un gran terremoto con tsunami asociado. Las zonas de ruptura que se han considerado como base son las generadas por los terremotos de 1868 y 1877, ambos de magnitud $M_w = 8.8$ y que cuentan con un amplio registro de las características de su ocurrencia⁴.

Considerando la característica de la región interplaca en las zonas de subducción ésta no puede acumular esfuerzos por periodos superiores a 100 – 150 años, y es un hecho que la zona estudiada puede generar grandes terremotos interplaca (los últimos dos tuvieron ocurrencia hace más de 140 años). Por lo anterior esta zona puede ser considerada como una laguna sísmica con dos regiones asociadas principalmente con los terremotos de 1868 y 1877.

En base a los estudios realizados por científicos en ambos lado de la frontera, se prevé en esta zona un sismo “grande”, es decir cuya magnitud sea de 8,0 o superior, acompañado de tsunami en la costa del océano pacífico.

Identificar infraestructura expuesta

En la zona de silencio sísmico que se detalló en el punto anterior, convergen diferentes Ejes de Integración y Desarrollo (EID) de COSIPLAN/IIRSA. En cada uno de estos EID existe infraestructura heterogénea y en diferentes fases de implementación y/o operación.



Por posicionamiento territorial de los EID's mencionados anteriormente, el Eje Interoceánico Central es el cual muestra mayor coincidencia territorial con la zona de silencio sísmico, como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



⁴ Yanin Sepúlveda Ortega ; “Reevaluación de Grandes Terremotos Históricos en la Laguna Sísmica o “Gap sísmico” del Norte de Chile y el Sur de Perú”, disponible en https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2010/1/GF758/1/material_docente/bajar?id_material=281025

Identificar infraestructura expuesta

Si nos centramos exclusivamente en el EID- Eje Interoceánico Central, el mismo está estructurado en 5 grupos de proyectos, como se muestra en la Ilustración 4, donde se puede apreciar que parte del área de influencia

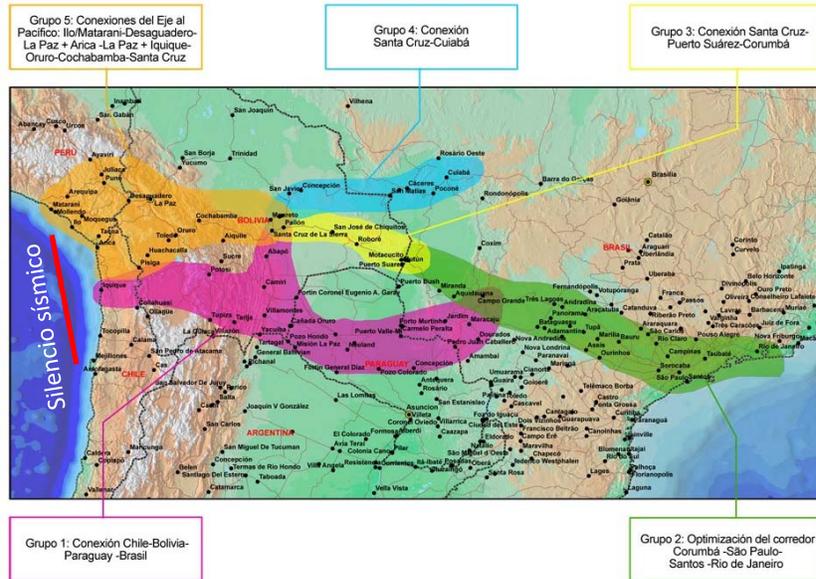


Ilustración 4. Grupos de Proyectos del EID-Eje Interoceánico Central

Priorizar infraestructura a estudiar

Actualmente el grupo de proyecto 1 del Eje Interoceánico Central no considera infraestructura de integración en la costa pacífico, por lo cual la priorización de la infraestructura se hará en base a la que está considerada en el Grupo de Proyectos 5, y la misma que se muestra en la Ilustración 5.

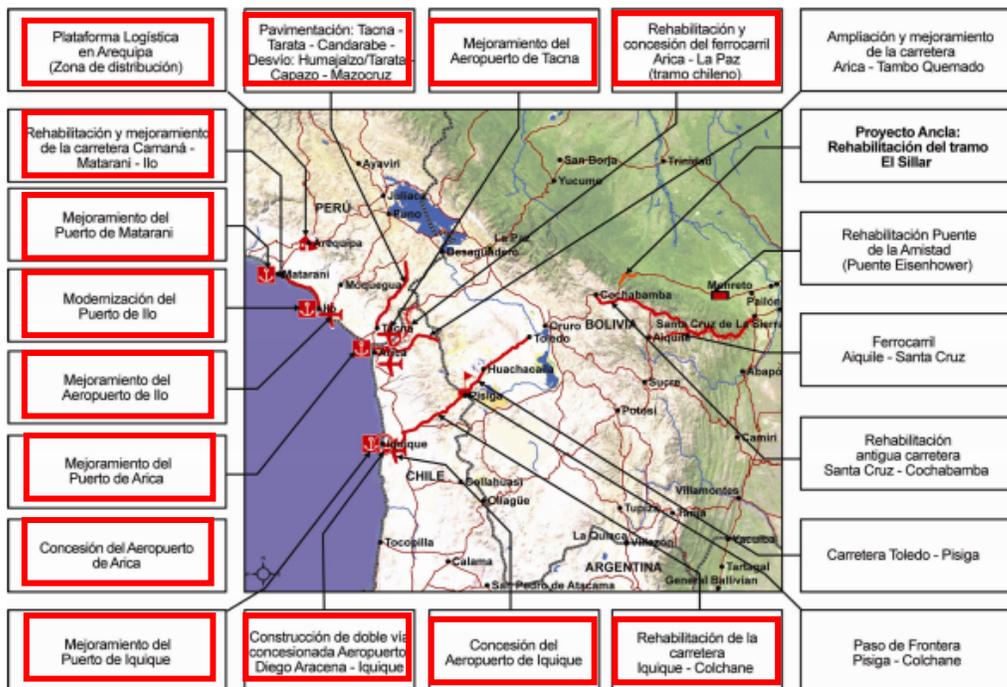


Ilustración 5. Grupo de proyectos eje Interoceánico Central

Se ha destacado en color rojo, aquella infraestructura que se ubica en la zona costera del pacífico que corresponde a la zona de mayor peligro sísmico y de tsunamis, la cual si se agrupa según tipo de infraestructura corresponde a las siguientes:

Puerto

Mejoramiento del Puerto de Arica (CH) - **Ejecución**

Mejoramiento del Puerto de Iquique (CH) - **Ejecución**

Modernización del Puerto de Ilo (PE) - **Perfil**

Construcción de puerto multipropósito o mega puerto en Ilo (BO) - **Perfil**

Mejoramiento del Puerto de Matarani (PE) - **Concluido**

Aeropuerto

Mejoramiento del Aeropuerto de Tacna (PE) - **Ejecución**

Nueva ampliación del Aeropuerto de Iquique (CH) - **Perfil**

Mejoramiento del Aeropuerto de Arica (CH) - **Concluido**

Ampliación del Aeropuerto de Iquique (CH) - **Concluido**

Vialidad

Integración vial Tacna- La Paz, tramo Tacna- Collpa (BO- PE) – **Pre-ejecución**

Ampliación y mejoramiento de la carretera Arica -Tambo Quemado (CH) - **Ejecución**

Rehabilitación y mejoramiento de la carretera Camaná - Matarani - Ilo (PE) - **Ejecución**

Pavimentación y mejoramiento de la carretera Iquique- Colchane (CH) - **Concluido**

Rehabilitación y concesión del ferrocarril Arica- La Paz (Tramo chileno) (CH) - **Ejecución**

Otra infraestructura

Plataforma logística en Arequipa (Zona de distribución) (PE) - **Perfil**

Mejoramiento complejo fronterizo Chacalluta (CH) - **Concluido**

Infraestructura/s expuesta a amenaza/s que se desean estudiar

Finalmente la infraestructura de integración del Grupo 5 del Interoceánico central ubicado en la zona de silencio sísmico se detalla en la siguiente tabla. Para llevar a cabo el análisis de riesgo de cada una de estas infraestructuras, que se detalla en la FASE II, se debe abordar el análisis individual de cada una de ellas.

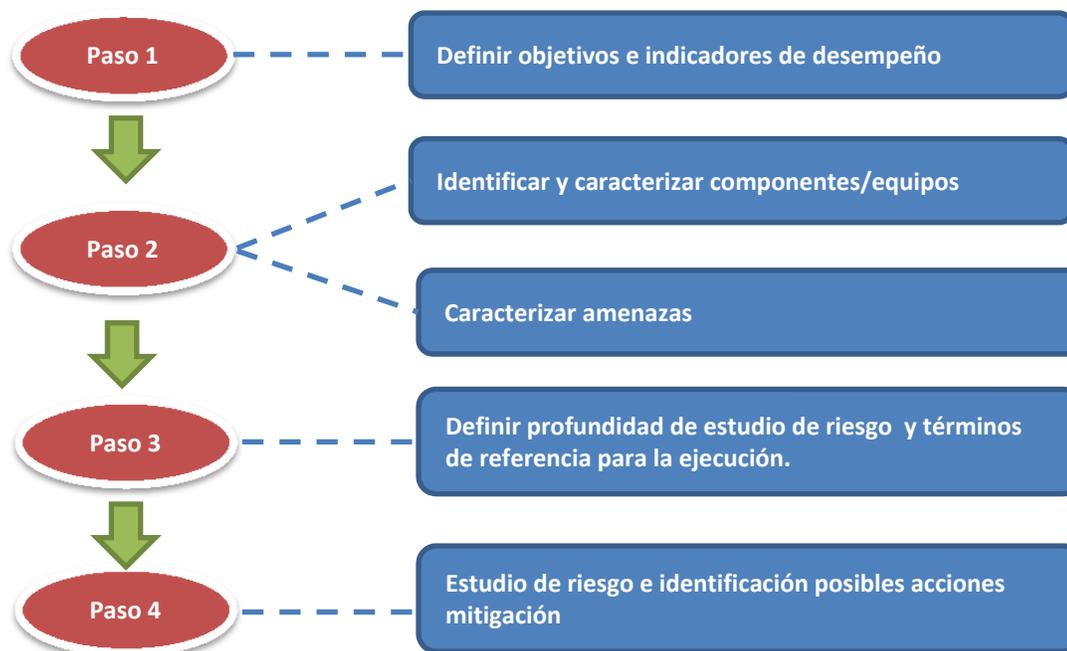
Tabla 6. Infraestructura de integración a ser sujeta de análisis de riesgo frente a sismos y tsunamis en la zona de silencio sísmico del sur de Perú y norte de Chile

Tipo de Infraestructura	País
Puerto	
Puerto de Arica	Chile
Puerto de Iquique	Chile
Puerto de Ilo	Perú
Puerto de Matarani	Perú
Aeropuerto	
Aeropuerto de Tacna	Perú
Aeropuerto de Iquique	Chile
Aeropuerto de Arica	Chile
Aeropuerto de Iquique	Chile
Vialidad	
Carretera Tacna- La Paz, tramo Tacna- Collpa	Perú
Carretera Arica -Tambo Quemado	Chile
Carretera Camaná - Matarani - Ilo	Perú

Tipo de Infraestructura	País
Carretera Iquique- Colchane	Chile
Ferrocarril Arica- La Paz (Tramo chileno)	Chile
Otra infraestructura	
Plataforma logística en Arequipa	Perú
Mejoramiento complejo fronterizo Chacalluta	Chile

Ejemplos FASE II

Para cada uno de los ejemplos de FASE II, que se presentan a continuación se desarrollarán y se darán



indicaciones para seguir cada uno de los pasos que se describen en el siguiente esquema

Ejemplo FASE II – Análisis de riesgo en el Puerto de Ilo, Perú

El análisis de riesgo del Puerto de Ilo, Perú frente a sismos y tsunamis se sustenta en la conclusión de la FASE I, que se presenta en la Tabla 6

Paso 1: Definir los objetivos e indicadores de desempeño (“Riesgo aceptable”)

El objetivo de este paso es definir el nivel de desempeño o riesgo aceptable, considerando uno a más de los siguientes objetivos de desempeño:

- Resguardar la seguridad del personal;
- Resguardar la seguridad de las comunidades y sus bienes;
- Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema;
- Prevenir daños directos y/o pérdidas económicas y;
- Prevenir el daño al medioambiente

Para definir los objetivos e indicadores de desempeño de un puerto frente situaciones de emergencias de desastres, se deben realizar las siguientes actividades:

- Revisar si las normas legales referidas a la planificación, diseño, construcción y funcionamiento de las instalaciones portuarias del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú⁵, tienen consideraciones respecto a la seguridad frente a sismos y tsunamis.
- Revisar si las normas nacionales de diseño y construcción sismo-resistente⁶, tienen consideraciones

⁵ La normativa del Sistema Portuario de Perú está disponible [aquí](#)

⁶ La normativa de diseño sismorresistente de Perú está disponible [aquí](#)

respecto a la seguridad frente a sismos y tsunamis.

- Si el marco normativo nacional no ofreciera orientaciones sobre los objetivos e indicadores de desempeño, podrá adoptar normativas y marcos legales de otros países que hagan referencia a la seguridad de puertos frente a sismos y tsunamis⁷; o bien
- Convocar a grupo técnico del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, Autoridad Portuaria Nacional, Empresa Nacional de Puertos S.A. (Enapu S.A.), Facilidad Portuaria SAC, Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), Universidades, Colegios Profesionales, entre otros para definir los objetivos e indicadores de desempeño.

Tabla 7. Roles y actividades institucionales para la definición de objetivos e indicadores de desempeño

Instituciones	Paso 1 – Definición de objetivos e indicadores de desempeño. Roles y actividades
<p>Grupo 1: Ministerio de Transportes y Comunicaciones Autoridad Portuaria Nacional, Empresa Nacional de Puertos S.A. Facilidad Portuaria SAC</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar los objetivos de desempeño de un puerto marítimo frente a sismos y tsunamis, en base al marco normativo del sistema portuario y diseño de infraestructura de Perú. - En ausencia y/o complemento de normativas nacionales, sugerir adoptar para el estudio de riesgo los objetivos de desempeño contenidos en normativas y marcos legales de otros países, respecto al comportamiento de puertos marítimos frente a sismos y tsunamis. - Bajo la coordinación de la Autoridad Portuaria Nacional y mediante reunión de trabajo con otros actores relevantes (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), Universidades y Colegios Profesionales), definir los valores de los indicadores que serán usados para evaluar el desempeño del puerto en caso de sismos y tsunamis.
<p>Grupo 2: Gobierno Regional de Moquegua⁸. Municipalidad de Ilo⁹</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Dar su conformidad y conocimiento de los indicadores de desempeño relacionados con: Alteración en servicios y Accidentes (muertes, heridos)

Según el Proyecto de Norma de Diseño Sismorresistente¹⁰ del Perú los puertos se encuentran clasificados en la Categoría A.2 dentro de la Categoría A- Edificaciones Esenciales “cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo”. Por lo cual esta norma se enfoca al objetivo de desempeño que hace relación con “Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema”, cuyas unidades de medida que podrían usarse para establecer el “riesgo aceptable” son:

- Alteraciones en servicios (variación en tráfico de carga)
- Tiempo de interrupción (horas/días)

Por otra parte, la Norma Nacional sobre Seguridad Portuaria y lineamientos para la obtención del Certificado de Seguridad en una instalación portuaria¹¹, para el caso de sismos y tsunamis hace referencia a la necesidad de que las instalaciones portuarias cuenten con planes de respuesta y planes de evacuación en caso de

⁷ Se podría considerar por ejemplo el Código de Protección a Buques e Instalaciones Portuarias (PBIP) que han sido elaborados por la Organización Marítima Internacional (OMI).

⁸ <http://www.regionmoquegua.gob.pe/>

⁹ <http://www.mpi.gob.pe/>

¹⁰ El Peruano (2014) “Proyecto de Norma E.030 Diseño Sismorresistente”

¹¹ Autoridad Portuaria Nacional (APN) “Norma Nacional sobre Seguridad Portuaria y lineamientos para la obtención del Certificado de Seguridad en una instalación portuaria - Resolución de Acuerdo de Directorio N° 010-2007-APN/DIR del 16 Marzo 2007

emergencias, así como ejercicios de emergencia periódicos. El objetivo de esta norma y en especial su interpretación para el análisis de riesgo en caso de sismos y tsunamis tiene relación con el objetivo de desempeño:

- Resguardar la seguridad del personal y usuarios (muertes, lesiones)

Con la información anterior, el “riesgo aceptable” del comportamiento del Puerto de Ilo frente a sismos y tsunamis se debe definir tomando en cuenta los siguientes objetivos de desempeño:

Objetivos de Desempeño	Indicadores	Unidades para estimar el desempeño de un sistema
Proteger la seguridad del personal.	<i>Valor numérico a ser definidos por Grupo 1</i>	Accidentes (muertes, lesiones)
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema.	<i>Valor numérico a ser definidos por Grupo 1</i>	Alteraciones en servicios (Toneladas métricas/hora/jornada/gancho; barriles/hora) Tiempo de interrupción (horas/días)

Paso 2 – Caracterización básica de amenazas e infraestructura expuesta

Anteriormente, se han identificado las amenazas frente a sismos y tsunami a las cuales está expuesto el Puerto de Ilo, por lo cual es necesario caracterizar de manera general tanto las amenazas como la infraestructura y equipamiento que hace parte del Puerto de Ilo, para definir el alcance y profundidad del análisis de riesgo sísmico y/o tsunamis que se llevará a cabo para la infraestructura y equipamiento portuario que sea seleccionado y priorizado para el estudio.

Las actividades de caracterización básica de las amenazas seleccionadas (sismos y tsunamis) y de la infraestructura y equipamiento del Puerto de Ilo, puede llevarse a cabo por profesionales y técnicos pertenecientes a las instituciones que forman parte del Grupo 1 mencionado anteriormente, haciendo uso de información existente y disponible.

La caracterización básica de la amenaza sísmica y tsunami, así como de la infraestructura y equipamiento del Puerto de Ilo pueden realizarse de manera simultánea, para que una vez realizada esta caracterización básica se esté en condiciones de definir el nivel de profundidad con el cual se realizará el análisis de riesgo en la diferente infraestructura del Puerto de Ilo que sea priorizada para el análisis.

Caracterización básica de amenaza sísmica y tsunami

Para realizar la caracterización básica de las amenazas seleccionadas (sismos y tsunamis) será necesaria la participación mínima de las instituciones que se detallan a continuación, a fin de obtener información existente y disponible sobre dichas amenazas en la zona de influencia del Puerto de Ilo:

Tabla 8. Roles y actividades institucionales para la Identificación y caracterización de amenazas

Instituciones	Paso 2 - Identificación y caracterización de amenazas Roles y actividades
Grupo 1: Ministerio de Transportes y Comunicaciones Autoridad Portuaria Nacional, Empresa Nacional de Puertos S.A. Facilidad Portuaria SAC	<ul style="list-style-type: none"> - Invitar y asegurar involucramiento y colaboración de las entidades del Grupo 2 y Grupo 3 para la caracterización de la amenaza sísmica y tsunamis en el Puerto de Ilo. - Valorar la utilidad de la caracterización de la amenaza a sismos y tsunamis que sea elaborada o proporcionada por las instituciones del Grupo 3. - En base a la información proporcionada por el grupo 3, identificar zonas y/o componentes del Puerto de Ilo expuestos.
Grupo 2: Gobierno regional de Moquegua. Municipalidad de Ilo.	<ul style="list-style-type: none"> - Proporcionar al Grupo 1, información histórica sobre eventos sísmicos y tsunamis que hayan afectado la zona de influencia del Puerto de Ilo.

Instituciones	Paso 2 - Identificación y caracterización de amenazas Roles y actividades
	<ul style="list-style-type: none"> - Compartir información existente (mapas, documentos, microzonificación, etc.) relacionados a la amenaza sísmica y frente a tsunamis en el área de influencia del Puerto de Ilo. - Validar la información y mapas de amenazas que sean elaborados por Grupo 3, en base a experiencias pasadas.
<p>Grupo 3: Servicio Sismológico del Instituto Geofísico del Perú¹² Sociedad Geológica del Perú¹³ Instituto Geológico Minero y Metalúrgico¹⁴</p> <p>Centro Nacional de Alerta de Tsunami - Dirección de Hidrografía y Navegación de Marina de Guerra del Perú¹⁵</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Proveer información histórica sobre frecuencia, magnitud e intensidad de sismos y tsunamis en Ilo. - Identificar las fuentes sismogénicas en la zona de influencia del Puerto de Ilo (Subducción plaza nasca-Sudamericana, Falla Chololo) - Caracterizar la amenaza sísmica, para cada una de las fuentes sismogénicas, según los parámetros que solicite el Grupo 1. (Elaboración de mapas y/o estudios de microzonificación). - Caracterizar la amenaza a tsunamis según los parámetros que solicite el Grupo 1 (Cartas de inundación, altura de olas, etc). - Definir los niveles de magnitud de amenazas (Alto, medio bajo) para sismos y tsunamis en el Puerto de Ilo. - Caracterizar la geología y geomorfología de la zona de influencia del Puerto de Ilo.



