



**La Gestión de Riesgos
de Desastres en COSIPLAN:
Medidas de reducción de
riesgo en infraestructura de
integración de Chile y Perú**



La **Gestión de Riesgos de Desastres** en COSIPLAN: Medidas de reducción de riesgo en infraestructura de integración de Chile y Perú

Este documento complementa la Aplicación Piloto de la Metodología de GRD de Chile y Perú



ÍNDICE

Presentación	4
---------------------------	----------

Capítulo 1

Antecedentes y objetivos	7
---------------------------------------	----------

Antecedentes.....	7
-------------------	---

Objetivos.....	8
----------------	---

Capítulo 2

Metodología y enfoque del estudio	11
--	-----------

Metodología.....	11
------------------	----

Enfoque del estudio.....	12
--------------------------	----

Capítulo 3

Información general del objeto del estudio	17
---	-----------

Aeropuerto de Arica, Chile.....	17
---------------------------------	----

Puerto de Arica, Chile.....	24
-----------------------------	----

Puerto de Matarani, Perú.....	27
-------------------------------	----

Aeropuerto de Tacna, Perú.....	28
--------------------------------	----

Capítulo 4

Resultado del estudio	35
------------------------------------	-----------

Estimación y caracterización de las Amenazas.....	35
---	----

▶ Sismo.....	35
--------------	----

▶ Tsunami.....	40
----------------	----

Análisis de Vulnerabilidad.....	43
---------------------------------	----

▶ Aeropuerto de Arica.....	43
----------------------------	----



▶ Puerto Arica	65
▶ Puerto Matarani	81
▶ Aeropuerto Tacna	98
Análisis de Riesgo	116
▶ Aeropuerto de Arica	117
▶ Puerto Arica	119
▶ Puerto Matarani	121
▶ Aeropuerto de Tacna	123

Capítulo 5

Posibles medidas de reducción de riesgo	129
Introducción	129
Diferencias cualitativas en las medidas de reducción de riesgos entre los aeropuertos de Arica y Tacna	145
Diferencias cualitativas en las medidas de reducción de riesgos entre los puertos de Arica y Matarani	145
Resumen de medidas de mitigación	146
Estimación de Costo para Medidas de Mitigación	148
Beneficio de las medidas de mitigación	152

Capítulo 6

Conclusiones	155
---------------------------	------------

Capítulo 7

Referencias	159
--------------------------	------------

Presentación

El Plan de Acción Estratégico de COSIPLAN¹ (PAE 2012-2022) establece la necesidad específica sobre la temática de la Gestión de Riesgo de Desastres (GRD)², cuyo objetivo es proporcionar a los países miembros la reducción del impacto de amenazas naturales que afecten las infraestructuras de integración suramericanas, como terremotos, inundaciones, tsunamis, erupciones volcánicas, y otros.

Como primera iniciativa sobre Gestión de Riesgo de Desastres, se elaboró durante el año 2013, la “Metodología para la Incorporación de Gestión de Riesgos de Desastres en Infraestructura de Integración de COSIPLAN-IIRSA”. Esta herramienta fue validada por los países miembros durante la reunión del Grupo Técnico Ejecutivo (GTE) de GRD que se llevó a cabo en septiembre de 2013 en la ciudad de Santiago, Chile.

A partir de la solicitud realizada por Chile y Perú, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) aprobó la Cooperación Técnica (CT) RG-T2474 con el fin de apoyar los trabajos de COSIPLAN en esta materia.

En ese contexto se desarrolló el Manual de Usuario de la Metodología que fue aprobado en la reunión del GTE de octubre de 2014 en Buenos Aires, Argentina. En esa actividad se acordó realizar una implementación piloto de la metodología en la zona sur de Perú y norte de Chile, área de influencia del Grupo de Proyectos 5 del Eje Interoceánico Central, expuesta a amenaza sísmica y de tsunami.

1. *El Consejo Suramericano de Infraestructura y Planeamiento (COSIPLAN), fue creado en el año 2009 durante la III Reunión de Jefas y Jefes de Estado y Gobiernos de UNASUR. En el reglamento de COSIPLAN se consideran funciones y atribuciones para las diferentes instancias de apoyo del Consejo, en el que se destaca las que se asignan a la Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Sudamericana (IIRSA) en relación a “desarrollar y aplicar metodologías para enriquecer la cartera de proyectos, atendiendo criterios de desarrollo social y económico sustentables, preservando el ambiente y el equilibrio con los ecosistemas”.*

2. *Capítulo 6.1.5 del PAE 2012-2022: Gestión y Prevención de Riesgos y Catástrofes (GPRC).*



La implementación de la aplicación piloto se inició en enero de 2015. Se seleccionaron cinco infraestructuras de Chile y de Perú, sobre las cuales se desarrollaron las primeras actividades previstas en la metodología. Como resultado de este trabajo se priorizaron dos infraestructuras de integración por país para realizar el análisis de riesgo: Puerto de Arica y Aeropuerto de Arica en Chile, y Puerto de Matarani y Aeropuerto de Tacna en Perú.

En marzo de 2016, se llevó a cabo el Taller Binacional de Chile y Perú sobre GRD, en Arica, Chile. El objetivo del encuentro fue compartir los resultados del estudio y las lecciones aprendidas de la aplicación piloto. Posteriormente, en la reunión del GTE de GRD realizada en Lima, Perú, durante junio de 2016 se resolvió difundir el documento de la Metodología GRD y el Informe Final de la Aplicación Chile-Perú.

El objetivo de esta metodología es prevenir o reducir los efectos de eventos catastróficos (terremotos, maremotos, aluviones, inundaciones y erupciones volcánicas) que afecten las infraestructuras suramericanas, y establecer planes de recuperación de la conectividad y de la infraestructura pública. Su aplicación permitirá una adecuada conservación y funcionamiento de los proyectos de infraestructura de integración ante riesgos de desastres de la naturaleza. De esta manera se protegerá el patrimonio de la infraestructura de integración y la actividad socioeconómica subyacente sudamericana.

Este documento presenta los resultados de la Fase II de la Metodología: “Análisis de riesgo e identificación de posibles medidas de reducción de riesgo”, aplicada a las dos infraestructuras seleccionadas en Chile, Puerto de Arica y Aeropuerto de Arica y, las dos infraestructuras seleccionadas en Perú, Puerto de Matarani y Aeropuerto de Tacna.

El estudio fue preparado por la firma consultora ERN Evaluación de Riesgos Naturales, en el marco de la cooperación técnica del BID RG-T2474.

Antecedentes y objetivos

Antecedentes

En cumplimiento del Plan de Acción COSIPLAN-IIRSA 2012-2022 los países miembros del Grupo Técnico Ejecutivo (GTE) en Gestión de Riesgo de Desastres (GRD) de COSIPLAN-IIRSA (GTE en GRD), desarrollaron la “Metodología para la Incorporación de Gestión de Riesgos de Desastres en Infraestructura de Integración de COSIPLAN-IIRSA” (de aquí en adelante “la Metodología”), validada durante la reunión del GTE de GRD en septiembre de 2013 en la ciudad de Santiago, Chile.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) aprobó en 2014 la Cooperación Técnica (CT) RG-T2474 y en ese contexto se desarrolló el Manual de Usuario de la Metodología que fue aprobado en la reunión del GTE de octubre de 2014 en Buenos Aires, Argentina.

La Metodología comprende las siguientes fases y pasos:

- ▲ **FASE I.** Selección de la infraestructura priorizada.
 - ▶ Paso 1. Selección de la Infraestructura
 - ▶ Paso 2. Caracterización de la Infraestructura y amenazas de interés
 - ▶ Paso 3. Definición de los Objetivos e Indicadores de Desempeño

- ▲ **FASE II.** Identificación del Riesgo - “Análisis de riesgo e identificación de posibles medidas de reducción de riesgo” Análisis de riesgo para cada infraestructura priorizada.
- ▲ **FASE III.** Reducción del Riesgo - diseño e implementación de las medidas necesaria para la reducción del riesgo. Adicionalmente, elaborar planes de emergencia, contingencia y recuperación en caso de desastre.

El estudio que se presenta en este informe corresponde a la aplicación de la Fase II: “Análisis de riesgo e identificación de posibles medidas de reducción de riesgo”. Este estudio toma como insumo los resultados obtenidos por el BID en la Fase I.

Objetivos

- ▲ Aplicar el “Análisis de riesgo e identificación de posibles medidas de reducción de riesgo” a cuatro infraestructuras seleccionadas en las Fases y Pasos previos de la Metodología.
- ▲ En base a los resultados del estudio de riesgo, se identifican posibles medidas de reducción de riesgo. Estas posibles medidas no corresponden al diseño a detalle de las medidas, que es uno de los enfoques de la Fase III de la Metodología, sino solo mostrar un resumen de algunas posibles medidas que sirvan para la reducción del riesgo.
- ▲ Este estudio contempla el análisis de dos infraestructuras seleccionadas en Chile, que corresponden al Puerto de Arica y Aeropuerto de Arica, y dos infraestructuras seleccionadas en el Perú, que corresponden al Puerto de Matarani y Aeropuerto de Tacna. La selección de esta infraestructura fue uno de los resultados de las Fases y Pasos previos de la Metodología, lo cual corresponde a un insumo para este estudio.
- ▲ Es importante mencionar que este estudio considera sólo algunas infraestructuras regionales, ya que tiene un sentido demostrativo del enfoque metodológico y no pretende resolver el problema global de vulnerabilidad y riesgo de la totalidad de las infraestructuras críticas del territorio estudiado (la provincia de Tacna y regiones de Arica Parinacota y Tarapacá) ; el resto de las infraestructuras deberá ser analizado en el futuro para contar con una evaluación de la totalidad de las infraestructuras del corredor.

ERN Evaluación de Riesgos Naturales
Rubén Boroschek y Asociados Ltda.
RG-T2474/MD-14442-RG
Junio 2016



Metodología y enfoque del estudio

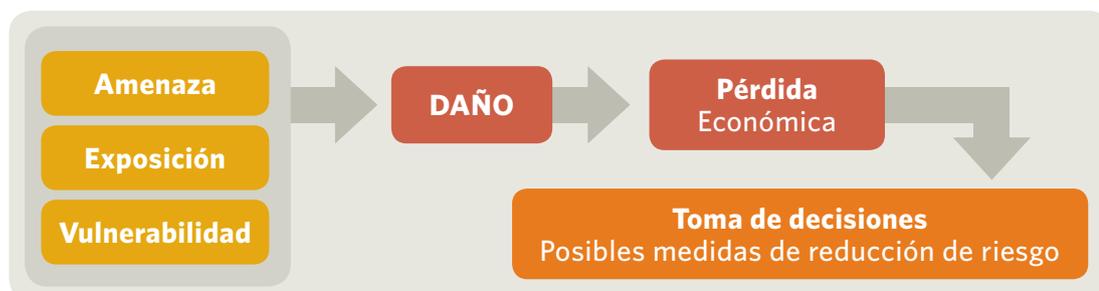
Metodología

Para el análisis de riesgo e identificación de posibles medidas de reducción de riesgo de las infraestructuras seleccionadas se considera realizar las siguientes actividades:

1. Estimación y caracterización de las amenazas
2. Análisis de vulnerabilidad
3. Análisis de riesgo
4. Identificación de posibles medidas de reducción de riesgo

En la siguiente imagen se ilustran los principales componentes que intervienen en la metodología empleada en este estudio, así como el orden que estos guardan dentro del proceso de análisis.

Figura 201. Proceso para el cálculo probabilista de riesgo



En relación a la actividad que contempla la **Estimación y caracterización de las Amenazas**, se llevaron a cabo estimaciones de las amenazas posibles de afectar a cada una de las zonas de emplazamiento de la infraestructura seleccionada. En particular, las amenazas a tener en consideración para este estudio corresponden a sismos y tsunamis. El estudio de amenaza sísmica fue basado en antecedentes existentes, identificando las fuentes sísmicas para cada zona de estudio y generando un catálogo sísmico que permitió desarrollar curvas de recurrencia. Con ello se definió la demanda sísmica en términos probabilísticos para sismos con distinto período de retorno, así como valores de aceleración máxima del suelo (PGA) y aceleración espectral para diferentes períodos estructurales. El estudio de amenaza por tsunami se basó en la estimación de los parámetros geométricos de la falla, con los cuales se calculó la deformación vertical del suelo y la propagación del tren de ondas de acuerdo a la batimetría y morfología de cada zona de interés para estimar alturas de inundación.

Para el **Análisis de Vulnerabilidad** se llevaron a cabo dos actividades principales: una de ellas considera una campaña en terreno que tiene por objetivo revisar el estado actual de la infraestructura crítica, complementar la información existente provista por el cliente y caracterizar desde un punto de vista de su diseño sísmico la infraestructura crítica seleccionada. La segunda actividad utilizó la información existente y la recopilada para estimar curvas de fragilidad, las cuales fueron la base para obtener las funciones de vulnerabilidad para cada componente de infraestructura a ser analizado. Las funciones de vulnerabilidad que relacionan la medida de intensidad de la amenaza (aceleración en el caso de sismo y altura de inundación en el caso de tsunami) con el valor esperado del daño.

En relación al **Análisis de Riesgo**, se lleva a cabo empleando la información digital resultado de los análisis de amenaza y vulnerabilidad obtenido en las primeras etapas del estudio.

Finalmente, en relación a la **Identificación de posibles medidas de reducción de riesgo**, se propuso en términos conceptuales, las posibles medidas de reducción del riesgo asociadas a la identificación de potenciales debilidades de la infraestructura analizada frente a las amenazas consideradas. Las alternativas son variadas y van desde el refuerzo estructural a la implementación de sistemas de protección, mitigación o prevención.

En los Anexos a este informe se presenta a detalle la metodología descrita en los párrafos anteriores.

Enfoque del estudio

Para el desarrollo de la metodología presentada en el punto anterior, en este estudio se llevan a cabo las siguientes actividades:

- ▲ Análisis de la información disponible sobre:
 - a. Características de la infraestructura de estudio.
 - b. Historia de amenazas naturales que han afectado el área de estudio.
 - c. Características físicas, geográficas, topográficas, tipo de suelo, etc. del área de estudio.

- ▲ Análisis de las principales amenazas naturales que potencialmente pueden afectar el sitio en que se localiza la infraestructura. El resultado de este análisis de amenaza consiste en archivos digitales con el formato específico para ser utilizado en la plataforma computacional que permite

llevar a cabo los análisis de riesgo probabilista (La Plataforma abierta: *Comprehensive Analysis for Probabilistic Risk Assessment: CAPRA*).

- ▲ Para el análisis de vulnerabilidad se llevó a cabo la inspección física de los diferentes componentes a ser analizados en cada una de las infraestructuras de interés. A partir de la información recopilada en campo se propusieron funciones de fragilidad y vulnerabilidad de acuerdo a las propiedades de la infraestructura seleccionada. Como resultado de esta etapa del estudio se desarrollaron archivos digitales con la información de las funciones de vulnerabilidad en el formato específico para ser utilizado en la plataforma de cálculo de riesgo probabilista (CAPRA).
- ▲ El análisis probabilista de riesgo se desarrolló con el programa de cómputo CAPRA, el cual requiere como información de entrada los archivos digitales previamente desarrollados en los análisis de amenaza, exposición (infraestructura seleccionada) y vulnerabilidad. Los principales resultados del análisis probabilista de riesgo son: a) curva de tasa de excedencia de pérdida, b) curva de pérdida vs período de retorno, c) pérdida anual esperada.
- ▲ Para la identificación de las posibles medidas de reducción de riesgo, en base al juicio experto de este grupo consultor y con el conocimiento de las mejores prácticas a nivel internacional, se propusieron medidas ingenieriles de mitigación que permiten reducir el daño esperado en la infraestructura seleccionada ante las amenazas naturales analizadas.
- ▲ El análisis beneficio/costo se desarrolló en base a un primer análisis general sobre los costos requeridos para implementar las medidas de mitigación propuestas, así como en base al beneficio (ahorro de pérdida futura) por la implementación de las medidas de mitigación.

La infraestructura a ser analizada en este estudio (FASE II. Análisis de riesgo para cada infraestructura priorizada de la Metodología para la incorporación de la GRD en proyectos de Infraestructura regional) se seleccionó en base a los siguientes criterios:

- ▶ Resultados de la Fase previa "I: Selección de la infraestructura priorizada" de la Metodología, la cual fue desarrollada por el grupo de asesores y consultores del BID.
- ▶ Información disponible para el desarrollo de la metodología requerida en este estudio (Paso 1 a 3 de la FASE I).
- ▶ Tiempo requerido para la evaluación y disponibilidad de recursos disponibles para este estudio piloto.

En base a los criterios anteriores se definieron como prioritarios los siguientes componentes de la infraestructura que forma parte de este estudio:

1. Aeropuerto de Tacna, Perú
 - a. Estructura terminal de pasajeros
 - b. Pista de aterrizaje
 - c. Estación Cuartel S.E.I.
2. Puerto de Matarani, Perú¹
 - a. Ruta crítica manejo de minerales

1. En visita a las instalaciones del Puerto de Matarani, el Mandante TISUR definió que la ruta crítica más relevante para ellos es la de manejo de minerales.

3. Aeropuerto de Arica, Chile
 - a. Estructura terminal de pasajeros
 - b. Pista de aterrizaje
 - c. Sistema de agua potable

4. Puerto de Arica, Chile
 - a. Equipos de grúas móviles
 - b. Sitio 2
 - c. Edificio Administrativo

La ubicación de la infraestructura seleccionada se muestra en la siguiente figura.

Figura 202. Infraestructura seleccionada para la aplicación piloto de la FASE II de la Metodología para la incorporación de la GRD en proyectos de Infraestructura regional.





Información general del objeto del estudio

Este capítulo resume la información y carácter general de cada componente de la infraestructura señalada.



AEROPUERTO DE ARICA

El Aeropuerto Chacalluta es un terminal aéreo de carga y pasajeros que se encuentra en la Región de Arica y Parinacota, cercano a la frontera con Perú, aproximadamente 18.5 km al norte de la ciudad de Arica, como se muestra en la figura 301 (ver página siguiente).

El Aeropuerto fue remodelado completamente durante el año 2010 como parte de las obras de conmemoración del “Bicentenario” de Chile, lo que lo convirtió en uno de los aeropuertos más modernos del país (ver figura 302). El Aeropuerto es administrado por la sociedad concesionaria “Aeropuerto Chacalluta” de Cointer Chile S.A., perteneciente al holding español AZVI.

El proyecto de concesión contempló la remodelación y ampliación del Edificio Terminal de Pasajeros terminada el año 2007, de superficie original aproximada de 2,500 m², la cual fue ampliada a 4,125 m². Adicionalmente, la remodelación contempló la construcción de un cobertizo en el frontis del Edificio Terminal de 1.088 m², que sirve de acceso al edificio y como elemento integrador de sus diversas dependencias. Este edificio incluye sus respectivas áreas de servicios, áreas de concesiones, hall de público, equipamiento electromecánico, equipamiento aeroportuario, mobiliario e instalaciones

de servicios. El Aeropuerto cuenta con una pista de aterrizaje de 2,170 metros de longitud y 40 metros de ancho.

En términos de la ubicación, las coordenadas geográficas del Terminal de Pasajeros del Aeropuerto son: (18.349314°S, 70.335715°W), con alturas sobre el nivel medio del mar entre 39 metros, en la zona de aterrizaje de la pista, y 60 metros en la zona del terminal de pasajeros. En la figura 301 se muestra la ubicación geográfica del Aeropuerto Chacalluta.

Como se aprecia en la figura 301, el Aeropuerto Chacalluta se encuentra próximo a la costa del Océano Pacífico. La zona de aterrizaje de los aviones se encuentra a aproximadamente 2.25 km de distancia, medido en línea recta al punto costero más cercano, mientras que el terminal de pasajeros se encuentra aproximadamente a 3.30 km de la costa.

Las instalaciones que forman parte del alcance de trabajo y la información de diseño provista por el Cliente para cada instalación se detalla en las siguientes subsecciones.

Figura 301. Ubicación geográfica de la Ciudad de Arica y del Aeropuerto.



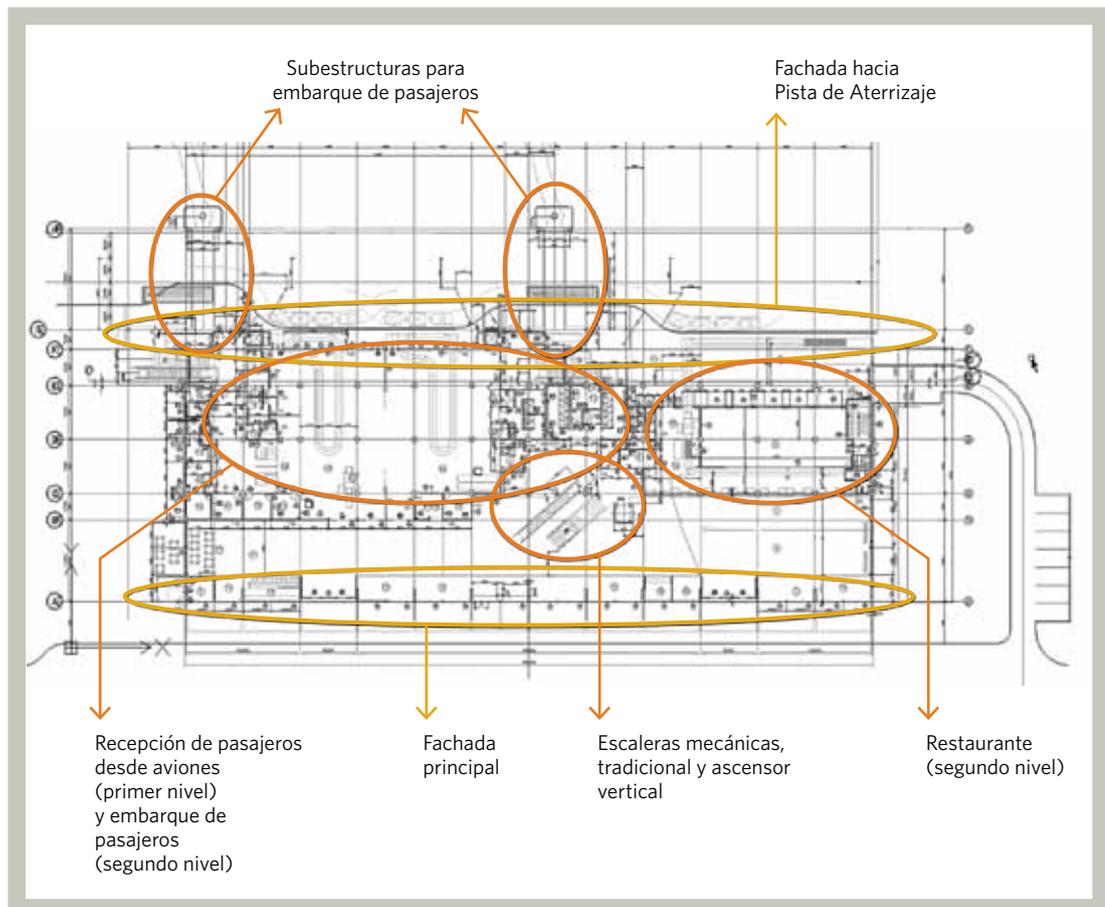
Figura 302. Vista exterior Aeropuerto Chacalluta.



Terminal de Pasajeros

El terminal de pasajeros corresponde a un edificio de hormigón armado con un techo de madera laminada. La siguiente figura contiene una vista en planta esquemática de los sectores principales del Terminal de Pasajeros. En ella se aprecia una fachada principal con paneles de vidrio en el sector de acceso de automóviles para la carga y descarga de pasajeros. Al ingresar por la fachada se aprecia la existencia de 2 niveles, conectados entre sí mediante 2 escaleras y un ascensor, todos ubicados en el sector central de la estructura. El primer nivel contiene pequeñas tiendas en el sector de la fachada principal, los counters de atención de 2 aerolíneas, baños públicos y un sector para la Aduana y el recojo de maletas para los pasajeros que arriban al aeropuerto. El segundo contiene un restaurante, las oficinas del Operador y el sector de embarque de pasajeros, el cual contiene oficinas para personal de Policía de Investigaciones de Chile (PDI), baños y de una oficina técnica. Anexas a la estructura principal se encuentran 2 subestructuras metálicas que permiten el embarque de pasajeros a los aviones.

Figura 304. Vista en Planta Terminal de Pasajeros y sectores principales



El diseño de la estructura del terminal de pasajeros se realizó en conformidad con los requisitos de la Norma NCh433.Of96: Diseño Sísmico de Edificios, considerando un factor de importancia de la estructura $I=1.2$ y un factor de modificación de la respuesta $R=7$. Considerando la ubicación geográfica, cercana a la costa, se consideró Zona Sísmica 3, mientras que el suelo se caracterizó como suelo Tipo III. Para el detallamiento de los elementos de hormigón armado se consideró el código ACI318-95, mientras que para el acero estructural se utilizó el AISC 9th Edition (ASD).

Los materiales utilizados en el proyecto tienen las siguientes características:

Concretos

- ▶ Concreto estructural: $f'c = 250 \text{ kgf/cm}^2$, correspondiente a concreto calidad H-30 con un nivel de confianza del 90% según NCh170.Of85.
- ▶ Emplantillados y rellenos: $f'c = 50 \text{ kgf/cm}^2$, correspondiente a concreto calidad H-10.
- ▶ Acero de Refuerzo: calidad A630-420H según NCh204, con resistencia mínima a la fluencia del acero de 420 MPa.

Aceros estructurales

- ▶ Acero Estructural: calidad A37-24ES
- ▶ Electrodo: E 70xx
- ▶ Pernos Alta Resistencia: ASTM A325
- ▶ Pernos corrientes: A42-23ES

Los modos y las participaciones modales en direcciones principales declarados en la memoria de cálculo de la Ingeniería de Detalle indican lo siguiente:

- ▶ $T_x = 0.30s$, participación modal $U_x = 88\%$, $R^* = 3.9$
- ▶ $T_y = 0.33s$, participación modal $U_y = 62\%$, $R^* = 4.1$
- ▶ Peso sísmico = 1230 Tonf

El diseño de la estructura estuvo controlado los requisitos de corte máximo ($C_{max} = 0.20$) de la norma NCh433.Of96, equivalente a $Q_{b,max} = 248 \text{ Tonf}$.

Cuartel S.E.I. (Servicio de Rescate y Extinción de Incendios)

No se cuenta con información de diseño de la estructura. El Cuartel SEI se emplaza al sur del Terminal de Pasajeros, compartiendo la misma vía de acceso vehicular. La siguiente figura muestra el sector de emplazamiento del Cuartel S.E.I. respecto al Terminal de Pasajeros.

Figura 305. Terminal de Pasajeros, Cuartel SEI y Estanque Agua Potable.



Figura 306. Vista General Cuartel SEI



La estructura principal, donde se ubican las oficinas, comedores, cocina y dormitorios del personal, que posee dos niveles, está estructurada en base a mampostería confinada por pilares y cadenas de concreto reforzado. La estructura de techumbre, de doble altura, donde se encuentran los carros de emergencia, está estructurada en base a pilares y vigas conformas por perfiles tubulares de acero. Las vigas de la estructura de techumbre se proyectan desde el edificio de albañilería confinada. La siguiente figura muestra una vista general del Cuartel SEI.