¹⁴ <http://www.ion.gob.pe/>
Figura 2. Carta de inundaciones por tsunami de Ilo



Figura 3. Mapa de niveles de peligro sísmico por Provincia.

¹⁵ <https://www.dhn.mil.pe/#>

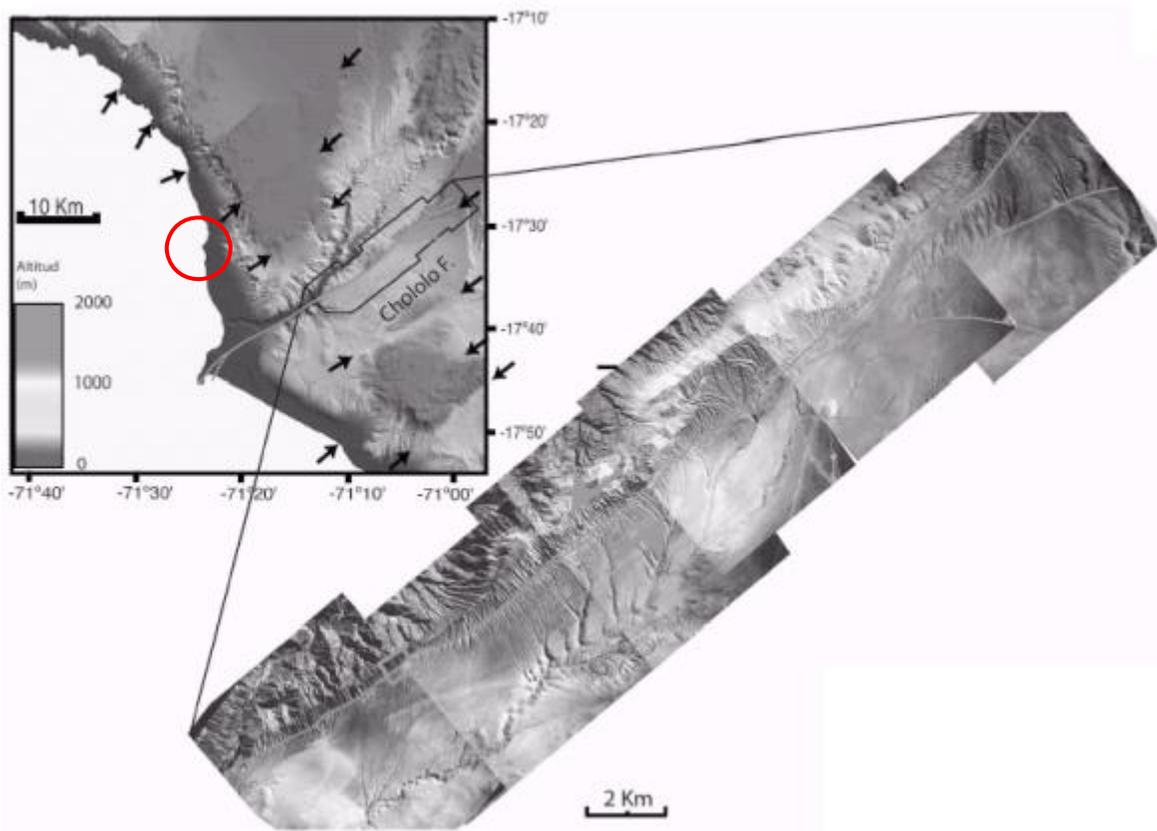


Imagen 1. Detalle del sistema de la falla Chololo según modelo digital de elevación¹⁶

En base a la información anterior, se puede concluir lo siguiente:

- El Puerto de Ilo se ubica completamente en la zona de inundación por tsunami.
- El Puerto de Ilo se ubica en la zona de mayor peligro sísmico de Perú.
- El Puerto de Ilo está expuesto a los efectos de la falla de Chololo.

Caracterización básica de la infraestructura y equipamiento del Puerto de Ilo

Para la caracterización básica de la infraestructura y equipos del Puerto de Ilo, serán fundamental la participación principalmente de las instituciones del Grupo 1 que se detallan a continuación y en especial de quien opera el Puerto de Ilo (ENAPU y Facilidad Portuaria SAC). A continuación se detallan los roles y responsabilidades de las principales instituciones involucradas en la caracterización y estudio de la infraestructura expuesta.

Tabla 9. Roles y actividades institucionales para la caracterización y estudio de la infraestructura expuesta

Instituciones	Estudio de vulnerabilidad Roles y actividades
Grupo 1: Autoridad Portuaria Nacional, Empresa Nacional de Puertos S.A. Facilidad Portuaria SAC	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar e individualizar la infraestructura, componentes y equipos que componen en Puerto de Ilo. - Priorizar la infraestructura, componentes y equipos que componen en Puerto de Ilo que serán sometidos a estudio. - Caracterizar físicamente la infraestructura, componentes y equipos del Puerto de Ilo (ubicación, material, dimensiones, antigüedad, etc.)

¹⁶ <http://www.scielo.org.ar/pdf/raga/v61n4/v61n4a09.pdf>

Instituciones	Estudio de vulnerabilidad Roles y actividades
	<ul style="list-style-type: none"> - Caracterizar funcionalmente la infraestructura, componentes y equipos del Puerto de Ilo (función que desempeña, vínculo con otros componentes, etc) - Definir la normatividad y criterios de diseño que deben cumplir la diferente infraestructura, componentes y equipos del Puerto de Ilo. - Definir la normatividad y criterios de funcionamiento que deben cumplir la diferente infraestructura, componentes y equipos del Puerto de Ilo, tanto en casos de normalidad como de emergencia. - Definir el alcance del estudio de riesgo, mediante la elaboración de los términos de referencia para el desarrollo de los mismos. - Encomendar el estudio de riesgo sobre la infraestructura y equipos del Puerto de Ilo. - Validar los resultados de los estudios. - Toma de decisiones sobre el uso de los resultados del estudio para la gestión de riesgo del Puerto de Ilo frente a sismos y tsunamis

Según la Facilidad Portuaria SAC (FAPOSA)¹⁷ y ENAPU¹⁸, el Puerto de Ilo tiene las características generales que se detallan a continuación, más detalles también son descritos en el Plan Maestro del Terminal Portuario de Ilo, elaborado por la Autoridad Portuaria Nacional (APN).

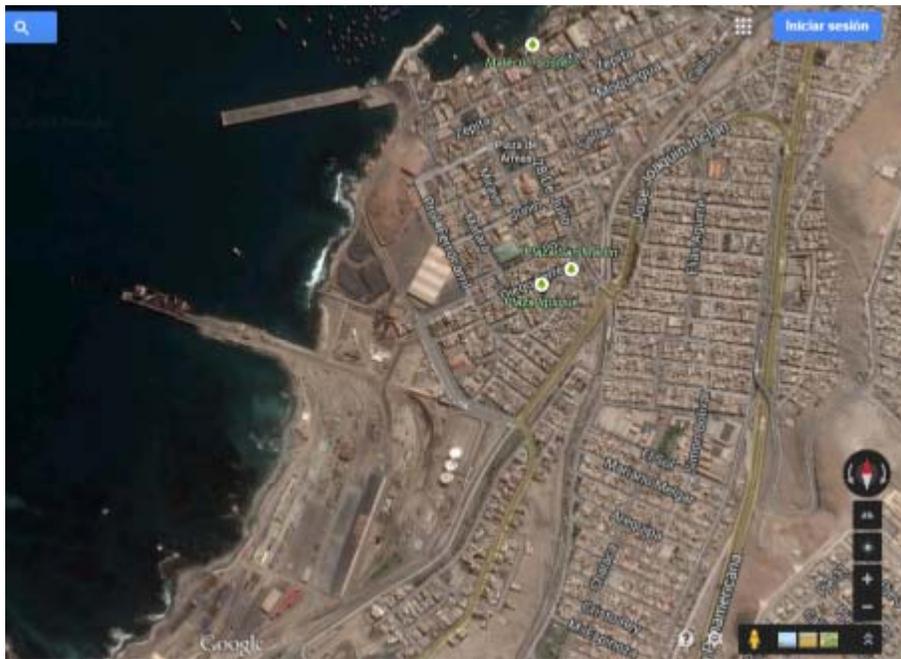


Imagen 2. Vista general del Puerto de Ilo Perú

¹⁷ Más información disponible en <http://www.faposa.com.pe/es/>

¹⁸ Información disponible en http://www.enapu.com.pe/spn/tp_ubicinflu_ilo.htm



Imagen 3. Fotografías generales del Puerto de Ilo -Perú

Características del puerto

Amplitud máxima marea : 1.36 Mts (Sicigias)
Oleaje : Altura promedio (0.62 Mts)
Profundidad Prom. : 36 Pies
Suelo Marino : Roca, no requiere dragado

Instalaciones Portuarias

Terminal Portuario de Ilo (ENAPU S.A.)

Muelle tipo espigón antisísmico: 302 m largo y 24 m ancho

La estructura de muelle existente esta cimentada en pilotes que están unidos por vigas y un sistema de losa prefabricada. Sobre la construcción indica que la sobrecarga de suelo existente es relativamente superficial y los pilotes están cimentados sobre roca. La longitud de los pilotes originales está en el rango de 20 a 30 metros. Los pilotes inclinados constan de 5 pilotes y un espaciado transversal promedio de 5.6 metros con un cabezal de pilote de 0.8 metros de profundidad espaciados en 6.2 metros.

Amarraderos:

Amarradero 1-A (36' de profundidad) = Uso: Harina de pescado, Carga General, Trigo/Maíz a granel, Mineral de hierro, Nitratos de amonio.

Amarradero 1-B (36' de profundidad) = Uso: Harina de pescado, Carga General, Trigo/Maíz a granel,

Mineral de hierro, Nitratos de amonio.

Amarradero 1-C (15' de profundidad) = Uso: Embarcaciones/Naves Pesqueras.

Amarradero 1-D (25' de profundidad) = Uso: Embarcaciones/Naves Pesqueras.

Almacenamiento

Almacén 1: 1.634 m2 área techada 3.000 TM Capacidad

Zona 1: 1.200 m2 área abierta 2.755 TM Capacidad

Zona 2: 4.800 m2 área abierta 11.019 TM Capacidad

Zona 3: 12.000 m2 área abierta 27.549 TM Capacidad

Zona 4: 11.460 m2 área abierta 26.310 TM Capacidad

Zona 5: 8.540 m2 área abierta 22.950 TM Capacidad

Zona 6: 2.500 m2 área abierta 5.750 TM Capacidad

Edificios del terminal Portuario

Edificio de administración (690 m2) – Muros mampostería y losas de hormigón

Taller de mantenimiento (528 m2) - Muros mampostería y techo metálico

Oficinas de operaciones (395 m2) - Muros mampostería y techo metálico

Caseta de balanza (14 m2) - Muros mampostería y techo metálico

Equipos Terrestres

05 Grúas móviles ((1) 30 Ton, (2) 18 Ton, (2) 13 Ton)

02 Portacontenedores SISU de 40 / 45 TM

01 Grúa Grove de 18 TM

07 Tractores Clark de 2.2 TM

01 Elevador Tow Motors de 13,5 TM

01 Elevador Clark de 20 TM

09 Elevadores Clark de 2,8 TM

01 Elevador TCM de 2,2 TM

02 Balanzas Electrónicas de Plataforma de 100 TM

Equipos Marítimos de ENAPU S.A.

Remolcador “Rio Locumba” de 1.350 HP

Lancha “Tramboyo” de 290 HP.

Además del terminal portuario de Ilo de ANAPU SA, en el Puerto de Ilo existen los siguientes terminales portuarios y almacenes extraportuarios.

Terminal Portuario Southern Peru Copper Corporation (T.P. SPCC)

Muelle Espigón: 240 m de largo y 18 m de ancho

Amarraderos:

Lado Sur (32' de profundidad) = Uso: Metales CU, Concentrados CU, Carga general, Ácido sulfúrico a Granel.

Lado Norte (32' de profundidad) = Uso: Metales CU, Concentrados CU, Carga general, Ácido sulfúrico a Granel.

Terminal Portuario ENERSUR

Muelle tipo plataforma (Dolphin): 80 m largo y 25 de ancho

Amarradero:

Lado Norte (65' de profundidad) = Uso: Descarga de Carbón a granel

Terminal Portuario Tablones SPC / Marine Trestle

Muelle tipo plataforma (Dolphin): 200 m largo y 30m de ancho

Amarradero:

Lado Norte (50' de profundidad) = Uso: Embarque de Ácido Sulfúrico vía línea submarina
Maniobras de amarre y desamarre: las 24 horas.

Terminal Portuario de Boyas Tablones - SPCC

Cuenta con 1 amarradero / 4 Boyas de amarre (3 Boyas en popa + 1 Boya en proa)

Terminal de Boyas Graña & Montero / Consorcio Terminales

Ubicado en la bahía de Ilo, Provincia de Ilo, Departamento de Moquegua, en la costa sur del Perú, a 99 kilómetros de la ciudad de Moquegua y a 149 kilómetros de la ciudad de Tacna. La zona de influencia del terminal de Ilo abarca los departamentos de Moquegua, Tacna, Arequipa y Puno, entre otros.

Además desde Ilo se atiende a la ciudad de La Paz y la zona occidental de Bolivia.

Con una capacidad total instalada de 221 mil barriles y un despacho anual promedio de 2,0 millones de barriles/año, en el terminal de Ilo actualmente se manipulan productos como Residual 6, Biodiesel 2, Gasolina 95 y Diesel de Exportación, entre otros.

Cabe resaltar que actualmente Consorcio Terminales tiene un contrato de logística integral con la empresa petrolera estatal Boliviana (YPFB) para recibir y almacenar productos en el terminal de Ilo, transportarlo desde Ilo hasta el terminal de CLHB (empresa de propiedad de GMP y Oiltanking) en La Paz (El Alto), donde se recibe, almacena y despacha a los clientes de YPFB.

Terminal de Líquidos Tramarsa / Cata Cata

Ubicado en el Km. 5 a Caleta Cata Cata, Provincia de Ilo, Departamento de Moquegua.

Cuenta con 1 amarradero / 4 Boyas de amarre (3 Boyas en popa + 1 Boya en proa)

Almacenes extra portuarios

a. Ceticos

Ubicación: Pampa de Palo Km. 7,6 Carretera Costanera Sur, Ilo – Moquegua.

Almacenes:

Área Total : 3.834,77 m²

Área Techada: 980,50 m²

Área Libre : 2.854,27 m²

Equipos:

Grúa Portacontenedores Reach Stacker

Montacargas de 09 Ton

Montacargas de 04 Ton

Balanza Electrónica

b. Sercenco S.A.

Almacenamiento:

Cuenta con un área total de 136.500 m²

Del detalle anterior de la infraestructura y equipos del Puerto de Ilo, se puede identificar de manera general los siguientes tipos de infraestructura y equipos portuarios:

- Muelle
- Edificaciones (terminales portuarias, almacenes, oficinas, tanques almacenamiento)
- Grúas
- Embarcaciones (remolcadores, buques, etc.)
- Equipo pesado (montacargas, elevadores, portacontenedores, balanzas, etc.)
- Equipo en tránsito (camiones, contenedores, etc.)

Además de lo anterior, para el adecuado funcionamiento del Puerto de Ilo se debe contar con acceso terrestre y marítimo, así como el abastecimiento de combustible, suministro eléctrico y facilidades de comunicaciones.

Priorización de infraestructura y equipos del Puerto de Ilo a ser considerados en el análisis de riesgo

Si se toma la decisión de realizar el análisis de riesgo sólo a parte de la infraestructura expuesta, se debe realizar una priorización que se base a la selección de aquella infraestructura, equipos y/o servicios que resulten críticos y fundamentales para asegurar los objetivos de desempeño definidos en el paso 1.

Para el caso de la infraestructura y equipamiento del Puerto de Ilo, se definieron los objetivos e indicadores de desempeño en base al marco legal existente en Perú (Ver Paso 1 - Definir los objetivos e indicadores de desempeño - “Riesgo aceptable”), cuyos objetivos de desempeño son los siguientes:

- ✓ Proteger la seguridad del personal y usuarios¹⁹.
- ✓ Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema²⁰.

Consecuente con el objetivo de desempeño que dice relación con “Proteger la seguridad del personal y usuarios”, se deberá priorizar para el análisis de riesgo frente a sismos y tsunamis aquella infraestructura o equipos que se vincule directamente con la integridad física del personal y usuarios. En los puertos la aglomeración de personas se da principalmente en las terminales portuarias y edificios (Taller de mantenimiento; Oficinas de operaciones; Edificio de administración).

Por otra parte, para “Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema” y permitir que el Puerto de Ilo siga prestando de manera parcial o reducida los servicios portuarios, se requiere que infraestructura como muelle, equipos tales como grúas, vías de acceso y el suministro de insumos básicos sigan operativas, por lo cual es esencial incluir los mismos en un estudio de riesgo.

Tabla 10. Infraestructura y equipos priorizados para análisis de riesgo según objetivos de desempeño - Puerto Ilo, Perú.

Objetivo de Desempeño	Infraestructura y equipo priorizado
Proteger la seguridad del personal y usuarios.	Terminales portuarias Edificios de oficinas Tanques de almacenamiento de sustancias peligrosas
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema	Muelle Grúas Zona de almacenamiento Estacionamiento equipo pesado Vías de acceso Suministro de insumos (combustible, energía)

Podrán existir motivos y criterios complementarios, tales como protección financiera, protección a la inversión, protección ambiental, etc. que podrían complementar la selección de infraestructura, equipos o servicios del Puerto de Ilo que se muestran priorizados en la Tabla 10.

¹⁹ Autoridad Portuaria Nacional (APN) “Norma Nacional sobre Seguridad Portuaria y lineamientos para la obtención del Certificado de Seguridad en una instalación portuaria - Resolución de Acuerdo de Directorio N° 010-2007-APN/DIR del 16 Marzo 2007

²⁰ El Peruano (2014) “Proyecto de Norma E.030 Diseño Sismorresistente”

Paso 3 – Definir el nivel de profundidad de análisis de riesgo para infraestructura y equipos priorizados

Es necesario definir el nivel de profundidad del análisis de riesgo de cada una de la infraestructura y equipo que se ha priorizado para el análisis en el Puerto de Ilo en el paso anterior. A continuación y basado en “criterio de experto” se sugiere el nivel de profundidad con el cual analizar cada una de la infraestructura priorizada, junto a una breve justificación.

Tabla 11. Definición de tipo de análisis de riesgo según infraestructura y equipo priorizado

Infraestructura y equipo priorizado	Nivel de profundidad de análisis de riesgo	Justificación
Edificios de oficinas	Nivel 1 para edificios de 1 y 2 pisos Nivel 2 para edificios de más de 2 piso	Considerar análisis en edificios: Taller de mantenimiento; Oficinas de operaciones; Edificio de administración
Tanques de almacenamiento de sustancias peligrosas	Nivel 2	Tanques de acero que de sufrir daño o sus conexiones afectaría a personal, usuarios y población en general. Además del impacto ambiental.
Muelle	Nivel 2	Su función es vital para el funcionamiento del puerto y su ubicación en el lecho marino lo expone a gran intensidad en caso de tsunamis y sismos.
Grúas	Nivel 2	Al igual que el muelle, las grúas son fundamentales para mover la carga que llega y sale del puerto. Se podría aplicar nivel 1 a algunas grúas que según su función no resulte estratégica al momento del funcionamiento del puerto en caso de emergencia.
Zona almacenamiento (abierta)	Nivel 1	Una evaluación cualitativa en base a características de suelo y tipo de pavimento (cuando exista) sería suficiente, además se debería considerar forma y disposición de contenedores.
Zona almacenamiento (techada)	Nivel 2	El análisis de comportamiento de galpón se sugiere al menos realizar modelamiento básico estructura, en especial porque combita diferentes materiales.
Estacionamiento equipo pesado	Nivel 1	Idem zona almacenamiento (abierta)
Vías de acceso	Nivel 1	Con una evaluación cualitativa por parte de expertos en daños sísmicos y tsunamis, se podría identificar como las vías de acceso al puerto podrían verse afectadas por sismo o tsunami.
Suministro de insumos (combustible, energía)	Nivel 1	Como ambos suministros son externos, el análisis se debe centrar en la capacidad de independencia que cuenta el puerto de estos servicios en base a capacidad de almacenamiento y/o sistemas de generación alterna.

En base al alcance y profundidad con la cual se desarrollará el estudio de riesgo en los diferentes componentes que se presentan en la Tabla 11, se deberán elaborar los términos de referencia respectivos, para lo cual se puede guiar utilizando las actividades que se detallan en el Anexo 3.

Paso 4 – Análisis de riesgo e identificación de posibles medidas de reducción de riesgo

El análisis de riesgo es por lo general desarrollado por empresas consultoras, en base a términos de referencia desarrollados en el paso anterior por el mandante e institución interesada en los resultados. Sin importar el nivel de profundidad del estudio de riesgo, entre los resultados se debe considerar la identificación de las medidas de reducción de riesgo (prevención y mitigación) frente al riesgo identificado, para su posterior análisis y toma de decisiones.

Análisis de riesgo de infraestructura y equipos priorizados

A continuación se presentan en detalle las acciones y actividades que deberían ser consideradas el estudio de riesgo (amenazas y vulnerabilidad) de la infraestructura y equipo priorizado del Puerto de Ilo frente a sismos y tsunamis, utilizando como referencia la información que se presenta en el Anexo3.

Estudio de Amenazas	Nivel 1	Nivel 2
Sismos/terremotos		
1.1 Historia sísmica y tsunamis de área de influencia		
1.1 Recopilar la información de sismos (fecha, magnitud, intensidad, etc.) pasados en que hayan afectado la zona de estudio.	♦	♦
1.2 Terremoto – Rupturas de fallas superficiales		
1.2.1 Identificar fallas activas en la zona, mediante la revisión de mapas e informes que se encuentren disponible	♦	♦
1.2.2 Revisar los mapas topográficos para identificar zonas de pendientes, inestables, rellenos, etc.	♦	♦
1.2.3 Revisar fotografías aéreas, si es que se encuentran disponibles para conocer como ha variado la topografía y morfología de la zona de estudio.		♦
1.2.4 Hacer un reconocimiento de terreno (mediante un geólogo calificado), para validar y complementar la información de sitio.		♦
1.2.5 Calcular los desplazamientos de fallas usando métodos empíricos, instrumentales o investigaciones previas.		♦
1.2.6 Caracterizar las fallas activas a través de la excavación de trincheras/calicatas		
1.2.7 Determinar la probabilidad y desplazamientos de fallas, través de excavaciones de trincheras en las fallas, muestreos y análisis.		
1.3 Terremoto – Licuefacción		
1.3.1 Revisar información disponible sobre licuefacción que se haya presentado anteriormente en el lugar de interés.	♦	♦
1.3.2 Revisar mapas e informes geológicos en la zona de estudio, a fin de identificar condiciones de sitio seguras y vulnerables, frente a ondas sísmicas y potencial de licuefacción.	♦	♦
1.3.3 Revisar datos geotécnicos disponibles por parte de instituciones de Grupo 2 u otras instituciones que cuenten con información de la zona de estudio.	♦	♦
1.3.4 Identificar depósitos de suelo potencialmente licuables mediante el uso de criterio de expertos e información geológica disponible	♦	♦
1.3.5 Realizar reconocimiento de terreno (mediante ingenieros geotécnicos calificados) para validar y complementar información recopilada.		♦
1.3.6 Identificar depósitos de suelo potencialmente licuables mediante análisis de muestras de suelo en base a resultados de actividad 1.3.2		♦
1.3.6 Realizar una evaluación probabilística de riesgo sísmico		♦
1.3.7 Realizar perforaciones de suelo y pruebas de penetración estándar o cónica representativas del lugar		
1.3.8 Identificar niveles de napa freática		
1.3.9 Determinar amplificación de ondas sísmicas en lugar.		
1.3.10 Realizar un análisis detallado usando herramientas analíticas, para determinar la probabilidad de licuefacción y grado de los desplazamientos de propagación lateral.		
1.4 Terremoto – Fuertes movimientos de suelo		
1.4.1 Revisar mapas e informes de amenazas sísmicas y/o microzonificación de la zona, si	♦	♦

Estudio de Amenazas	Nivel 1	Nivel 2
es que se encuentra disponible.		
1.4.2 Definir factores de amplificación de movimientos de suelo	◆	◆
1.4.3 Calcular niveles de movimientos de suelo usando criterios y mapas existentes	◆	◆
1.4.4 Calcular niveles de movimientos de suelo usando métodos analíticos o instrumentales		
1.4.5 Realizar un análisis probabilístico de riesgo sísmico		
1.5 Terremoto – Derrumbes		
1.5.1 Revisar mapas de riesgo sísmico de la zona de interés	◆	◆
1.5.2 Evaluar el potencial de derrumbe usando criterio experto, usando información de actividades 1.2.2 y 1.2.3	◆	◆
1.5.3 Realizar un reconocimiento de terreno (mediante geólogos calificados), incluyendo información que entregue la comunidad.		◆
1.5.4 Evaluar el potencial de derrumbe según estabilidad de pendientes		◆
1.5.5 Evaluar el potencial de derrumbe usando análisis empírico		◆
1.5.6 Evaluar el potencial de derrumbe usando métodos analíticos		
1.6 Terremoto – Tsunamis		
1.6.1 Obtener mapas/cartas de inundación por tsunami de estar disponibles	◆	◆
1.6.2 Revisar registros mareográficos	◆	◆
1.6.3 Calcular potenciales inundaciones por tsunami usando criterio experto	◆	◆
1.6.4 Revisar mapas topográficos de las zonas costeras		◆
1.6.5 Revisar mapas batimétricos de zonas costeras		◆
1.6.6 Calcular potenciales inundaciones por tsunami usando evaluación de potenciales fuentes de tsunami		◆
1.6.7 Calcular potenciales modificaciones del lecho marino por tsunami.		
1.6.8 Realizar análisis de probabilístico de riesgo de tsunami		

Estudio de infraestructura/equipo expuesto	Nivel 1	Nivel 2
Infraestructura/componentes		
1.1 Recopilar o generar la información que caracterice la infraestructura o componente en términos de localización, materialidad, geometría y dimensiones, mediante planos, memorias de cálculo, etc.	◆	◆
1.2 Recopilar o generar la información que caracterice la infraestructura o componente en términos al rol que cumple en el funcionamiento del Puerto de Ilo. (Se sugiere considerar a encargados de operación y mantenimiento)	◆	◆
1.3 Obtener información del desempeño y comportamiento de infraestructura y equipamiento similar frente a sismos y tsunamis, a fin de conocer patrones de daños que se podrían dar en el Puerto de Ilo.	◆	◆
1.4 Identificar las debilidades/vulnerabilidades de la infraestructura o equipo estimaciones, curvas de vulnerabilidad, metodologías cualitativas o información sobre el impacto de eventos pasados en el tipo de componentes analizado.	◆	◆
1.5 Realizar visitas de terreno para conocer estado de la infraestructura y complementar información recopilada en puntos anteriores.	◆	◆
1.6 Evaluar la independencia (reserva, interconexión, etc.) de la infraestructura o equipo de suministros o servicios básicos tales como electricidad, comunicaciones, agua, etc.	◆	◆
1.5 Identificar las normas, códigos y criterios de diseño nacionales (o internacionales si no existen en el país) utilizados en el diseño, construcción y operación de la infraestructura o equipo de interés.		◆
1.7 Realizar visitas de terreno para validar la información que caracterice la infraestructura o componente en análisis.		◆

Estudio de infraestructura/equipo expuesto	Nivel 1	Nivel 2
1.8 Realizar visitas y entrevistas en terreno para evaluar amenazas colaterales de fuentes externas, estructuras y equipamientos cercanos.		♦
1.9 Evaluar la vulnerabilidad del almacenamiento o sistemas alternos de provisión de suministros y/o servicios básicos usando métodos cuantitativos.		♦
1.10 Evaluar las vulnerabilidades de la infraestructura o componente usando métodos determinístico con información obtenida y metodologías cuantitativas disponibles.		♦
1.11 Realizar visitas de terreno para complementar con información faltante o adicional que permita caracterizar la infraestructura o equipo en análisis (elaboración de planos, ubicación y condiciones de sitio, etc.).		
1.12 Realizar toma de muestras para estudiar y/o validar las características y resistencia de materiales.		
1.13 Evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura o equipos usando moldeamientos matemáticos que permitan definir el comportamiento de la infraestructura o componente.		
Edificaciones importantes (Además de las actividades anteriores incluir las siguientes)		
2.1 Identificar las funciones que se desempeñan al interior del edificio	♦	♦
2.2 Identificar los componentes o equipos importantes dentro de los edificios.	♦	♦
2.3 Analizar la vulnerabilidad de los componentes o equipos importantes, haciendo uso de metodologías cualitativas o criterio de experto/s.		♦
2.4 Analizar la vulnerabilidad de los componentes o equipos importantes, haciendo uso de metodologías cuantitativas, moldeamiento o estudios empíricos.		

Análisis de desempeño del sistema

La infraestructura y equipos del Puerto de Ilo que han sido priorizados y sujetos a análisis cumplen funciones complementarias que permiten la continua y debida prestación de servicios portuarios, por lo cual la falla o deterioro de alguno de ellos debido a la ocurrencia de un sismo y/o tsunami comprometerá el adecuado funcionamiento de todo el puerto.

A continuación se presentan algunos aspectos que deben ser considerados en el análisis de desempeño del sistema

- ✓ Analizar los planos, sistemas de gestión, informes del Puerto de Ilo, para entender el funcionamiento, la interconexión e importancia relativa de cada infraestructura y equipos.
- ✓ Revisar el funcionamiento del Puerto de Ilo durante situaciones normales, accidentes laborales o industriales, emergencias y desastres pasados, para identificar componentes esenciales, capacidad operativa, redundancias y aspectos críticos.
- ✓ Definir un modelo de sistema de operaciones críticas, que permita que el servicio que presta el sistema se dé considerando el “riesgo aceptable” definido en los objetivos e indicadores de desempeño (Paso 1 de la metodología)
- ✓ Estimar el desempeño del sistema usando criterio experto, definiendo escenarios (mínimo 3) o análisis probabilístico.

Sin importar el nivel de profundidad del análisis de riesgo que se haga, los resultados que se obtengan deberán ser entregados al menos en las unidades establecidas para los objetivos e indicadores de desempeño definidos en el Paso 1

Objetivo de Desempeño	Infraestructura y equipo priorizado	Resultados obtenidos en análisis
Proteger la seguridad del personal y usuarios.	Terminales portuarias	<i>Información a ser provista como resultado del análisis</i>
	Edificios de oficinas	<i>Ídem</i>
	Tanques de almacenamiento de sustancias peligrosas	<i>Ídem</i>

Objetivo de Desempeño	Infraestructura y equipo priorizado	Resultados obtenidos en análisis
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema	Muelle	<i>Ídem</i>
	Grúas	<i>Ídem</i>
	Estacionamiento equipo pesado	<i>Ídem</i>
	Vías de acceso	<i>Ídem</i>
	Suministro de insumos (combustible, energía)	<i>Ídem</i>

Identificación de medidas de reducción de riesgo

Para identificar acciones de reducción de riesgo que eviten o limiten los daños en la infraestructura y equipos del Puerto de Ilo, el análisis de riesgo debe proveer la información sobre la vulnerabilidad de sus componentes y en base a ellas proponer acciones de prevención o mitigación acordes a la infraestructura o equipo en riesgo.

Para los fines de este documento, y por no contarse con los resultados empíricos del estudio de riesgo del Puerto de Ilo, a continuación se presentan algunas medidas de reducción de riesgo en la infraestructura y equipo priorizado, en base al conocimiento desarrollado para abordar los “patrones de daños” que se dan en puertos causa de sismos y tsunamis.

Diseño sísmo resistente de muelle	
<p>Patrón de daño: Daños estructurales y asentamientos</p> <p>Debido a sismos y tsunamis las estructuras de muelles pueden sufrir daños estructurales, hundimiento de su plataforma.</p>	
<p>Vulnerabilidad</p> 	<p>Reducción de riesgo</p> <p>Sistema híbrido, uso de aisladores sísmicos, pilotes inclinados y pilotes verticales.</p> 

²¹ Imágenes tomadas de Santiago Brunet Gutiérrez (2012) “Comportamiento Sísmico de Estructuras de Puerto”

Mejoramiento de suelos de terminales portuarias

Patrón de daño: Asentamiento

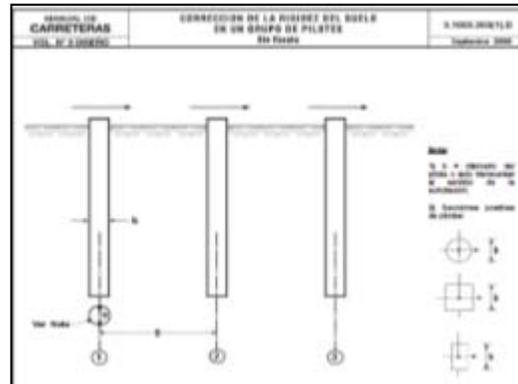
Por lo general en los puertos marítimos parte de la superficie del terminal portuario puede corresponder a superficies ganadas al mar mediante diferentes tipos de suelos de relleno. Si dichos rellenos no son realizados con materiales adecuados, sin la debida compactación y/o la napa freática es superficial se pueden presentar asentamientos y/o licuefacción las cuales además de dañar las superficies y pavimentos tienen efectos directos en la infraestructura y equipos dispuestos sobre estas zonas.

Vulnerabilidad



Reducción de riesgo

Modificar rigidez del suelo mediante pilotes



Asegurar estabilidad de grúas

Patrón de daño: Volcamiento grúa

La esbeltez y ubicación del centro de gravedad de grúas portuarias, sobre todo en grúas móviles, pueden hacer que a causa de movimientos sísmicos y los asentamientos inducidos por los mismos se volteen perdiéndose así el funcionamiento.

Vulnerabilidad



Reducción de riesgo

Modificar el centro de gravedad de la grúa para mejorar la estabilidad de la misma.



Mejorar la resistencia estructural de la grúa

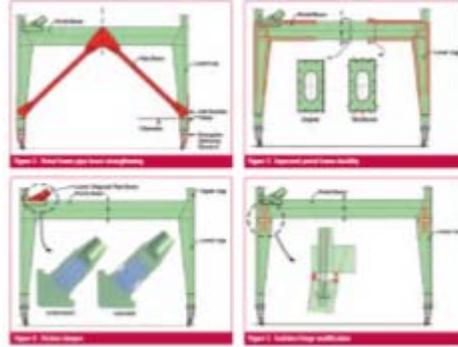
Patrón de daño: Colapso de grúa

Las grúas portuarias en su mayoría son estructuras de acero, lo cual hace que las mismas sean susceptibles a deformaciones inducidas por movimientos sísmicos, las cuales pueden transformarse en deformaciones permanentes si es que la estructura de la grúa no cuenta con la rigidez y/o disipadores de energía.

Vulnerabilidad



Reducción de riesgo²²



²² Michael Jordan, Yoshi Oritatsu and Eric Soderberg "Seismic consideration for existing quay cranes"

Evitar descarrilamiento de grúas

Patrón de daño: Descarrilamiento de grúas

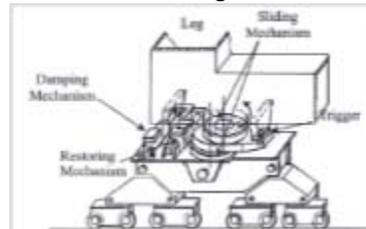
Los movimientos inducidos por sismos y debido a la inercia de las grúas, puede provocar que las mismas se desplacen completamente de los rieles dejándolas inoperativas hasta que sean enrielladas nuevamente. Adicionalmente el sistema de rieles puede verse deformado debido a movimientos sísmicos y asentamientos inducidos.

Vulnerabilidad



Reducción de riesgo

Aislación sísmica en base de grúa



Asegurar comportamiento estructural y conexiones de tanques

Patrón de daño: Daño estructural en tanques, asentamientos, desconexión de sistemas de tuberías o Volcamiento

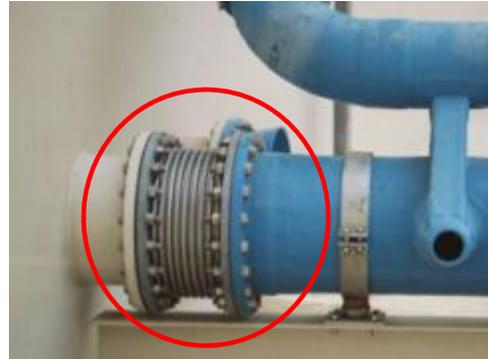
Mientras estas estructuras estén sobre el nivel de suelo serán más vulnerables a sufrir los daños descritos debido a los movimientos sísmicos y asentamiento de terreno

Vulnerabilidad



Reducción de riesgo

Uso de conexiones flexibles (juntas de expansión)



Fundaciones y anclajes adecuados.

Rigidizar base de tanque

Aislamiento sísmico en base de tanque.

Protección de carga y zonas de carga

Patrón de daño: Pérdida o daño de carga

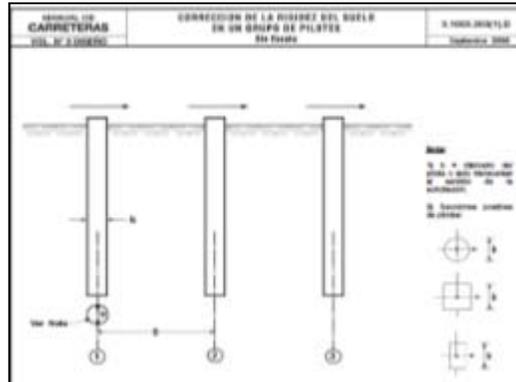
Tanto el efecto de los sismos como tsunamis puede afectar de diferente manera la carga que se encuentra en tránsito en la zona de terminal. En el caso de sismos el derrumbe de contenedores se puede producir por efecto directo del movimiento sísmico o asentamientos en zona de almacenamiento.

Vulnerabilidad



Reducción de riesgo

Rigidizar suelo en zona de almacenamiento de container.



Regular el apilamiento de la carga y containers en zonas propensas a asentamientos y/o licuefacción.

Definir zonas distantes de zona de inundación por tsunami a carga peligrosa o de largo periodo de tránsito en el puerto.

Reforzamiento de estructuras de albañilería	
<p>Patrón de daño: Daño en edificios de albañilería Las infraestructuras de albañilería sometidas a sismos por lo general sufren daños debido a la falta de confinamiento de la albañilería y detalles constructivos tales como columnas cortas, etc.</p>	
<p>Vulnerabilidad</p> 	<p>Reducción de riesgo Confinamiento mediante columnas/pilares y vigas/cadenas de hormigos</p>  <p>Eliminar columnas cortas (Separación de tabiques de pilares)</p>

Garantizar perímetro de seguridad del recinto portuario	
<p>Patrón de daño: Desplome de cerramientos Los cerramientos de albañilería, bloques y similares debido a su peso y características de materiales son susceptibles a desplomarse a causa de movimiento sísmico si es que no se encuentran debidamente confinados y con elementos que aumenten la rigidez transversal de este tipo de muros</p>	
<p>Vulnerabilidad</p> 	<p>Reducción de riesgo Confinar albañilería o bloques con columnas y vigas.</p>  <p>Cambio de material</p>

Ejemplo FASE II – Análisis de riesgo en Carretera Iquique-Colchane (Chile)

El análisis de riesgo del de la carretera Iquique-Colchane en Chile frente a sismos y tsunamis se sustenta en la conclusión de la FASE I, que se presenta en la Tabla 6

Paso 1: Definir los objetivos e indicadores de desempeño (“Riesgo aceptable”)

Para definir los objetivos e indicadores de desempeño de esta carretera frente a situaciones de emergencias y desastres, se deberán realizar las siguientes actividades:

- Revisar si las normas legales referidas a la planificación, diseño, construcción y funcionamiento de carreteras del Ministerio de Obras Públicas de Chile²³, tienen consideraciones respecto a la seguridad frente a sismos y tsunamis. Lo cual debe incluir normatividad sobre puentes, alcantarillas y otras obras de arte de interés.
- Revisar si las normas nacionales de diseño y construcción sismo-resistente²⁴, tienen consideraciones respecto a la seguridad frente a sismos y tsunamis.
- Si el marco normativo nacional no ofreciera orientaciones sobre los objetivos e indicadores de desempeño, se podrá adoptar normativas y marcos legales de otros países que hagan referencia a la seguridad de carreteras (y obras de arte) a sismos y tsunamis²⁵; o bien
- Convocar a grupos técnicos del MOP-Chile, Intendencia, Gobernaciones y Municipalidades de la Región de Tarapacá, Universidades, Colegios Profesionales, entre otros para definir los objetivos e indicadores de desempeño.