Pista de Aterrizaje

La Pista de aterrizaje se encuentra al costado nor Oeste del Terminal de Pasajeros. En la siguiente figura se aprecia la pista, en específico, el sector de maniobras y estacionamiento de aviones en el sector de la losa de concreto, de color gris. Además, se muestra la extensión y forma de la Pista de Aterrizaje. Ésta tiene 2,288 metros de longitud.

Las especificaciones técnicas de terraplenes y pavimentos se encuentran especificadas en el documento SCAR-AIR-PAV-ET-001 Especificaciones Técnicas Particulares de Pavimentos Área de Movimiento. En particular, se especifica lo siguiente:

- ▲ En las áreas en terraplén y antes del inicio de su construcción, el suelo subyacente deberá escarificarse y luego regarse y compactarse de modo tal que los 15 cm superiores alcancen el 95% de la DMCS del Proctor Modificado.
- ▲ La base de agregado chancado será de 30 cm de espesor en el camino al SEI y en las áreas restantes será de 15 cm de espesor. El borde de la base debe sobresalir 30 cm más allá del borde exterior del pavimento asfáltico a construir. La densidad mínima de la base compactada será de 100% de la DMCS del Proctor Modificado.
- ▲ La imprimación bituminosa se aplicará sobre toda la superficie de material chancado que llevará pavimento bituminoso. El material bituminoso será MC-30 u otro que apruebe la Inspección Fiscal y se aplicará con equipo regador a presión a una tasa de 1.5 lt/m².

- ▲ La carpeta de concreto asfáltico en bermas de plataforma, calle aeronáutica, patio de equipaje, patio de escaleras y camino al SEI tendrá 7.5 cm de espesor compactado. El concreto asfáltico a emplear en todos los pavimentos se hará con mezcla con granulometría de tamaño máximo 1" (una pulgada) y confeccionado con cemento asfáltico de penetración 85100. El cemento asfáltico de penetración 85100 deberá cumplir adicionalmente a las exigencias contenidas en la Norma ASTM D946, con un equivalente heptanoxileno entre 15 y 20% en el ensaye de la mancha, según la Norma AASHTO T102 y con una pérdida por calentamiento no mayor de 0.8%, determinada según Norma AASHTO T47. El cemento asfáltico, para ser aceptado, deberá certificar tener un índice de durabilidad inferior a 3.5 determinado como cociente de las viscosidades a 60 °C después y antes del ensaye de película delgada rotatoria. La mezcla bituminosa para pavimentos deberá diseñarse con estabilidad mínima de 8 kN. Para estos pavimentos serán válidas todas las exigencias de las especificaciones generales, establecidas para pavimentos que deben soportar aeronaves con peso bruto mayor de 60,000 libras.
- ▲ Para la capa de subbase granular, esta tendrá 20 cm de espesor compactado bajo las áreas que se pavimentarán con hormigón hidráulico, según se señala en los planos del proyecto. También se colocará una sub-base granular, bajo la base de agregado chancado en áreas que llevarán pavimento asfáltico (bermas, calle aeronáutica, etc.), si el CBR de la sub-rasante es menor de 20%. En estas áreas, el espesor mínimo de la sub-base granular será de 15 cm. El agregado pétreo a emplear será de tamaño máximo 2". El CBR mínimo necesario para el material de subbase, con la compactación de 100% de la densidad del Proctor Modificado, deberá ser de 40%.
- ▲ El pavimento de hormigón de cemento hidráulico en la Ampliación de la esquina nor-oriente de la Plataforma de aviones tiene espesor de losa de 30 cm. El hormigón deberá colocarse sobre una membrana de polietileno. La resistencia especificada a flexo-tracción del hormigón será de 45 kg/cm² a los 28 días. El cemento a emplear será cemento del tipo especial y se empleará en dosis en ningún caso inferior a 340 Kg/m³ de hormigón.

Figura 307. Pista de Aterrizaje



Sistema de Agua Potable

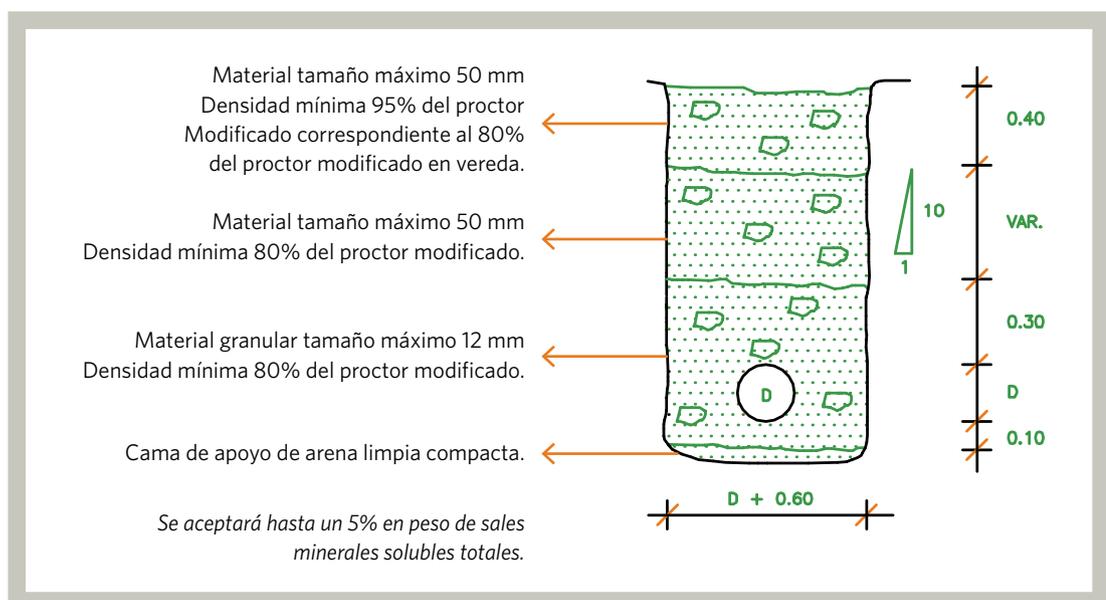
El sistema de agua potable del aeropuerto consta de 2 pozos de 75 metros de profundidad y de un sistema de impulsión de PVC C-10 de 5,330 metros de longitud. La impulsión llega a un estanque de regulación de hormigón armado de 350 m³.

La figura 309 muestra la sección transversal tipo de la excavación de la zanja por la cual se proyecta el sistema de impulsión.

Figura 308. Sistema Abastecimiento Agua Potable



Figura 309. Disposición de la zanja de excavación y disposición de los rellenos



Fuente: Imagen obtenida de los planos de diseño provistos por el Cliente



El Puerto de Arica es una terminal marítima de carga que se encuentra en la Región de Arica y Parinacota, emplazado en la ciudad de Arica, Chile, como se aprecia en la siguiente figura.

Figura 310. Ubicación geográfica de la Ciudad de Arica y del Puerto



Figura 311. Vías vehiculares principales de acceso al puerto de Arica

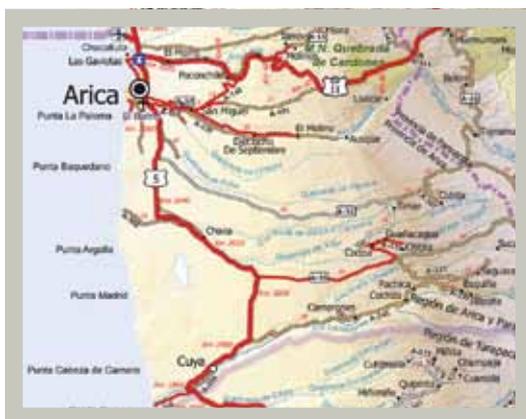


Figura 312. Vista General del Puerto de Arica



El Puerto fue construido entre los años 1960 y 1966, adicionando un nuevo muelle el año 2009. Cuenta con obras de abrigo y sitios de embarque y desembarque como se indica en la figura 312. Tiene dos vías vehiculares principales de acceso. Una de ellas es la Ruta 11 CH Internacional, que une a Arica con la frontera de Chile y Bolivia, ubicada a una distancia de 10 km del Puerto; mientras

que la otra vía es el acceso por Ruta 5 Internacional, ubicada a una distancia de 1 km del Puerto (ver figura 311). Existe una vía ferroviaria del ferrocarril Arica – La Paz. El Puerto de Arica es administrado por la Empresa Portuaria de Arica. El año 2013 el Puerto de Arica movilizó 3.02 millones de toneladas, 70.1% a través de contenedores, 25.2% a granel y 4.7% como carga general fraccionada, siendo la mayor transferencia histórica. Se estima que el Puerto de Arica posee una capacidad de 5.91 millones de toneladas, asumiendo una disponibilidad anual del 96% y considerando 24 horas por día con tres turnos de trabajo.

Las características generales de los sitios de atraque del Puerto de Arica se indican en esta tabla.

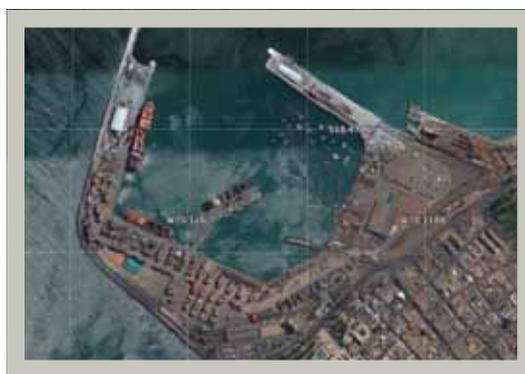
Tabla 301. Características Sitios de Atraque Puerto de Arica

Sitio	2	3	4 y 5	7
Longitud (m)	220	270	500	210
Ancho del Delante (m)	38	23	50	24
Año de Construcción	2009	1966	1966	1985
Calado Máximo Permitido	6.72	6.7 a 9.68	10.0	8.3 a 9.3
Eslora Máxima Autorizada (m)	240	190	295	160
Tipo de Estructura	Tablero de hormigón armado sobre pilotes tubulares de acero	Malecón de celdas de tablestacas metálicas	Malecón de celdas de tablestacas metálicas	Malecón de celdas de tablestacas metálicas

El Puerto de Arica se ubica en la rada del mismo nombre, cuyas coordenadas geográficas correspondientes a la Cota Fija N°12 del SHOA son 18°28'31"S, 70°19'21"W, como se indica en la figura 313.

Las instalaciones que forman parte del alcance del presente estudio y la información de diseño provista por el Cliente para cada instalación se detalla en las siguientes subsecciones.

Figura 313. Ubicación geográfica del Puerto



Edificio de oficinas administrativas

El edificio de oficinas administrativas corresponde a un edificio de hormigón armado y mampostería de dos pisos y un subterráneo.

No se dispone de información provista por el Cliente en relación a las bases de cálculo, materiales o diseño de la estructura, tanto de la estructura sismorresistente como de los componentes o sistemas no estructurales, por lo que el análisis que se presenta considera únicamente las observaciones de campo.

Grúas móviles

El Puerto consta de 4 grúas que operan principalmente en los sitios 2, 3, 4 y 5:

- ▶ Grúa Arica, marca Gottwald modelo HMK-300E, año 2004
- ▶ Grúa Parinacota, marca Gottwald modelo HMK-300E, año 2006
- ▶ Grúa Tacora, marca Gottwald modelo HMK-300E, año 2007
- ▶ Grúa Livilcar, marca Liebherr LHM 600, Súper Post Panama, año 2014

Figura 315. Vista de 3 de las grúas analizadas (de izquierda a derecha: Tacora, Parinacota y Arica).



Muelle Sitio 2

El cabezo del Sitio 2 posee una longitud de 220 metros y un ancho de 38 metros, estructurado por 5 marcos longitudinales distanciados a 8.13 metros y por 28 marcos transversales distanciados a 8 metros, con un total de 140 pilotes, 84 de ellos dispuestos verticalmente y de diámetro 28", y 56 pilotes inclinados de 16" de diámetro. Posee una losa de hormigón armado de 0.40 metros de espesor con vigas de hormigón armado de 0.80 metros de ancho y 1.80 metros de altura. La siguiente figura muestra una vista general del Sitio 2.

Figura 316. Vista general del Sitio 2

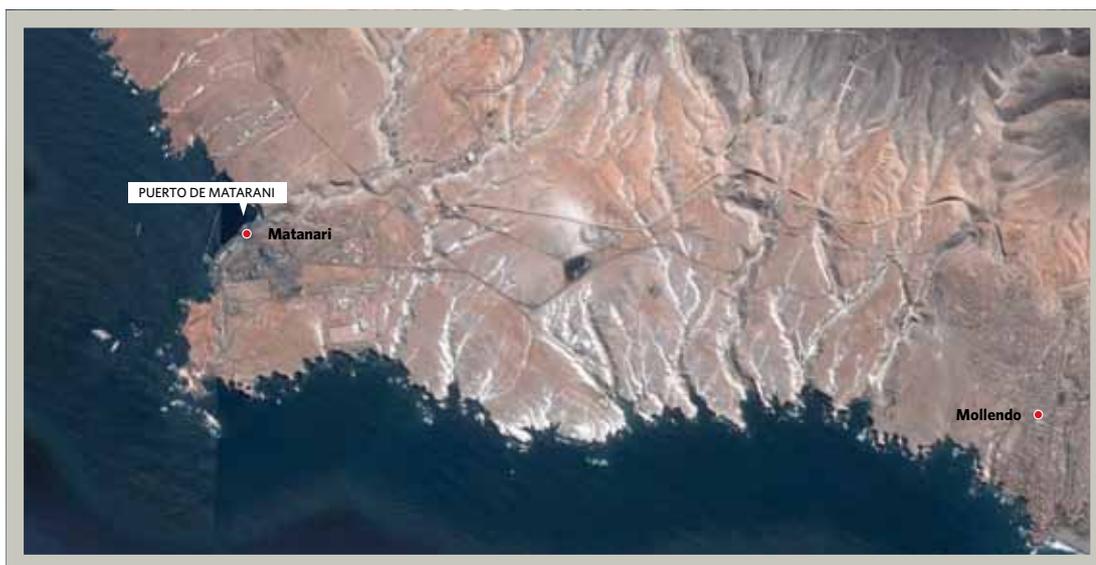


En términos de diseño, se consideró una sobrecarga de uso sobre el muelle de 2.5 Tonf/m². El coeficiente sísmico mínimo considerado al aplicar el método estático es $C=0.125$. La acción sísmica se considera concurrente en las 2 direcciones principales, con un aporte del 30% de la dirección ortogonal. Se consideró un factor de importancia de 1.2. El suelo se consideró Tipo I y zona sísmica 3, de acuerdo a la Norma Chilena NCh2369.Of2003. Se incorporó como carga sobre el muelle la operación de un camión tipo HS 20-44 y de una grúa Gottwald HMK 300 E, un Reach Stacker 4118 y una grúa de pórtico.



El Puerto de Matarani es un terminal marítimo de carga que está ubicado en el distrito de Islay, Arequipa, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 317. Ubicación geográfica del Puerto de Matarani



En 1938 se inició la construcción del nuevo puerto, para atraque directo de naves, concluyendo la construcción el 5 de junio de 1941. Desde 1941 hasta la fecha de su inauguración en 1947, estuvo bajo el control de la Marina de Guerra del Perú. En 1947 se hace cargo del terminal marítimo la Repartición Portuaria, dependencia del Ministerio de Hacienda y Comercio que lo pone operativo solo con granos y cemento.

En 1956 se inaugura el tramo férreo Matarani - La Joya, fecha en que se inicia el trabajo activo y efectivo del puerto. El mismo año se pone en funcionamiento la torre neumática para granos.

En 1970 asume la administración del Puerto la Empresa Nacional de Puertos (ENAPU) y ese mismo año se pone en funcionamiento la faja transportadora de minerales.

El 18 de agosto de 1999, el Estado Peruano a través del Ministerio de Transportes, adjudica por treinta años el Terminal Portuario de Matarani, mediante el contrato de concesión para su construcción, conservación y explotación a la empresa Terminal Internacional del Sur S.A. TISUR, creada con la convicción de promover el desarrollo económico en la Región Sur a través de la actividad portuaria, convirtiéndose en el primer operador privado de un puerto público en el Perú. La figura 319 (ver página siguiente) muestra una vista general del Puerto de Matarani en la actualidad.

Las instalaciones que forman parte del alcance de trabajo son:

- ▶ Almacenes
- ▶ Fajas transportadoras
- ▶ Tripper y Ship Loader
- ▶ Edificio Administrativo
- ▶ Central térmica
- ▶ Estanque de agua "R1"
- ▶ Sala datacenter
- ▶ Centro de Operaciones de Emergencia

La ubicación de las instalaciones se indica en la siguiente figura.

Figura 319. Distribución elementos que componen la ruta crítica de minerales del Puerto



El presente informe sólo incorpora la información recopilada durante la visita del personal de ERN/RBA al puerto. La información enviada por el Operador es parcial, por lo que no puede ser utilizada para emitir juicios más acabados que los que se derivan de la inspección visual de campo.



AEROPUERTO DE TACNA

El Aeropuerto de Tacna es un terminal aéreo de carga y pasajeros que se encuentra en el departamento de Tacna, cercano a la frontera de Perú con Chile, aproximadamente a 5 km al sur-oeste de la ciudad de Tacna, como se muestra en la siguiente figura.

El Aeropuerto fue concesionado por un período de 25 años a partir del año 2010, inaugurando el año 2014 obras de remodelación y ampliación del terminal de pasajeros, salas de embarque y espera, como la rehabilitación de la pista de aterrizaje (ver figura 321). El Aeropuerto es administrado por el consorcio Peruano-Argentino Aeropuertos Andinos del Perú.

Figura 320. Ubicación geográfica de la Ciudad de Tacna y del Aeropuerto.



Figura 321. Vista exterior Aeropuerto de Tacna



Ubicado en la Región, Provincia y Distrito de Tacna, a 5 km de la ciudad, inició sus operaciones el 28 de Agosto de 1956 y cuenta con una pista asfaltada de 2,500 metros de largo por 45 de ancho, un terminal de pasajeros de dos pisos de 2,368 m², un hall principal de 343.62 m², una zona de embarque de 268.50 m², con 8 counters y una torre de control de 5 pisos con 18 metros de altura.

En términos de la ubicación, las coordenadas geográficas del Terminal de Pasajeros del Aeropuerto son: (18°03' 11.84" S 070°16' 32.96" W), con altura sobre el nivel medio del mar de 469 metros.

Las instalaciones que forman parte del alcance de trabajo y la información de diseño provista por el Cliente para cada instalación se detalla en las siguientes subsecciones.

Terminal de Pasajeros

La propuesta de ampliación del terminal comprendió tres zonas. La primera, que está ubicada en todo el frente existente del terminal, consideró la incorporación de un volumen nuevo para ubicar locales comerciales emplazados hacia el corredor general del terminal, que cuentan con dos ingresos: uno hacia el área de check in y el otro hacia la salida de la zona de llegadas. La segunda área de ampliación comprende la zona de llegadas, la cual está dispuesta en dos salas: una nacional y otra internacional, que podrán ser utilizadas como una sola gran sala. Cada una de estas salas cuenta con los servicios para el público. En la tercera zona se ubican las nuevas zonas de embarque nacional e internacional, las que podrán ser utilizadas como una gran sala. Estas áreas también cuentan con servicios para el público. La siguiente figura muestra una imagen satelital del Terminal de Pasajeros del Aeropuerto de Tacna.

Las obras de remodelación y ampliación del Aeropuerto de Tacna consistieron en:

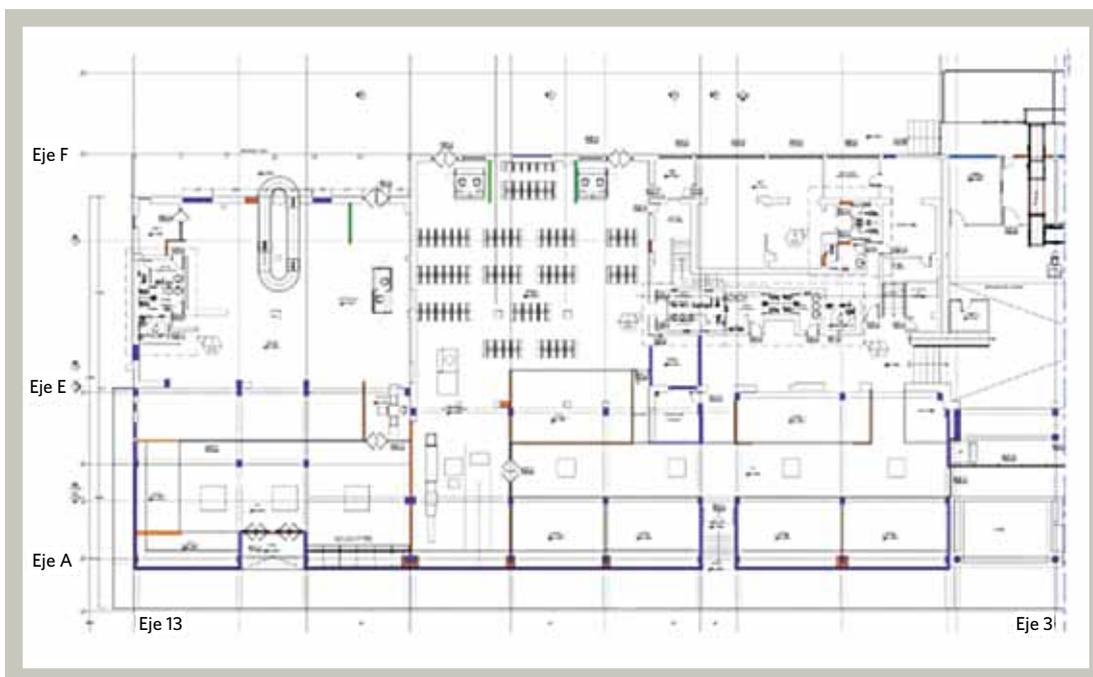
- ▲ **Remodelación:** El Aeropuerto de Tacna actualmente está conformado por 3 bloques de un piso separados por juntas de dilatación. El proyecto de remodelación conserva la estructura existente y sólo contempla la demolición de tabiques no estructurales en la zona de las tiendas, a efectos de integrar los ambientes de la zona existente con la ampliación.

Figura 322. Imagen satelital Terminal del Aeropuerto de Tacna



▲ **Ampliación:** La ampliación del aeropuerto se ha contemplado entre los ejes A y E, a todo lo largo entre los ejes 3 y 13 (ver figura 323), con un área techada de 1,575 m², de dimensiones de 16.9 m x 91.75 m incluyendo los aleros. Dada su extensión longitudinal de 91.75 m, el Terminal se estructuró como tres bloques independientes, que constituyen edificaciones regulares. El sistema estructural seleccionado para la ampliación conserva la altura de la estructura existente, y consiste en un sistema de marcos con tres ejes de columnas en el sentido transversal, con luces de pórticos menores a 10 m. No se ha considerado un sistema de vigas postensadas porque con la inclusión del eje de columnas intermedias las luces son menores a 10 m y pueden trabajar con vigas de concreto armado convencional, reduciendo el costo del proyecto comparado a un sistema de vigas postensadas.

Figura 323. Vista en planta del plano de remodelación



El sistema estructural de los bloques nuevos está compuesto por marcos de hormigón armado con vigas de 80 cm de altura y columnas de 0.40 m x 0.60 m, conformando marcos rígidos en ambas direcciones. Las estructuras de techo corresponden a losas aligeradas de 25 cm en uno o dos sentidos. En todo el perímetro se ha contemplado un friso compuesto por muros de albañilería apoyados sobre las vigas con columnas de confinamiento diseñadas para controlar el volteo por cargas sísmicas perpendiculares al muro.

Las fundaciones han sido diseñadas para una capacidad portante de 3.34 kgf/cm² para zapatas aisladas y 1.34 kgf/cm² para zapatas corridas a una profundidad de 1.40 m del nivel de terreno natural sobre el estrato gravo arenoso tipo GP definida por la Mecánica de Suelos. Las fundaciones están conformadas por zapatas aisladas de concreto armado conectadas por vigas de cimentación que se encuentran a diferentes profundidades por la inclinación del terreno natural.

También se contempló un techo metálico en la zona de embarque de maletas, el cual está conformado por columnas metálicas de sección tubular y tijerales reticulados conformados por canales y

ángulos sobre los cuales se apoyan vigas reticuladas de ángulos y barras lisas con cobertura liviana. La cimentación es mediante zapatas aisladas de concreto armado con pedestales con planchas y pernos de anclaje.

Concreto:

- ▶ Concreto estructural: $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$, módulo de elasticidad: $E_c = 217,000 \text{ kgf/cm}^2$, deformación unitaria máxima $ec = 0.003$
- ▶ Acero corrugado Grado 60 con esfuerzo de fluencia $f_y = 4,200 \text{ kgf/cm}^2$, módulo de elasticidad: $E_s = 2,000,000 \text{ kgf/cm}^2$, deformación al inicio de la fluencia es $= 0.0021$

Acero estructural:

Esfuerzo de fluencia $f_y = 2,530 \text{ kgf/cm}^2$, módulo de elasticidad: $E_s = 2,000,000 \text{ kgf/cm}^2$

Cargas:

- ▶ Carga muerta (D)
 - Peso propio: calculada por el programa de análisis estructural
 - Peso acabados: 100 kgf/m^2
 - Peso tabiquería: 150 kgf/m^2
- ▶ Carga muerta (L)
 - Sobrecarga: 200 kgf/m^2
- ▶ Carga sismo (E), de acuerdo a RNC E.030
 - $Z=0.4$ (Zona 3)
 - $S=1.2$, $T_p=0.6 \text{ s}$ (Suelo Tipo S2, suelos intermedios)
 - $U=1.5$ (Categoría de la edificaciones como Esencial)
 - $R_X=8$ (pórtico de concreto armado)
 - $R_Y=8$ (pórtico de concreto armado)
 - Categoría de la estructura regular
 - Carga sísmica considerando el total de la carga muerta más el 50% de la carga viva.

Combinación de Cargas:

- ▶ Se definen de acuerdo a lo estipulado por RNC E.060
 - Comb1: $1.4D + 1.7L$
 - Comb2: $1.25D + 1.25L + 4 E$
 - Comb3: $0.9D + 4 E$

Análisis modal:

- ▶ Bloque A:
 - $T_x = 0.316 \text{ s}$, $\text{drift}_x = 0.005963 < 0.007$
 - $T_y = 0.359 \text{ s}$, $\text{drift}_y = 0.006923 < 0.007$
- ▶ Bloque B:
 - $T_x = 0.315 \text{ s}$, $\text{drift}_x = 0.006578 < 0.007$
 - $T_y = 0.210 \text{ s}$, $\text{drift}_y = 0.004094 < 0.007$
- ▶ Bloque C:
 - $T_x = 0.166 \text{ s}$, $\text{drift}_x = 0.006516 < 0.007$
 - $T_y = 0.307 \text{ s}$, $\text{drift}_y = 0.002439 < 0.007$

Cuartel S.E.I. (Servicio de Rescate y Extinción de Incendios)

No se cuenta con información de diseño de la estructura. El Cuartel S.E.I. se emplaza al sur del Terminal de Pasajeros. La siguiente figura muestra el sector de emplazamiento del Cuartel S.E.I. respecto al Terminal de Pasajeros.