Tabla 12. Roles y actividades institucionales para la definición de objetivos e indicadores de desempeño

Instituciones	Paso 1 – Definición de objetivos e indicadores de desempeño. Roles y actividades
<p>Grupo 1: Ministerio de Obras Públicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - SEREMI MOP Tarapacá - Dirección de Vialidad <p>Comisión Nacional de seguridad de Tránsito (CONASET)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar los objetivos de desempeño la carretera frente a sismos y tsunamis, en base al marco normativo chileno. - En ausencia y/o complemento de normativas nacionales, sugerir adoptar para el estudio de riesgo los objetivos de desempeño contenidos en normativas y marcos legales de otros países, respecto al comportamiento de puertos marítimos frente a sismos y tsunamis. - Bajo la coordinación del MOP-Chile mediante reunión de trabajo con otros actores relevantes definir los valores de los indicadores que serán usados para definir el desempeño de la carretera Iquique-Colchane en caso de sismos y tsunamis.
<p>Grupo 2: Gobierno Regional de Tarapacá. Municipalidades de Iquique, Huará y Colchane</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Dar su conformidad y conocimiento de los indicadores de desempeño relacionados con: Alteración en servicios y Accidentes (muertes, heridos)

La Norma Chilena 433 (2009) diseño sísmico de edificios, excluye explícitamente su uso a una serie de infraestructura de interés para proyectos viales. En el alcance de esta norma se indica *“Esta norma no se aplica al diseño sísmico de otras obras civiles tales como puentes, presas, túneles, acueductos, muelles, canales. Tampoco se aplica a edificios industriales ni a instalaciones industriales. El diseño de estas obras se debe regir por la norma chilena correspondiente.”*

²³ El Manual de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas de Chile (MOP-Chile) está disponible en <http://mc.mop.gov.cl>

²⁴ NCh 433 – Diseño sísmico de edificios

²⁵ Se podría considerar por ejemplo Roberto Soto, Mauricio Sarrazin et al (2007) Propuesta de norma para diseño de puentes con aisladores sísmicos”; MOP (2010) “Nuevos Criterios Sísmicos Para el Diseño de Puentes en Chile”

Sin embargo en el Manual de Carreteras del MOP, se puede encontrar varias consideraciones sobre riesgo a eventos naturales, donde los sismos, fenómenos hidrometeorológicos, avalanchas de nieve y deslizamientos de tierra son considerados de diferentes maneras. Así mismo, en el manual de carreteras del MOP se establecen niveles de servicio para carreteras y caminos en condiciones normales²⁶, que pueden usarse como base para definir los niveles de servicio en caso de emergencia y se presenta en el Anexo 1.

Así mismo, el Manual de Carreteras en el Capítulo 3.100 Puentes y Estructuras Afines (puentes tradicionales, viaductos, pasos desnivelados, pasarelas, fundaciones, muros de contención, estructuras enterradas, etc) cuentan con una sección específica sobre diseño sísmico (Sección 3.1004 – Diseño sísmico²⁷), donde “estas especificaciones, aplicadas en conjunto con las normas de diseño específicas están orientadas a lograr estructuras que:

- a) Resistan sin daños, en el rango elástico, movimientos sísmicos de intensidad moderada.
- b) Limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad.
- c) Aunque presenten daños eviten el colapso total o parcial durante sismos de intensidad excepcionalmente severa. Dentro de lo posible el daño que ocurriera debería presentarse en zonas que pueda ser detectado rápidamente y de fácil acceso para su inspección y reparación. El riesgo de vida humana en estos casos debe ser mínimo, no aceptándose como principio general.

La información anterior permite definir los objetivos de desempeño de carreteras frente a sismos y así establecer el “riesgo aceptable” del comportamiento de la carretera Iquique – Colchane.

Objetivos de Desempeño	Indicadores	Indicadores de desempeño del Sistema
Proteger la seguridad de usuarios.	<i>Valor numérico a ser definidos por Grupo 1</i>	Accidentes (# muertes, # lesiones)
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema.	<i>Valor numérico a ser definidos por Grupo 1</i>	Se pueden usar indicadores incluidos en Anexo 1, para definir Nivel de Servicio de carretera.

Paso 2 – Caracterización básica de amenazas e infraestructura expuesta

Anteriormente, se han identificado la amenaza sísmica, de tsunami y sistema de falla de Domeyko como los principales fenómenos naturales a los cuales se encuentra expuesta la carretera Iquique-Colchane.

Las actividades de caracterización básica de las amenazas seleccionadas (sismos y tsunamis) y de la infraestructura de la carretera Iquique-Colchane deben llevarse a cabo por profesionales y técnicos pertenecientes a las instituciones que forman parte del Grupo 1 y 3 y acompañado de expertos y especialistas.

Caracterización básica de amenaza sísmica y tsunami

Para la caracterización básica de la amenaza sísmica y tsunamis será necesaria la participación principalmente de las instituciones que se detallan a continuación, a fin de conocer información disponible sobre dichas amenazas en la zona de influencia de la carretera Iquique-Colchane:

²⁶ Manual de Carreteras MOP (2012) “Instrucciones y criterios de diseño” - Tabla 3.102.805(2).A Resumen cuantitativo y cualitativo de los Niveles de servicio para carreteras y caminos en condiciones ideales –

²⁷ Manual de Carreteras MOP (2012) Volumen 3 - “Instrucciones y criterios de diseño”

Tabla 13. Roles y actividades institucionales para la Identificación y caracterización de amenazas

Instituciones	Paso 2 - Identificación y caracterización de amenazas Roles y actividades
<p>Grupo 1: Ministerio de Obras Públicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - SEREMI MOP Tarapacá - Dirección de Vialidad <p>Comisión Nacional de seguridad de Tránsito (CONASET)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Invitar y asegurar involucramiento y colaboración de las entidades del Grupo 2 y Grupo 3 para la caracterización de la amenaza sísmica y tsunamis en el Carretera Iquique-Colchane. - Valorar la utilidad de la caracterización de la amenaza a sismos y tsunamis que sea elaborada o proporcionada por las instituciones del Grupo 3. - En base a la información proporcionada por el Grupo 3, identificar zonas y/o componentes de la Carretera Iquique-Colchane expuestos.
<p>Grupo 2: Gobierno Regional de Tarapacá. Municipalidades de Iquique, Huará y Colchane</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Proporcionar al Grupo 1, información histórica sobre eventos sísmicos y tsunamis que hayan afectado la zona de influencia de la carretera Iquique-Colchane. - Compartir información existente (mapas, documentos, microzonificación, etc.) relacionados a la amenaza sísmica y frente a tsunamis en el área de influencia del Carretera Iquique-Colchane. - Validar la información y mapas de amenazas que sean elaborados por Grupo 3, en base a experiencias pasadas.
<p>Grupo 3: Centro Sismológico Nacional – U. de Chile²⁸ Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)²⁹ Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA)³⁰ FONDEF MAS ANDES (D10I1027)³¹</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Proveer información histórica sobre frecuencia, magnitud e intensidad de sismos y tsunamis en zona de influencia de la carretera Iquique-Colchane. - Identificar las fuentes sismogénicas en la zona de influencia de la Carretera Iquique-Colchane (Subducción placa Nasca-Sudamericana, Sistema de falla Domeyko) - Caracterizar la amenaza sísmica, para cada una de las fuentes sismogénicas, según los parámetros que solicite el Grupo 1. (Elaboración de mapas y/o estudios de microzonificación). - Caracterizar la amenaza a tsunamis según los parámetros que solicite el Grupo 1 (Cartas de inundación, altura de olas, etc). - Definir los niveles de magnitud de amenazas (Alto, medio bajo) para sismos y tsunamis en el Carretera Iquique-Colchane.

²⁸ <http://www.sismologia.cl/>

²⁹ <http://www.sernageomin.cl/>

³⁰ <http://www.shoa.cl/index.htm>

³¹ <http://web.ing.puc.cl/fondefD10I1027/index.html>

Sistema de Falla Domeyko (FT)³²

Está ubicado en la precordillera andina del norte de Chile, mostrándose como un sistema de fallas de rumbo norte-sur, unidas por fallas de rumbo e inversas y rastreadable por más de 1000 km en dirección NS, paralelo al margen continental.

Esta falla se compone de varios segmentos regionales, estando cada uno sometido a una serie de eventos de deformación distintos en el espacio y en el tiempo. El sistema ha estado activo desde el Eoceno superior - Oligoceno inferior.

En la Figura 4 se aprecia que el sistema de fallas se encuentra principalmente en la zona costera y cercana a esta, desapareciendo a medida que se adentra en el territorio hacia el oeste.

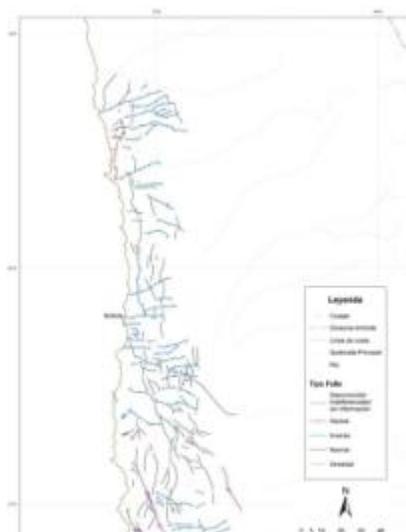


Figura 4. Sistema de falla Domeyko

Sismicidad interplaca en zona de interés

El proyecto FONDEF MAS ANDES, también ha sistematizado la actividad sísmica de la región con registros desde el año 1973 hasta la fecha, clasificándolos según su profundidad y magnitud, y de cuyo estudio FONDEF MAS ANDES concluye que se evidencian “dominios sísmicos, ordenados de oeste a este, donde se aprecia:

- En el borde oeste se localiza preferencialmente (círculos rojos), la sismicidad producida por los terremotos interplaca, con hipocentros bajo el mar y la Cordillera de la Costa.
- Inmediatamente al este del dominio anterior, se observa la zona de ocurrencia de los terremotos intraplaca oceánica de profundidad intermedia, sus hipocentros se ubican bajo la Depresión Central o Cordillera Occidental. A partir de la distribución espacial de este tipo de sismos, es notable la casi perfecta coincidencia entre la región de más densa sismicidad de profundidad intermedia, y la zona de ruptura del sismo de 1877.
- En el este, se observa una importante presencia de terremotos profundos con hipocentros bajo el altiplano, los cuales también coinciden espacialmente con la brecha sísmica, aunque esta correlación está menos definida.
- Los terremotos superficiales en el sector este del mapa (círculos rojos) pueden ser interpretados como sismos corticales someros, asociados a la faja plegada y corrida de las Sierras Sub-andinas de Bolivia y Norte de Argentina. Estos sismos representarían la actividad del frente tectónico activo de los Andes.

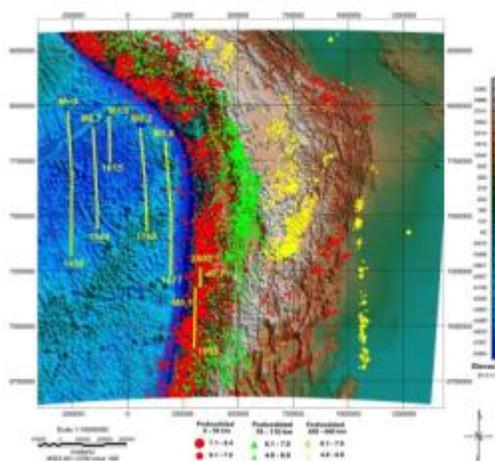


Figura 5. Sismicidad historia y paleo/sismológica del norte de Chile (1973-2014)

³² FONDEF MAS ANDES “Desarrollo de plataforma de amenaza sísmicas para el norte de Chile y propuesta de actualización de normas de diseño sismo-resistente: Análisis de los efectos del terremoto del Maule 2010 y caracterización de terremotos tipo en el segmento Taltal-Arica” disponible [aquí](#)

Tsunamis

Por otra parte la ciudad de Iquique ha sido afectada por tsunamis, siendo los eventos de 1868, 1877 y 2014 los mejor documentados. La carta actual de inundaciones fue elaborada en base a los eventos de 1868 y 1877, la cual muestra el área de inundación máxima alcanzando los 25 mts sobre el nivel medio del mar.

En base a la información anterior, se puede concluir que la amenaza sísmica producto de la subducción de placas y sistema de fallas Domeyko representan la principal amenaza a la Carretera Iquique-Colchane.

Los efectos de un tsunami sólo afectarían las vías de acceso y flujo a las facilidades portuarias y otras zonas de la ciudad de Iquique, razón por la cual se desestima esta amenaza en el análisis de riesgo de la Carretera Iquique-Colchane.

Debido a la extensión de la Carretera Iquique-Colchane (230 km aprox.) habrá secciones específicas de la carretera y obras de arte expuestas a amenazas puntuales como deslizamiento, fluviales o nevadas, donde dichas amenazas podrán o no ser consideradas en el análisis según lo defina el Grupo 1.

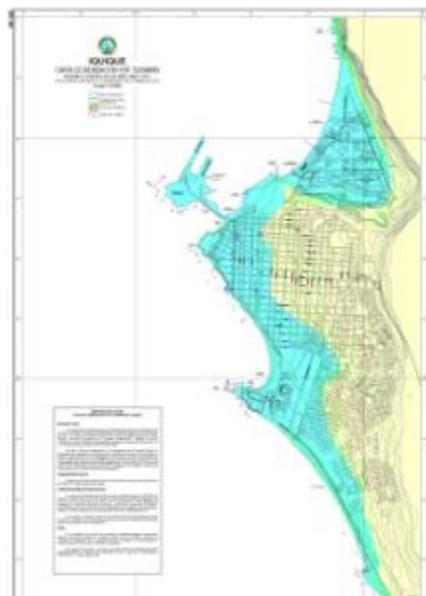


Figura 6. Carta de inundación de ciudad de Iquique - Chile

Caracterización básica de la infraestructura y equipamiento del Carretera Iquique-Colchane

Para la caracterización de la carretera Iquique-Colchane deberán concurrir representantes de instituciones vinculadas con la operación y mejoramiento de las rutas 16 CH, 15 CH y Ruta 5.

A continuación se detallan los roles y responsabilidades de las principales instituciones involucradas en la caracterización y estudio de la infraestructura expuesta.

Tabla 14. Roles y actividades institucionales para la caracterización y estudio de la infraestructura expuesta

Instituciones	Estudio de vulnerabilidad Roles y actividades
<p>Grupo 1: Ministerio de Obras Públicas - SEREMI MOP Tarapacá - Dirección de Vialidad Comisión Nacional de seguridad de Tránsito (CONASET)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar e individualizar los caminos y respectivas obras de arte de la ruta Iquique-Colchane. - Priorizar los segmentos de camino y obras de arte que serán sometidos a estudio. - Caracterizar físicamente los caminos y obras de arte de la carretera Iquique-Colchane (localización, material, dimensiones, antigüedad, etc.) - Caracterizar funcionalmente los caminos y obras de arte (función que desempeña, vínculo con otros componentes, etc) - Definir la normatividad y criterios de diseño que deben cumplir las diferentes rutas de la Carretera Iquique-Colchane y obras de arte respectiva. - Definir la normatividad y criterios de funcionamiento que deben cumplir los diferentes caminos parte de la ruta Iquique-Colchane y obras de arte respectiva, tanto en casos de normalidad como de emergencia. - Definir el alcance del estudio de riesgo, mediante la elaboración de los términos de referencia para el desarrollo de los mismos.

Instituciones	Estudio de vulnerabilidad Roles y actividades
	<ul style="list-style-type: none"> - Encomendar el estudio de riesgo sobre los diferentes caminos parte de la ruta Iquique-Colchane y obras de arte respectivas. - Validar los resultados de los estudios. - Toma de decisiones sobre el uso de los resultados del estudio para la gestión de riesgo de la carretera Iquique-Colchane.

La vía Iquique-Colchane considera los caminos que se detallan a continuación:

- Ruta 16 CH (Iquique-Humberstone): 46,7 Km - Red pavimentada (asfalto)
- Ruta 5 (Humbertone – Huara): 26,3 Km – Red pavimentada
- Ruta 15 CH (Huara – Colchane): 162,5 Km – Red pavimentada (asfalto)

Por otra parte, cada una de las rutas anteriores posee características particulares y por ende diferentes cubiertas, así como diferente tipo y cantidad de obras de arte (puentes, pasos superiores, pasarelas, alcantarillas, etc.)

Por lo anterior, la identificación y caracterización de del camino Iquique-Colchane, deberá contener al menos las consideraciones que se detallan a continuación pensando llevar adelante un estudio de riesgo sísmico.

- a) Localizar cada una de las obras de arte que se encuentren en el trayecto.
- b) Caracterizar la materialidad y condiciones de sitio donde se emplaza cada obra de arte.
- c) Localizar sectores de la carretera Iquique-Colchane sobre terraplenes.
- d) Localizar sectores de la carretera Iquique-Colchane con cortes inestables.

Imágenes representativas de Ruta 15 CH



Imagen 4. Puente sobre río Islugaa ruta 15 CH



Imágenes representativas de Ruta 16 CH



En base a la descripción que se realice de cada una de las rutas que conforman la carretera Iquique-Colchane, se caracterizará la infraestructura según:

- Segmentos y tramos de camino
- Puentes
- Pasarelas (peatonales)
- Pasos superiores
- Alcantarillas
- Otros (muros contención, etc)

Priorización de caminos y obras de arte a analizar

Para la Carretera Iquique-Colchane se definieron los objetivos e indicadores de desempeño en base a parte del contenido del Manual de Carreteras del MOP-Chile (Ver Paso 1 - Definir los objetivos e indicadores de desempeño - “Riesgo aceptable”), cuyos objetivos de desempeño son los siguientes:

- ✓ Proteger la seguridad de los usuarios³³.
- ✓ Mantener la confiabilidad de la carretera³⁴.

Consecuente con el objetivo de desempeño que dice relación con “Proteger la seguridad de los usuarios”, se deberá priorizar para el análisis de riesgo frente a sismos aquellos elementos tales como: pasarelas, pasos superiores y puentes, por el peligro que representan para el usuario el colapso o daño extensivo en este tipo de componentes.

Por otra parte, para “Mantener la confiabilidad de la carretera” y permitir que el nivel de servicios de la carretera Iquique-Colchane se mantenga de manera parcial o reducida, se requiere que las cubiertas y obras de artes vitales para el flujo vehicular (puentes y pasos superiores con sus respectivos accesos) no sufran daños tales que hagan suspender el tráfico por tiempo prolongado.

Tabla 15. Componentes priorizados para análisis de riesgo según objetivos de desempeño

Objetivo de Desempeño	Infraestructura y equipo priorizado
Proteger la seguridad del personal y usuarios.	Pasarelas Pasos superiores Puentes
Mantener la confiabilidad de la carretera	Sectores sobre terraplenes. Sectores con cortes inestables

Considerando que el peligro sísmico se atenúa desde la costa hacia la Cordillera de los Andes, la priorización de los componentes mencionados en la Tabla 15 podría depurarse y reducirse de manera de incluir los componentes ubicados en zona de alto peligro sísmico.

Además podrán existir motivos y criterios complementarios, tales como protección financiera, protección a la inversión, etc. que podrían complementar la selección de otros componentes o segmentos de la carretera Iquique-Colchane.

Paso 3 – Definir el nivel de profundidad de análisis de riesgo para infraestructura y componentes priorizados

Es necesario definir el nivel de profundidad del análisis de riesgo de cada uno de los componentes que se han priorizado para el análisis de riesgo de la carretera Iquique-Colchane. A continuación y basado en el Manual de Carreteras del MOP se sugiere el nivel de profundidad con el cual analizar los componentes priorizados, donde el Manual de Carreteras propone métodos de análisis cuantitativos y probabilísticos.

Tabla 16. Definición de tipo de análisis de riesgo según componente priorizado

Componente priorizado	Nivel de profundidad de análisis de riesgo	Justificación
Puentes Pasarelas	Nivel 2 o 3	El nivel dependerá del método de análisis que se seleccionen en base a lo que se indica en el Manual de Carreteras ³⁵ Vol 3 -

³³ Manual de Carreteras MOP (2012) Volumen 3 - “Instrucciones y criterios de diseño”

³⁴ Manual de Carreteras MOP (2012) “Instrucciones y criterios de diseño” - Tabla 3.102.805(2).A Resumen cuantitativo y cualitativo de los niveles de servicio para carreteras y caminos en condiciones ideales

³⁵ El Manual de carreteras indica los métodos de análisis siguientes: Método del coeficiente sísmico; Método del coeficiente sísmico Modificado por la respuesta estructural; Método modal espectral; Método modal espectral con Estudio de Riesgo Sísmico; Método de

Componente priorizado	Nivel de profundidad de análisis de riesgo	Justificación
Pasos superiores		Capítulo 3.100 Puentes y estructuras, sección 3.1004 Diseño Sísmico.
Sectores sobre terraplenes	Nivel 2	Manual de Carreteras Vol 3 – 3.602.4 estabilidad de terraplenes, en especial 3.602.406 Asentamiento dinámico y licuación, donde se propone método de cálculo de asentamiento por sismo
Sectores con cortes inestables	Nivel 2	Manual de Carreteras Vol 3 – 3.602.3 Estabilidad de cortes propone el uso del método gráfico para cálculo de factor de seguridad

Tanto los métodos y límites normativos que presenta el manual de Carreteras del MOP, corresponden a requerimientos mínimos, es decir representan el límite inferior de tolerancia en el diseño y por ende no pueden ser trasgredidas sin la autorización del MOP-Chile. Sin embargo y dentro de límites económicos razonables se deberán procurar métodos y valores más amplios que los mínimos establecidos en la norma cuando esto signifique mayores niveles de seguridad para los usuarios, calidad del servicio o en la vida útil de la obras³⁶.