La estructura principal, donde se ubican las oficinas, comedores, cocina y dormitorios del personal, que posee 1 nivel, está estructurada en base a mampostería confinada por pilares y cadenas de concreto reforzado. La estructura de techumbre, de doble altura, donde se encuentran los carros de emergencia, está estructurada en base a pilares y vigas conformas por perfiles de acero. La figura siguiente muestra una vista general del Cuartel S.E.I.

Figura 324. Cuartel S.E.I. y ubicación respecto a Terminal de pasajeros



Figura 325. Vista General Cuartel S.E.I.



Las capacidades disponibles del servicio son:

Unidad	Cantidad	Cantidad de agentes extintores		
		Agua (L)	Espuma (gal)	Polvo Químico Seco (kgf)
E-ONE 4x4	1	6,200	200	225
Chubb 6x6	1	9,000	317	-
Total		15,200	517	225

El Aeropuerto de Tacna cuenta con un Plan de Emergencias, el cual tiene como objetivo principal reducir a un mínimo las consecuencias de una emergencia que se presente, particularmente en lo que respecta a salvar vidas humanas y mantener la continuidad de las operaciones aéreas en caso de un accidente aéreo. Contempla un manual de acciones y funciones requeridas por parte de las diversas personas y dependencias en las emergencias que puedan afectar al aeropuerto.

Pista de Aterrizaje

La Pista de aterrizaje se encuentra al costado noreste del Terminal de Pasajeros. La extensión y forma de la Pista de Aterrizaje se muestra en la siguiente figura. Ésta tiene 2,500 metros de longitud y un ancho de 45 metros.

No se cuenta con las especificaciones de movimiento de tierra y de pavimentos, ni con las bases de diseño de la pista de aterrizaje.

Figura 326. Pista de Aterrizaje.





Resultado del estudio

Estimación y caracterización de las Amenazas

Para la estimación y caracterización de las amenazas de origen natural que puedan afectar el área de estudio, se revisó la información obtenida en el Paso 2 de la Fase I de la Metodología de incorporación de la Gestión de Riesgo de Desastres (GRD) en proyectos de Infraestructura regional de COSIPLAN-IIRSA. Esta información fue utilizada para generar los archivos digitales en el formato específico que requiere la plataforma computacional para llevar a cabo los análisis de riesgo probabilista (CAPRA). Los archivos digitales mencionados deben contener todos los eventos que potencialmente pueden afectar el área de estudio y tomar en cuenta su incertidumbre. A continuación se presenta la metodología empleada en este estudio para llevar a cabo la estimación de las amenazas naturales, los resultados de esta etapa del estudio fueron utilizados como insumo para el cálculo de riesgo probabilista que se presenta secciones adelante.

Sismo

Los grandes sismos que ocurren en el área de estudio (Sur de Perú y Norte de Chile) a lo largo de la Costa del Océano Pacífico, son causados por la subducción de las placas oceánicas de Nazca y Antártida bajo la placa continental Sudamericana (ver figura 401 en página siguiente).

Debido a que las incertidumbres para predecir la ocurrencia de un evento sísmico son muy elevadas, así como las demandas sísmicas que este induce a una estructura; se hace uso del análisis proba-

bilístico de la amenaza sísmica (PSHA por sus siglas en inglés) para tomar en cuenta dichas incertidumbres, a través de modelos probabilísticos sobre la actividad sísmica de la fuente y de modelos de atenuación que permiten estimar la intensidad de un sismo en un determinado sitio, a partir de su magnitud en la fuente que lo generó y la distancia entre la fuente y el sitio de interés.

Figura 401. Marco Tectónico de Chile (Lavenu A, 2006)

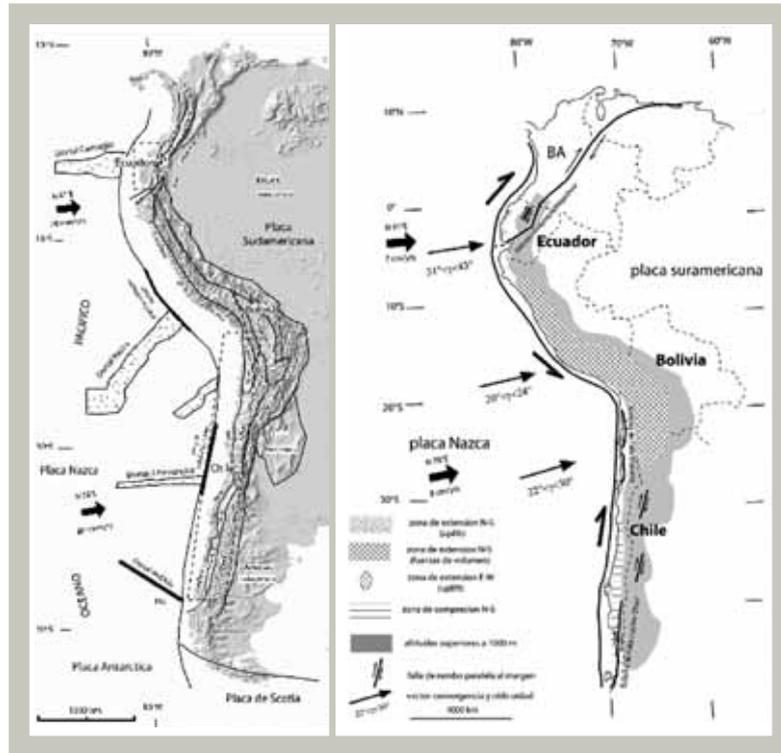
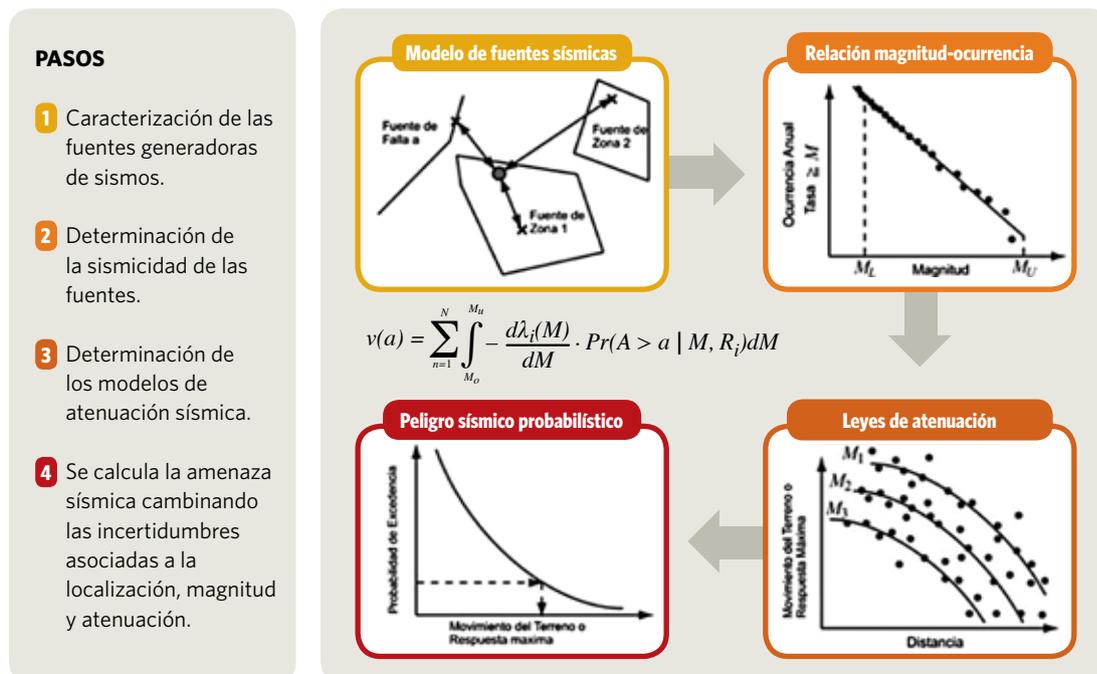


Figura 402. Principales pasos para el análisis probabilista de amenaza sísmica



En términos generales el PSHA requiere los siguientes pasos de análisis (ver figura 402 en página anterior, en el Anexo 1 a este informe se presenta el detalle de la metodología):

- ▶ Identificación y caracterización de las fuentes generadoras de eventos sísmicos.
- ▶ Estimar la sismicidad de las fuentes sísmicas.
- ▶ Determinar el modelo de atenuación sísmica que de mejor forma represente la variación del movimiento del terreno con la distancia a partir de la fuente sísmica.
- ▶ Cálculo de la amenaza sísmica en base a la combinación de las incertidumbres asociadas a la localización, magnitud y atenuación de los eventos sísmicos simulados.

Los resultados del PSHA también son expresados a través de una curva de peligro sísmico, la cual representa la tasa anual de excedencia (o período de retorno) de los valores de aceleración máxima del suelo (PGA). En las siguientes figuras se presenta a manera de ejemplo los resultados de las curvas de tasa de excedencia y período de retorno de aceleración del suelo.

Amenaza Sísmica para la ubicación del Aeropuerto de Arica

Figura 403. Tasa de excedencia de aceleración del suelo calculada con el modelo de peligro sísmico desarrollado en este proyecto para la ubicación del Aeropuerto de Arica.

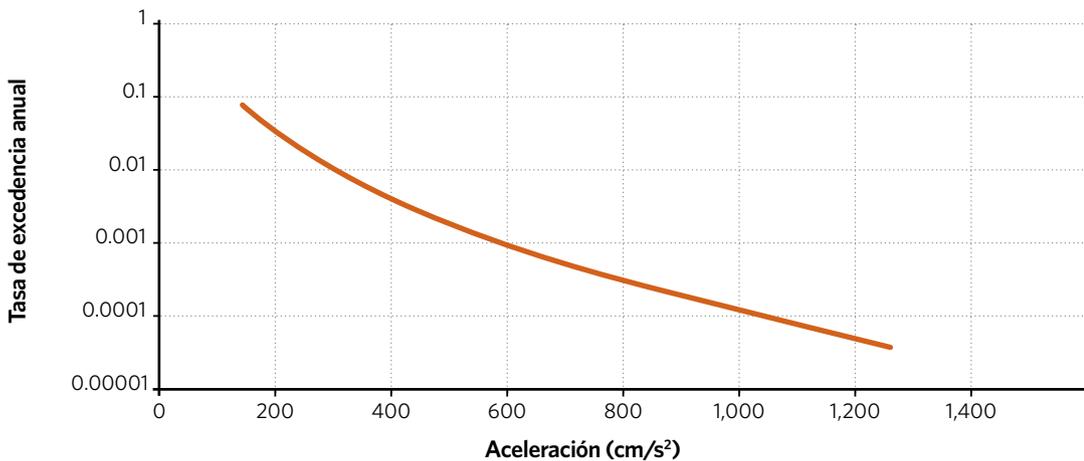
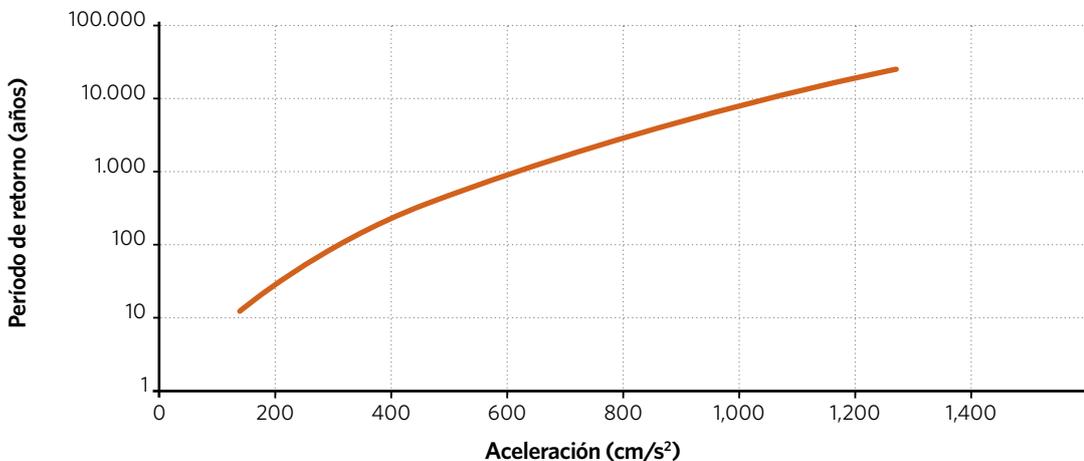


Figura 404. Período de retorno de aceleración del suelo calculado con el modelo de peligro sísmico desarrollado en este proyecto para la ubicación del Aeropuerto de Arica.



Amenaza Sísmica para la ubicación del Puerto Arica.

Figura 405. Tasa de excedencia de aceleración del suelo calculada con el modelo de peligro sísmico desarrollado en este proyecto para la ubicación del Puerto de Arica.

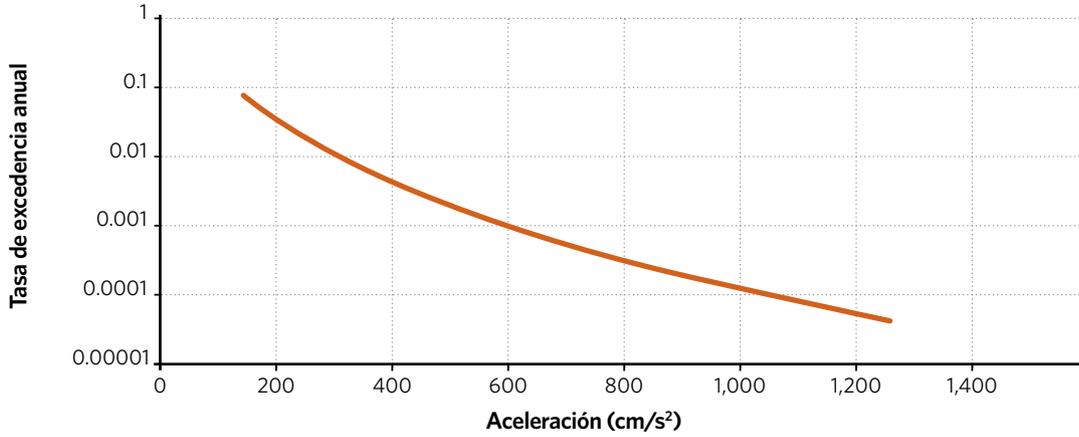
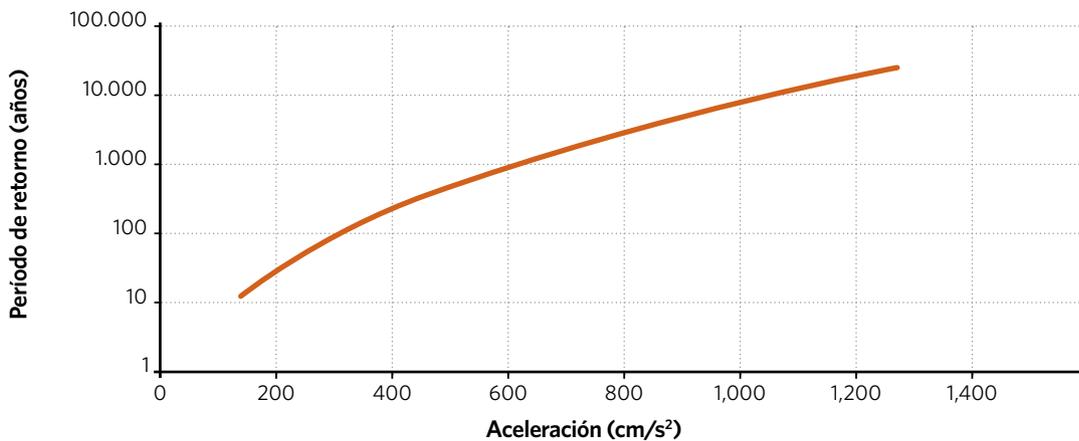


Figura 406. Período de retorno de aceleración del suelo calculado con el modelo de peligro sísmico desarrollado en este proyecto para la ubicación del Puerto de Arica.



Amenaza Sísmica para la ubicación del Puerto Matarani.

Figura 407. Tasa de excedencia de aceleración del suelo calculada con el modelo de peligro sísmico desarrollado en este proyecto para la ubicación del Puerto de Matarani.

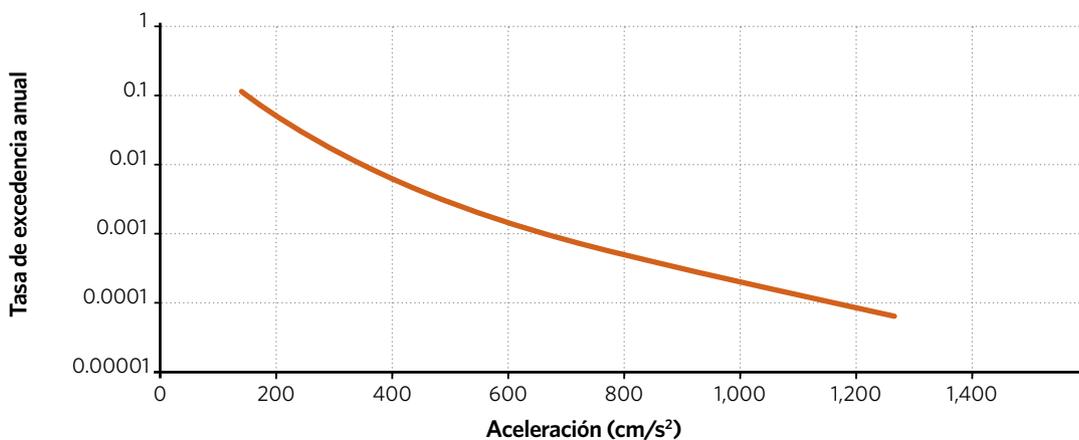
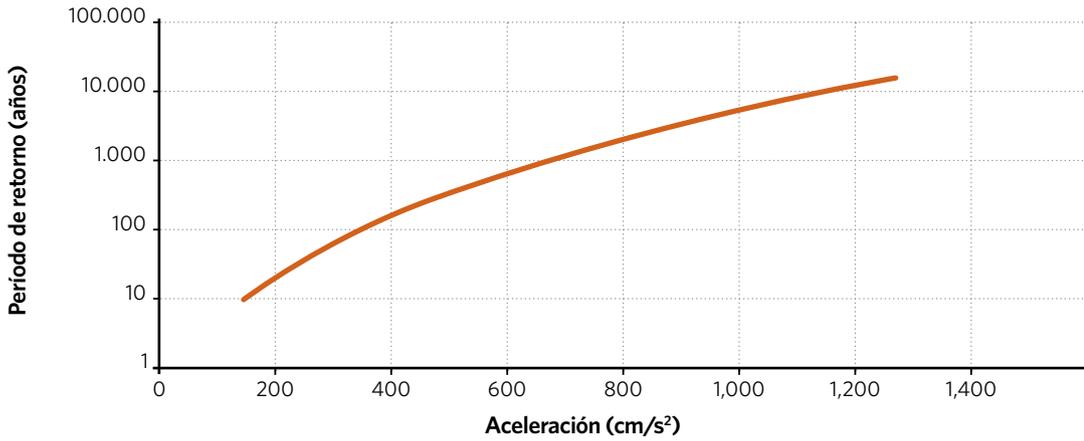


Figura 408. Período de retorno de aceleración del suelo calculado con el modelo de peligro sísmico desarrollado en este proyecto para la ubicación del Puerto de Matarani.



Amenaza Sísmica para la ubicación del Aeropuerto de Tacna.

Figura 409. Tasa de excedencia de aceleración del suelo calculada con el modelo de peligro sísmico desarrollado en este proyecto para la ubicación del Aeropuerto de Tacna.

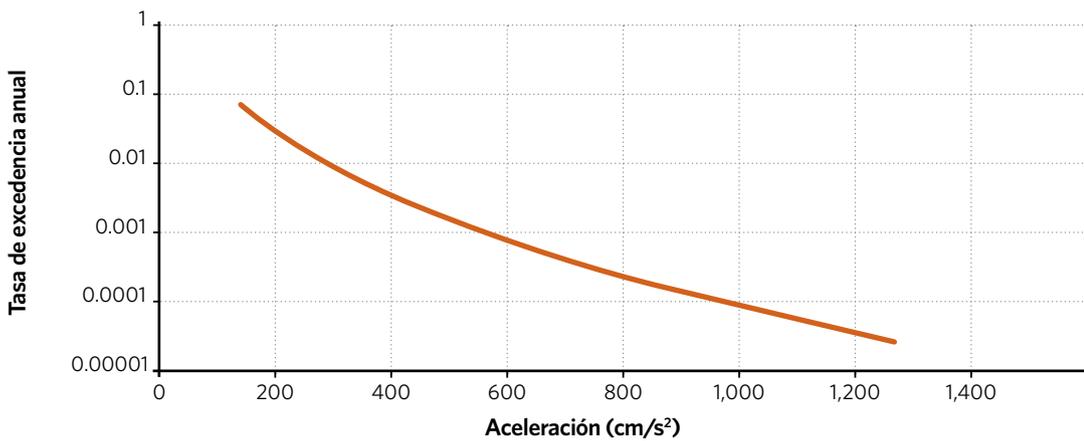
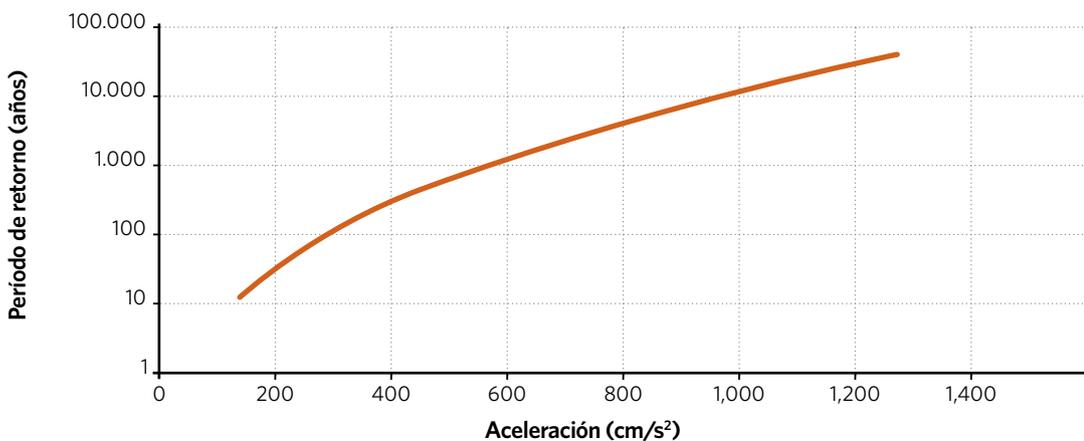


Figura 410. Período de retorno de aceleración del suelo calculado con el modelo de peligro sísmico desarrollado en este proyecto para la ubicación del Aeropuerto de Tacna.



Tsunami

La actividad sísmica en regiones oceánicas induce la existencia de una importante amenaza por eventos tsunamigénicos. El desplazamiento constante de las placas tectónicas y su interacción en las zonas de subducción, hace que la amenaza por tsunami se manifieste de manera recurrente, con la misma frecuencia o probabilidad que los eventos sísmicos detonantes.

El nivel de impacto que es capaz de producir un tsunami está asociado con el tamaño y profundidad del terremoto, la velocidad de propagación de las ondas en el agua y la altura de la ola al momento de su llegada a la costa.

Los tsunamis en la costa en el Pacífico Latinoamericano son bastantes comunes; hay una fuerte evidencia de los efectos de tsunamis grandes en el pasado. En la siguiente figura se presenta una recopilación de más de 270 eventos sísmicos, entre los años de 1513 y 2015, que han originado tsunamis importantes en Latinoamérica: fecha, magnitud y epicentro. Los parámetros fueron obtenidos de catálogos de tsunamis preparados por Soloviev y Go (1984), Farreras (1991), Gusiakov (2002), Carpio y Tavera (2002) y CENAPRED (2005). En la siguiente figura se puede observar que prácticamente toda la costa de Sudamérica es una zona susceptible de sufrir inundación por efectos de tsunamis causados por sismos.

Figura 411. Epicentros de eventos sísmicos generadores de tsunami en Latinoamérica para el periodo de 1513 a 2015.



Estimación probabilista de amenaza por Tsunami

Para llevar a cabo la estimación de riesgo por tsunami, se requiere contar con archivos digitales de amenaza que representen de manera integral los eventos que potencialmente pueden ocurrir en el área de análisis; para ello en este estudio se propone una metodología para obtener archivos digitales de amenaza por tsunami para los puertos de Arica y Matarani (los aeropuertos de Arica y Tacna se encuentran fuera del área de afectación por tsunami), esta metodología considera los valores característicos de sismicidad del Pacífico Latinoamericano, tal como la geometría de la interface de la placa, la extensión de la zona sismogénica, la magnitud momento, la localización, el tamaño del área de ruptura, la topografía y batimetría del área. Se usan modelos digitales de elevación (DEM) a los que se tuvo acceso de forma pública como datos para la elevación de la costa y batimetría. Para crear los archivos de amenaza de tsunami inducidos por sismo, se calcula la profundidad de inundación producida por un tsunami generado por un evento sísmico. Para definir la profundidad de inundación se generó un conjunto de eventos sísmicos estocásticos (ver Anexo 1 a este informe para el detalle de la metodología).

Los resultados del análisis de amenaza por tsunami es posible representarlo a través de mapas de inundación por tsunami para eventos específicos, tal como los que se muestran de forma ilustrativa en las siguientes figuras.



PUERTO DE ARICA

Figura 412. Carta de inundación por tsunami para Arica.