En base al alcance y profundidad con la cual se desarrollará el estudio de riesgo en los diferentes componentes que se presentan en la Tabla 16Tabla 11, se deberán elaborar los términos de referencia respectivos, para lo cual se puede guiar utilizando las actividades que se detallan en el Anexo 3.

Paso 4 – Análisis de riesgo e identificación de medidas de reducción de riesgo

El análisis de riesgo es por lo general desarrollado por empresas consultoras, en base a términos de referencia desarrollados en el paso anterior por el mandante e institución interesada en los resultados. Sin importar el nivel de profundidad del estudio de riesgo, entre los resultados se debe considerar la identificación de las medidas de reducción de riesgo (prevención y mitigación) frente al riesgo identificado, para su posterior análisis y toma de decisiones.

Si bien el Manual de Carreteras MOP- Volumen 3 – “Instrucciones y Criterios de Diseño” propone métodos de análisis para cada uno de los componentes priorizados en el paso anterior, también existen diversas metodologías y sistemas para realizar análisis de riesgo, desarrolladas por empresas consultoras, instituciones académicas y centros de investigación, las cuales de ser más estrictas (y por ende superen lo mínimo) que las planteadas por el Manual de Carreteras del MOP también sería aceptable usar en un análisis de riesgo de este tipo.

Por otra parte, se debe tener claro en el análisis de riesgo de la Carretera de Iquique-Colchane no se enfoca solamente a determinar si sus diversos componentes cumplen o no los criterios y límites normativos establecidos en el Manual de Carreteras del MOP-Chile, si no que se busca sobre todo conocer si el desempeño de la Carretera Iquique-Colchane frente a sismos se ajusta a los objetivos definidos en el paso 1.

Por otra parte en el análisis de riesgo de la Carretera Iquique-Colchane deberá observar los efectos y lecciones aprendidas durante el terremoto de magnitud 8.2 Richter que afectó a la ciudad de Iquique y zona norte de Chile el 1º de Abril 2014, causando daños de importancia en la Ruta 16 CH (Iquique- Humberstone).

análisis lineal o no-lineal en el tiempo

³⁶ Extracto de Validez de límites normativos y recomendaciones, Sección 3.001.3 del Manual de Carreteras MOP – “Instrucciones y Criterios de Diseño”

Análisis de riesgo de infraestructura y equipos priorizados

A continuación se presentan en detalle las acciones y actividades que deberían ser consideradas el estudio de riesgo (amenazas y vulnerabilidad) de la infraestructura y equipo priorizado de la Carretera Iquique-Colchane frente a sismos, utilizando como referencia la información que se presenta en el Anexo3.

Estudio de Amenazas	Nivel 2	Nivel 3
Sismos/terremotos		
1.1 Historia sísmica y tsunamis de área de influencia		
1.1 Recopilar la información de sismos (fecha, magnitud, intensidad, etc.) pasados en que hayan afectado la zona de estudio.	♦	♦
1.2 Terremoto – Rupturas de fallas superficiales		
1.2.1 Identificar fallas activas en la zona, mediante la revisión de mapas e informes que se encuentren disponible proyecto FONDEF MAS ANDES u otros.	♦	♦
1.2.2 Revisar los mapas topográficos para identificar zonas de pendientes, inestables, rellenos, etc.	♦	♦
1.2.3 Revisar fotografías aéreas, si es que se encuentran disponibles para conocer como ha variado la topografía y morfología de la zona de estudio.	♦	♦
1.2.4 Hacer un reconocimiento de terreno (mediante un geólogo calificado), para validar y complementar la información de sitio, en especial en puntos de interés de la Carretera Iquique-Colchane.	♦	♦
1.2.5 Calcular los desplazamientos de fallas usando métodos empíricos, instrumentales o investigaciones previas, en puntos de interés de la Carretera Iquique-Colchane.	♦	♦
1.2.6 Caracterizar las fallas activas a través de la excavación de trincheras/calicatas		♦
1.2.7 Determinar la probabilidad y desplazamientos de fallas, través de excavaciones de trincheras en las fallas, muestreos y análisis.		♦
1.3 Terremoto – Licuefacción³⁷		
1.3.1 Revisar información disponible sobre licuefacción que se haya presentado anteriormente en puntos de interés de la Carretera Iquique-Colchane.	♦	♦
1.3.2 Revisar mapas e informes geológicos en la zona de estudio, a fin de identificar condiciones de sitio seguras y vulnerables, frente a ondas sísmicas y potencial de licuefacción.	♦	♦
1.3.3 Revisar datos geotécnicos disponibles por parte de instituciones de Grupo 2 u otras instituciones que cuenten con información de la zona de estudio.	♦	♦
1.3.4 Identificar depósitos de suelo potencialmente licuables mediante el uso de criterio de expertos e información geológica disponible	♦	♦
1.3.5 Realizar reconocimiento de terreno (mediante ingenieros geotécnicos calificados) para validar y complementar información recopilada.	♦	♦
1.3.6 Identificar depósitos de suelo potencialmente licuables mediante análisis de muestras de suelo en base a resultados de actividad 1.3.2	♦	♦
1.3.6 Realizar una evaluación probabilística de riesgo sísmico y/o utilizar la información que el proyecto FONDEF MAS ANDES ha desarrollado.	♦	♦
1.3.7 Realizar perforaciones de suelo y pruebas de penetración estándar o cónica representativas del lugar		♦
1.3.8 Identificar niveles de napa freática en puntos de interés a lo largo de la Carretera Iquique-Colchane		♦
1.3.9 Determinar amplificación de ondas sísmicas en puntos de interés de la Carretera Iquique-Colchane.		♦
1.3.10 Realizar un análisis detallado usando herramientas analíticas, para determinar la probabilidad de licuefacción y grado de los desplazamientos de propagación lateral en puntos de interés de la Carretera Iquique-Colchane.		♦
1.4 Terremoto – Fuertes movimientos de suelo		
1.4.1 Revisar mapas e informes de amenazas sísmicas y/o microzonificación de la zona, Proyecto FONDEF MAS ANDES.	♦	♦

³⁷ El Manual de Carreteras Vol 3 – 3.602.4 estabilidad de terraplenes, en especial 3.602.406 Asentamiento dinámico y licuación, donde se propone método de cálculo de asentamiento por sismo.

Estudio de Amenazas	Nivel 2	Nivel 3
1.4.2 Definir factores de amplificación de movimientos de suelo, en puntos de interés de la Carretera Iquique-Colchane	♦	♦
1.4.3 Calcular niveles de movimientos de suelo usando criterios y mapas existentes	♦	♦
1.4.4 Calcular niveles de movimientos de suelo usando métodos analíticos o instrumentales		♦
1.4.5 Realizar un análisis probabilístico de riesgo sísmico		♦
1.5 Terremoto – Derrumbes³⁸		
1.5.1 Revisar mapas de riesgo sísmico de las zonas de interés	♦	♦
1.5.2 Evaluar el potencial de derrumbe usando criterio experto, usando información de actividades 1.2.2 y 1.2.3	♦	♦
1.5.3 Realizar un reconocimiento de terreno (mediante geólogos calificados), incluyendo información que entregue la comunidad.	♦	♦
1.5.4 Evaluar el potencial de derrumbe según estabilidad de pendientes en zonas de interés.	♦	♦
1.5.5 Evaluar el potencial de derrumbe usando análisis empírico	♦	♦
1.5.6 Evaluar el potencial de derrumbe usando métodos analíticos		♦

Además de los sectores de ruta priorizados, se debe realizar análisis de riesgo sísmico de obras de arte tales como: puentes, pasarelas y pasos superiores, donde el Manual de Carreteras³⁹ Vol 3 - Capítulo 3.100 Puentes y estructuras, sección 3.1004 Diseño Sísmico, que propone usar algunos de los siguientes métodos para el análisis:

- Método del coeficiente sísmico;
- Método del coeficiente sísmico Modificado por la respuesta estructural;
- Método modal espectral; Método modal espectral con Estudio de Riesgo Sísmico;
- Método de análisis lineal o no-lineal en el tiempo

Estudio de infraestructura/componentes expuestos	Nivel 2	Nivel 3
Infraestructura/componentes		
1.1 Recopilar o generar la información que caracterice los sectores de ruta y obras de arte en términos de localización, materialidad, geometría y dimensiones, mediante planos, memorias de cálculo, etc.	♦	♦
1.2 Recopilar o generar la información que caracterice sectores de ruta y obras de arte en términos al rol que cumple en el funcionamiento del Carretera Iquique-Colchane. (Se sugiere considerar a encargados de operación y mantenimiento)	♦	♦
1.3 Obtener información del desempeño y comportamiento de infraestructura y componentes similares frente a sismos (en especial durante el terremoto 2014), a fin de conocer patrones de daños que se podrían dar en el Carretera Iquique-Colchane.	♦	♦
1.4 Identificar las debilidades/vulnerabilidades de sectores de ruta y obras de arte, curvas de vulnerabilidad, metodologías cualitativas o información sobre el impacto de eventos pasados en el tipo de componentes analizado.	♦	♦
1.5 Realizar visitas de terreno para conocer estado de la infraestructura y complementar información recopilada en puntos anteriores.	♦	♦
1.6 Identificar las normas, códigos y criterios de diseño nacionales (o internacionales si no existen en el país) utilizados en el diseño, construcción y operación de la infraestructura o equipo de interés. ⁴⁰	♦	♦
1.7 Realizar visitas de terreno para validar la información que caracterice la infraestructura y	♦	♦

³⁸ En el Manual de Carreteras Vol 3 – 3.602.3 Estabilidad de cortes se propone el uso del método gráfico para cálculo de factor de seguridad.

³⁹ El Manual de carreteras indica los métodos de análisis siguientes: Método del coeficiente sísmico; Método del coeficiente sísmico Modificado por la respuesta estructural; Método modal espectral; Método modal espectral con Estudio de Riesgo Sísmico; Método de análisis lineal o no-lineal en el tiempo

⁴⁰ Manual de Carreteras MOP-Chile e Instructivo Nuevos criterios sísmicos para El diseño de puentes.

Estudio de infraestructura/componentes expuestos	Nivel 2	Nivel 3
componente en análisis.		
1.8 Evaluar las vulnerabilidades de la infraestructura y componente usando métodos determinístico con información obtenida y metodologías cuantitativas disponibles.	♦	♦
1.9 Realizar visitas de terreno para complementar con información faltante o adicional que permita caracterizar la infraestructura o componentes en análisis (elaboración de planos, ubicación y condiciones de sitio, etc.).		♦
1.9 Realizar toma de muestras para estudiar y/o validar las características y resistencia de materiales.		♦
1.14 Evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura o componentes usando moldeamientos matemáticos que permitan definir el comportamiento de la infraestructura o componente.		♦

Sin importar el nivel de profundidad del análisis de riesgo que se haga, los resultados que se obtengan deberán ser entregados al menos en las unidades establecidas para los objetivos e indicadores de desempeño definidos en el Paso 1.

Análisis de desempeño del sistema

La infraestructura y equipos del Carretera Iquique-Colchane que han sido priorizados y sujetos a análisis cumplen funciones complementarias que permiten la continua y debida prestación de servicios portuarios, por lo cual la falla o deterioro de alguno de ellos debido a la ocurrencia de un sismo y/o tsunami comprometerá el adecuado funcionamiento de todo el Carretera Iquique-Colchane.

A continuación se presentan algunos aspectos que deben ser considerados en el análisis de desempeño del sistema

- ✓ Analizar los planos, sistemas de gestión, informes del Carretera Iquique-Colchane, para entender el funcionamiento, la interconexión e importancia relativa de cada infraestructura y equipos del Carretera Iquique-Colchane.
- ✓ Revisar el funcionamiento del Carretera Iquique-Colchane durante situaciones normales, accidentes laborales o industriales, emergencias y desastres pasados, para identificar componentes esenciales, capacidad operativa, redundancias y aspectos críticos.
- ✓ Definir un modelo de sistema de operaciones críticas, que permita que el servicio que presta el sistema se dé considerando el “riesgo aceptable” definido en los objetivos e indicadores de desempeño (Paso 1 de la metodología)
- ✓ Estimar el desempeño del sistema usando criterio experto, definiendo escenarios (mínimo 3) o análisis probabilístico.

Sin importar el nivel de profundidad del análisis de riesgo que se haga, los resultados que se obtengan deberán ser entregados al menos en las unidades establecidas para los objetivos e indicadores de desempeño definidos en el Paso 1

Objetivo de Desempeño	Infraestructura y equipo priorizado	Desempeño - Resultado obtenido en análisis
Proteger la seguridad del personal y usuarios.	Puente 1	<i>Información a ser provista como resultado del análisis</i>
	Puente 2	<i>Ídem</i>
	...	<i>Ídem</i>
	Puente n	<i>Ídem</i>
	Pasarela 1	<i>Ídem</i>
	Pasarela 2	<i>Ídem</i>
	...	<i>Ídem</i>
	Pasarela m	<i>Ídem</i>
	Paso superior 1	<i>Ídem</i>

Objetivo de Desempeño	Infraestructura y equipo priorizado	Desempeño - Resultado obtenido en análisis
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema	Paso superior 2	Ídem
	Ídem
	Paso superior s	Ídem
	Sector terraplén 1	Ídem
	Sector terraplén 2	Ídem
	Ídem
	Sector terraplén t	Ídem
	Sector corte inestable 1	Ídem
Sector corte inestable 2	Ídem	
...	Ídem	
Sector corte inestable x	Ídem	

Identificación de medidas de reducción de riesgo

Para identificar acciones de reducción de riesgo que eviten o limiten los daños en la Carretera Iquique-Colchane, el análisis de riesgo debe proveer la información sobre la vulnerabilidad de sus componentes y en base a ellas proponer acciones de prevención o mitigación acordes a los componentes en riesgo.

Para los fines de este documento, y por no contarse con los resultados empíricos del estudio de riesgo de la carretera Iquique-Colchane, a continuación se presentan algunas medidas de reducción de riesgo en los sectores y componentes priorizados, en base a los daños reportados en la ruta 16-CH durante el sismo del 1 Abril 2014, así como los “patrones de daños” que habitualmente se presentan en carreteras y sus principales obras de arte.

ESTABILIZACIÓN DE LADERAS/CORTES INESTABLES	
<p>Patrón de daño: Deslizamiento y/o caída de materiales debido a movimiento sísmico Obstrucción total o parcial de la carretera debido a deslizamientos y caída de materiales (en zonas de corte, altas pendientes o inestabilidad de taludes)</p>	
<p>Vulnerabilidad</p> 	<p>Reducción de riesgo Contención de laderas mediante uso de gaviones, muros de contención o similares.</p>  

MEJORAMIENTO DE SUELO DE CIMENTACIÓN

Patrón de daño: Deformaciones permanentes en cubierta de caminos debido a pérdida de capacidad resistente de material, debido a compactación, licuefacción inducido por movimientos sísmicos.

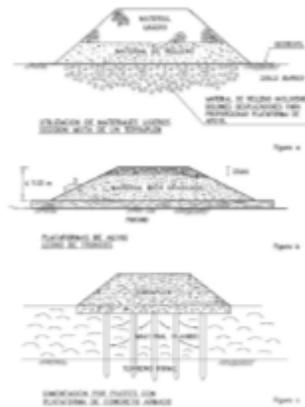
Las deformaciones permanentes pueden causar la interrupción parcial o total de una ruta dependiendo de los tipos y extensión de los daños, así como la posibilidad de contar con vías alternativas o by-pass que se implementen de manera ad-hoc para vadear la zona dañada.

Vulnerabilidad



Reducción de riesgo

El Manual de Carreteras del MOP en su sección 3.602 Diseño de Infraestructura presenta en el punto 3.602.407(1) la forma recomendada de Mejoramiento del suelo de cimentación.



ESTABILIZACION DE TERRAPLEN EN LADERA

Patrón de daño: Asentamientos en zonas de terraplén debido a asentamientos, licuefacción, etc.

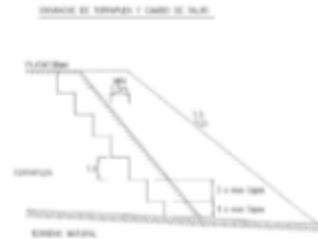
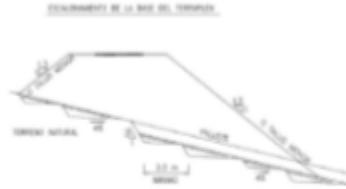
Al igual que el caso anterior, las deformaciones permanentes pueden causar la interrupción parcial o total de una ruta dependiendo de los tipos y extensión de los daños. Por la propia disposición de terraplenes, se dificulta implementar by-pass que se implementen de manera ad-hoc para vadear la zona dañada.

Vulnerabilidad



Reducción de riesgo

Manual de Carreteras Vol 3 – 3.602.4 estabilidad de terraplenes, en especial 3.602.406 Asentamiento dinámico y licuación, donde se propone método de cálculo de asentamiento por sismo



Disponer de muros de contención en la base del terraplén.



PROTECCION DE PASARELAS PEATONALES

Patrón de daño: Colapso de pasarelas por falla en apoyos

El colapso de este tipo de obras, se ha observado que por lo general se da debido a la falta de pernos de anclaje de losa o indebida mesa de apoyo de vigas o losa. Existe poca evidencia de colapso de este tipo de plataforma por falla en columnas. El colapso de plataformas peatonales además de poner en riesgo la vida de los peatones que podrían estar haciendo uso de la pasarela al momento del sismo, también representa un riesgo para la vida de los usuarios del uso de la carretera y el nivel de servicio de la misma si es que la pasarela obstruye el tráfico.

Vulnerabilidad



Reducción de riesgo

Instalar barras antisísmicas para restringir movimiento vertical.

Restringir desplazamiento horizontales (Topes y aumento de mesa de apoyo)

RESTRICCIÓN DE MOVIMIENTOS HORIZONTALES DE TABLEROS Y/O VIGAS

Patrón de daño: Desplazamiento y colapso de tableros.

El movimiento sísmico induce aceleraciones y desplazamiento tanto verticales como horizontales a las estructuras expuestas, en este caso los tableros (Vigas+losa) de puentes, pasarelas y pasos superiores pueden desplazarse de modo tal de sus apoyos que pueden limitar o suspender completamente el tráfico de una ruta, además de poner en riesgo la seguridad y vida de los usuarios que transitan al momento del sismo.

Vulnerabilidad



Reducción de riesgo

Aislamiento sísmico



Disposición de topes para restringir movimiento horizontal



Ampliación de mesas de apoyo de tableros y/o vigas



RESTRICCIÓN DE MOVIMIENTOS VERTICALES DE TABLEROS Y/O VIGAS

Patrón de daño: Desplazamiento y colapso de tableros.

El movimiento sísmico induce aceleraciones y desplazamiento tanto verticales como horizontales a las estructuras expuestas, en este caso los tableros (Vigas+losa) de puentes, pasarelas y pasos superiores pueden desplazarse de modo tal de sus apoyos que pueden limitar o suspender completamente el tráfico de una ruta, además de poner en riesgo la seguridad y vida de los usuarios que transitan al momento del sismo.

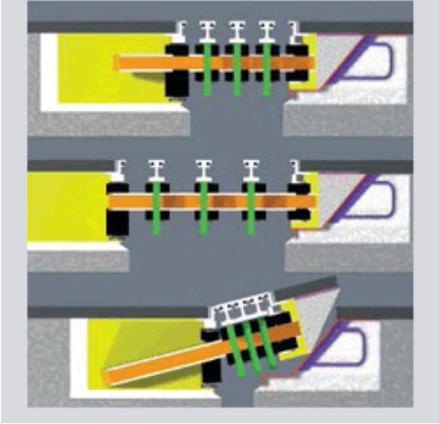
Vulnerabilidad



Reducción de riesgo

Instalación de barras sísmicas



PROTECCION DE ESTRIBOS	
<p>Patrón de daño: Asentamiento, daño parcial o total de estribos El daño en los estribos de acceso a un puente pueden dejarlo inoperativo sin que el tablero y resto estructura del puente se vea afectada.</p>	
<p>Vulnerabilidad</p> 	<p>Reducción de riesgo Incorporar junta sísmica⁴¹ entre estribo y tablero</p> 

REFORMAZAMIENTO DE CEPAS DE PUESTES	
<p>Patrón de daño: Colapso o agrietamiento con pérdida de resistencia de cepas. Esto aplica tanto a puentes como pasos superiores y pasarelas peatonales. Dependiendo del tipo de daño la superestructura puede colapsar en los tramos críticos, experimentas asentamientos diferenciales. Por lo general cualquier tipo de daño en este tipo de componente hace que se suspenda completamente el tráfico y uso de la infraestructura afectada.</p>	
<p>Vulnerabilidad</p> 	<p>Reducción de riesgo Reforzamiento de cepas, columnas o pilares según corresponda, mejorando la resistencia al corte mediante aumento de sección y/o resistencia..</p> 

⁴¹ Del tipo juntas MAURER-SWIVEL

Ejemplo FASE II – Análisis de riesgo en Aeropuerto Chacalluta, Arica (Chile)

El análisis de riesgo del Aeropuerto Chacalluta de Arica en Chile frente a sismos y tsunamis se sustenta en la conclusión de la FASE I, que se presenta en la Tabla 6

Paso 1: Definir los objetivos e indicadores de desempeño (“Riesgo aceptable”)

Para definir los objetivos e indicadores de desempeño del Aeropuerto de Chacalluta, Arica-Chile frente situaciones de emergencias y desastres, se deberán realizar las siguientes actividades:

- Revisar si las normas legales referidas a la planificación, diseño, construcción y funcionamiento de aeropuertos tanto del Ministerio de Obras Públicas de Chile⁴² como del la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC⁴³), tienen consideraciones respecto a la seguridad frente a sismos y tsunamis.
- Revisar si las normas nacionales de diseño y construcción sismo-resistente⁴⁴, tienen consideraciones respecto a la seguridad frente a sismos y tsunamis.
- Si el marco normativo nacional no ofreciera orientaciones sobre los objetivos e indicadores de desempeño, se podrá adoptar normativas y marcos legales de otros países que hagan referencia a la seguridad de carreteras (y obras de arte) a sismos y tsunamis; o bien
- Convocar a grupo técnico del MOP-Chile, DGAC, Aeropuerto Chacalluta, Gobernación Región Arica y Parinacota, Universidades, Colegios Profesionales, entre otros para definir los objetivos e indicadores de desempeño.

Tabla 17. Roles y actividades institucionales para la definición de objetivos e indicadores de desempeño

Instituciones	Paso 1 – Definición de objetivos e indicadores de desempeño. Roles y actividades
Grupo 1: Ministerio de Obras Públicas <ul style="list-style-type: none"> - SEREMI MOP Tarapacá - Dirección de Aeropuertos DGAC Aeropuerto Chacalluta (AZVI Chile - Cointer Concesiones)	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar los objetivos de desempeño del aeropuerto frente a sismos y tsunamis, en base al marco normativo de Chile. - En ausencia y/o complemento de normativas nacionales, sugerir adoptar para el estudio de riesgo los objetivos de desempeño contenidos en normativas y marcos legales de otros países, respecto al comportamiento aeropuertos frente a sismos y tsunamis. - Bajo la coordinación de MOP-Dirección de Aeropuerto mediante reunión de trabajo con otros actores relevantes, definir los valores de los indicadores que serán usados para definir el desempeño del puerto en caso de sismos y tsunamis.
Grupo 2: Gobierno Regional de Arica y Tarapacá Municipalidad de Arica	<ul style="list-style-type: none"> - Dar su conformidad y conocimiento de los indicadores de desempeño relacionados con: Alteración en servicios y Accidentes (muertes, heridos)

La Norma Chilena 433 (2009) diseño sísmico de edificios, excluye explícitamente su uso a una serie de infraestructura de interés (pistas, etc) para aeropuertos. En el alcance de esta norma se indica “Esta norma no se aplica al diseño sísmico de otras obras civiles tales como puentes, presas, túneles, acueductos, muelles, canales. Tampoco se aplica a edificios industriales ni a instalaciones industriales. El diseño de estas obras se debe regir por la norma chilena correspondiente”, sin embargo si aplicaría la NCh 433 para edificios tales como torre de control, estación de bomberos u otras.

⁴² <http://www.mop.gov.cl>

⁴³ <http://www.dgac.gob.cl/>

⁴⁴ NCh 433 – Diseño sísmico de edificios

Por otra parte la norma NCh 2369 “Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales” sería la que aplicaría para infraestructuras aeroportuarias tales como: edificio terminal, hangares, etc. Los principios e hipótesis de esta norma, que pueden orientar a establecer objetivos e indicadores de desempeño, son los siguientes:

- a) **Protección de la vida**
 - Evitar colapso para sismos más severos que el sismo de diseño.
 - Evitar incendios, explosiones o emanaciones de gases y líquidos tóxicos.
 - Proteger el medioambiente.
 - Asegurar la operatividad de las vías de escape durante emergencia sísmica.
- b) **Continuidad de operaciones**
 - Mantener los procesos y servicios esenciales.
 - Evitar o reducir a un tiempo mínimo la paralización de la operación.
 - Facilitar la inspección y reparación de elementos dañados.

En base a dicha norma, se puede también definir que los aeropuertos corresponder a estructuras de Categoría C1: Obras críticas

Por otra parte, en el contrato de concesión de la operación del Aeropuerto de Chacalluta se hacen varias referencias sobre acciones de gestión de riesgo que debe hacer la empresa concesionaria. A continuación se detallan algunas de dichas consideraciones incluidas las bases de licitación⁴⁵

Cuadro 1. Consideraciones sobre gestión de riesgo de desastres en contrato de concesión Aeropuerto Chacalluta-Arica

1.8.8 Seguro por Catástrofe

...el Concesionario deberá presentar una o más nuevas pólizas de seguro por catástrofe que cubrirán los riesgos catastróficos durante la etapa de explotación de las obras, incluyendo disturbios populares y actos maliciosos. **Dicho seguro será por un monto equivalente al valor total de la obra concesionada, con un deducible máximo del 2% del costo total de la obra. Dicho seguro tendrá como beneficiario único al Ministerio de Obras Públicas.** Dichas pólizas deberán tener una vigencia mínima de 3 años o por el período que reste de la concesión, debiendo acreditarse su renovación 60 días antes de la expiración de las anteriores. A su vez, en todas y cada una de estas pólizas deberá constar el pago al contado de las mismas, debiendo cumplir las condiciones establecidas en el párrafo primero del presente artículo.

Las pólizas de seguro catastrófico en la etapa de explotación se basarán en los valores de reposición de las obras o reemplazo de las obras, expresados en unidades reajustables. En ningún caso se aceptarán estimaciones de pérdidas máximas para el efecto de las contrataciones de los seguros que consideren valores residuales o depreciados de la obra.

1.8.9 Efectos por la Destrucción Parcial o Total de la Obra por Caso Fortuito

En caso de destrucción parcial o total de la obra por caso fortuito durante su construcción y/o explotación, el Concesionario estará obligado a su reparación total sin derecho a reembolso por parte del Estado. La calificación del caso fortuito o fuerza mayor invocada, será efectuada por el Director General de Obras Públicas, quien se pronunciará mediante una resolución fundada y el Fisco no concurrirá a la reparación de los daños producidos por caso fortuito o fuerza mayor.

1.10.13 Obligación de Servicio Público e Indiscriminado

La obra entregada en concesión es un servicio público, por lo cual el Concesionario está obligado a prestarlo ininterrumpidamente, salvo situaciones excepcionales, debidas a caso fortuito o fuerza mayor, y sin discriminación de ninguna especie a los usuarios, siempre que éstos cumplan con el Reglamento de Servicio de la Obra, las normas vigentes de la DGAC y con el pago de las tarifas autorizadas en el Contrato de Concesión.

⁴⁵ Ministerio de Obras Públicas (2003) “Bases de Licitación – Concesión terminal de pasajeros Aeropuerto Chacalluta de Arica – Primera región”

2.9.1 Del Servicio a los Usuarios

De la misma forma, el Concesionario deberá mantener en lo que atañe a sus obligaciones, la continuidad en el suministro de energía eléctrica, gas y agua potable. Ante cualquier evento, que por motivo de emergencia o de fuerza mayor, impida temporalmente los suministros mencionados.

2.10. PLAN DE PREVENCIÓN DE RIESGOS

La Sociedad Concesionaria deberá presentar al Inspector Fiscal para su aprobación, un Plan de Prevención de Riesgos para la Etapa de Construcción y para la Etapa de Explotación, respectivamente, en el que se indiquen las medidas que se impondrán para prevenir el riesgo de ocurrencia de algún impacto no deseado a los usuarios, al medio ambiente y a la obra. Los Planes de Prevención de Riesgos deberán observar posibles riesgos naturales, tecnológicos y laborales.

2.10.2 Plan de Prevención de Riesgos durante la Explotación de la Obra

Los principales riesgos que se identifican en la etapa de explotación y que deberán ser considerados en la elaboración de este plan, son:

- Riesgos de accidentes en el área de concesión del aeropuerto.
- Riesgos de incendios.
- Riesgos de eventos naturales.

Los estándares de seguridad mínimos que deben orientar la elaboración de este Plan son:

- Proteger en primer lugar a las personas y en segundo lugar el medio ambiente, y poseer la capacidad de mantener a la gente segura de riesgos actuales o potenciales.
- Proteger cada uno de los elementos ambientales identificados en el desarrollo del Plan.
- Disponer de personal, equipos, herramientas y materiales requeridos en el sitio afectado por una emergencia.
- Establecer y mantener una estrecha comunicación y coordinación, a través de la Inspección Fiscal, con la DGAC, bomberos, carabineros y otros servicios públicos, de manera de obtener recursos y un conocimiento actualizado de las responsabilidades de cada organización en caso de que tuvieran que responder ante una emergencia y coordinar asistencia mutua en la respuesta a dicha emergencia.

Con la información anterior, el “riesgo aceptable” del comportamiento del Aeropuerto de Chacalluta frente a sismos y tsunamis se debe definir tomando en cuenta, al menos los objetivos de desempeño establecidos en la normatividad que se detallan a continuación:

Objetivos de Desempeño	Indicadores	Unidades para estimar el desempeño de un sistema
Proteger la seguridad del personal y usuarios (Protección de la vida).	<i>Valor numérico a ser definidos por Grupo 1</i>	Accidentes (muertes, lesiones)
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema (Continuidad de operaciones).	<i>Valor numérico a ser definidos por Grupo 1</i>	Alteraciones en servicios (Toneladas métricas/hora/jornada/gancho; barriles/hora) Tiempo de interrupción (horas/días)
Prevenir el daño al medioambiente	<i>Valor numérico a ser definidos por Grupo 1</i>	
Evitar daños directos y pérdidas económicas.	<i>Valor numérico a ser definidos por Empresa concesionaria</i>	Pérdidas de Capital y/o Costos adicionales (\$) Pérdidas de Rentabilidad (\$)

Paso 2 – Caracterización básica de amenazas e infraestructura expuesta

Anteriormente, se han identificado las amenazas frente a sismos y tsunami a las cuales está expuesto el

Aeropuerto de Chacalluta de Arica, por lo cual es necesario caracterizar tanto las amenazas como la infraestructura aeroportuaria y así definir el alcance y profundidad del análisis de riesgo sísmico y/o tsunamis que se llevará a cabo para la infraestructura y equipamiento aeroportuario que sea seleccionado y priorizado para el estudio.

Las actividades de caracterización básica de las amenazas seleccionadas (sismos y tsunamis) y de la infraestructura y equipamiento del aeropuerto de Chacalluta de Arica, Chile, puede llevarse a cabo por profesionales y técnicos pertenecientes a las instituciones que forman parte del Grupo 1 mencionado anteriormente, haciendo uso de información existente y disponible, así como estos encargan estas labores a expertos o empresas consultoras.

Caracterización básica de amenaza sísmica y tsunami

Para la caracterización básica de la amenaza sísmica y tsunamis será necesaria la participación de las instituciones que se detallan a continuación, a fin de conocer información disponible sobre dichas amenazas en la zona de influencia del aeropuerto de Chacalluta, Arica:

Tabla 18. Roles y actividades institucionales para la Identificación y caracterización de amenazas

Instituciones	Paso 2 - Identificación y caracterización de amenazas Roles y actividades
<p>Grupo 1: Ministerio de Obras Públicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - SEREMI MOP Tarapacá - Dirección de Aeropuertos <p>DGAC Aeropuerto Chacalluta (AZVI Chile - Cointer Concesiones)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Invitar y asegurar involucramiento y colaboración de las entidades del Grupo 2 y Grupo 3 para la caracterización de la amenaza sísmica y tsunamis en zona de influencia de aeropuerto de Chacalluta, Arica-Chile. - Valorar la utilidad de la caracterización de la amenaza a sismos y tsunamis que sea elaborada o proporcionada por las instituciones del Grupo 3. - En base a la información proporcionada por el grupo 3, identificar zonas y/o componentes expuestos del aeropuerto.
<p>Grupo 2: Gobierno Regional de Arica y Tarapacá Municipalidad de Arica</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Proporcionar al Grupo 1, información histórica sobre eventos sísmicos y tsunamis que hayan afectado la zona de influencia del aeropuerto de Chacalluta, Arica-Chile. - Compartir información existente (mapas, documentos, microzonificación, etc.) relacionados a la amenaza sísmica y frente a tsunamis en el área de influencia del aeropuerto de Chacalluta, Arica-Chile. - Validar la información y mapas de amenazas que sean elaborados por Grupo 3, en base a experiencias pasadas.
<p>Grupo 3: Centro Sismológico Nacional – U. de Chile⁴⁶ Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)⁴⁷ Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA)⁴⁸ FONDEF MAS ANDES (D10I1027)⁴⁹</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Proveer información histórica sobre frecuencia, magnitud e intensidad de sismos y tsunamis zona de influencia del aeropuerto de Chacalluta, Arica-Chile. - Identificar las fuentes sismogénicas en la zona de influencia del aeropuerto de Chacalluta, Arica-Chile (Subducción plaza nasca-Sudamericana, Fallas) - Caracterizar la amenaza sísmica, para cada una de las fuentes sismogénicas, según los parámetros que solicite el Grupo 1. (Elaboración de mapas y/o estudios de microzonificación). - Caracterizar la amenaza a tsunamis según los parámetros

⁴⁶ <http://www.sismologia.cl/>

⁴⁷ <http://www.sernageomin.cl/>

⁴⁸ <http://www.shoa.cl/index.htm>

⁴⁹ <http://web.ing.puc.cl/fondefD10I1027/index.html>

Instituciones	Paso 2 - Identificación y caracterización de amenazas Roles y actividades
	que solicite el Grupo 1 (Cartas de inundación, altura de olas, etc). - Caracterizar le geología y geomorfología de la zona de influencia del aeropuerto de Chacalluta, Arica-Chile.
Grupo 4: Empresas consultoras, expertos, etc.	- Asistir a Grupo 1 en lo que sea requerido para llevar a cabo caracterización básica de amenazas.

Sistema de Falla

El proyecto FONDEF MAS ANDES “Desarrollo de plataforma de amenaza sísmicas para el norte de Chile y propuesta de actualización de normas de diseño sismo-resistente: Análisis de los efectos del terremoto del Maule 2010 y caracterización de terremotos tipo en el segmento Taltal-Arica”⁵⁰, ha identificado y caracterizado las fallas del norte de Chile que se presenta en la Figura 7, la cual presentan las fallas del norte de Chile entre 18º y 22º latitud sur, las cuales podrían inducir movimientos sísmicos en la zona de influencia del Aeropuerto de Chacalluta, Arica-Chile.

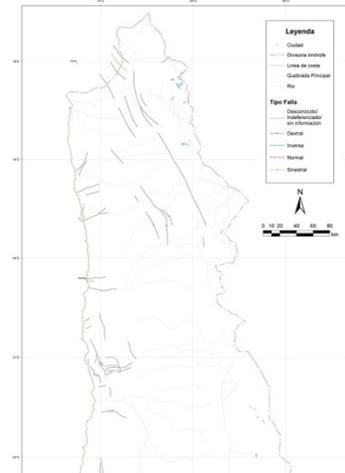


Figura 7. Fallas geológicas norte de Chile

Sismicidad interplaca en zona de interés

El proyecto FONDEF MAS ANDES, también ha sistematizado la actividad sísmica de la región con registros desde el año 1973 hasta la fecha, clasificándolos según su profundidad y magnitud, y de cuyo estudio FONDEF MAS ANDES concluye que se evidencian “dominios sísmicos, ordenados de oeste a este, donde se aprecia:

- En el borde oeste se localiza preferencialmente (círculos rojos), la sismicidad producida por los terremotos interplaca, con hipocentros bajo el mar y la Cordillera de la Costa.
- Inmediatamente al este del dominio anterior, se observa la zona de ocurrencia de los terremotos intraplaca oceánica de profundidad intermedia, sus hipocentros se ubican bajo la Depresión Central o Cordillera Occidental. A partir de la distribución espacial de este tipo de sismos, es notable la casi perfecta coincidencia entre la región de más densa sismicidad de profundidad intermedia, y la zona de ruptura del sismo de 1877.
- En el este, se observa una importante presencia de terremotos profundos con hipocentros bajo el altiplano, los cuales también coinciden espacialmente con la brecha sísmica, aunque esta correlación está menos definida.
- Los terremotos superficiales en el sector este del mapa (círculos rojos) pueden ser interpretados como sismos corticales someros, asociados a la faja plegada y corrida de las Sierras Sub-andinas de Bolivia y Norte de Argentina. Estos sismos representarían la actividad del frente tectónico activo de los Andes.

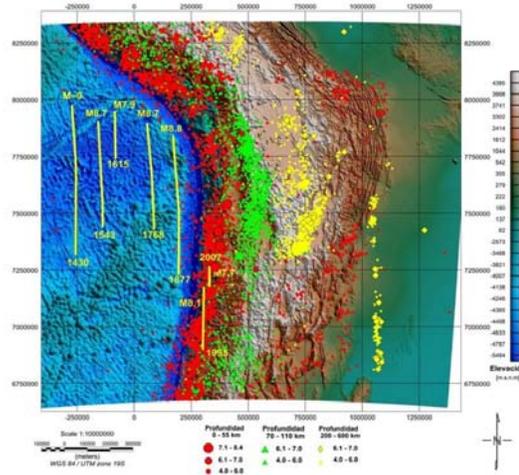


Figura 8. Sismicidad historia y paleo/sismológica del norte de Chile (1973-2014)

⁵⁰ Mas información disponible [aquí](#)

Tsunamis

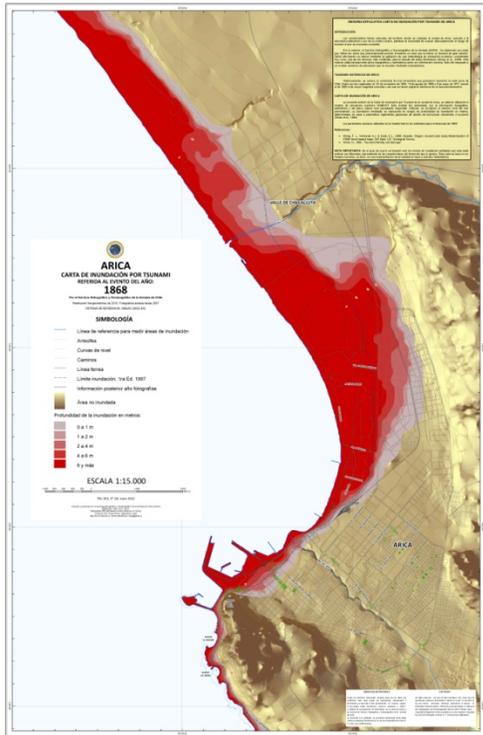


Figura 9. Carta inundación Arica por tsunami

La carta de inundaciones de la XXX ha sido elaborada por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA), mediante la aplicación de metodología de simulación numérica, la cual utiliza información topográfica, barimétrica y sísmica.

Históricamente, se conoce la ocurrencia de tres terremotos que generaron tsunamis en esta zona de Chile (24-Nov-1604; 13-Ago-1868 y 9-May-1877), donde el sismo de 1868 fue el de mayor magnitud y del que se tiene registros históricos de tsunami destructivo.

La carta actual de inundaciones fue elaborada en base a los eventos de 1868, la cual muestra el área de inundación máxima alcanzando los 25 mts sobre el nivel medio del mar.

En base a la información anterior, se puede concluir lo siguiente:

- El Aeropuerto Chacalluta de Arica, Chile en la zona de mayor peligro sísmico de Chile.
- El Aeropuerto Chacalluta de Arica, Chile está expuesto a los efectos de la falla de Norte de Chile.