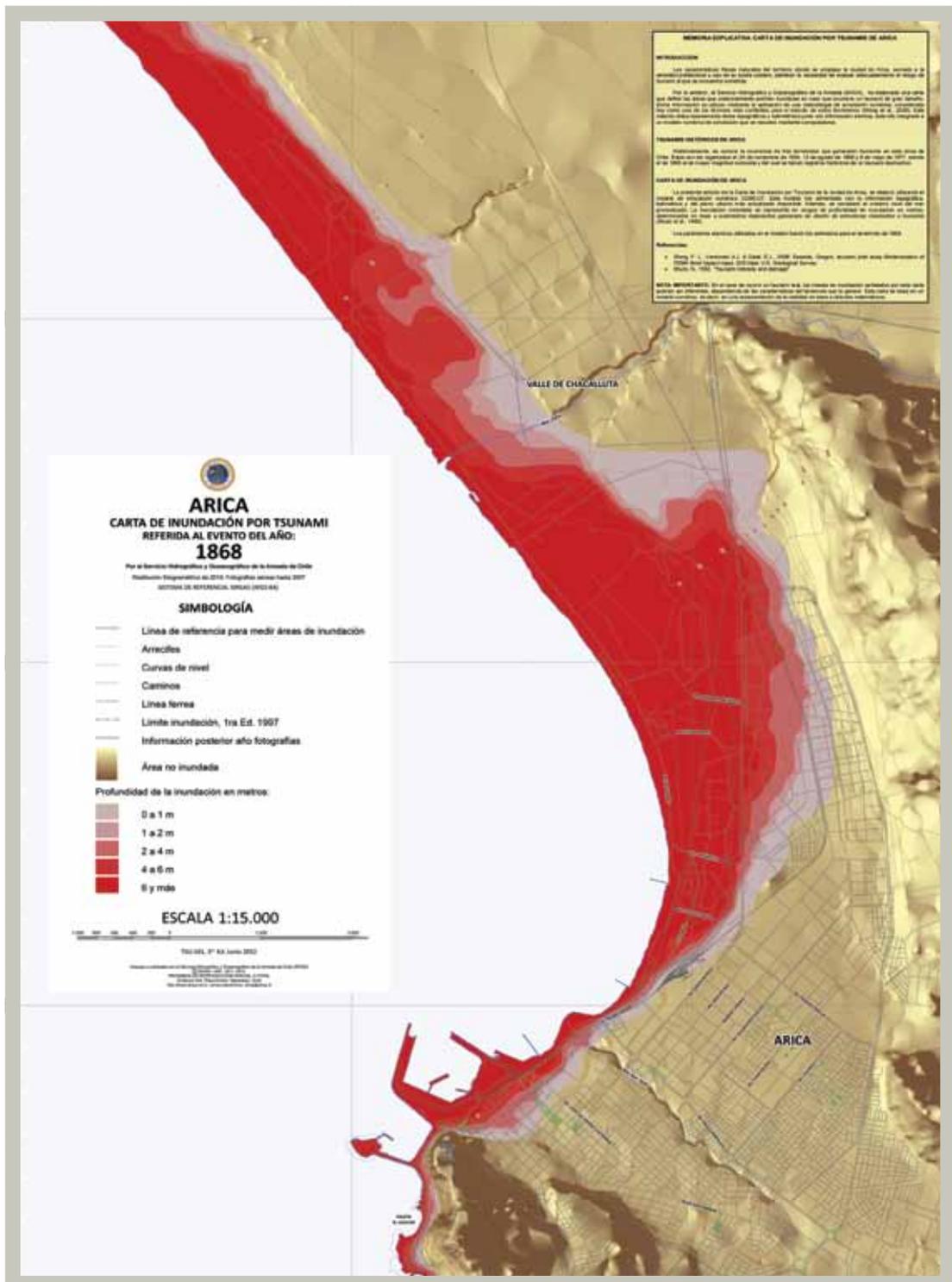


Figura 413. Peligro de tsunami en el puerto de Arica para evento que ocasiona una variación máxima del nivel del mar de 20m, similar al evento del 13/08/1868.



Los resultados anteriores fueron verificados con la información pública disponible, tal como la Carta de inundación por tsunami para Arica, publicada por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (ver figura 412 de página anterior).



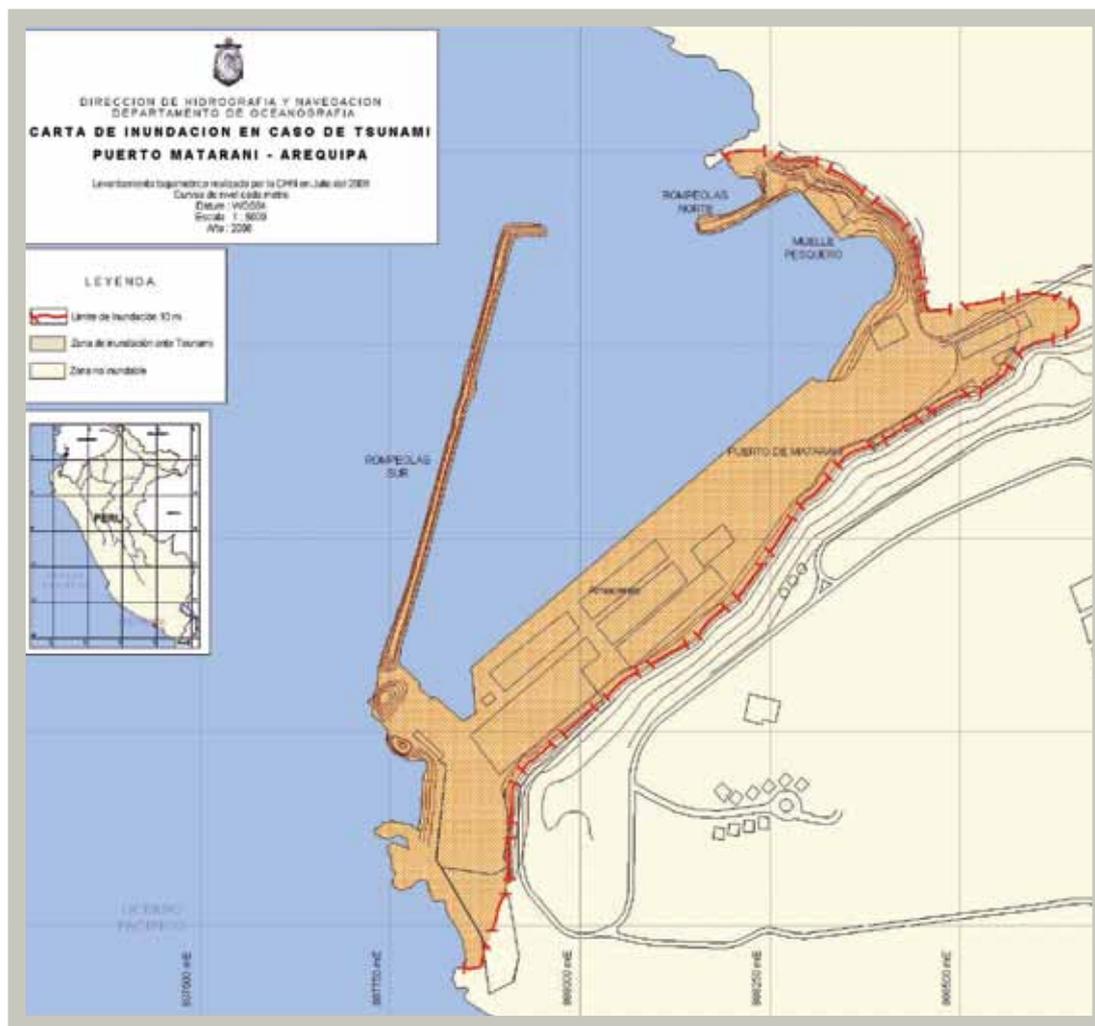
PUERTO DE MATARANI

Figura 414. Peligro de tsunami en el puerto de Matarani para un evento que ocasionaría alturas de inundación hasta la cota de elevación de 10m en el puerto.



Los resultados anteriores fueron verificados con la información pública disponible, tal como la carta de inundación en caso de Tsunami para el puerto de Matarani, por parte de la Dirección de Hidrografía y Navegación del Departamento de Oceanografía de Perú (ver figura 415 en página siguiente).

Figura 415. Carta de inundación en caso de Tsunami para el puerto de Matarani.



Análisis de Vulnerabilidad



AEROPUERTO DE ARICA

Este informe contiene una descripción detallada de la inspección de campo efectuada en las tres instalaciones principales del *Aeropuerto Chacalluta*, identificadas en conjunto con representante del Cliente. Las instalaciones incluidas en el alcance del presente trabajo son:

- ▶ Estructura Terminal de Pasajeros
- ▶ Pista de Aterrizaje
- ▶ Sistema de Agua Potable

A partir de la información existente provista por el Cliente, y los antecedentes recopilados durante la campaña en campo, se estimarán curvas de fragilidad y vulnerabilidad sísmica, las que en combinación con la estimación de la amenaza sísmica para la zona del Aeropuerto, permitirán efectuar un análisis

y evaluación global del riesgo sísmico. En el presente análisis, no se considera la amenaza de Tsunami, debido a que el Aeropuerto se encuentra en una zona segura alejada de la zona de inundación.

Inspección de campo aeropuerto Chacalluta

A continuación se detallan las observaciones de la campaña de campo efectuada en el Aeropuerto de Chacalluta el día 29 de Octubre de 2015.

Terminal de Pasajeros

Sistema estructural

El terminal de pasajeros corresponde a un edificio de hormigón armado con un techo de madera laminada, como se muestra en la figura 416 y figura 417. La zona de embarques se encuentra en el sector de la estructura que cuenta con dos pisos.

Figura 416. Vista Principal Exterior Estructura Terminal de Pasajeros



La estructura sismorresistente consiste en un sistema de marcos de concreto reforzado de un piso y columnas en volado que sirven de apoyo a una cubierta de madera laminada. La figura 418 muestra una vista en planta de la estructura del Terminal de Pasajeros que incluye esquemáticamente la disposición las columnas rectangulares y circulares que conforman el sistema de marcos.

La figura 419 muestra una elevación del eje transversal tipo de la estructura. En la siguiente figura se observan las columnas rectangulares de concreto reforzado ubicadas en la fachada del edificio, como también las columnas circulares de hormigón armado de doble altura que sirven de apoyo a los perfiles circulares metálicos que sostienen la estructura de techumbre y la losa del segundo nivel, donde se ubica la zona de embarque, policía y el restorán.

Figura 417. Vista Principal Interior Estructura Terminal de Pasajeros



Figura 418. Vista En Planta de la estructura del Terminal de Pasajeros

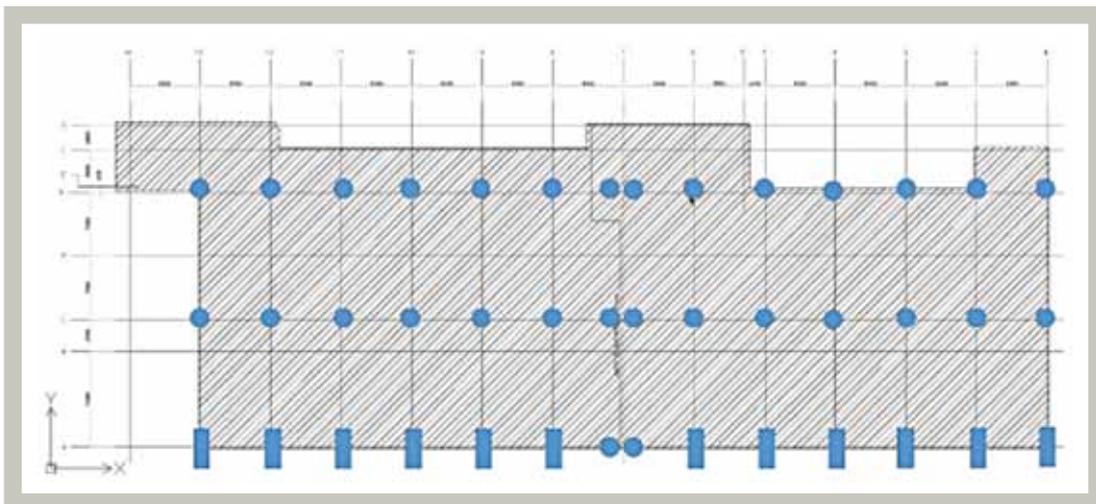
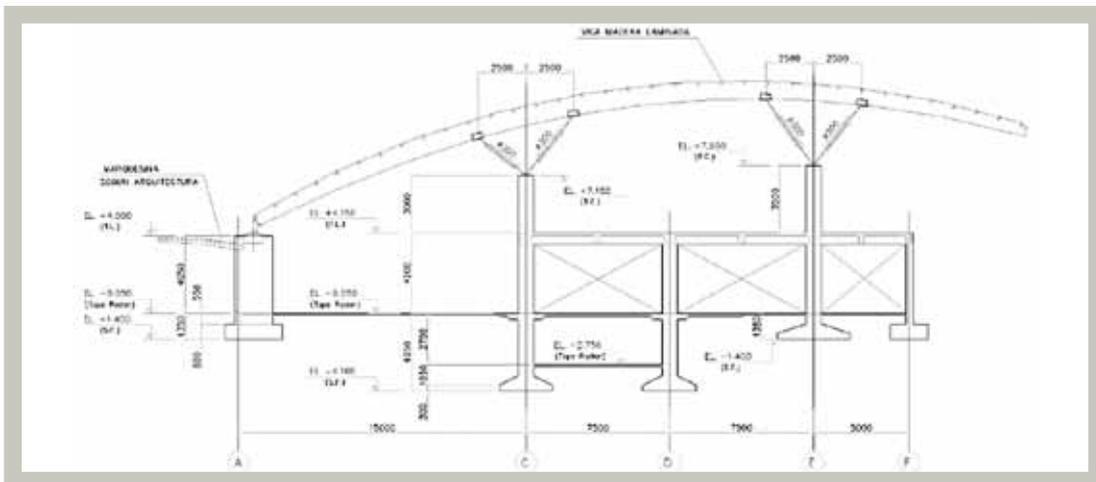


Figura 419. Vista en Elevación del Marco Resistente del Terminal de Pasajeros



La figura 420 muestra el marco resistente ubicado en la fachada principal de la estructura, conformado por pilares rectangulares, cuyo eje fuerte se encuentra orientado en la dirección transversal de la estructura, y por vigas T.

La figura 421 muestra una vista de la fachada principal, donde se aprecia un techo en voladizo que se apoya directamente sobre la viga del marco resistente. La figura 422 muestra la conexión del perfil metálico del techo en voladizo al ala de la viga.

La figura 423 muestra la fachada norte del Terminal de Pasajeros, donde se aprecia la estructuración del marco resistente y los apoyos metálicos del techo de madera laminada sobre las columnas circulares de doble altura.

Figura 420. Marco resistente de fachada



Figura 421. Fachada de la terminal



Figura 422. Conexión techo en voladizo en viga del marco resistente



Figura 423. Fachada Lateral Norte Terminal de Pasajeros



La figura 424 muestra una vista de la fachada hacia la pista de aterrizaje, donde se aprecia la extensión del techo en voladizo y una de las 2 subestructuras anexas a la estructura principal utilizada para el embarque de pasajeros. Estas estructuras anexas no son analizadas en este reporte dado que no se estiman críticas para la operación del aeropuerto. La figura 425 muestra una vista de la fachada sur, donde se aprecia la segunda subestructura anexa a la estructura principal utilizada para el embarque de pasajeros.

Figura 424. Fachada Sector Pista de Aterrizaje



Figura 425. Fachada Sector Pista de Aterrizaje



Figura 426. Trazado de junta de dilatación entre ambas estructuras de marcos

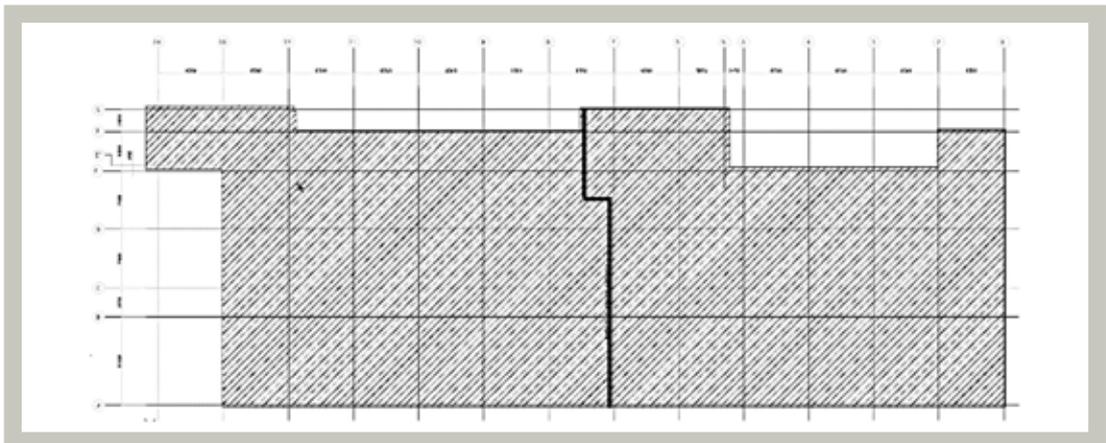


Figura 427. Junta de dilatación entre ambas estructuras de marcos



La estructura presenta una junta de dilatación en su zona central, como se muestra en la planta de arquitectura de la figura 426 (en página anterior). La junta de dilatación, de 50 mm de ancho nominal, no es recta y presenta un tazado errático. La figura 427 (en página anterior) muestra la materialización de la junta de dilatación en el sector de la fachada principal.

La junta es cruzada por los paneles no estructurales que conforman las oficinas de personal de la Policía, por los paneles de cierre de la estructura, y por los cielos rasos del primer piso (figura 428). Los elementos mostrados en las figuras anteriores probablemente presentarán daños durante eventos sísmicos severos y/o generarán restricciones físicas al libre movimiento de la estructura.

A lo largo de todo el perímetro de la estructura del Terminal de Pasajeros existe un marco de acero (figura 429) que permite apoyar los muros cortina de la fachada de la estructura. Estos marcos reciben parte del peso de la estructura de techumbre de madera laminada. Esta estructura metálica está dilatada de la estructura principal y se encuentra rotulada en su base. Una tubería del sistema contra incendio se apoya sobre la estructura metálica en ménsulas soldadas a las columnas de acero, restringiendo el desplazamiento de la tubería con abrazaderas. La figura 430 muestra la estructura de la fachada sur y los detalles de la conexión con el techo de madera laminada.

Figura 428. Elementos no estructurales en junta de dilatación



Figura 429. Estructura metálica perimetral en fachada sur



Figura 430. Detalles estructura metálica perimetral en fachada sur



Al interior de la estructura se encuentra un nivel intermedio habilitado para el embarque de pasajeros y que cuenta además con un restorán. En la figura 431 se observa un muro no estructural de color blanco, el cual es parte de las oficinas de Aduana, una cafetería, baños y dependencias de una oficina técnica. Todas las dependencias están conformadas por paredes de construcción liviana sobre la cual se apoyan equipos de aire acondicionado. Estas instalaciones se muestran en la figura 432.

Las instalaciones mostradas en la figura anterior se encuentran apoyadas en un diafragma de madera tipo OSB con envigado conformado por perfiles canal de acero que se apoya directamente en las paredes no estructurales de las salas mostradas en la figura 431. La estructura de apoyo se muestra en la siguiente figura.

En la figura 434 se observa la estructura metálica que soporta el techo y que está apoyada en el extremo superior de la columna. La figura 435 y figura 436 muestran el detalle de la conexión utilizada para el anclaje de los perfiles circulares a la columna de hormigón armado.

Figura 431. Vista segundo nivel, zona de embarque



Figura 432. Instalaciones de aire acondicionado sobre oficinas



Figura 433. Diafragma sobre sector de oficinas



Figura 434. Vista nivel intermedio zona restorán

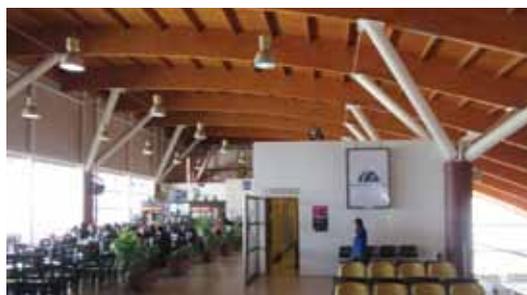


Figura 435. Estructura metálica de soporte de techo



Figura 436. Detalle anclaje de estructura metálica a columna de hormigón



En general, las columnas de hormigón armado no evidencian daños ni fisuramiento en la base, salvo dos columnas contiguas ubicadas en la zona de la junta de dilatación de ambas estructuras, como se muestra en la figura 437. La figura 438 muestra fisuras horizontales cercanas a la base. Por el tipo de fisura se puede indicar un comportamiento a flexión de las columnas, la cual se encuentra en una zona distinta a la base probablemente por el término del refuerzo de corte y/o confinamiento. Las fisuras tienen un ancho máximo de 0.4 mm.

Existen dos alternativas para acceder al segundo nivel: mediante escaleras (una mecánica y una tradicional, figura 439) y mediante un ascensor (figura 440).

Figura 437. Columnas de hormigón armado en la zona de la junta de dilatación



Figura 438. Fisuras cercanas a la base en columnas de hormigón



Figura 439. Escaleras para acceso a segundo nivel



Figura 440. Ascensor para acceso a segundo nivel



Figura 443. Conectores metálicos para sujeción de vidrio perimetral ascensor



Paredes y cielos rasos

Los elementos no estructurales más masivamente usados en el aeropuerto corresponden a paredes no estructurales y cielos rasos. Las paredes no estructurales están materializadas, en general, mediante placas de yeso cartón aplicadas sobre perfiles livianos de acero espaciados a 60 cm. En la siguiente figura, capturada sobre las oficinas del segundo nivel, se puede observar la estructuración de las paredes.

Figura 444. Estructuración paredes no estructurales



Figura 445. Vista general cielos rasos segundo nivel



Figura 446. Vista general cielos rasos en sector oficinas



El edificio cuenta con cielos rasos en varios sectores del primer y segundo nivel. En el primer nivel, se observan cielos rasos en las zonas de baños, mesones de atención de las líneas aéreas y en la zona de desembarque de pasajeros y aduana. En el segundo nivel, se observan cielos rasos en la zona de embarque y en todas las oficinas. Las figuras 445 y 446 muestran una vista general del cielo raso del segundo nivel.

En la figura 447 se muestra una vista del sector comprendido entre la losa de concreto del segundo nivel y el cielo raso. El cielo raso se encuentra suspendido por alambres de acero que se encuentran fijados a la losa mediante anclajes proyectados. No se observan elementos de arriostre. No se observan clips de fijación en el cielo. Los perfiles utilizados son estándar, no son perfiles para trabajo pesado (heavy duty). No se observan dilataciones en el perímetro de los paños de cielo raso. Los sistemas de iluminación, que se apoyan directamente sobre el cielo raso, no cuentan con un sistema de sujeción independiente. Se observan escalerillas para el transporte de cables y ductos. Se observa que cables instalados con posterioridad se encuentran apoyados directamente sobre el cielo raso. Si bien todos cuentan con elementos para la sujeción vertical, no se observan arriostres para restringir las oscilaciones verticales y horizontales de los elementos. Los rociadores de la red de incendio que cruzan el cielo raso no cuentan con holgura en su cruce.

Figura 447. Cielos Rasos sector Aduana



Figura 448. Detalle fijación colgador cielo raso a losa



Figura 449. Detalle de cruce de rociador por cielo raso



Equipos, mobiliario y sistemas distribuidos

Se incluye entre los equipos y mobiliario evaluados a las cintas transportadoras, los equipos de rayos X, las estaciones de trabajo y mesones de atención (incluyendo los computadores) y los equipos de aire acondicionado.

En relación a los equipos de aire acondicionado, éstos están dispuestos en la fachada que colinda con la pista de aterrizaje (figura 450). Los equipos están apoyados en marcos de acero, los cuales están suspendidos verticalmente por varillas de acero embebidas en la losa del segundo nivel, mientras que lateralmente se adosan mediante pernos a un panel no estructural. También es posible encontrar sistemas distribuidos en el mismo sector donde se ubican los equipos de aire acondicionado, entre los que se encuentran los sistemas de extinción de incendio y de aguas servidas, que se muestran en la figura 451. Ninguno de estos sistemas cuenta con dispositivos de arriostre.

Figura 450. Equipos de aire acondicionado



Figura 451. Sistemas distribuidos



Como se ha mencionado anteriormente, las redes de extinción de incendio no cuentan con arriostres sísmicos, como se muestra en las siguientes fotografías.

Entre el mobiliario y equipo evaluado se encuentran archivadores de las oficinas de administración, que no se encuentran fijos a paredes, los equipos de comunicación del terminal, que no cuenta con elementos de anclaje, y su correspondiente UPS, que se observa susceptible de deslizamiento o vuelco.

Figura 452. Red de incendio sin arriostres sísmicos



Figura 453. Archiveros sin protección sísmica



Figura 454. Equipo de comunicaciones sin anclaje



Figura 455. UPS susceptible de deslizar o volcar



Pista de Aterrizaje

A continuación se presenta una serie de imágenes de distintos sectores de la Pista de Aterrizaje, donde se puede apreciar el deterioro de ésta en términos de grietas, pérdida de material y modificación en la rasante.

Figura 456. Pavimento Pista de Aterrizaje



Figura 457. Grieta pavimento Pista de Aterrizaje



Figura 458. Pavimento Pista de Aterrizaje



Figura 459. Grietas pavimento Pista de Aterrizaje



Figura 460. Recapado pavimento Pista de Aterrizaje



Figura 461. Agrietamiento pavimento Pista de Aterrizaje



Figura 462. Desgaste pavimento zona de contacto avión Pista de Aterrizaje



Figura 464. Agrietamiento pavimento Pista de Aterrizaje



Sistema de Agua Potable

Se ha evaluado el sistema de agua potable del aeropuerto a objeto de identificar sus aspectos vulnerables. En particular, se ha visitado el sector de la sala de impulsión y la sala de bombas y estanque. La siguiente figura muestra la sala de impulsión, que aparentemente sería de concreto reforzado. Se observa que en la sala de impulsión los dispositivos de los gabinetes cuentan con conexión positiva. No obstante, el gabinete propiamente tal carece de un anclaje. En relación a la red propiamente tal no se presentan observaciones.

Figura 465. Sala eléctrica sistema de impulsión



Figura 466. Gabinete eléctrico sala de impulsión

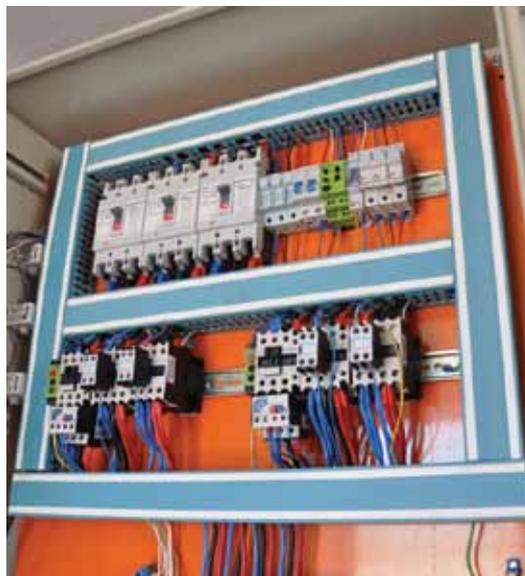
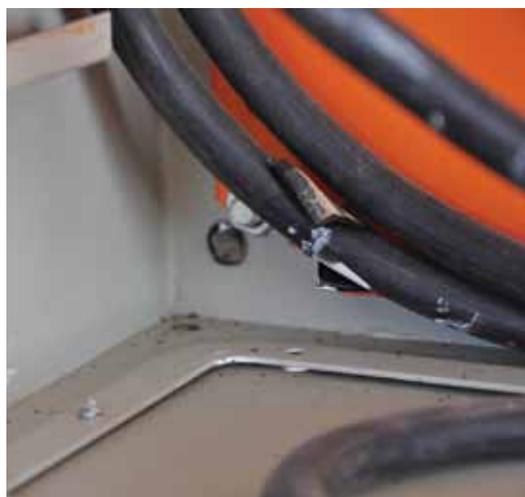


Figura 467. Gabinete eléctrico sala de impulsión con anclaje



Figura 468. Gabinete eléctrico sala de impulsión sin anclaje



Las salas de bombas se encuentran bajo tierra. En la sala ubicada más al norte se observa mayor deterioro del concreto. Esto se puede deber a la mayor antigüedad de esa sala. Las siguientes fotografías muestran las salas de bombas de impulsión.