Considerando que el Aeropuerto Chacalluta de Arica, Chile se ubica en la cota 45 metros sobre el nivel del mar, el mismo estaría fuera de la zona de inundación por tsunami.

Caracterización básica de la infraestructura y equipamiento del Aeropuerto Chacalluta de Arica-Chile

Para la caracterización básica de la infraestructura del Aeropuerto Chacalluta de Arica, Chile, serán fundamental la participación de las instituciones del Grupo 1 que se detallan a continuación y en especial de quien opera el Aeropuerto de Chacalluta (AZVI Chile - Cointer Concesiones). A continuación se detallan los roles y responsabilidades de las principales instituciones involucradas en la caracterización y estudio de la infraestructura expuesta.

Tabla 19. Roles y actividades institucionales para la caracterización y estudio de la infraestructura expuesta

Instituciones	Estudio de vulnerabilidad Roles y actividades
<p>Grupo 1: Ministerio de Obras Públicas - SEREMI MOP Tarapacá - Dirección de Aeropuertos DGAC Aeropuerto Chacalluta (AZVI Chile - Cointer Concesiones)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar e individualizar la infraestructura, componentes y equipos que componen el Aeropuerto Chacalluta de Arica. - Priorizar la infraestructura, componentes y equipos que componen el Aeropuerto Chacalluta de Arica que serán sometidos a estudio. - Caracterizar físicamente la infraestructura, componentes y equipos del Aeropuerto Chacalluta de Arica (ubicación, material, dimensiones, antigüedad, etc.) - Caracterizar funcionalmente la infraestructura, componentes y equipos del Aeropuerto Chacalluta de Arica (función que desempeña, vinculo con otros

Instituciones	Estudio de vulnerabilidad Roles y actividades
	componentes, etc) - Definir la normatividad y criterios de diseño que deben cumplir la diferente infraestructura, componentes y equipos del Aeropuerto Chacalluta de Arica. - Definir la normatividad y criterios de funcionamiento que deben cumplir la diferente infraestructura, componentes y equipos del Aeropuerto Chacalluta de Arica, tanto en casos de normalidad como de emergencia. - Definir el alcance del estudio de riesgo, mediante la elaboración de los términos de referencia para el desarrollo de los mismos. - Encomendar el estudio de riesgo sobre la infraestructura y equipos del Aeropuerto Chacalluta de Arica. - Validar los resultados de los estudios. - Toma de decisiones sobre el uso de los resultados del estudio para la gestión de riesgo del Aeropuerto Chacalluta de Arica frente a sismos.

El Aeropuerto Internacional Chacalluta, está a 18,5 Km. al noreste de la ciudad de Arica en la Ruta Panamericana, el cual cuenta con la siguiente infraestructura⁵¹:

- Edificio Terminal de Pasajeros (4.125 m2)
- Plaza cubierta (1.088 m2)
- Equipamiento electromecánico
- Equipamiento aeroportuario
- Pista de aterrizaje (2170 ml x 45 mt)



⁵¹ <http://www.chacalluta.cl/acerca-del-aeropuerto/>

Priorización de infraestructura y equipos del Aeropuerto de Chacalluta a ser considerados en el análisis de riesgo

Si se toma la decisión de realizar el análisis de riesgo sólo a parte de la infraestructura expuesta, se debe realizar una priorización que se base a la selección de aquella infraestructura, equipos y/o servicios que resulten críticos y fundamentales para asegurar los objetivos de desempeño definidos en el paso 1.

Para el caso del Aeropuerto Chacalluta de Arica, se definieron los objetivos e indicadores de desempeño en base al marco legal existente en Chile (Ver Paso 1 - Definir los objetivos e indicadores de desempeño - “Riesgo aceptable”), cuyos objetivos de desempeño son los siguientes:

- ✓ Proteger la seguridad del personal y usuarios.
- ✓ Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema.
- ✓ Prevenir daño al medioambiente.
- ✓ Evitar daños directos y pérdidas económicas.



Imagen 5. Vista general del aeropuerto Chacalluta- Arica

Consecuente con el objetivo de desempeño que dice relación con “Proteger la seguridad del personal y usuarios”, se deberá priorizar para el análisis de riesgo frente a sismos aquella infraestructura que se vincule directamente con la integridad física del personal y usuarios. Donde en el caso de aeropuertos la aglomeración de personas se da principalmente en la terminal del aeropuerto, zonas de circulación y edificios (Taller de mantenimiento; Oficinas de operaciones; Edificio de administración).

Por otra parte, para “Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema” y permitir que el aeropuerto siga prestando de manera parcial o reducida, se requiere que infraestructura como pista de aterrizaje, torre de control, mangas, vías de acceso y el suministro de insumos básicos sigan operativas, por lo cual es esencial incluir los mismos en un estudio de riesgo.

En lo que se relaciona a “Prevenir daño al medioambiente”, se deberá proteger aquellos componentes o infraestructura tales como almacenamiento de combustible u otros similares cuyo daño parcial o total provoque daños en el medioambiente.

Finalmente, para “evitar daños directos y pérdidas económicas” se podrá optar por priorizar para el análisis componentes y equipos de un alto valor de reposición o aquellos que resulten estratégicos para el funcionamiento básico del aeropuerto que permita a la empresa concesionara seguir recibiendo el ingreso relacionado al transporte de pasajeros o carga. La selección de los componentes y equipos a ser priorizados bajo este criterio debería ser consistente con los seguros catastróficos que se incluyen en el contrato de concesión

Tabla 20. Infraestructura y equipos priorizados para análisis de riesgo según objetivos de desempeño - Puerto Ilo, Perú.

Objetivo de Desempeño	Infraestructura y equipo priorizado
Proteger la seguridad del personal y usuarios.	Terminales aérea Plaza cubierta Edificios de oficinas
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema	Pista de aterrizaje Torre de control Mangas
Prevenir daño ambiental	Tanques de almacenamiento de combustibles
Evitar daños directos y pérdidas económicas	Componentes y equipos de un alto valor de reposición Componentes y equipos estratégicos para el funcionamiento básico del aeropuerto (pista y torre de control)

Paso 3 – Definir el nivel de profundidad de análisis de riesgo para infraestructura priorizada

Es necesario definir el nivel de profundidad del análisis de riesgo de cada uno de los componentes que se han priorizado para el análisis de riesgo. A continuación y basado en “criterio de experto” se sugiere el nivel de profundidad con el cual analizar los componentes priorizados.

Tabla 21. Definición de tipo de análisis de riesgo según infraestructura y equipo priorizado

Infraestructura y equipo priorizado	Nivel de profundidad de análisis de riesgo	Justificación
Terminal aérea	Nivel 3	Considerando la norma NCh 2369 “Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales”
Plaza cubierta	Nivel 2	Considerando la norma NCh 2369 “Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales”
Edificios	Nivel 1 para edificios de 1 piso Nivel 2 para edificios de +1 piso	Considerar análisis en edificios: Taller de mantenimiento; Oficinas de operaciones; Edificio de administración (Considerando la norma NCh 2369 “Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales” o NCh 433 “Diseño sísmico de edificaciones, según corresponda al tipo de edificio)
Pista de aterrizaje	Nivel 2	Su función es vital para el funcionamiento del aeropuerto.
Torre de control	Nivel 2	Su función es vital para la actividad del aeropuerto, usar criterios de NCh 433 “Diseño sísmico de edificaciones”
Mangas	Nivel 1	Una evaluación cualitativa en base a características de materiales, conexiones de suministros y aislamiento del edificio terminal.
Tanques de almacenamiento de combustible	Nivel 2	Tanques de acero que de sufrir daño o sus conexiones pudiendo afectar a personal y usuarios, así como impacto ambiental.

En base al alcance y profundidad con la cual se desarrollará el estudio de riesgo en los diferentes componentes que se presentan en la Tabla 21Tabla 10, se deberán elaborar los términos de referencia respectivos, para lo cual se puede guiar utilizando las actividades que se detallan en el Anexo 3.

Paso 4 – Análisis de riesgo e identificación de medidas de reducción de riesgo

El análisis de riesgo es por lo general desarrollado por empresas consultoras, en base a términos de referencia desarrollados en el paso anterior por el mandante e institución interesada en los resultados. Sin importar el nivel de profundidad del estudio de riesgo, entre los resultados se debe considerar la identificación de las medidas de reducción de riesgo (prevención y mitigación) frente al riesgo identificado, para su posterior análisis y toma de decisiones.

Análisis de riesgo de infraestructura y equipos priorizados

A continuación se presentan en detalle las acciones y actividades que deberían ser consideradas el estudio de riesgo (amenazas y vulnerabilidad) de la infraestructura y equipo priorizado del Puerto de Ilo frente a sismos y tsunamis, utilizando como referencia la información que se presenta en el Anexo 3.

Estudio de Amenazas	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Sismos/terremotos			
1.1 Historia sísmica y tsunamis de área de influencia			
1.1 Recopilar la información de sismos (fecha, magnitud, intensidad, etc.) pasados en que hayan afectado la zona de estudio.	♦	♦	♦
1.2 Terremoto – Rupturas de fallas superficiales			
1.2.1 Identificar fallas activas en la zona, mediante la revisión de mapas e informes que se encuentren disponible	♦	♦	♦
1.2.2 Revisar los mapas topográficos para identificar zonas de pendientes, inestables, rellenos, etc.	♦	♦	♦
1.2.3 Revisar fotografías aéreas, si es que se encuentran disponibles para conocer como ha variado la topografía y morfología de la zona de estudio.		♦	♦
1.2.4 Hacer un reconocimiento de terreno (mediante un geólogo calificado), para validar y complementar la información de sitio.		♦	♦
1.2.5 Calcular los desplazamientos de fallas usando métodos empíricos, instrumentales o investigaciones previas.		♦	♦
1.2.6 Caracterizar las fallas activas a través de la excavación de trincheras/calicatas			♦
1.2.7 Determinar la probabilidad y desplazamientos de fallas, través de excavaciones de trincheras en las fallas, muestreos y análisis.			♦
1.3 Terremoto – Licuefacción			
1.3.1 Revisar información disponible sobre licuefacción que se haya presentado anteriormente en el lugar de interés.	♦	♦	♦
1.3.2 Revisar mapas e informes geológicos en la zona de estudio, a fin de identificar condiciones de sitio seguras y vulnerables, frente a ondas sísmicas y potencial de licuefacción.	♦	♦	♦
1.3.3 Revisar datos geotécnicos disponibles por parte de instituciones de Grupo 2 u otras instituciones que cuenten con información de la zona de estudio.	♦	♦	♦
1.3.4 Identificar depósitos de suelo potencialmente licuables mediante el uso de criterio de expertos e información geológica disponible	♦	♦	♦
1.3.5 Realizar reconocimiento de terreno (mediante ingenieros geotécnicos calificados) para validar y complementar información recopilada.		♦	♦
1.3.6 Identificar depósitos de suelo potencialmente licuables mediante análisis de muestras de suelo en base a resultados de actividad 1.3.2		♦	♦
1.3.6 Realizar una evaluación probabilística de riesgo sísmico		♦	♦
1.3.7 Realizar perforaciones de suelo y pruebas de penetración estándar o cónica representativas del lugar			♦
1.3.8 Identificar niveles de napa freática			♦
1.3.9 Determinar amplificación de ondas sísmicas en lugar.			♦
1.3.10 Realizar un análisis detallado usando herramientas analíticas, para determinar la probabilidad de licuefacción y grado de los desplazamientos de propagación lateral.			♦
1.4 Terremoto – Fuertes movimientos de suelo			
1.4.1 Revisar mapas e informes de amenazas sísmicas y/o microzonificación de la zona, si es que se encuentra disponible.	♦	♦	♦
1.4.2 Definir factores de amplificación de movimientos de suelo	♦	♦	♦
1.4.3 Calcular niveles de movimientos de suelo usando criterios y mapas existentes	♦	♦	♦
1.4.4 Calcular niveles de movimientos de suelo usando métodos analíticos o instrumentales			♦
1.4.5 Realizar un análisis probabilístico de riesgo sísmico			♦

Estudio de infraestructura/equipo expuesto	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Infraestructura/componentes			
1.1 Recopilar o generar la información que caracterice la infraestructura o componente en términos de localización, materialidad, geometría y dimensiones, mediante planos, memorias de cálculo, etc.	♦	♦	♦
1.2 Recopilar o generar la información que caracterice la infraestructura o componente en términos al rol que cumple en el funcionamiento del Puerto de Ilo. (Se sugiere considerar a encargados de operación y mantenimiento)	♦	♦	♦
1.3 Obtener información del desempeño y comportamiento de infraestructura y equipamiento similar frente a sismos, a fin de conocer patrones de daños que se podrían dar en el Aeropuerto de Chacalluta.	♦	♦	♦
1.4 Identificar las debilidades/vulnerabilidades de la infraestructura o equipo estimaciones, curvas de vulnerabilidad, metodologías cualitativas o información sobre el impacto de eventos pasados en el tipo de componentes analizado.	♦	♦	♦
1.5 Realizar visitas de terreno para conocer estado de la infraestructura y complementar información recopilada en puntos anteriores.	♦	♦	♦
1.6 Evaluar la independencia (reserva, interconexión, etc.) de la infraestructura o equipo de suministros o servicios básicos tales como electricidad, comunicaciones, agua, etc.	♦	♦	♦
1.5 Identificar las normas, códigos y criterios de diseño nacionales (o internacionales si no existen en el país) utilizados en el diseño, construcción y operación de la infraestructura o equipo de interés.		♦	♦
1.7 Realizar visitas de terreno para validar la información que caracterice la infraestructura o componente en análisis.		♦	♦
1.10 Realizar visitas y entrevistas en terreno para evaluar amenazas colaterales de fuentes externas, estructuras y equipamientos cercanos.		♦	♦
1.12 Evaluar la vulnerabilidad del almacenamiento o sistemas alternos de provisión de suministros y/o servicios básicos usando métodos cuantitativos.		♦	♦
1.13 Evaluar las vulnerabilidades de la infraestructura o componente usando métodos determinístico con información obtenida y metodologías cuantitativas disponibles.		♦	♦
1.8 Realizar visitas de terreno para complementar con información faltante o adicional que permita caracterizar la infraestructura o equipo en análisis (elaboración de planos, ubicación y condiciones de sitio, etc.).			♦
1.9 Realizar toma de muestras para estudiar y/o validar las características y resistencia de materiales.			♦
1.14 Evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura o equipos usando moldeamientos matemáticos que permitan definir el comportamiento de la infraestructura o componente.			♦
Edificaciones importantes (Además de las actividades anteriores incluir las siguientes)			
2.1 Identificar las funciones que se desempeñan al interior del edificio	♦	♦	♦
2.2 Identificar los componentes o equipos importantes dentro de los edificios.	♦	♦	♦
2.3 Analizar la vulnerabilidad de los componentes o equipos importantes, haciendo uso de metodologías cualitativas o criterio de experto/s.		♦	♦
2.4 Analizar la vulnerabilidad de los componentes o equipos importantes, haciendo uso de metodologías cuantitativas, moldeamiento o estudios empíricos.			♦

Análisis de desempeño del sistema

La infraestructura y equipos del Aeropuerto Chacalluta de Arica, Chile que han sido priorizados y sujetos a análisis cumplen funciones complementarias que permiten la continua y debida prestación de servicios aeroportuarios, por lo cual la falla o deterioro de alguno de ellos debido a la ocurrencia de un sismo comprometería el adecuado funcionamiento de todo el Aeropuerto.

A continuación se presentan algunos aspectos que deben ser considerados en el análisis de desempeño del sistema

- ✓ Analizar los planos, sistemas de gestión, informes del Aeropuerto de Chacalluta de Arica, para entender el funcionamiento, la complementariedad e importancia relativa de cada infraestructura y equipos del aeropuerto.
- ✓ Revisar el funcionamiento del aeropuerto durante situaciones normales, accidentes laborales o industriales, emergencias y desastres pasados, para identificar componentes esenciales, capacidad operativa, redundancias y aspectos críticos.
- ✓ Definir un modelo de sistema de operaciones críticas, que permita que el servicio que presta el sistema se dé considerando el “riesgo aceptable” definido en los objetivos e indicadores de desempeño (Paso 1 de la metodología)
- ✓ Estimar el desempeño del sistema usando criterio experto, definiendo escenarios (mínimo 3) o análisis probabilístico.

Sin importar el nivel de profundidad del análisis de riesgo que se haga, los resultados que se obtengan deberán ser entregados al menos en las unidades establecidas para los objetivos e indicadores de desempeño definidos en el Paso 1

Objetivo de Desempeño	Infraestructura y equipo priorizado
Proteger la seguridad del personal y usuarios.	Terminales aérea Plaza cubierta Edificios de oficinas
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema	Pista de aterrizaje Torre de control Mangas
Prevenir daño ambiental	Tanques de almacenamiento de combustibles
Evitar daños directos y pérdidas económicas	Componentes y equipos de un alto valor de reposición Componentes y equipos estratégicos para el funcionamiento básico del aeropuerto (pista y torre de control)

Objetivo de Desempeño	Infraestructura y equipo priorizado	Resultados obtenidos en análisis
Proteger la seguridad del personal y usuarios.	Terminales aérea	<i>Información a ser provista como resultado del análisis</i>
	Plaza cubierta	<i>Ídem</i>
	Edificios de oficinas	<i>Ídem</i>
Mantener la confiabilidad de la infraestructura o sistema	Pista de aterrizaje	<i>Ídem</i>
	Torre de control	<i>Ídem</i>
	Mangas	<i>Ídem</i>
Prevenir daño ambiental	Tanques de almacenamiento de combustibles	<i>Ídem</i>
Evitar daños directos y pérdidas económicas	Componentes y equipos de un alto valor de reposición Componentes y equipos estratégicos para el funcionamiento básico del aeropuerto (pista y torre de control)	<i>Ídem</i>

Identificación de medidas de reducción de riesgo

Para identificar acciones de reducción de riesgo que eviten o limiten los daños en la infraestructura y equipos del Aeropuerto Chacalluta de Arica, el análisis de riesgo debe proveer la información sobre la vulnerabilidad de sus componentes y en base a ellas proponer acciones de prevención o mitigación acordadas

a la infraestructura o equipo en riesgo.

Para los fines de este documento, y por no contarse con los resultados empíricos del estudio de riesgo del Aeropuerto Chacalluta de Arica, a continuación se presentan algunas medidas de reducción de riesgo en la infraestructura y equipo priorizado del aeropuerto, en base al conocimiento desarrollado para abordar los “patrones de daños” que se dan en aeropuertos causa de sismos.

Anexo 1 – Cálculo de Índice de Nivel

Índice de nivel

Realizar una selección arbitraria o subjetiva del nivel de profundidad del análisis de riesgo de un determinado sistema o infraestructura, podría significar asignar recursos (humanos, tecnológicos y financieros) insuficientes o bien excesivos para cuantificar el riesgo.

A fin de evitar la selección subjetiva del nivel de profundidad de análisis de riesgo sobre un determinado sistema o infraestructura, la metodología plantea el uso del Índice de Nivel (I_N), el cual permite contar con un proceso objetivo y sistemático para determinar el nivel con el cual realizar el análisis de riesgo. Para el cálculo del índice de Nivel (I_N) se considera:

- La magnitud de la amenaza.
- Vulnerabilidad de la infraestructura o componentes expuestos.
- Consecuencias de los daños (seguridad para la vida, pérdidas económicas, alteración del servicio, impactos ambientales y otros).
- Grado de redundancia del sistema, infraestructura o componente analizado.
- Tamaño del sistema, infraestructura o componente.

El Índice de Nivel (I_N) se define como el producto del Peligro (P), Vulnerabilidad (V) y las Consecuencias de los daños (C)

$$I_N = P \times V \times \max(C_{SV}, C_{PF}, C_{AS}, C_{IA})$$

Donde

- I_N : Índice de Nivel
- P: Magnitud de amenaza (Bajo=1; Medio=2 y Alto=3) que se define en el Paso 2⁵².
- V: Vulnerabilidad (Bajo=1; Medio=2 y Alto=3) definido en el Paso 3⁵³.
- C: Consecuencias de los daños (El valor mayor entre C_{SV} , C_{PF} , C_{IS} y C_{IA})
- C_{SV} : Consecuencias para la seguridad y la vida (Valor varía entre 1 y 3)
- C_{PF} : Pérdidas financieras (Valor varía entre 0.5 a 6)
- C_{AS} : Alteración del servicio (Valor varía entre 0.5 a 6)
- C_{IA} : Impacto ambiental (Valor varía entre 1 y 3)

Magnitud de la Amenaza (P)

Para definir la magnitud de la amenaza a la cual se encuentra expuesto el sistema o infraestructura, se debe hacer uso de información disponible a nivel nacional, la cual generalmente es elaborada o está disponible en las instituciones técnico científicas de los países, encargadas del monitoreo y vigilancia. Entre este tipo de instituciones se pueden destacar los sismológicos, volcánicos e hidrometeorología entre otros.

La metodología requiere el caracterizar la amenaza según su peligrosidad en 3 niveles (Bajo=1; Medio=2 y Alto=3) según las unidades, parámetros y valores que se adopte utilizar, de manera debidamente justificada. Dichos valores y rangos pueden variar entre países, y existirán ocasiones donde el peligro esté clasificado en más de 3 niveles. En estas últimas ocasiones, deberá primar el criterio de experto para reducir a 3 niveles la escala existente.

Para estructuras puntuales (Puerto, Aeropuerto, Pasos de Frontera, etc.) la magnitud de la amenaza (P) tendrá un valor único, a menos que exista disponible una microzonificación que indique lo contrario. Para el

⁵² Paso 2: Identificación y caracterización de amenazas presentes en áreas de influencia

⁵³ Paso 3: Identificación y caracterización de infraestructura expuesta

caso de infraestructura lineal (Autopistas, gas/oleoducto, telecomunicación) la peligrosidad (P) podrá tener más de un valor representativo.

Vulnerabilidad (V)

En esta parte de la metodología, la vulnerabilidad se estima en base al patrón o historia de daños del tipo de infraestructura o componente en análisis.

Al igual que en caso anterior, la vulnerabilidad se clasifica en 3 niveles (Bajo=1; Medio=2 y Alto=3), y en la Metodología de Gestión de Riesgo de Desastres en la Infraestructura de COSIPLAN/IIRSA, se presentan algunos patrones de daños para componentes frente amenazas específicas. Si se desconoce el patrón de daños de una determinada infraestructura, deberá primar el criterio de experto para asignar la vulnerabilidad.

Consecuencias (C)

A mayores puedan ser las consecuencias del impacto de una amenaza en un sistema o infraestructura, más interesado se estará en conocer con exactitud y de ser posible de manera cuantitativa el nivel riesgo a la cual realmente se encuentra expuesta la misma.

Los tipos de consecuencias consideradas para definir el nivel de profundidad del análisis, consideran la Seguridad y la vida (C_{SV}), Impacto ambiental (C_{IA}), Alteraciones en el servicio (C_{AS}) y Pérdidas financieras (C_{PF}), los cuales corresponden a los mismos ámbitos considerados en los objetivos de desempeño del paso 1.⁵⁴

En la siguiente tabla se indica como cuantificar las variables anteriores, para la valoración de Pérdidas financieras (C_{PF}) e Interrupción del servicio (C_{IS}) se utiliza el Factor de Redundancia (F_R) que se detalla mas adelante.

Calificación de Consecuencias en el Desempeño de Sistemas o Infraestructura

Consecuencia	Gravedad de las Consecuencias		
	Baja	Media	Alta
Seguridad y la vida C_{SV}	Impacto mínimo en la seguridad del personal y comunidad. Ningún impacto significativo en el personal de la empresa o público en general dentro del área inmediata de la instalación. $C_{SV} = 1$	Daños o alteraciones que pueden provocar lesiones al personal de la empresa o público en general dentro del área inmediata de la instalación $C_{SV} = 2$	Daños o alteraciones que provocarán un impacto significativo en la seguridad, integridad física y vida del personal de la empresa o público en general dentro del área inmediata de la instalación. $C_{SV} = 3$
Pérdidas financieras C_{PF}	Poco o nulo impacto en los recursos financieros del sistema. $C_{PF} = F_R$	Daños o alteraciones que pueden generar pérdidas financieras importantes. Sin embargo, tendrán poco o nulo impacto en la integridad financiera del sistema. $C_{PF} = 2 F_R$	Daños o alteraciones que tendrán un impacto significativo en la integridad financiera del sistema o en los clientes y usuarios claves. $C_{PF} = 3 F_R$
Alteraciones en el servicio C_{AS}	Poco o nulo impacto en los usuarios o clientes.	Alteración en los servicios que tendrá impacto en una pequeña parte de los usuarios y clientes (menos de 10%), lo	Alteraciones en los servicios que 1) tendrán un impacto en una parte importante de los usuarios y clientes (más de

⁵⁴ Paso 1: Definición de objetivos e indicadores de desempeño

Consecuencia	Gravedad de las Consecuencias		
	Baja	Media	Alta
	$C_{AS} = F_R$	cual es menos de un día y no afectará a usuarios importantes. $C_{AS} = 2 F_R$	10%), 2) afectarán potencialmente a más de 100.000 personas, 3) generarán interrupciones por más de un día o, 4) afectarán la operación de una instalación importante. $C_{AS} = 3 F_R$
Impacto ambiental C_{IA}	Poco o nulo impacto ambiental $C_{IA} = 1$	Falla o alteraciones que pueden generar daños ambientales limitados (o específicos) $C_{IA} = 2$	Falla o alteraciones que pueden generar importantes daños ambientales (es decir, tardará meses o años repararlos). $C_{IA} = 3$

F_R corresponde al Factor de Redundancia del sistema o componente.

Sistema muy redundantes	$F_R = 0,5$ (por ejemplo, falla de componentes que no disminuyen el desempeño del sistema)
Sistema redundante	$F_R = 1$ (por ejemplo, falla de componentes que disminuyen el desempeño del sistema)
Sistema sin redundancia	$F_R = 2$ (la función cumplida por un componente no puede ser cumplida en forma alternativa).

Interpretación del Índice de Nivel (I_N)

Finalmente, el valor del Índice de Nivel (I_N) que se obtenga para el sistema, infraestructura o componente bajo análisis debe ser comparado con los límites que se proponen para definir el nivel y por ende la profundidad del análisis de riesgo.

De acuerdo a la construcción del I_N , el mismo puede tener valores entre 0.5 y 35. El nivel de profundidad del análisis de riesgo a realizar se determina utilizando los rangos que se presentan en la siguiente tabla:

Índice de Nivel (I_N)	Nivel de Análisis de riesgo inicial
$I_N \leq 6$	No realizar análisis de riesgo
$7 \leq I_N < 17$	Análisis de riesgo Nivel 1
$17 \leq I_N < 35$	Análisis de riesgo Nivel 2
$I_N \geq 35$	Análisis de riesgo Nivel 3

En nivel de análisis de riesgo inicial que se recomienda utilizando el I_N , es una orientación para el inicio del análisis, estos niveles se pueden mover hacia más sencillos o sofisticados dependiendo del tipo y confiabilidad de la información utilizada.

Anexo 2 – Consideraciones según nivel de profundidad de estudios de riesgo

Nivel de Profundidad de análisis de riesgo	Duración del estudio	Aplicación	Tipos de sistemas a ser analizados	Requerimientos
Nivel 1 – Cualitativo	Semanas	<ul style="list-style-type: none"> - Elaborar Planes de Emergencia y/o contingencia. - Identificar infraestructura expuesta a distintas amenazas. - Verificar seguridad de una infraestructura. - Enfoque de análisis multiamenaza 	<ul style="list-style-type: none"> - Infraestructura individual. - Grupo de infraestructura. 	<ul style="list-style-type: none"> - Información secundaria. - Profesionales y expertos.
Nivel 2 – Determinístico	2-4 meses	<ul style="list-style-type: none"> - Conocer el desempeño de una infraestructura frente a evento de características específicas. - Identificar infraestructura y componentes vulnerables. - Diseñar medidas de prevención y mitigación. - Enfoque a una amenaza específica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Infraestructura individual. 	<ul style="list-style-type: none"> - Información detallada de caracterización de evento a ser considerado para el análisis. - Información secundaria detallada sobre infraestructura expuesta. - Validación de información secundaria. - Elaboración de información. - Expertos en infraestructura y caracterización de amenazas. - Metodologías y sistemas de modelamiento para análisis de riesgo determinístico.
Nivel 3 – Probabilístico	4-12 meses	<ul style="list-style-type: none"> - Conocer el desempeño de un sistema o grupo de infraestructura en base a caracterización probabilística de amenazas. - Priorizar infraestructura vulnerable. - Diseñar medidas de prevención y mitigación. - Diseñar estrategia de protección financiera. - Enfoque de análisis multiamenaza. 	<ul style="list-style-type: none"> - Infraestructura individual. - Portafolio o grupo de infraestructura. - Sistemas e infraestructura ubicada en territorio común. 	<ul style="list-style-type: none"> - Información de amenazas según eventos reportados por periodo superior a 30 años. - Información detallada sobre sistemas e infraestructura expuesta. - Elaboración de información. - Expertos en infraestructura y caracterización de amenazas. - Metodologías y sistemas de modelamiento para análisis de riesgo probabilístico.

Anexo 3 – Actividades y alcance de estudios de riesgo según nivel de profundidad

Análisis de amenaza

A continuación se detallan algunas actividades mínimas a ser considerados en el estudio de las diferentes amenazas según profundidad del estudio de riesgo.

Estudio de Amenazas	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Sismos/terremotos			
1.1 Terremoto – Rupturas de fallas superficiales			
1.1.1 Revisar mapas de fallas activas en la zona, si es que se encuentra disponible	♦	♦	♦
1.1.2 Revisar los mapas topográficos	♦	♦	♦
1.1.3 Revisar fotografías aéreas, si es que se encuentran disponibles		♦	♦
1.1.4 Hacer un reconocimiento de terreno (mediante un geólogo calificado)		♦	♦
1.1.5 Caracterizar las fallas activas a través de la excavación de trincheras/calicatas			♦
1.1.6 Calcular los desplazamientos de fallas usando métodos empíricos y/o instrumentales		♦	♦
1.1.7 Determinar la probabilidad y desplazamientos de fallas, través de excavaciones de trincheras en las fallas, muestreos y análisis.			♦
1.2 Terremoto – Licuefacción			
1.2.1 Revisar información disponible sobre sismicidad del lugar de interés, incluyendo la información que entregue la comunidad.	♦	♦	♦
1.2.2 Realizar una evaluación probabilística de riesgo sísmico		♦	♦
1.2.3 Revisar los mapas topográficos	♦	♦	♦
1.2.4 Revisar mapas de geología	♦	♦	♦
1.2.5 Revisar datos geotécnicos disponibles	♦	♦	♦
1.2.6 Realizar algunas perforaciones y pruebas de penetración estándar o cónica		♦	
1.2.7 Realizar varias perforaciones de suelo y pruebas de penetración estándar o cónica representativas del lugar			♦
1.2.8 Realizar reconocimiento de terreno (mediante ingenieros geotécnicos calificados)		♦	♦
1.2.9 Identificar depósitos de suelo potencialmente licuables mediante el uso de criterio de expertos	♦	♦	♦
1.2.10 Identificar depósitos de suelo potencialmente licuables mediante análisis de muestras de suelo		♦	♦
1.2.11 Identificar niveles de napa freática			♦
1.2.12 Calcular desplazamientos de propagación lateral usando métodos empíricos/instrumentales		♦	♦
1.2.13 Determinar amplificación de ondas sísmicas en lugar.			♦
1.2.14 Calcular el potencial de licuefacción usando mapas de susceptibilidad de licuefacción		♦	♦
1.2.15 Realizar un análisis detallado usando herramientas analíticas, para determinar la probabilidad de licuefacción y grado de los desplazamientos de propagación lateral.			♦
1.3 Terremoto – Fuertes movimientos de suelo			
1.3.1 Revisar literatura sobre sismicidad histórica del lugar, incluyendo la información que entregue la comunidad	♦	♦	♦
1.3.2 Revisar mapas de amenazas sísmicas y/o microzonificación de la zona, si es que se encuentra disponible	♦	♦	♦
1.3.3 Revisar mapas de geología de la superficie	♦	♦	♦

Estudio de Amenazas	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
1.3.4 Definir factores de amplificación de movimientos de suelo		♦	♦
1.3.5 Calcular niveles de movimientos de suelo usando criterios y mapas existentes	♦	♦	♦
1.3.6 Calcular niveles de movimientos de suelo usando métodos analíticos o instrumentales			♦
1.3.7 Realizar un análisis probabilístico de riesgo sísmico			♦
1.4 Terremoto – Derrumbes			
1.4.1 Revisar mapas de geología de la superficie	♦	♦	♦
1.4.2 Revisar mapas topográficos	♦	♦	♦
1.4.3 Revisar fotografías aéreas, si es que se encuentran disponibles		♦	♦
1.4.4 Revisar mapas pluviales por zona	♦	♦	♦
1.4.5 Realizar un reconocimiento de terreno (mediante geólogos calificados) , incluyendo información que entregue la comunidad		♦	♦
1.4.6 Revisar mapas de riesgo sísmico de la zona de interés	♦	♦	♦
1.4.7 Evaluar el potencial de derrumbe usando criterio experto	♦	♦	♦
1.4.8 Evaluar el potencial de derrumbe usando mapas de estabilidad de pendientes		♦	♦
1.4.9 Evaluar el potencial de derrumbe usando análisis empírico o estadístico		♦	♦
1.4.10 Evaluar el potencial de derrumbe usando métodos analíticos			♦
1.5 Terremoto – Tsunamis			
1.5.1 Revisar mapas/cartas de inundación por tsunami	♦	♦	♦
1.5.2 Revisar mapas topográficos de las zonas costeras		♦	♦
1.5.3 Revisar mapas batimétricos de zonas costeras		♦	♦
1.5.4 Revisar registros mareográficos	♦	♦	♦
1.5.5 Calcular potenciales inundaciones por tsunami usando criterio experto	♦	♦	♦
1.5.6 Calcular potenciales inundaciones por tsunami usando evaluación de potenciales fuentes de tsunami		♦	♦
1.5.7 Realizar análisis de probabilístico de riesgo de tsunami			♦
Deslizamientos/Huaycos/Movimientos de tierra			
2.1 Derrumbes (Sin relación con sismos)			
2.1.1 Revisar mapas de geología de la zona	♦	♦	♦
2.1.2 Revisar mapas topográficos	♦	♦	♦
2.1.3 Revisar fotografías aéreas si se encuentran disponibles		♦	♦
2.1.4 Revisar los mapas pluviales	♦	♦	♦
2.1.5 Realizar reconocimiento de terreno (mediante geólogos calificados), incluyendo información que entregue la comunidad		♦	♦
2.1.6 Evaluar el potencial de derrumbe usando criterio experto	♦	♦	♦
2.1.7 Evaluar potencial de derrumbe usando análisis empírico o estadístico		♦	♦
2.1.8 Evaluar el potencial de derrumbe usando métodos analíticos			♦
2.2 Deformación de la superficie			
2.2.1 Revisar mapas de geología de la superficie	♦	♦	♦
2.2.2 Revisar mapas topográficos	♦	♦	♦
2.2.3 Revisar mapas de aguas subterráneas e informes geotécnicos disponibles	♦	♦	♦
2.2.4 Realizar reconocimiento de terreno (mediante profesionales calificados) , incluyendo la información que entregue la comunidad		♦	♦
2.2.5 Evaluar el potencial asentamiento mediante criterio experto	♦	♦	♦
2.2.6 Evaluar el potencial asentamiento usando métodos empíricos		♦	♦
2.2.7 Evaluar el potencial asentamiento usando métodos analíticos avanzados			♦
2.2.8 Determinar el potencial de asentamiento creado por actividad humana (por ejemplo, la extracción de aguas subterráneas)	♦	♦	♦
Vientos fuertes/tornados			
3.1 Revisar mapas de vientos de estar disponibles	♦	♦	♦

Estudio de Amenazas	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
3.2 Revisar información de la historia de los vientos en la zona, incluyendo la información que entregue la comunidad	♦	♦	♦
3.3 Identificar las condiciones locales que pueden aumentar el peligro de vientos fuertes/tornados		♦	♦
3.4 Compilar patrones de tormentas históricas		♦	♦
3.5 Identificar potenciales tormentas de viento usando criterio experto	♦	♦	♦
3.6 Realizar evaluaciones de peligro en terreno		♦	♦
3.7 Calcular los potenciales peligros de viento usando criterio experto	♦	♦	♦
3.8 Realizar una evaluación probabilística de peligro de viento de sistema		♦	♦
Heladas/Nieves			
4.1 Revisar mapas disponibles	♦	♦	♦
4.2 Revisar información sobre la historia de heladas/nieve en el área, incluyendo la información que entregue la comunidad	♦	♦	♦
4.3 Identificar las condiciones locales que puedan aumentar el peligro de nieve/heladas		♦	♦
4.4 Calcular el potencial peligro de nieve/heladas usando criterio experto	♦	♦	♦
4.5 Realizar una evaluación probabilística de peligro de nieve/heladas			♦
Inundación			
5.1 Revisar los mapas de inundaciones disponibles	♦	♦	♦
5.3 Recopilar datos de inundaciones locales a partir de instituciones técnica, científicas, autoridades locales y la propia comunidad	♦	♦	♦
5.4 Compilar datos topográficos, de precipitaciones y caudales de cuerpos superficiales de agua (ríos, quebradas, canales, etc.)		♦	♦
5.5 Identificar potenciales peligros de inundación debido a presas, caminos locales, etc.	♦	♦	♦
5.6 Evaluar el peligro de inundación usando criterio experto	♦	♦	♦
5.7 Realizar una evaluación probabilística de peligro de inundaciones		♦	♦
Volcanes			
6.1 Revisar los mapas de peligro volcánico que estén disponibles	♦	♦	♦
6.2 Recopilar datos históricos de erupciones y efectos locales (flujo lava, piroclastos, cenizas, etc.) a partir de instituciones técnica, científicas, autoridades locales y la propia comunidad	♦	♦	♦
6.3 Recopilar datos topográficos		♦	♦
6.4 Evaluar el potencial peligro volcánico usando criterio experto	♦	♦	♦
6.5 Realizar una evaluación probabilística de peligro volcánico		♦	♦

Análisis de vulnerabilidad

A continuación se detallan algunas actividades mínimas a ser considerados en el estudio de vulnerabilidad de los componentes e infraestructura según profundidad del estudio de riesgo.

Estudio de Vulnerabilidad de infraestructura/componentes	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Infraestructura/componentes			
1.1 Recopilar o generar la información que caracterice la infraestructura o componente en términos de localización, materialidad, geometría y dimensiones, mediante planos, memorias de cálculo, etc.	♦	♦	♦
1.2 Recopilar o generar la información que caracterice la infraestructura o componente en términos de su funcionamiento. (Se sugiere considerar a	♦	♦	♦

Estudio de Vulnerabilidad de infraestructura/componentes	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
encargados de operación y mantenimiento)			
1.3 Recopilar o generar la información que caracterice la infraestructura o componente como parte de un sistema.	♦	♦	♦
1.4 Obtener información del desempeño de componentes similares frente a amenazas de interés.	♦	♦	♦
1.5 Identificar las debilidades/vulnerabilidades del componente usando estimaciones, metodologías cualitativas o información sobre el impacto de eventos pasados en el tipo de componentes analizado.	♦	♦	♦
1.6 Identificar las normas, códigos y criterios de diseño utilizados en la planificación y/o construcción de la infraestructura o componente		♦	♦
Realizar visitas de terreno para conocer estado de la infraestructura, recabar información sobre funcionamiento y posibles impactos pasados.	♦	♦	♦
1.7 Realizar visitas de terreno para validar la información que caracterice la infraestructura o componente en análisis.		♦	♦
1.8 Realizar visitas de terreno para complementar con información faltante o adicional que permita caracterizar la infraestructura o componente en análisis.			♦
1.9 Realizar toma de muestras para estudiar las características y resistencia de materiales.			♦
1.10 Realizar visitas y entrevistas en terreno para evaluar amenazas colaterales de fuentes externas, estructuras y equipamientos cercanos.		♦	♦
1.11 Evaluar la independencia (reserva, interconexión, etc.) de la infraestructura o componente de suministros o servicios básicos tales como electricidad, comunicaciones, agua, etc.	♦	♦	♦
1.12 Evaluar la vulnerabilidad del almacenamiento o sistemas alternos de provisión de suministros y/o servicios básicos usando métodos cuantitativos.		♦	♦
1.13 Evaluar las vulnerabilidades de la infraestructura o componente usando métodos indiciales los datos obtenidos y metodologías cuantitativas disponibles.		♦	♦
1.14 Evaluar la vulnerabilidad de la infraestructura o componente usando moldeamientos matemáticos que permitan definir el comportamiento de la infraestructura o componente.			♦
Edificaciones importantes (Además de las actividades anteriores incluir las siguientes)			
2.1 Identificar las funciones que se desempeñan al interior del edificio	♦	♦	♦
2.2 Identificar los componentes o equipos importantes dentro de los edificios.	♦	♦	♦
2.3 Analizar la vulnerabilidad de los componentes o equipos importantes, haciendo uso de metodologías cualitativas o criterio de experto/s.		♦	♦
2.4 Analizar la vulnerabilidad de los componentes o equipos importantes, haciendo uso de metodologías cuantitativas, moldeamiento o estudios empíricos.			♦