La sala de bombas se encuentra contigua a los estanques de agua. La siguiente fotografía muestra una vista general de la sala de bombas. En general, no se observan mayores vulnerabilidades, salvo algún grado de corrosión en los anclajes de gabinetes, algunas conducciones sin abrazaderas y algunas bombas sin la totalidad de sus anclajes, entre otras.

Figura 469. Sala de bombas norte



Figura 470. Sala de bombas sur



Figura 472. Estanque vertical sin flexible en conexión con tubería.



Figura 476. Gabinete con componentes positivamente conectados.



Figura 471. Sala de bombas y estanque



Figura 473. Bomba sin anclaje.



Figura 474. Arriostre de tubería.



Figura 475. Apoyo de tubería.



Figura 477. Corrosión en anclaje de gabinete



Figura 478. Abrazadera faltante en conducción



Sala eléctrica

Se ha inspeccionado la sala eléctrica del aeropuerto, observándose generadores en buenas condiciones, pero transformadores con algunas deficiencias en sus anclajes. Algunos gabinetes presentan problemas similares de anclajes y algunos gabinetes eléctricos presentan componentes que no cuentan con conexión positiva. Las siguientes figuras muestran las principales observaciones de campo.

Figura 479. Vista exterior generador



Figura 480. Anclaje generador



Figura 481. Baterías generador



Figura 482. Vista interior generador



Figura 483. Vista transformador



Figura 484. Anclaje faltante en transformador



Figura 485. Vista interior automático general



Figura 486. Elementos automático general sin conexión positiva



Cuartel S.E.I. (Servicio de Rescate y Extinción de Incendios)

Se ha inspeccionado el Cuartel S.E.I. en búsqueda de vulnerabilidades sísmicas. El trabajo de campo efectuado ha permitido detectar la existencia de una estructura de acero que cubre el garaje de carros de emergencia con alta vulnerabilidad sísmica. Si bien la estructura de techumbre del garaje se proyecta desde la estructura de mampostería confinada donde se encuentran las oficinas y dependencias del personal, no se observan arriostres de techo ni un mínimo diseño sismorresistente de la estructura de acero, que permitan inferir que las cargas sísmicas puedan ser transmitidas a la estructura de mampostería o resistidas por la estructura metálica. Adicionalmente, no se observan arriostres verticales, los perfiles utilizados se observan relativamente esbeltos, y todas las conexiones son soldadas.

Adicionalmente, se observan algunos contenidos vulnerables tales como roperos que no se encuentran debidamente anclados. En la siguiente fotografía (figura 487) se observa una vista general del sector de garaje del S.E.I.

En las siguientes fotografías se observan varias vistas del sector de oficinas y dependencias del personal del S.E.I.

Figura 487. Vista frontis Cuartel S.E.I.



Figura 488. Oficinas y dependencias Cuartel de Servicio de Rescate y Extinción de Incendios



En la figura 489 se observa la estructura de techumbre que se proyecta por sobre el garaje y en la figura 490 se puede observar el detalle de la conexión entre vigas y columnas, y las vigas tipo canal y cajón canal existentes en el edificio.

Figura 489. Sector lateral lado norte Cuartel S.E.I.



Figura 490. Sector interior estructura metálica Cuartel S.E.I.



Figura 491. Estructura de marcos de acero Cuartel S.E.I.



Como conclusiones de la inspección visual realizada y de la revisión de la documentación provista, es posible concluir que:

- ▶ Si bien la estructura está diseñada de acuerdo a los requerimientos de una normativa relativamente moderna (NCh433), se estima que el diseño no permitiría controlar la probabilidad de daños a un nivel tal que no se presenten interrupciones en la operación del terminal durante y/o con posterioridad a un evento sísmico severo.
- ▶ El edificio del S.E.I. requiere de refuerzo estructural para dotarlo de una capacidad sísmica acorde con su función.
- ▶ Los elementos no estructurales ubicados en la junta de dilatación entre sectores del edificio probablemente presentarán daños de importancia durante eventos sísmicos severos, pudiendo generar pánico o dificultando la evacuación de personas. Estos elementos deben ser corregidos a la brevedad.
- ▶ De manera similar, existen paredes sin detallamiento sísmico que podrían resultar dañadas durante un evento sísmico severo. Las paredes no estructurales requieren ser reforzadas.
- ▶ Los equipos eléctricos inspeccionados requieren la revisión de sus anclajes. En algunos casos resulta necesaria la incorporación de topes sísmicos.
- ▶ Los cielos rasos requieren la incorporación de un detallamiento sísmico adecuado. En particular requieren la incorporación de arriostres sísmicos, puntales de compresión y elementos de anclaje que cuenten con diseño y certificación sísmica.
- ▶ Sistemas no estructurales distribuidos (redes de incendio, agua, alcantarillado, etc.) requieren la incorporación de arriostres sísmicos, puntales de compresión y elementos de anclaje que cuenten con diseño y certificación sísmica.
- ▶ Se deberá reemplazar el mobiliario existente por mobiliario que cuente con diseño sísmico.
- ▶ Los estudios requeridos para el refuerzo no estructural deben ser efectuados por una empresa con experiencia demostrable en diseño sísmico no estructural.
- ▶ Del mismo modo, los refuerzos estructurales requeridos para alcanzar los objetivos de desempeño establecidos por la autoridad para el establecimiento deben ser efectuados por una empresa con reconocida experiencia en la materia.

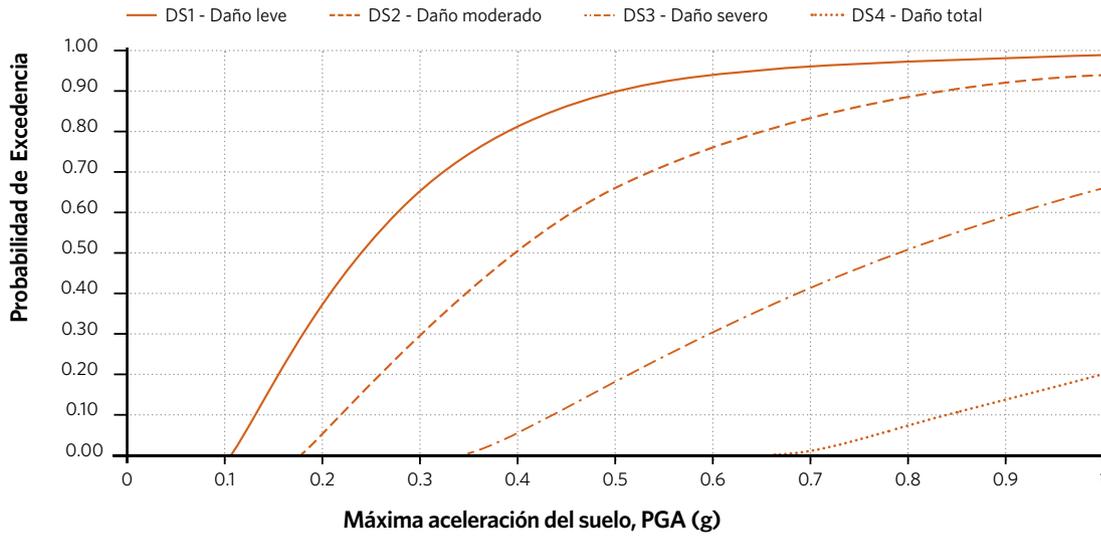
Curvas de fragilidad para el aeropuerto Chacalluta

A partir de las observaciones de campo, utilizando juicio experto e información descrita en la literatura, se ha asignado curvas de fragilidad a las distintas estructuras, sistemas y equipos identificados como vulnerables. La figura 492 (ver en página siguiente) muestra un ejemplo de las curvas de fragilidad estructural generadas para el Edificio Terminal.

En Anexo 2 a este informe se resumen las fragilidades sísmicas determinadas para los distintos componentes analizados del Aeropuerto Chacalluta.

Para cada componente de infraestructura analizado, a partir de las funciones de fragilidad se obtienen funciones de vulnerabilidad, las cuales relacionan la intensidad del fenómeno natural (aceleración máxima del suelo para el caso de sismo y altura de inundación para el caso de tsunami) contra el valor esperado del daño (en el Anexo 2 de este informe se presentan la metodología empleada).

Figura 492. Ejemplo curvas de fragilidad estructural Edificio Terminal



Vulnerabilidad por sismo

En las siguientes figuras se muestran las curvas de fragilidad y la curva de vulnerabilidad obtenida con su desviación estándar asociada para los componentes analizados del aeropuerto Chacalluta.

Figura 493. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Sala Eléctrica - Estructura

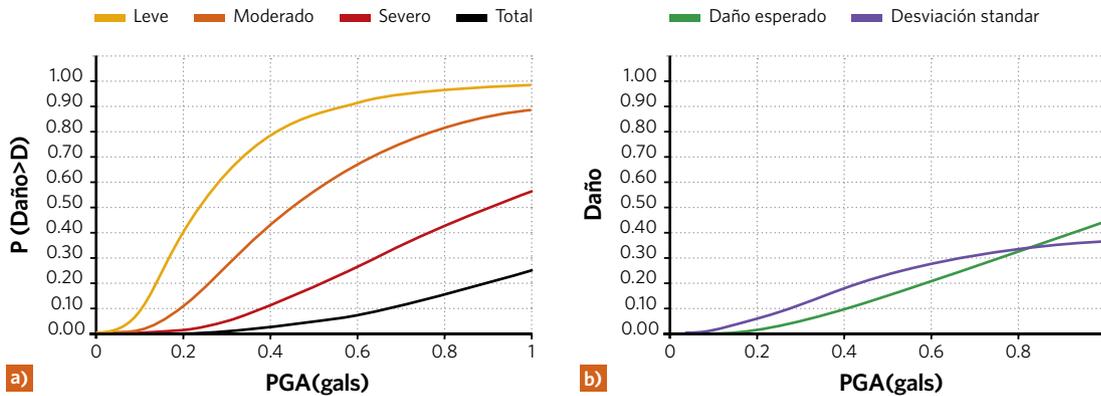


Figura 494. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Edificio SEI - Oficina

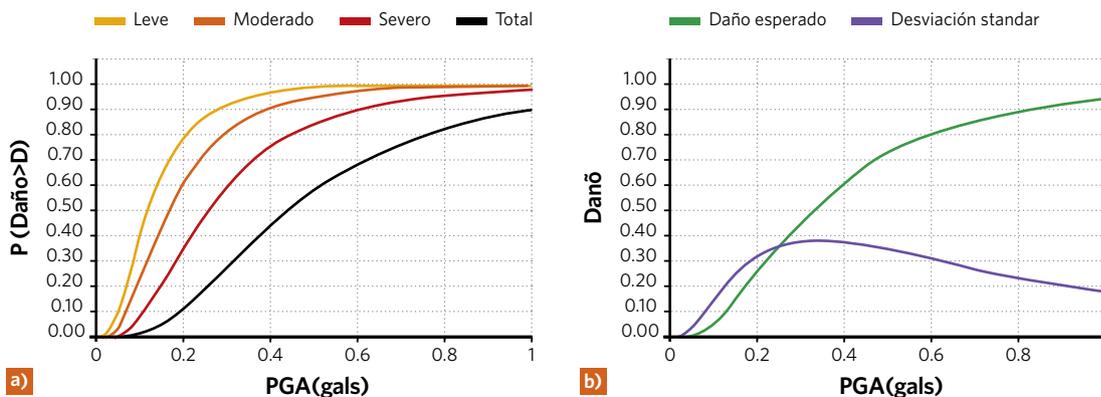


Figura 495. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Edificio SEI - Techumbre

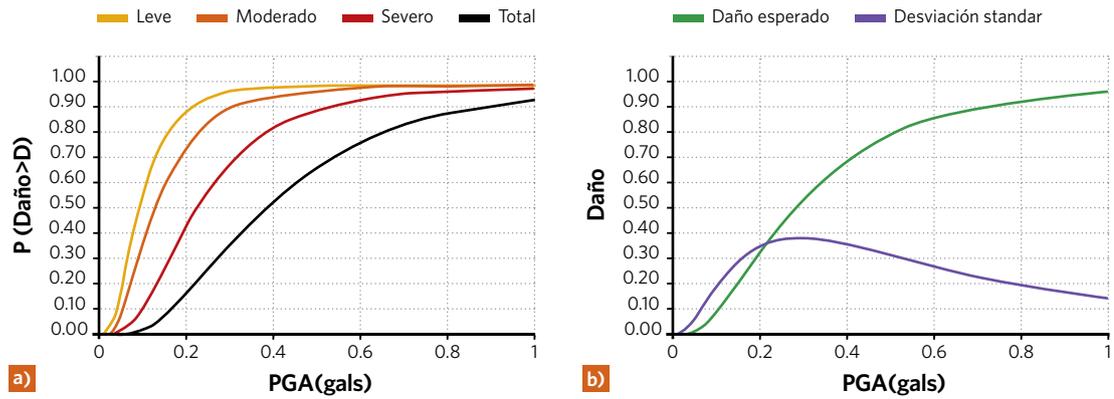
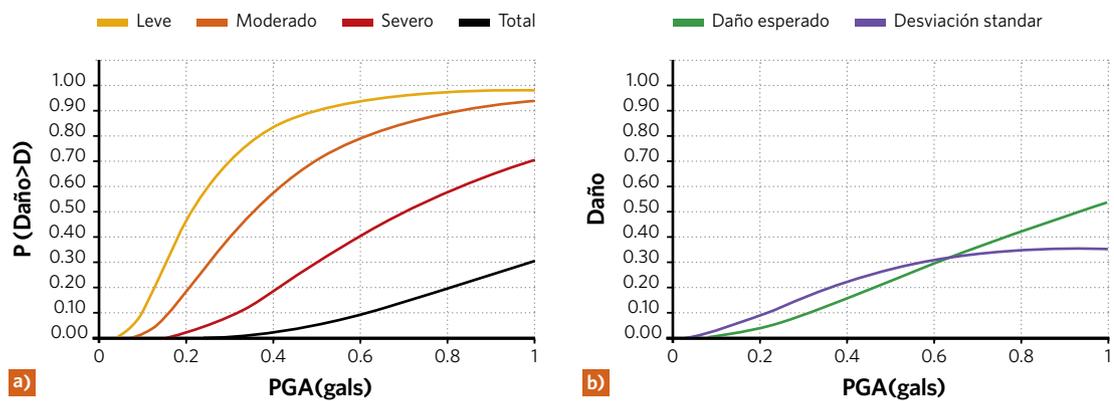


Figura 496. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Terminal de pasajeros - Estructura



PUERTO DE ARICA

A continuación se detallan las observaciones de la campaña de campo efectuada en el Puerto de Arica los días 29 y 30 de Octubre de 2015.

Edificio de oficinas administrativas

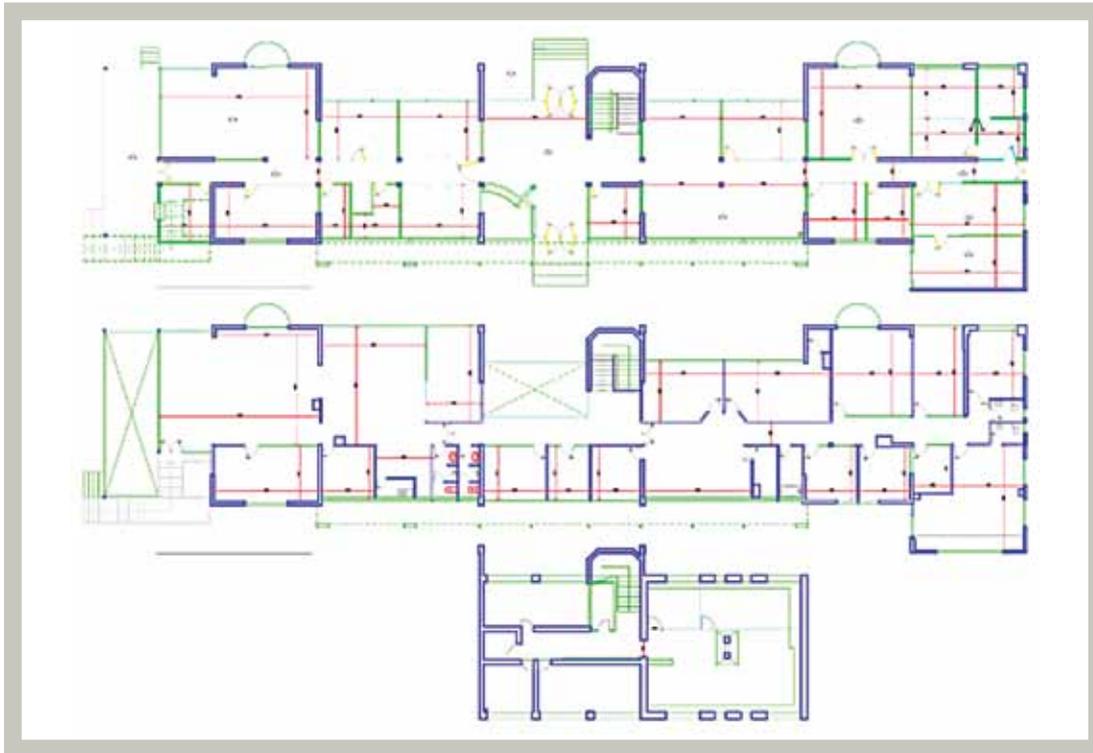
Sistema estructural

El edificio de oficinas administrativas corresponde a un edificio de hormigón armado y mampostería de dos pisos y un subterráneo. La figura 498 (ver en página siguiente) muestra la distribución de muros estructurales y de tabiquería pesada y liviana. Los muros estructurales (de hormigón o mampostería) se esquematizan en color azul, mientras que la tabiquería se esquematiza en color verde.

Figura 497. Vista Exterior Fachada Posterior Edificio de Oficinas Administrativas.



Figura 498. Distribución muros estructurales y tabiquerías.



A la fecha de elaboración de este informe no se ha recibido información respecto al diseño del edificio y sus componentes, por lo que no es posible comentar sobre los elementos estructurales sismorresistentes que la componen ni del sistema estructural, por lo que en el análisis de fragilidad se considerarán valores conservadores.

En relación a los elementos no estructurales, durante la inspección en terreno se constató la existencia de elementos vidriados para la separación entre ambientes, como se muestra en la figura 499, así como también de tabiquerías, para las cuales no se cuenta con información sobre su materialidad o estructuración.

Figura 499. Elementos vidriados



Figura 4100. Daños de la fachada posterior



Los elementos de fachada ubicados en la parte posterior del edificio presentan cierto grado de deterioro que podría ocasionar daños en caso de desprendimiento. Cabe destacar que no soportan carga adicional a su propio peso y no son parte del sistema sismorresistente. La figura 4100 muestra los elementos que componen la fachada de 2 niveles: perfiles metálicos verticales (en color blanco) soportando losas y vigas de hormigón armado (color mostaza).

La figura 4100 muestra algunos de los daños visibles. En la figura de la izquierda se aprecia daños en la zona de conexión entre el elemento de fachada y el pilar metálico, los cuales podrían comprometer la integridad de la fachada y la seguridad de los usuarios durante una evacuación. En la figura de la derecha se aprecia un agujero sobre la losa del segundo nivel, que si bien no tiene tránsito de personal, podría vaciarse en caso que el daño comprometa el ancho de la losa, que en esa sección, parece estar rellena con piedras.

Equipos, mobiliario y sistemas distribuidos

En relación a los equipos de aire acondicionado, existen equipos instalados en el techo de la estructura, como se aprecia en la figura 4101, los cuales se encuentran montados sobre una estructura metálica (figura 4102 en página siguiente). En la figura 4101 se aprecia que los sistemas de distribución de la ventilación se encuentran apoyados directamente sobre el techo de la estructura.

Figura 4101. Equipos de aire acondicionada en techo.



Figura 4102. Estructura metálica soportante**Figura 4103.** Conexión a la estructura de soporte de aire acondicionado

La figura 4103 muestra en detalle el estado de la conexión a la estructura de soporte, la cual presenta un alto grado de oxidación. No se cuenta con información sobre el diseño de las conexiones y del sistema de soporte metálico que sostiene los equipos de aire acondicionado.

En relación al cielo raso (ver figura 4104 y figura 4105), éstos no presentan un diseño sísmico acorde a las prácticas actuales, como se aprecia en la figura 4106. El cielo raso se encuentra suspendido por alambres de acero proyectados desde la estructura de techumbre.

Figura 4104. Cielos falsos en sector oficinas**Figura 4105.** Cielos falsos en sector oficinas**Figura 4106.** Sujeción cielo raso**Figura 4107.** Cables y ductos sobre cielo raso

No se observan dilataciones en el perímetro de los paños de cielo raso. Los sistemas de iluminación y de aire acondicionado se apoyan directamente sobre el cielo raso, sin contar con un sistema de sujeción independiente. No se observan escalerillas para el transporte de cables y ductos, sino que se encuentran apoyados directamente sobre el cielo raso. No todos los cables y ductos cuentan con elementos para la sujeción vertical. Tampoco se observan puntales ni arriostres para restringir las oscilaciones verticales y horizontales de los elementos. Lo anterior queda de manifiesto en las figuras 4107 a 4111. En algunos casos se observa el uso de anclajes inadecuados.

Figura 4108. Anclaje de colgador de cielo raso sin certificación sísmica



Figura 4109. Luminarias sin colgadores independientes.



Figura 4110. Equipo aire acondicionado interactuando con cielo raso



Figura 4111. Cielo raso suspendido de elemento no estructural y equipo de aire acondicionado sin arrioste.



En relación al mobiliario, específicamente de gabinetes y archivadores, éstos no se encuentran fijos a paredes ni anclados a piso, siendo susceptibles al vuelco, como se muestra en la figura 4112 y figura 4113, situación que podría dificultar la evacuación del edificio en caso de un evento sísmico extremo.

De manera complementaria, se ha inspeccionado la sala eléctrica del terminal portuario. En la figura 4114 se muestra una vista de la sala, presumiblemente de mampostería confinada, de 2 pisos de altura. En la sala eléctrica se observa un grupo electrógeno que contaría con aisladores de vibraciones sin capacidad para resistir eventos sísmicos y un chasis sin los debidos anclajes, como se muestra en la figura 4115. En la misma sala eléctrica, se observa un transformador sin anclajes, que pudiera presentar desplazamientos excesivos, cabeceo o vuelco.

A partir de la información visual recolectada durante la visita, y sin contar con antecedentes del diseño, es posible concluir que, en general, se observan vulnerabilidades, como la ausencia de anclajes del mobiliario (gabinetes y archivadores), la carencia de detallamiento sísmico de cielos rasos y sistemas de distribución horizontal, carencia de diseño sísmico en tabiquerías, y elementos de fachada con cierto grado de deterioro.

Figura 4112. Gabinetes sin anclaje ni diseño sísmico.



Figura 4113. Archivadores sin anclaje ni diseño sísmico.



Figura 4114. Vista exterior sala eléctrica.



Figura 4115. Grupo electrógeno con apoyos de vibraciones sin capacidad sismo-resistente y chasis sin anclaje a radier.



Figura 4116. Transformador sin anclaje ni topes sísmicos.



Grúas móviles

Grúa Arica

La grúa Arica corresponde a una grúa de marca Gottwald de año de fabricación 2004. Tiene una relación de capacidad de carga-alcance como se indica en la tabla 401. Esta grúa tiene dimensiones en planta, con las patas en posición de operación de 13.0m x 12.0m, mientras que las dimensiones en planta en posición de movimiento, son de 15.7m x 8.7m. El peso total es 420 Tonf, aproximadamente. En las especificaciones de esta grúa se indica que utiliza tecnología estabilizadora para transferir las fuerzas al suelo. Cuando sea necesario, los estabilizadores de la grúa pueden ser adaptados a los requisitos de la superficie de apoyo, como se muestra en la figura 4117 y figura 4118.

Tabla 401. Relación carga-alcance grúa Arica

Capacidad de Carga (Tonf)	Alcance (m)
100	11-24
38	50

Figura 4117. Grúa Arica



Figura 4118. Sistema de apoyo grúas Gottwald



El ambiente marino ha generado un deterioro de la pintura y del acero en la grúa. La figura 4119 muestra un pasador de conexión del enrejado de la pluma de la grúa, el cual evidencia el avance de la oxidación. Los cables se observan en buenas condiciones. Elementos como los mostrados en la figura 4120 actúan como retenedores para los cables. La figura 4121 muestra el pasador ubicado en un pivote de la pluma.

Figura 4119. Pasador Pluma Grúa Arica



Figura 4120. Polea Pluma Grúa



Figura 4121. Pasador en Pivote Grúa



Grúa Parinacota

La grúa Parinacota corresponde a una grúa de marca Gottwald de año de fabricación 2006. Tiene una relación de carga al alcance como se indica en la tabla 402. La grúa Parinacota posee las mismas características que la Grúa Arica.

Tabla 402. Relación carga-alcance Parinacota

Capacidad de Carga (Tonf)	Alcance (m)
100	11-24
38	50

Grúa Tacora

La grúa Tacora corresponde a una grúa de marca Gottwald de año de fabricación 2007. Tiene una relación de carga alcance como se indica en la tabla 403. La grúa Tacora posee las mismas características que la Grúa Arica

Tabla 403. Relación carga-alcance grúa Tacora

Capacidad de Carga (Tonf)	Alcance (m)
100	24
36.6	51

Grúa Livilcar

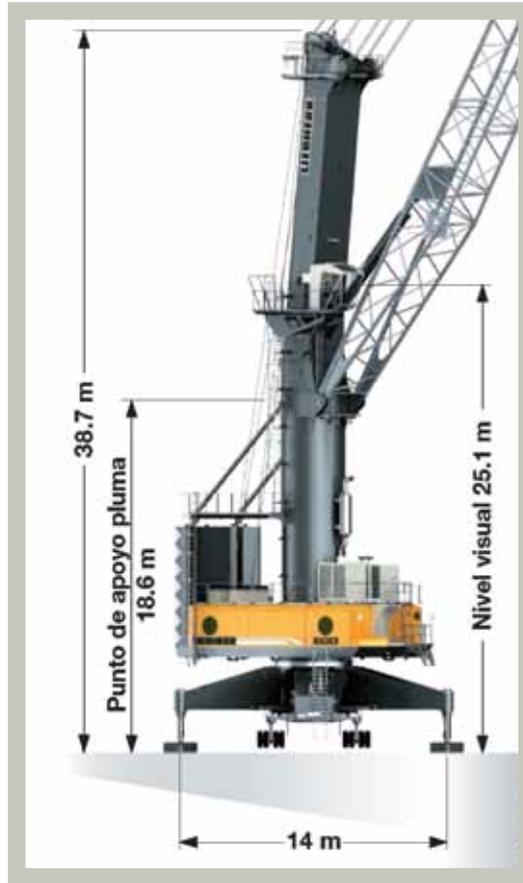
La grúa Livilcar corresponde a una grúa de marca Liebherr LHM 600, Súper Post Panama. Tiene una relación de carga alcance como se indica en la tabla 404.

Tabla 404. Relación carga-alcance grúa Livilcar

Capacidad de Carga (Tonf)	Alcance (m)
208	12
47.8	58

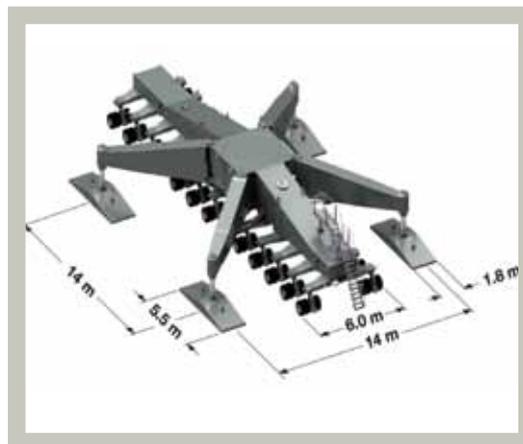
El peso de la grúa es de aproximadamente 550 Tonf. Consta de 13 ejes de neumáticos para su traslado que adapta la posición vertical del eje para mejorar la distribución de cargas, tal que durante la traslación, la suspensión hidráulica distribuya la presión sobre el suelo de mejor forma e impida que se sobrecarguen los juegos individuales de ruedas y la estructura del muelle.

Las dimensiones de la grúa en posición de trabajo son las indicadas en la figura 4123, siendo la altura de elevación máxima de 45 metros.

Figura 4122. Grúa Livilcar**Figura 4123.** Dimensiones en elevación Grúa Livilcar

La configuración del sistema de apoyo consiste en cuatro placas de apoyo que transmiten las cargas estáticas y dinámicas de operación a los apoyos, formando una cruz, como se aprecia en la figura 4124. Esta configuración tiene por objetivo:

- ▶ Reducir al mínimo los esfuerzos en la base de soporte cruciforme que dirige la trayectoria de carga de punta de la pluma al muelle.
- ▶ Reducir la carga de muelle mediante la instalación de juegos de ejes adicionales.
- ▶ Adaptar a diferentes tamaños de placas de apoyo y bases, de dimensiones 5.5 m x 1.8 m.

Figura 4124. Distribución apoyos grúa Livilcar.

Entre los requisitos de los fabricantes para garantizar la estabilidad global de grúas móviles se incluyen, entre otros, los siguientes factores:

- a) La superficie de apoyo debe estar adecuadamente compactada y nivelada. Servicios subterráneos o construcciones pueden sufrir daños o colapsos parciales o totales debido al paso de la grúa, lo que a su vez puede conducir al vuelco.

- b) Las vigas en voladizo de la grúa deben extenderse a las longitudes requeridas, en conformidad con las tareas especificadas por el fabricante y sus dimensiones.
- c) La grúa lleva a cabo el levantamiento en estricto acuerdo con las tablas de cargas provistas por el fabricante.

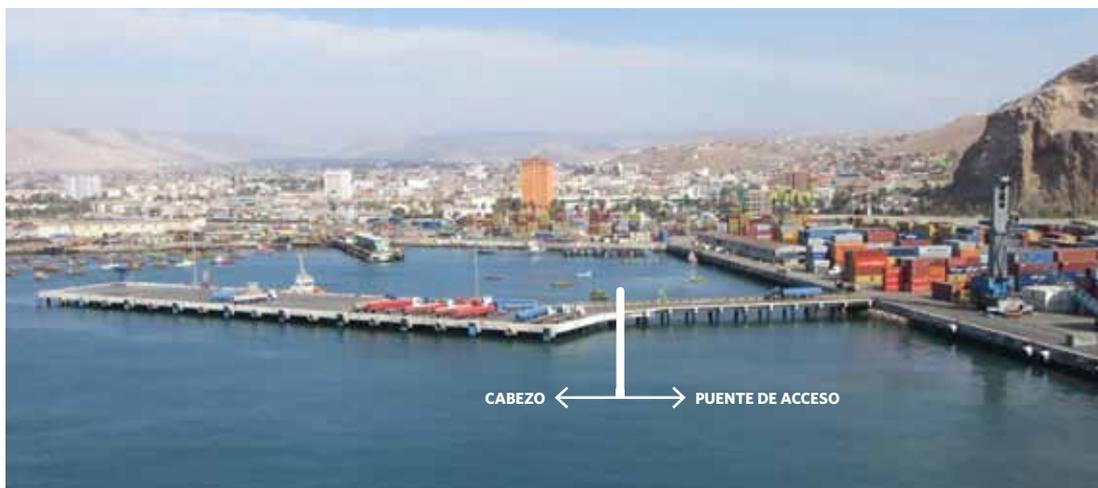
En relación al punto a), se debe tener en consideración los antecedentes provistos por el Cliente, en relación a que existiría un riesgo importante de licuación frente a sismos de magnitud importante debido a la baja compactación de la arena de relleno de los gaviones. Esta baja compactación puede generar asentamientos diferenciales en las losas del molo de abrigo por la que circulan las grúas.

En relación a los puntos b) y c), y conforme a lo indicado por los operadores de las grúas, la administración del puerto contaría con protocolos para la maniobra de las grúas, los cuales son conocidos e implementados por los trabajadores. En caso de sismo el protocolo considera dejar la grúa en la posición de reposo.

Muelle Sitio 2

El Muelle Sitio 2 consta de dos tramos: el cabezo, donde atracan las embarcaciones, y el puente de acceso, que une el molo de abrigo con el cabezo. La siguiente figura muestra una vista general del muelle, en la cual se indican ambas secciones mencionadas.

Figura 4125. Vista del muelle Sitio 2.



El cabezo del muelle, denominado "muelle asísmico de penetración" de acuerdo a la información provista por el Cliente, se encuentra ubicado aproximadamente a 100 metros de la línea de atraque del actual sitio 2. Para acceder hasta él se proyectó un puente de acceso conformado por una superestructura de hormigón armado apoyada sobre pilotes de acero.

La superestructura del puente de acceso consiste en tres vigas longitudinales distanciadas entre sí aproximadamente 4.0 metros las que se apoyan en cepas transversales ubicadas cada 7.8 metros. Las vigas descargan las cargas de una losa de hormigón armado de 28 cm de espesor sobre la cual hay una calzada para tránsito de camiones de 12.8 metros de ancho y un pasillo peatonal de 80 cm de ancho.

El tablero del cabezo es de hormigón armado de 38 metros de ancho y 220 metros de longitud. Este tablero está compuesto por una losa de 40 cm de espesor, apoyada sobre vigas longitudinales ubicadas aproximadamente cada 4.06 metros de distancia entre sí. Las vigas longitudinales se apoyan en cepas ubicadas a 8.0 metros de distancia. Los rieles para la grúa pórtico se apoyan en dos de estas vigas longitudinales ubicadas a 24.5 metros de distancia entre sí. El tablero o superestructura se apoya sobre 140 pilotes de acero encargados de transferir las solicitaciones al suelo de fundación. Los pilotes de acero se agrupan en pilotes de 28" de diámetro y pilotes de 1,100 mm de diámetro. Los pilotes de 28" son verticales y tienen como principal función soportar las cargas verticales que actúan sobre la estructura, mientras que los pilotes de 1,100 mm son inclinados y se encargan de soportar las solicitaciones horizontales, tales como, fuerzas sísmicas y fuerzas de atraque.

Como suelo de fundación existe roca por lo que se ha considerado que todos los pilotes se apoyan en ella. Para evitar el daño del pilote se especificó zapatos de hincas de modo de reforzar la punta del pilote. El zapato de hincas consiste en un tubo del mismo diámetro, pero de pared gruesa. Los pilotes inclinados que por ficha de hincas no sean capaces de desarrollar la tracción necesaria obtenida por diseño serán anclados a la roca para poder resistir dichas solicitaciones.

Figura 4126. Puente acceso muelle aproximación Sitio 2 con molo de abrigo.



Figura 4127. Pilotes puente de acceso muelle Sitio 2



Figura 4128. Vista de los pilotes del cabezo del muelle Sitio 2.



La figura 4126 muestra una sección del puente de acceso, específicamente en el sector donde se une con el molo de abrigo. Se aprecia que se proyectó un enrocado de estabilización del muro como seguridad adicional a la estabilidad del talud y que permite restringir el desabroche de gaviones durante la compactación por vibroflotación. La figura 4127 muestra pilotes verticales e inclinados correspondientes al sector del puente de acceso, los cuales se aprecian en buen estado. La figura 4128 muestra una imagen del sistema de pilotes verticales e inclinados del cabezo del muelle. El recorrido se realizó por el perímetro de la estructura, no ingresando bajo el muelle. De lo observado, se aprecian daños en la zona intermareal producto que la protección catódica no cubre la zona expuesta al aire.

La figura 4129 muestra la junta de dilatación entre ambas estructuras. Ésta se inspeccionó en superficie y se observó por ambos costados, no evidenciando trabajo sobre la junta.

Las defensas para el atraco de las embarcaciones (figura 4130) se aprecian en buenas condiciones, sin evidencia de trabajo del hormigón en la zona de contacto de la placa de acero ni de los pernos de anclaje. Sólo se observa oxidación producto de la exposición a la salinidad marina. No se evaluó el estado de las defensas compuestas por neumáticos mineros.

La figura 4131 muestra una vista de la losa del puente de acceso del Muelle 2. Ésta se encuentra en buen estado, al igual que la junta de dilatación. La figura 4132 permite apreciar la losa del cabezo, la cual también se encuentra en buenas condiciones (ver ambas figuras en página siguiente).

Figura 4129. Junta de dilatación marco cabezo con muelle de aproximación.



Figura 4130. Defensas para atraco de embarcaciones.



Figura 4131. Losa puente de acceso y cubrejunta de dilatación.



Figura 4132. Losa cabezo



Figura 4133. Sección muelle Sitio 2.



Figura 4134. Estado del hormigón de losa muelle Sitio 2.



Figura 4135. Corrosión tablestacas del muelle Sitio 2



La unión entre la tablestaca y las vigas de hormigón armado de sección L dispuesta como viga de coronamiento, presentan corrosión en sectores extensos, en los cuales incluso existe desprendimiento del recubrimiento estructural dejando en evidencia la armadura, como se aprecia en la figura 4133. La armadura expuesta presenta un alto grado de corrosión, lo cual reduce la resistencia de la viga, como se aprecia en la figura 4134 y figura 4135.

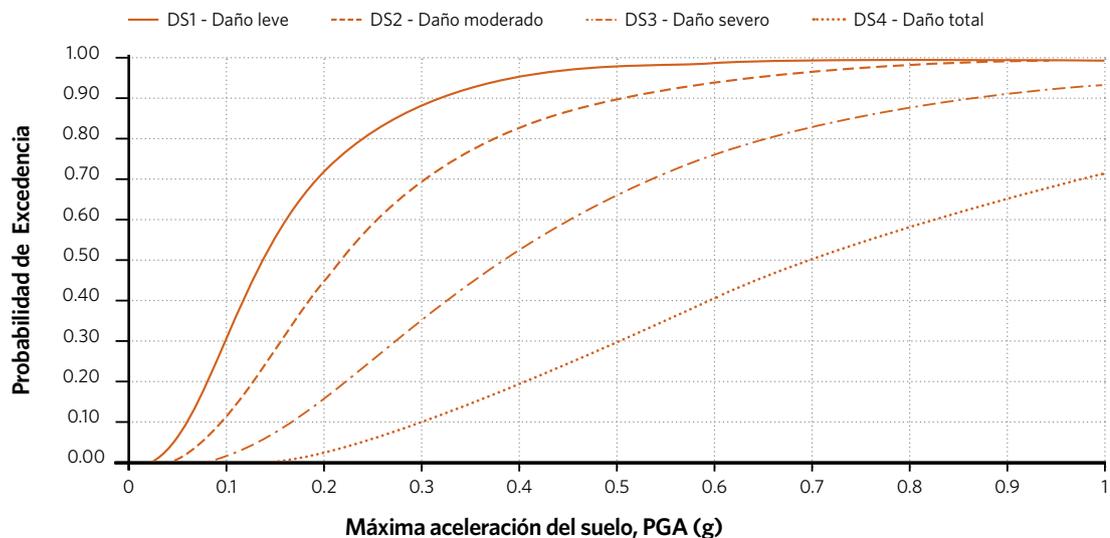
Como conclusiones de la inspección visual realizada y de la revisión de la documentación provista, es posible concluir que:

- ▶ En general, se observa que el muelle del Sitio 2 está en buenas condiciones.
- ▶ La inspección realizada sobre el muelle fue en superficie y perimetralmente mediante embarcación.
- ▶ Tablestacas del muelle Sitio 1 y Sitio 3 existente presentan deterioro del concreto y de las barras de acero expuestas por corrosión salina. Si bien es producto de la marea, es probable que se deba mayormente a deficiencias de protección catódica contra la abrasión, de acuerdo a la información provista (Plan reparación general infraestructura TPA). Esto incide en la estabilidad frente a sismos de magnitud importante, por lo que se requiere un proyecto de reparación.
- ▶ De acuerdo a los antecedentes provistos por el Cliente, existiría un riesgo importante de licuación frente a sismos severos, debido a la baja compactación de la arena de relleno de los gaviones.
- ▶ De igual manera, los antecedentes provistos por el Cliente indican que los pilotes evidencian un desgaste avanzado en el revestimiento de la zona intermareal, debido entre otros factores, a no contar con protección adicional a la instalada al momento de su fabricación (revestimiento) contra la abrasión provocada por las corrientes marinas.

Curvas de fragilidad para el puerto de Arica

A partir de las observaciones de campo, utilizando juicio experto e información descrita en la literatura, se ha asignado curvas de fragilidad a las distintas estructuras, sistemas y equipos identificados como vulnerables. La siguiente figura muestra un ejemplo de las curvas de fragilidad estructural generadas para el Edificio Administración.

Figura 4136. Ejemplo curvas de fragilidad estructural Edificio Administración.



Vulnerabilidad por sismo

En las siguientes figuras se muestran las curvas de fragilidad y las curvas de vulnerabilidad obtenidas con su desviación estándar asociada para los componentes analizados del Puerto de Arica.

Figura 4137. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Edificio administrativo

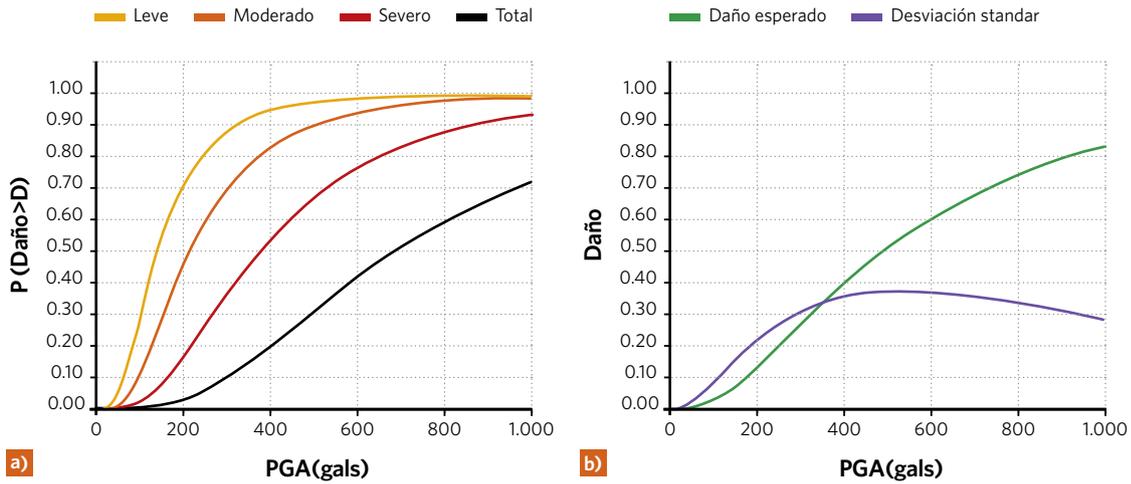


Figura 4138. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Muelle

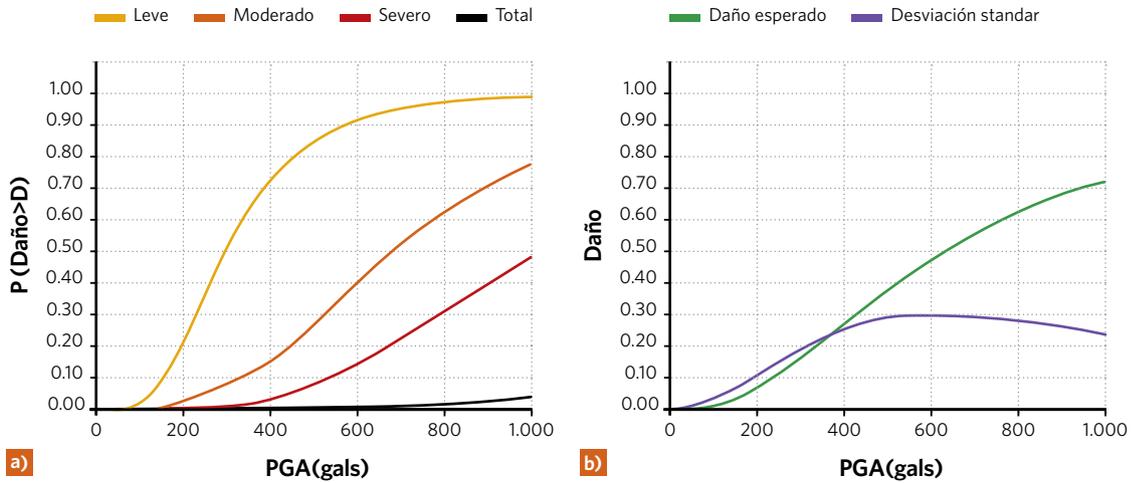
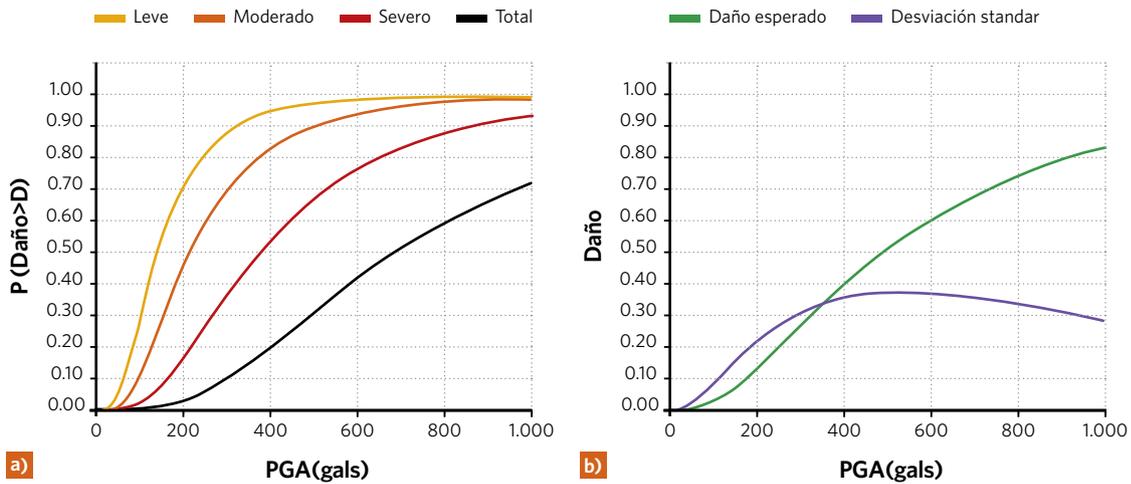


Figura 4139. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Sala Eléctrica



Vulnerabilidad por Tsunami: ver Anexo 2 a este informe.



A continuación se detallan las observaciones de la campaña de campo efectuada en el Puerto de Matarani los días 7 y 8 de Octubre de 2015.

Almacenes

Los almacenes techados tienen una capacidad de 120,000 toneladas métricas. El sistema a granel de sólidos minerales consiste en un sistema de recepción, almacenamiento y embarque de minerales. Consiste en almacenes totalmente cerrados de 120,000 Tm estáticas y un sistema de fajas transportadoras de 680 metros de longitud que traslada el concentrado de mineral hacia la nave con una capacidad nominal de 1,500 Tm/hr. La figura siguiente muestra una vista en planta de los almacenes de minerales, donde se muestra los sectores de recepción, de almacenamiento y la faja transportadora.

Los almacenes están conformados por muros de mampostería confinada, como se muestra en la figura 4141. El sector de recepción de minerales tiene 21.3 metros de ancho por 80.2 metros de longitud, con un área techada de 1,708 m², mientras que el sector de acopio de minerales, ubicado al costado del área de recepción, tiene 44.8 metros de ancho por 95 metros de longitud, con un área techada de 4,256 m², aproximadamente.

Los muros perimetrales tienen una altura aproximada de 4.5 metros con vanos de 6.2 metros. Sobre los muros perimetrales se apoya una estructura metálica con techo cóncavo, como se muestra en la figura siguiente. No se dispone de planos de detalles de la estructura de techumbre.

Figura 4140. Vista en planta de almacenes de minerales

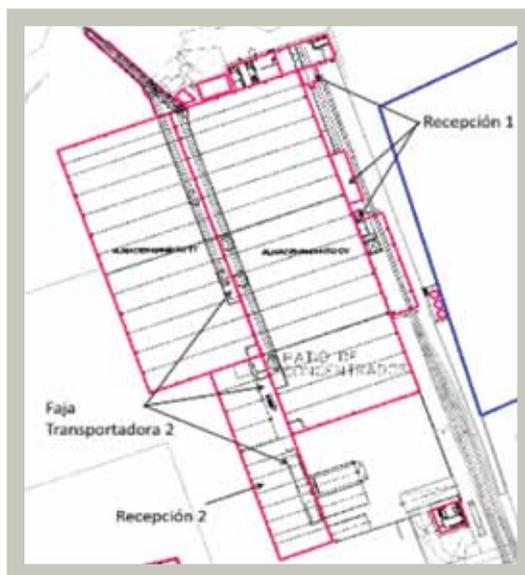
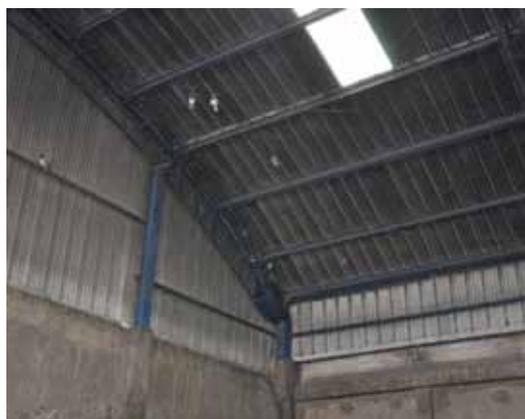


Figura 4141. Sector recepción de minerales



Figura 4142. Estructura de techo almacén de minerales



La carga del material a la cinta transportadora se realiza a través de una perforación sobre la losa del edificio de recepción, bajo la cual se ubica, en un túnel, la cinta que transporta el material a los almacenes de mineral y/o los deriva directamente al 'Tripper'. El proceso de carga del material a la cinta transportadora se muestra en la figura 4143.

Se observan columnas que presentan fisuras horizontales cercanas a la base, las cuales se manifiestan como respuesta, presumiblemente, a solicitaciones de flexión (figura 4144). No se dispone de los planos de armaduras de las columnas y vigas de confinamiento, por lo que no es posible realizar un análisis detallado de estos elementos. La figura 4145 muestra la existencia de reparaciones en las bases de las columnas, en el mismo sector donde se encontraron fisuras como las mostradas en la figura 4144.

Durante la visita se recorrieron ambos almacenes, los cuales se encontraban parcialmente llenos con mineral. Los almacenes tienen un ancho total de 45 metros y 103 metros de longitud.

Figura 4143. Carga material a cinta transportadora



Figura 4144. Daño en columna marco Sismorresistente



Figura 4145. Reparaciones en columna marco Sismorresistente



Fajas transportadoras

El sistema de fajas o correas transportadoras del sistema de transferencia de minerales comienza en el túnel de carga del edificio de recepción y termina en el Tripper que alimenta el Ship Loader, extendiéndose por una longitud aproximada de 850 metros.

La siguiente figura muestra el tramo de la correa que se proyecta desde el túnel de carga hasta alcanzar una elevación en torno a los 6 metros de altura sobre el nivel de piso. La correa está soportada por una estructura de acero que forma parte de la estructura de techo. No se dispone de planos de forma ni de detallamiento de la estructura metálica.

La figura 4147 muestra un acercamiento a la estructura de soporte de la correa. La columna de acero forma parte de la estructura de techo y tiene una viga que recibe parte de la carga de la cinta transportadora. El otro extremo de la viga se apoya en la columna del marco resistente del edificio, la cual se conecta a través de una placa a la columna.

La cinta transportadora avanza desde el edificio de recepción a través del edificio de almacén, para luego proyectarse hacia la zona del muelle donde se empalma con el Tripper. Al salir del almacén la correa se enrolla formando un tubo con la finalidad de contener el mineral y controlar la contaminación. En este tramo la estructura es elevada para pasar sobre un camino interno del Puerto y cumplir con el gálibo necesario. La estructura de soporte de la correa, de color blanco en la figura 4148, presenta daños por pandeo local de columnas y diagonales.

Figura 4146. Estructura correa transportadora en edificio de recepción



Figura 4147. Marco soporte estructura correa transportadora en edificio de minerales



Figura 4148. Estructura de soporte correa transportadora a la salida del almacén de minerales



La figura 4149 y figura 4150 muestran ejemplos de la condición de pandeo local de los elementos de la estructura de soporte.

La figura 4151 muestra la estructura de soporte elevada de la correa transportadora que se proyecta desde los almacenes de minerales hasta el Tripper ubicado en el muelle. La estructura de soporte está constituida por perfiles tipo HN con diagonales compuestas por perfiles L. Se inspeccionó en detalle la sección ubicada al costado de la línea del ferrocarril. Se estima que la cepa con mayor altura se encuentra entre los 25 a 30 metros, aproximadamente.

La figura 4152 muestra un acercamiento a la base de la estructura de soporte de la correa transportadora, la cual está compuesta por 2 columnas arriostradas en toda la altura. Los arriostres están conformados por perfiles L que presentan pandeos locales. Se descarta que el pandeo sea producto de golpes causados por el desprendimiento de rocas del talud contiguo, pues no hay marcas sobre la pintura.

Figura 4149. Daño en perfil de estructura de soporte correa transportadora



Figura 4150. Daño en perfil de estructura de soporte correa transportadora



Figura 4151. Estructura de soporte elevada desde almacenes a Tripper



Las figuras 4153 a 4156 muestran los efectos del pandeo sobre los arriostres. No se dispone de planos ni memorias de cálculo de diseño que permitan generar un análisis más detallado para verificar si se requiere reforzar la estructura. En el estado actual podría ser necesario reemplazar los perfiles que presentan daños, pero dicha decisión requiere de un análisis detallado del sistema, fuera del alcance de este estudio.

La figura 4157 muestra una fisura en la conexión entre la columna y la diagonal. La conexión está soldada a la columna y apernada a la diagonal. La fisura se encuentra en ambos extremos de la conexión.

Figura 4152. Base estructura de soporte correa transportadora



Figura 4153. Daño en perfil estructura de soporte correa transportadora



Figura 4154. Pandeo perfil estructura de soporte correa transportadora

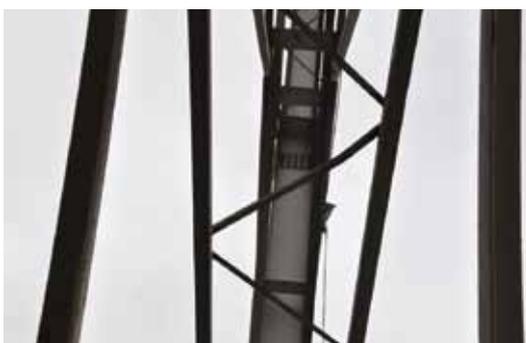


Figura 4155. Pandeo perfil estructura de soporte correa transportadora



Figura 4156. Pandeo perfil estructura de soporte correa transportadora



Figura 4157. Fisura en perfil estructura de soporte correa transportadora



La figura 4158 muestra un acercamiento a la estructura de la correa transportadora. La estructura está compuesta por vigas longitudinales de perfiles de sección L apertadas y por marcos interiores soldados entre sí.

La figura 4159 muestra la estructuración en enrejado que contiene la correa. El vano entre apoyos tiene una longitud aproximada de 18 metros. No se dispone de planos que permitan realizar un análisis detallado de la estructura.

Figura 4158. Estructura para correa transportadora



Figura 4159. Vista general estructura para correa transportadora



Tripper y Ship Loader

El Tripper y Ship Loader son 2 estructuras ubicadas en el muelle que permiten la carga del mineral a las embarcaciones. El Tripper consiste en una estructura elevada que transporta el material descargado por la correa transportadora que viene desde los almacenes. El transporte se realiza por otra correa transportadora, no enrollada, por lo que está confinada dentro de una galería, tal de evitar la suspensión de finos. La galería está conformada por una estructura de enrejado con paneles de cierre con un ancho de 6.1 metros y una longitud total de 156 metros. La siguiente figura muestra la llegada de la correa transportadora desde los almacenes al Tripper.

La figura 4161 muestra el empalme del Tripper con el Ship Loader. La estructura del Tripper es fija, mientras que el Ship Loader es móvil. Para permitir el desplazamiento del Ship Loader, que se desplaza sobre rieles, la galería del Tripper tiene una sección no cubierta por paneles, sino que por una malla negra, como se muestra en la figura 4161. El Tripper modifica la disposición de la correa para ajustarse a la posición del Ship Loader.

Figura 4160. Galería correa transportadora



Figura 4161. Tripper y Ship Loader



La estructura de soporte de la galería del Tripper se muestra en la siguiente figura, la que está compuesta por marcos con diagonales de acero. Las columnas corresponden a perfiles del tipo HN con placas bases apernadas a pedestales de hormigón armado de baja altura, con sillas en su base. La altura del Ship Loader se estima entre los 13 y 16 metros, aproximadamente. Debido al tránsito de camiones, los apoyos del ship loader están protegidos por barandas metálicas. La superficie de apoyo corresponde al muelle, del cual no se tienen planos de detalle.

Durante la visita de campo se constató la existencia de un marco estructurado excéntrico al eje de la galería. Se desconoce el motivo, pero se estima se podría deber a un intento por no modificar el trazado de los rieles dispuestos sobre el muelle, por lo que se adecuó la estructura de soporte (ver figura 4163 en página siguiente).

Figura 4162. Estructura de soporte Tripper



La figura 4164 muestra la llegada de la correa transportadora proveniente de los almacenes. El material llega a un contenedor dispuesto sobre una correa que transporta el mineral a lo largo de la galería.

La figura 4165 contiene una imagen de la correa transportadora al interior de la galería, donde se aprecia la estructuración de la galería, la diagonalización vertical y de techo, y los paneles de contorno.

La figura 4166 muestra la estructura móvil que permite ajustar el movimiento del Ship Loader. Esta estructura está apoyada sobre rieles (figura 4167) a lo largo de la galería, elevando la correa para empalmarse a la estructura de carga del Ship Loader.

Figura 4163. Estructura de soporte excéntrica Tripper



Figura 4164. Llegada correa transportadora a Tripper



Figura 4165. Correa transportadora de Tripper



Figura 4166. Empalme Tripper con Ship Loader



Figura 4167. Apoyo móvil Tripper



La figura 4168 muestra una imagen de la estructura móvil del Ship Loader, la cual se traslada por rieles (figura 4169) a lo largo del muelle. En la parte superior tiene una manga cerrada y una tubería de descarga para el mineral, ambas rotuladas en los extremos para adecuar la distancia a las embarcaciones.

Figura 4168. Ship Loader



Figura 4169. Apoyo móvil Ship Loader

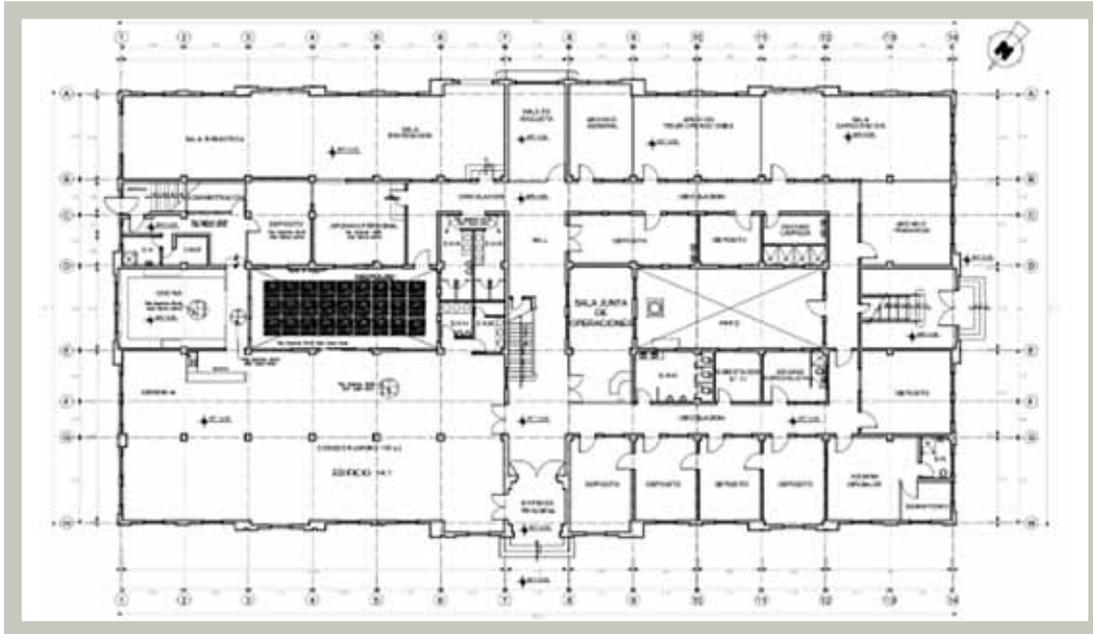


Edificio Administrativo

El edificio administrativo, mostrado en la figura siguiente, es una estructura de albañilería estructural de 2 niveles donde se encuentra dependencias como el comedor, oficinas administrativas, el data-center del Puerto, bodegas de insumos y elementos de protección personal, y archivos. El edificio se encuentra en la zona del muelle, en zona de inundación, entre sectores de acopio y silos de granos. La zona de seguridad contra tsunamis se encuentra a 600 metros de distancia. La estructuración del edificio administrativo se muestra en la figura 4171 (ver en página siguiente).

Figura 4170. Vista principal Edificio Administrativo



Figura 4171. Planta primer piso Edificio Administrativo**Figura 4172.** Campana extractora cocina**Figura 4173.** Sistemas de refrigeración cocina

En cuanto a las dependencias, la cocina tiene una campana extractora de aire que cuelga desde el techo a través de 4 varillas de acero, sin arriostres. La visita se realizó mientras el personal de cocina realizaba la limpieza del recinto, por lo que no fue posible ver el tipo de conexión de las varillas al techo.

Los equipos de refrigeración, mostrados en la figura 4173 y figura 4174, tienen apoyos móviles y no cuentan con dispositivos de control de desplazamiento ni volcamiento. Los equipos tienen una elevada relación de aspecto, con una altura aproximada de 2 metros y un ancho de 1.0 metros, haciéndolos susceptibles de volcarse.

Figura 4174. Sistema de refrigeración cocina

Se observan equipos de cocina, como el horno mostrado en la figura 4175, que se encuentran apoyados sobre estructuras de soporte metálicas no ancladas al suelo. Los equipos no se encuentran fijados a la pared. La altura aproximada de estos equipos es de 2 metros y su ancho de 1.3 metros, por lo que se estima podrían ser susceptibles de deslizamiento o vuelco.

Entre el mobiliario evaluado se encuentra la alacena de cocina (figura 4176) y la de insumos de oficina (figura 4177), que no se encuentran fijados a la pared. Se estima que este mobiliario podría ser susceptible de deslizamiento o vuelco, puesto que tienen una altura aproximada de 1.5 y 2.0 metros, respectivamente, y un ancho de 0.8 metros.

Figura 4175. Hornos cocina



Figura 4176. Alacena cocina



Figura 4177. Alacena insumos oficina



Entre los equipos evaluados se encuentra el sistema de refrigeración de insumos médicos (figura 4178), el cual no se encuentra fijo a las paredes, siendo susceptible de deslizamiento o vuelco. Se apoya sobre una mesa de 1.0 metros de alto, aproximadamente. El equipo tiene una altura de 1.0 metros y una base de 0.8 metros de ancho.

El mobiliario de la sala de archivos (figura 4179) se encuentra fijo a la pared. La información de diseño de los estantes no fue provista, por lo que no es posible verificar si los anclajes existentes son adecuados para prevenir el vuelco. La altura de los estantes es aproximadamente 3.5 metros, con un ancho de 0.40 metros.

Figura 4178. Sistema refrigeración insumos médicos



Figura 4179. Sala de archivos

Entre el mobiliario evaluado se encuentran archivadores de las oficinas de administración (figura 4180), que no se encuentran fijados a paredes, los que se observa son susceptibles de deslizamiento o vuelco. La altura aproximada del mobiliario es de 2 metros y ancho de 1.0 metro.

Los estanques de agua potable son de fibra de vidrio y se encuentran en el techo, simplemente apoyados sobre estructuras de hormigón armado (figura 4181). Se requiere implementar restricciones al desplazamiento lateral de los estanques, los cuales son sísmicamente vulnerables.

En algunos sectores, se observa pérdida de recubrimiento en la losa de apoyo, dejando expuesta al ambiente la armadura de refuerzo. La cercanía al Océano Pacífico ha oxidado la armadura expuesta lo que podría reducir su resistencia.

También en el techo se observan equipos de ventilación, los cuales están dispuestos sobre estructuras metálicas de baja altura. Los equipos no cuentan con un sistema de fijación a la estructura de soporte (figura 4183).

Figura 4180. Estantes de oficina**Figura 4181.** Estanques de agua potable en techo

Figura 4182. Estructura de hormigón de estanques con daños



Figura 4183. Sistemas de ventilación en techo



Central térmica

El edificio que alberga la central térmica está ubicado al costado este de los edificios de almacenes. La estructura del edificio posee dos pisos y su estructuración presumiblemente es de mampostería o concreto. Se observan 2 tipos de equipos generadores en esta central. Un tipo de ellos data de 1970 y aún se mantiene operativo, como se muestra en la figura 4184. El otro tipo de generador es de nueva generación (figura 4185). Cabe destacar que, conforme a lo observado, y sin la información técnica correspondiente, los aisladores de vibración utilizados se estima no serían sísmicos, por lo que se requeriría su reemplazo o la incorporación de topes sísmicos.

Figura 4184. Grupo electrógeno antiguo



Figura 4186. Condensador



Figura 4185. Grupo electrógeno nuevo



Figura 4187. Estructura de apoyo condensador



Existen condensadores (figura 4186 en página anterior) que están dispuestos sobre apoyos deslizantes en una dirección, materializados mediante ruedas, y topes que permiten restringir el desplazamiento. La altura del condensador tiene aproximadamente 2 metros de altura y un diámetro de 0.70 metros. El condensador no tiene un anclaje lateral o topes que restrinjan su vuelco en el sentido transversal a los apoyos deslizantes.

En la figura 4187 (ver página anterior) se observan los apoyos deslizantes y los topes. Los topes tienen baja altura, la cual es posible de ser sobrepasada. No se dispone de la información necesaria para analizar la vulnerabilidad sísmica en detalle.

Los transformadores (figura 4188) no cuentan con anclajes, sino con ruedas que permiten su deslizamiento en una dirección. Las ruedas de apoyo del transformador (figura 4189) se ubican entre las alas de un perfil canal que actúa como riel guía. Como restricción lateral de desplazamiento se considera un tope de madera en forma de cuña, el cual se encuentra sobrepuesto sobre el riel y se estima susceptible a ser desplazado por el apoyo deslizante.

Figura 4188. Transformador



Figura 4189. Apoyo deslizante transformador



Estanque de agua "R1"

El estanque de agua potable denominado "R1" es un estanque de hormigón armado de 350 m³ de capacidad. Este estanque se encuentra ubicado al noreste de los almacenes de minerales. No se dispone de información de diseño ni de planos de forma y armadura.

Figura 4190. Estanque de agua "R1"



Sala datacenter

La sala del datacenter se encuentra ubicada al interior del edificio administrativo, en el primer nivel. La sala contiene 7 racks apoyados sobre ruedas y/o apoyos simples capaces de deslizar y sin topes laterales que lo impidan.

La altura de los equipos es de aproximadamente 2.2 metros y su ancho de 1.0 metros. Los racks no cuentan con sujeciones laterales que impidan su volcamiento. Adicionalmente, éstos están apoyados sobre un piso registrable, del cual se tiene información parcial (figura 4194). Se desconoce si este piso contiene arriostres laterales y el tipo de conexión a losa.

Uno de los racks contiene baterías como back-up eléctrico en caso de emergencia. Las baterías se encuentran apoyadas en los distintos niveles del rack, sin topes laterales, y están sujetas con un lienzo de color amarillo, el cual podría no ser capaz de impedir el deslizamiento o vuelco de las baterías en caso de sismo.

Figura 4191. Racks datacenter principal



Figura 4192. Apoyo deslizante racks datacenter



Figura 4193. Apoyos simples racks datacenter



Figura 4194. Piso registrable sala datacenter



Figura 4195. Baterías sistema back-up sala datacenter



Centro de Operaciones de Emergencia

El Centro de Operaciones de Emergencia (denominado COE) está contenido en una estructura presumiblemente de mampostería o concreto adosada al edificio de la central térmica. Se emplaza en un segundo nivel y cuenta con racks (figura 4196) apoyados sobre ruedas y/o apoyos simples capaces de deslizar (figura 4197) y sin topes laterales que impidan el deslizante y volcamiento.

Figura 4196. Racks datacenter COE



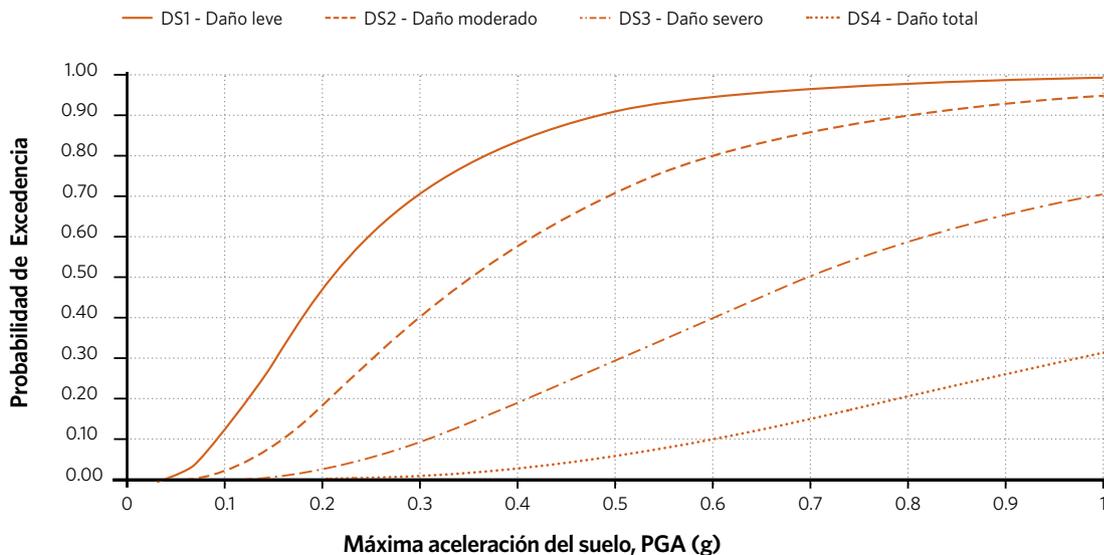
Figura 4197. Apoyos simple datacenter COE



Curvas de fragilidad para el puerto de Matarani

A partir de las observaciones de campo, utilizando juicio experto e información descrita en la literatura, se ha asignado curvas de fragilidad a las distintas estructuras, sistemas y equipos identificados como vulnerables. La siguiente figura muestra un ejemplo de las curvas de fragilidad estructural generadas para el Edificio Administrativo.

Figura 4198. Ejemplo curvas de fragilidad estructural Edificio Administrativo.



En las siguientes figuras se muestran las curvas de fragilidad y las curvas de vulnerabilidad obtenidas con su desviación estándar asociada para los componentes analizados del Puerto de Matarani.

Figura 4199. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Edificio administrativo

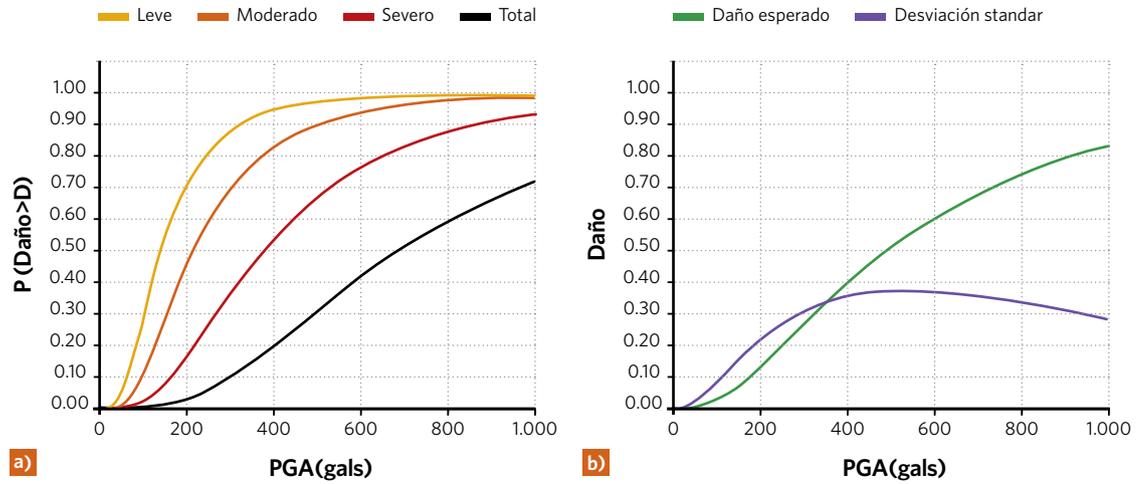


Figura 4200. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Muelle

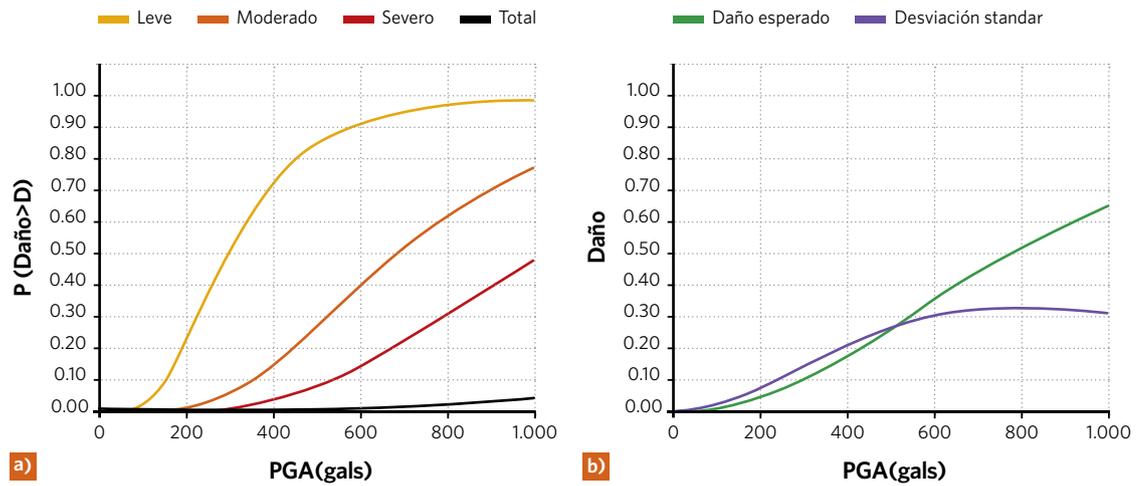


Figura 4201. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Almacenes Recepción

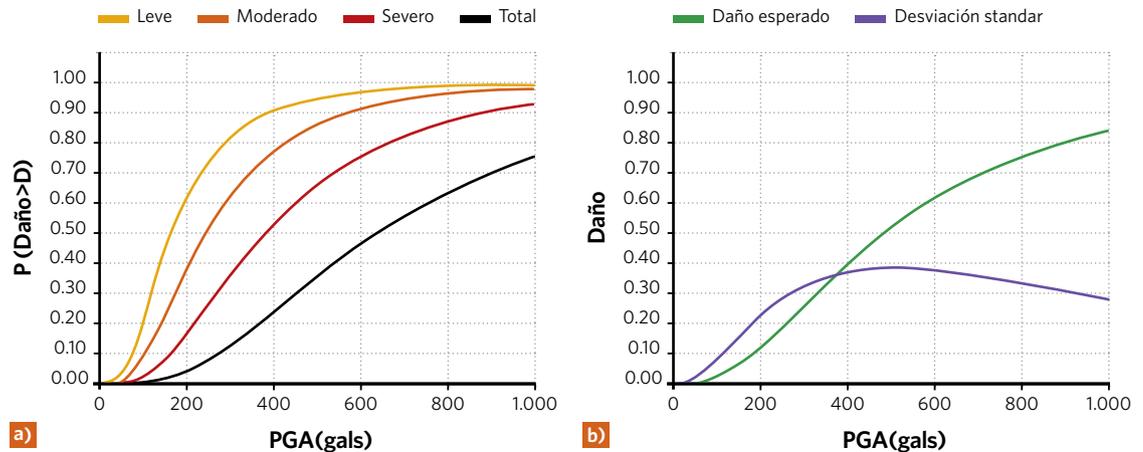
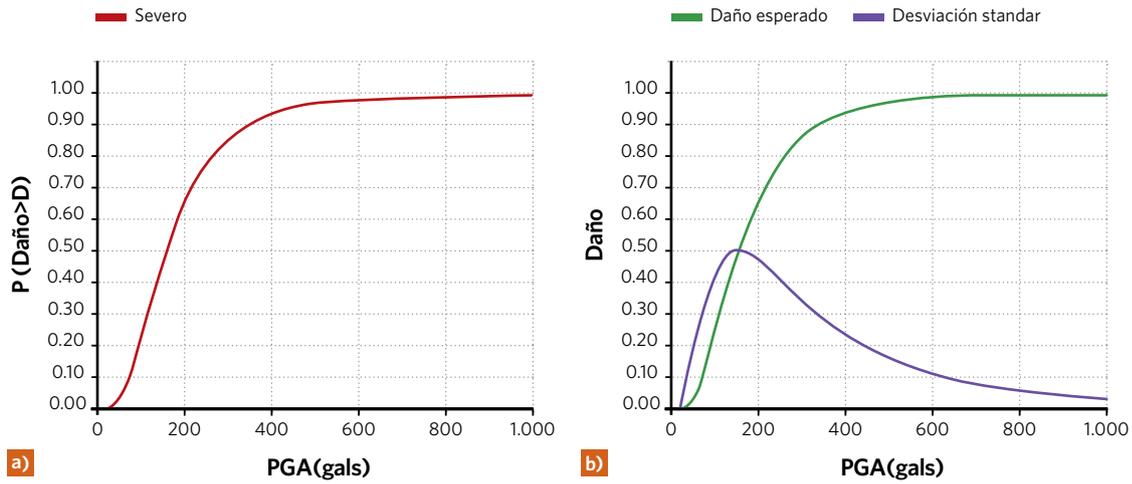


Figura 4202. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Ship loader



Vulnerabilidad por Tsunami: ver Anexo 2 a este informe.



AEROPUERTO DE TACNA

A continuación se detallan las observaciones de la campaña de campo efectuada en el Aeropuerto de Tacna el día 9 de Octubre de 2015.

Terminal de Pasajeros

Estructura

El Terminal de Pasajeros del Aeropuerto de Tacna está conformado por 3 estructuras de un piso separadas por juntas de dilatación. La estructura está compuesta por marcos resistentes en 1 y 2 direcciones. La estructura añadida en la remodelación del Terminal es aquella en el frontis de acceso al Aeropuerto, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 4203. Vista Zona Acceso Terminal de Pasajeros



La figura 4203 muestra el hall de acceso al Terminal, el cual da acceso a los counters de las aerolíneas. Consiste en una estructuración de marcos de doble altura que utilizan muros vidriados como cierre perimetral.

La figura 4204 muestra una vista desde el acceso del Terminal hacia el exterior, la cual permite visualizar las dimensiones de las columnas y del vano del techo. La figura 4205 muestra una vista general del Hall de acceso, donde es posible apreciar la diferencia entre la estructura original del Terminal y la añadida en la remodelación. La estructura original alberga en el primer nivel los counters de aerolíneas, cintas transportadoras para maletas y oficinas para el personal. La estructura añadida adiciona espacio de circulación y espera.

Figura 4204. Acceso Terminal de Pasajeros



Figura 4205. Vista Hall Principal Terminal de Pasajeros



La figura 4206 muestra un acercamiento a las columnas dilatadas que indican donde termina el sector antiguo del Terminal y donde comienza el sector remodelado. Se observa la interacción entre ambas estructuras por el desprendimiento de la pintura en la zona de la junta.

Figura 4206. Junta estructural entre estructura original y remodelada



En la figura 4207 se muestran los muros cortina ubicados en la zona de acceso al Terminal. Los muros cortina corresponden a un sistema de fachada autoportante y ligera, independiente de la estructura resistente. Si bien no se cuenta con la información del proveedor, se debe tener presente que los requerimientos considerados en el diseño sísmico son:

- ▶ Resistencia y rigidez para resistir las fuerzas horizontales de sismos.
- ▶ Capacidad para resistir las deformaciones, permanentes y variables, de la estructura principal del edificio sobre la que se fija.

La figura 4208 muestra una de las zonas de comercio, ubicadas en el sector antiguo del Terminal. En la parte superior existe una pantalla informativa de vuelos adherida al muro de albañilería. No se poseen detalles del anclaje de la pantalla.

En la figura 4209 se puede observar los marcos resistentes en una dirección. En la figura 4210 se muestra una sección de la red de incendio que se encuentra en el hall principal del Terminal. Si bien en la figura se observan elementos de fijación y arriostre, la red de incendio no cuenta con arriostres sísmicos en otros sectores del terminal.

Figura 4207. Muros cortina zona de acceso



Figura 4208. Zona acceso a comercios y pantallas de información de vuelos



Figura 4209. Marcos resistentes en una dirección



Figura 4210. Anclajes de red de incendio



Las losas de cielo corresponden a losas aligeradas de 25 cm de espesor, con viguetas orientadas en una o dos direcciones. Las losas aligeradas están compuestas por una combinación monolítica de viguetas de concreto reforzadas espaciadas a 40 cm, aproximadamente, y una losa en la parte superior, presumiblemente, de 5 cm de espesor. La geometría y dimensiones anteriores son aproximadas, dado que no se cuenta con mayores detalles. Con base en los supuestos realizados, se estima que cada vigueta tendría una capacidad de alrededor de 2 Tonf-m.

La figura 4212 muestra la conexión de los elementos de soporte de las escalerillas y de los muros de tabiquería liviana a las vigas aligeradas, mientras que la figura 4213 muestra un ladrillo dañado de la losa aligerada. En la figura 4212 se observa que las varillas se encuentran fijas al techo mediante tacos de expansión post-instalados, que no serían adecuados para aplicaciones en zonas sísmicas.

La figura 4214 muestra parte del sector de embarque y de manejo de equipaje, correspondiente a la remodelación del Terminal. Se aprecia que existe una estructura metálica en el primer nivel. Existe un segundo nivel que corresponde a una extensión en voladizo de la losa del cielo del primer nivel, que se encuentra apoyada sobre vigas perimetrales, como se muestra en la figura 4215.

Figura 4211. Zona sin cielo raso



Figura 4212. Anclaje de escalerillas y tabiquerías



Figura 4213. Daño de ladrillo en losas aligeradas



Figura 4214. Vista principal sector embarque y manejo de equipaje



En la figura 4216 se muestra la estructuración del techo con tijerales reticulados conformados por canales y ángulos, el cual tiene un apoyo en la viga de la losa del Terminal y el otro en una columna metálica de sección tubular en el otro extremo.

La figura 4217 muestra el detalle del apoyo de la estructura de techo sobre la viga perimetral de la losa del primer nivel.

La siguiente figura muestra el detalle de la conexión de la diagonal de techo de la estructura metálica, la cual carece de detallamiento sísmico adecuado, tanto por su ubicación de la conexión como por su tipo.

Figura 4215. Vista primer nivel sector manejo de equipaje



Figura 4216. Estructuración techo metálico



Figura 4217. Conexión techo metálico a estructura Terminal



Figura 4218. Detalle conexión diagonal de techo



Cielos rasos

El edificio cuenta con cielos rasos en varios sectores del primer nivel, incluidas zonas de baños, mesones de atención de las líneas aéreas y las zonas de embarque y desembarque de pasajeros y aduana. La figura 4219 muestra una vista general del cielo raso en el sector de embarque de pasajeros.

El cielo raso se encuentra suspendido por alambres de acero que se encuentran fijados a la losa mediante anclajes proyectados (figura 4220). No se observan elementos de arriostre. No se observan clips de fijación en el cielo. Los perfiles utilizados son estándar, no son perfiles para trabajo pesado (heavy duty). No se observan dilataciones en el perímetro de los paños de cielo raso. Los sistemas de iluminación, que se apoyan directamente sobre el cielo raso, no cuentan con un sistema de sujeción independiente. Se observan escalerillas para el transporte de cables y ductos. Se observa que cables instalados con posterioridad se encuentran apoyados directamente sobre el cielo raso. Si bien todos cuentan con elementos para la sujeción vertical, no se observan arriostres para restringir las oscilaciones verticales y horizontales de los elementos. Los rociadores de la red de incendio que cruzan el cielo raso no cuentan con holgura en su cruce. Se estima que durante la acción sísmica se producirá interacción dinámica entre los componentes.

Figura 4219. Vista general cielos rasos en sector embarque



Las escalerillas eléctricas se encuentran materializadas mediante planchas de acero galvanizado en caliente de 1.25 mm de espesor, ubicadas entre el cielo raso y la losa estructural. Las escalerillas están apoyadas en canales tipo 'Unistrut', y colgadas por varillas roscadas de diámetro 3/8" fijadas a la losa estructural mediante tacos de expansión de 3/8", como se muestra en la figura 4221. La distancia entre varillas es de 1.5 m. La figura 4222 muestra el detalle del anclaje de la fijación de colgadores a la losa.

Figura 4221. Detalles de instalación de bandejas



Figura 4220. Cielos Rasos sector Aduana



Figura 4222. Detalle fijación colgador cielo raso a losa



Equipos, mobiliario y sistemas distribuidos

Se incluye entre los equipos y mobiliario evaluados las cintas transportadoras, los equipos de rayos X, las estaciones de trabajo y mesones de atención (incluyendo computadores) y los equipos de aire acondicionado.

En relación a los equipos de aire acondicionado, éstos están dispuestos en la losa de techo del Terminal (figura 4223). Los equipos están apoyados en marcos de acero que se anclan mediante pernos a la losa. La estructura metálica de soporte consiste en perfiles ángulo de dimensiones 1 1/2" x 1 1/2" con espesor 1/8". Las medidas en planta del soporte dependen de las dimensiones de cada unidad, especificando sólo la altura en 10 cm. Los planos de diseño que especifican la estructura de soporte no especifican el diámetro de los pernos ni su longitud de anclaje.

También ubicados en el techo de la estructura, la figura 4224 muestra otros modelos de equipos de aire acondicionado, los cuales cuentan con una estructura de soporte de fábrica. Durante la inspección no fue posible apreciar los detalles de los pernos utilizados para anclar el equipo.

Ubicado en el techo de la estructura se encuentra un estanque de agua potable de 2500 Litros de capacidad. Éste se encuentra sobre una estructura elevada sobre el nivel de techo del edificio Termini-

Figura 4223. Equipos de aire acondicionado



Figura 4224. Aire acondicionado



nal. El estanque es de HDPE, de 1.65 m de altura y 1.55 m de diámetro, y se encuentra apoyado sobre tablas de madera que a su vez están apoyadas sobre un sistema de vigas de hormigón armado. No cuenta con anclajes por lo que se estima susceptible de deslizamiento o vuelco.

Figura 4225. Estanque de agua en techo



En relación a los sistemas distribuidos, sobre el cielo raso existen unidades evaporadoras, ductos y difusores, como se aprecia en la figura 4226 a figura 4229. La unidad evaporadora mostrada en la figura 4226 está montada sobre 2 travesaños ranurados de acero galvanizado con ranuras por las cuales se atraviesan varillas roscadas galvanizadas de diámetro 5/8" ancladas a la losa de techo. En los planos de diseño se especifica que el anclaje debe ser del tipo expansivo Hilti o similar. El sistema de soporte no cuenta con arriostres diagonales. Las varillas no cuentan con elementos rigidizadores.

Figura 4226. Unidad evaporadora



Figura 4227. Ductos flexibles sobre cielo raso



Figura 4228. Ductos flexibles sobre cielo raso**Figura 4229.** Detallamiento inadecuado en cielo raso**Figura 4230.** Equipo de comunicaciones sin anclaje**Figura 4231.** Ausencia de anclajes en equipo eléctrico

La disposición de los ductos flexibles que conectan los ductos metálicos de distribución con los difusores se muestra en la figura 4227 y figura 4228. Se observa que los ductos se apoyan directamente sobre el cielo raso, no contando con colgadores independientes anclados a la losa de techo.

Los planos de diseño especifican la disposición de colgadores con abrazaderas espaciados a 3 metros de distancia como máximo, permitiendo una desangulación vertical máxima de 4 cm por cada metro de separación entre soportes. La caja de conexión que contiene el difusor se apoya directamente sobre el cielo raso. La figura 4228 muestra lo anterior, como también la disposición de la luminaria sobre el cielo raso sin anclaje adecuado e independiente.

En figura 4229 se observa que algunos soportes del sistema de iluminación y de los ductos del sistema de climatización se apoyan en el sistema de colgadores de los ductos, debiendo contar con colgadores independientes.

Entre el mobiliario y equipo evaluado se encuentran los equipos eléctricos de comunicación del terminal (figura 4230), el que no cuenta con los pernos de anclaje necesarios (figura 4231).

El UPS del equipo de comunicaciones tiene una relación de aspecto de 2.5, con una altura aproximada de 0.50 metros y un ancho de 0.20 metros, siendo susceptible a deslizamiento o vuelco (figura 4232).

Entre el mobiliario evaluado se encuentran archivadores de las oficinas de administración, los cuales no se encuentran fijados a paredes, como también equipos electrónicos como fotocopiadores simplemente apoyados sobre mobiliario, sin anclajes o topes para evitar su deslizamiento o vuelco, como se muestra en la figura siguiente. La relación de aspecto de estos elementos es cercana a 3, con una altura aproximada de 1.50 metros y un ancho de 0.50 metros.

Figura 4232. UPS susceptible de deslizarse o volcar



Figura 4233. Mobiliario sin protección sísmica



Pista de Aterrizaje

A continuación se presenta la inspección visual realizada a la pista de aterrizaje del Aeropuerto de Tacna, cuya pista principal tiene una longitud de 2500 metros y un ancho de 45 metros. En el año 2014 terminó la rehabilitación de los pavimentos de la pista, los cuales se encuentran en buen estado, como se observa en las figuras 4234 a 4237.

En particular, la zona de aterrizaje presenta evidencias de incipiente desgaste de la superficie, como se muestra en la figura 4236.

La losa de la plataforma de estacionamiento de aeronaves (figura 4237) se encuentra con un visible grado de deterioro, con evidencias de trabajos de reparación.

Figura 4234. Vista Pista de Aterrizaje Sector Norte



Figura 4235. Vista Pista de Aterrizaje Sector Sur



Figura 4236. Desgaste pavimento zona de contacto avión Pista de Aterrizaje



Figura 4237. Plataforma de Aeronaves



Cuartel S.E.I. (Servicio de Rescate y Extinción de Incendios)

Se ha inspeccionado el Cuartel S.E.I. en búsqueda de vulnerabilidades sísmicas. El trabajo de campo efectuado ha permitido detectar la existencia de una estructura de acero que cubre el garaje de carros de emergencia con alta vulnerabilidad sísmica. Si bien la estructura de techumbre del garaje

se proyecta parcialmente desde la estructura de mampostería confinada donde se encuentran las oficinas y dependencias del personal, no se observan arriostres de techo ni un mínimo diseño sismo-resistente de la estructura de acero, que permitan inferir que las cargas sísmicas puedan ser transmitidas a la estructura de mampostería o resistidas por la estructura metálica. Adicionalmente, no se observan arriostres verticales, los perfiles utilizados se observan relativamente esbeltos, y todas las conexiones son soldadas.

Adicionalmente, se observan algunos contenidos vulnerables tales como roperos, estantes y contenedores con elementos químicos que no se encuentran anclados.

Se debe indicar que no es recomendable que elementos químicos presurizados y combustible se almacene al interior de las dependencias del S.E.I., dada la volatilidad de estos elementos y las condiciones de almacenamiento actuales. En la figura 4238 y figura 4239 se observa una vista general del sector de garaje del Cuartel S.E.I que permite apreciar su estructuración. En la figura 4240 se observa el sector de oficinas y dependencias del personal del S.E.I.

Figura 4238. Vista Cuartel S.E.I.



Figura 4239. Vista Cuartel S.E.I.



Figura 4240. Oficinas y dependencias



En la figura 4241 se observa parte de la estructura lateral y de techumbre que se proyecta por sobre el garaje. Se observa que la estructura no cuenta con arriostres diagonales.

En la figura 4242 se puede observar el detalle de la conexión entre vigas y columnas.

En la figura 4245 se muestra la disposición de cilindros de gas comprimido sobre estantes de madera que no se encuentran fijos a la pared. De igual manera, el almacenamiento para los contenedores es inadecuado, ya que podrían deslizarse fuera del estante. Se requiere el uso de estanterías con un diseño sismorresistente adecuado.

Figura 4241. Estructura lateral y techumbre Cuartel S.E.I.



Figura 4242. Conexiones estructura Cuartel S.E.I.



Figura 4243. Sector interior estructura metálica Cuartel S.E.I.



Figura 4244. Diagonales de techo Cuartel S.E.I.

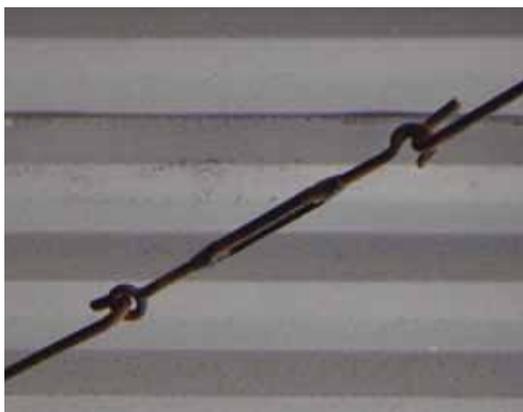


Figura 4245. Cilindros de gas comprimido en estante de Cuartel S.E.I.



Figura 4246. Cilindros de aire comprimido Cuartel S.E.I.



Esta situación se replica en otro sector del Cuartel S.E.I., como se muestra en la figura 4246, para el caso de los cilindros de aire comprimido.

Figura 4247. Almacenamiento de combustible Cuartel S.E.I.

La figura 4247 muestra tambores de 200 Litros de polietileno de alta densidad y metálicos que contienen combustible, y que se encuentran apoyados sobre pallets de madera, sin contar con arriostres o topes que prevengan su deslizamiento o vuelco. Los estanques tienen 90 cm de altura y 60 cm de diámetro.



En el edificio se observan además bidones de 20 Litros que se encuentran almacenados en condiciones en las cuales son susceptibles al vuelco. Éstos se encuentran en el mismo recin-

to que cilindros de gas presurizados. Se requiere el uso de estanterías con un diseño sismorresistente adecuado.

La figura 4249 muestra estantes de madera con gran cantidad de elementos apilados en la parte superior. Los estantes de madera no tienen arriostres diagonales y tampoco se encuentra fijo a la pared. En relación al contenido, éste es muy susceptible de caer. Se requiere el uso de estanterías con un diseño sismorresistente adecuado.

Figura 4248. Bidones y cilindros en Cuartel S.E.I.



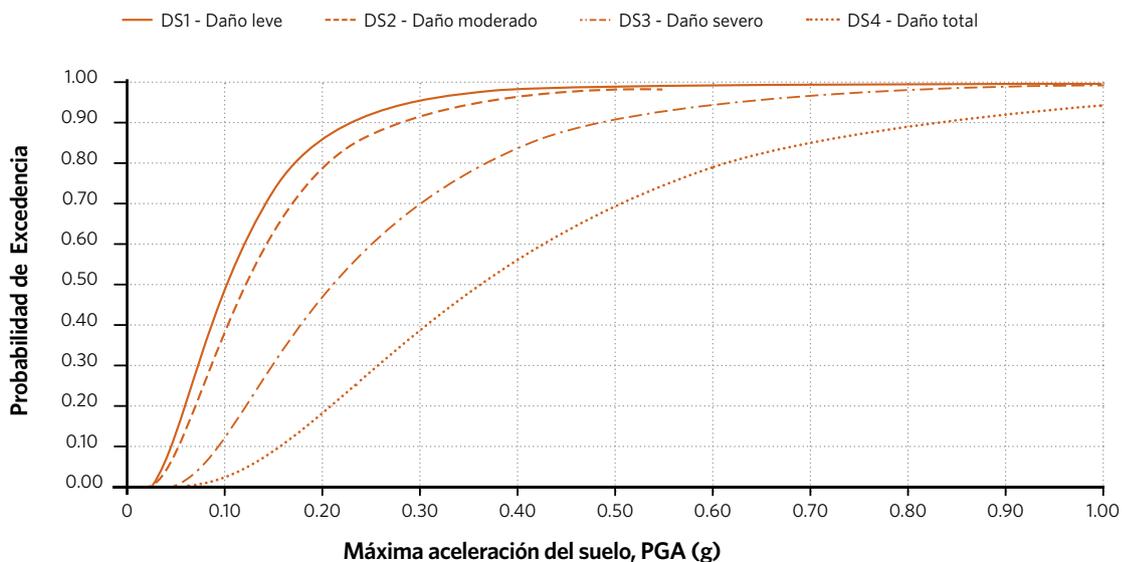
Figura 4249. Estantes Cuartel S.E.I.



Curvas de fragilidad para el aeropuerto de Tacna

A partir de las observaciones de campo, utilizando juicio experto e información descrita en la literatura, se ha asignado curvas de fragilidad a las distintas estructuras, sistemas y equipos identificados como vulnerables. La figura siguiente muestra un ejemplo de las curvas de fragilidad estructural generadas para el Aeropuerto de Tacna.

Figura 4250. Ejemplo curvas de fragilidad estructural Edificio Administrativo.



En las siguientes figuras se muestran las curvas de fragilidad y las curvas de vulnerabilidad obtenidas con su desviación estándar asociada para los componentes analizados del aeropuerto de Tacna.

Figura 4251. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Terminal de pasajeros Techumbre

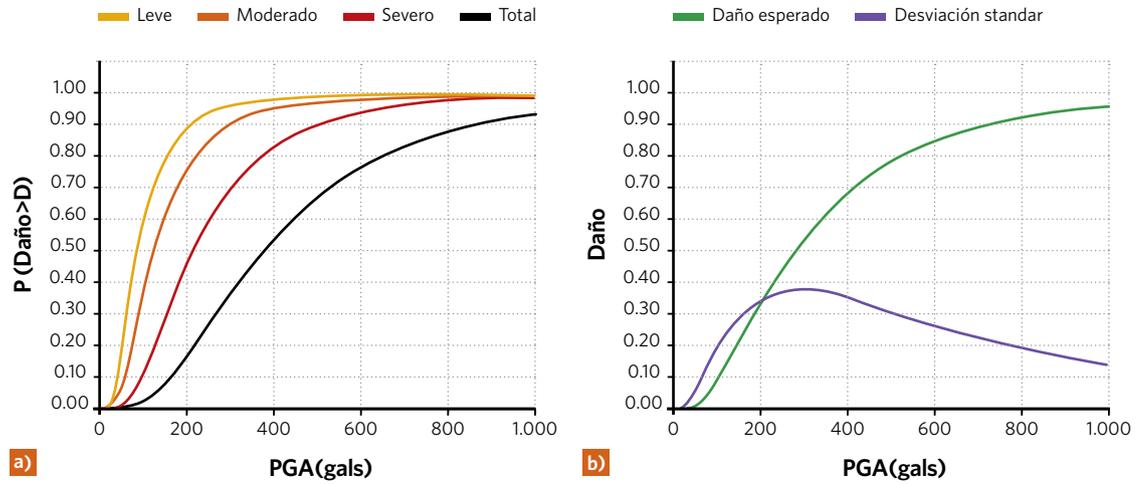


Figura 4252. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Edificio SEI Oficinas.

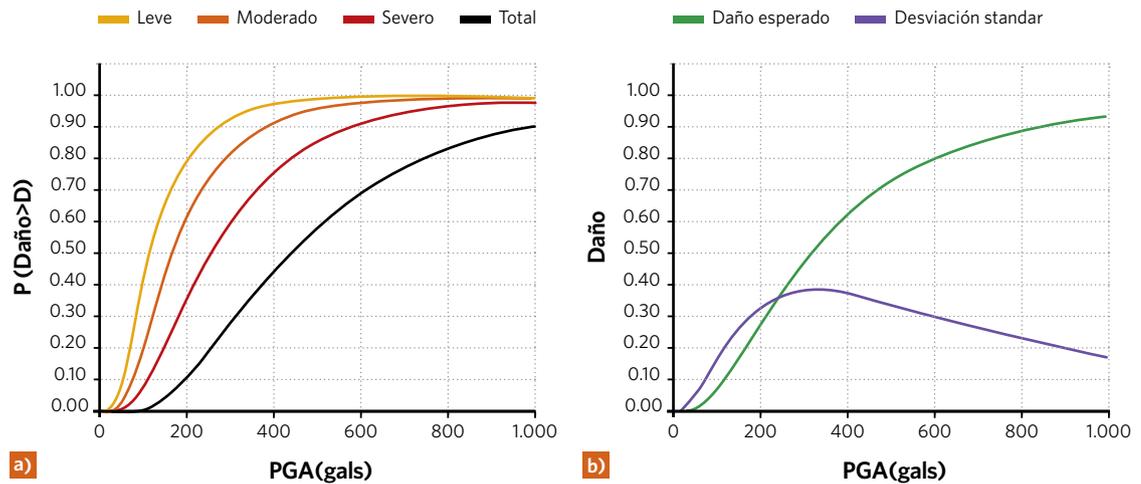


Figura 4253. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Edificio SEI Techumbre.

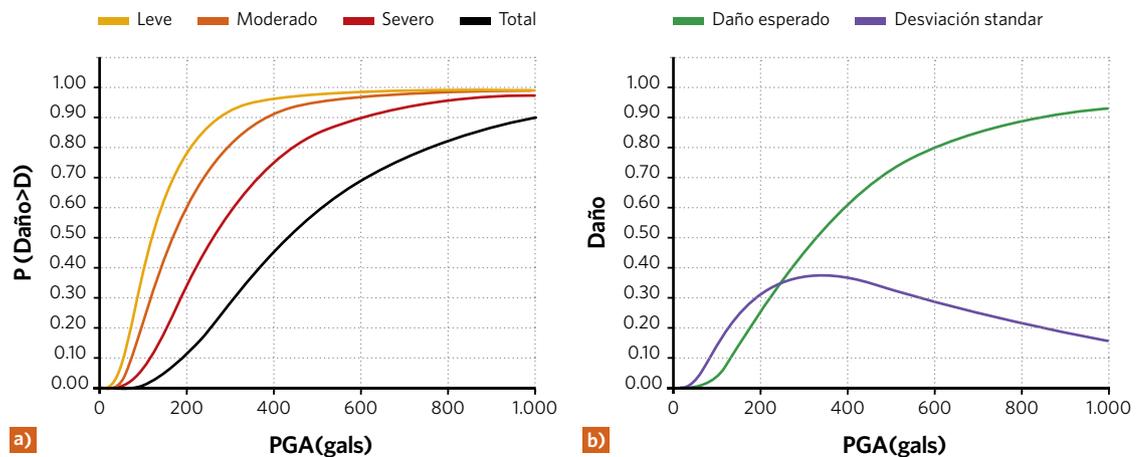
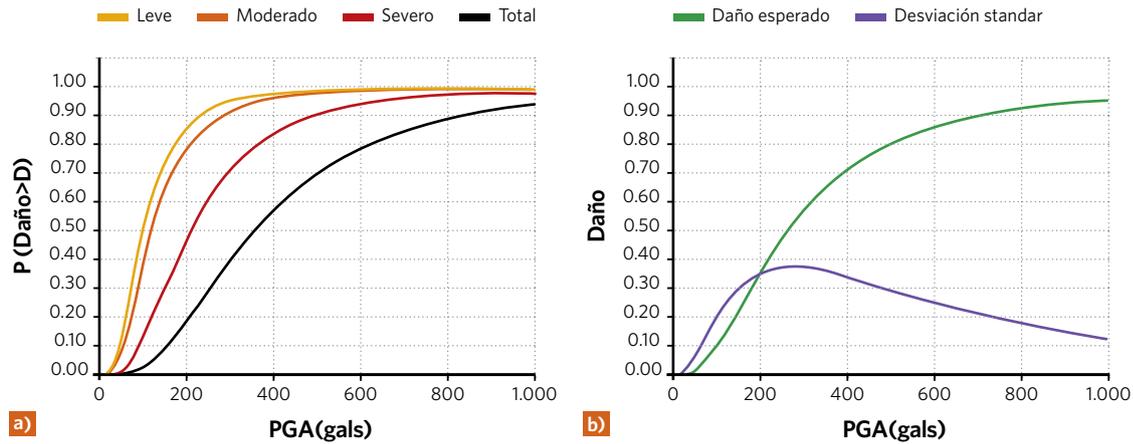


Figura 4254. Curvas de: a) fragilidad, b) vulnerabilidad para el sistema Terminal de pasajeros Estructura



De forma ilustrativa en las siguientes figuras se presenta una comparación entre las curvas de vulnerabilidad de los componentes en los Puertos y Aeropuertos analizados, estas funciones de vulnerabilidad es posible compararlas dado que corresponden a los mismos componentes de infraestructura en las diferentes ubicaciones analizadas.

Figura 4255. Comparación entre las funciones de vulnerabilidad del Aeropuerto de Arica y Tacna (Edificio Terminal).

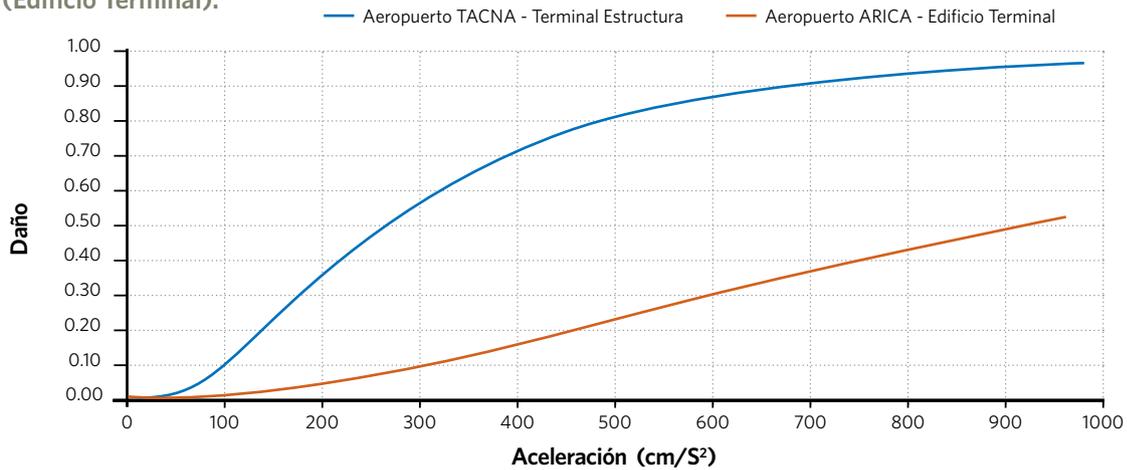


Figura 4256. Comparación entre las funciones de vulnerabilidad del Puerto de Arica y Tacna (Edificio Administrativo).

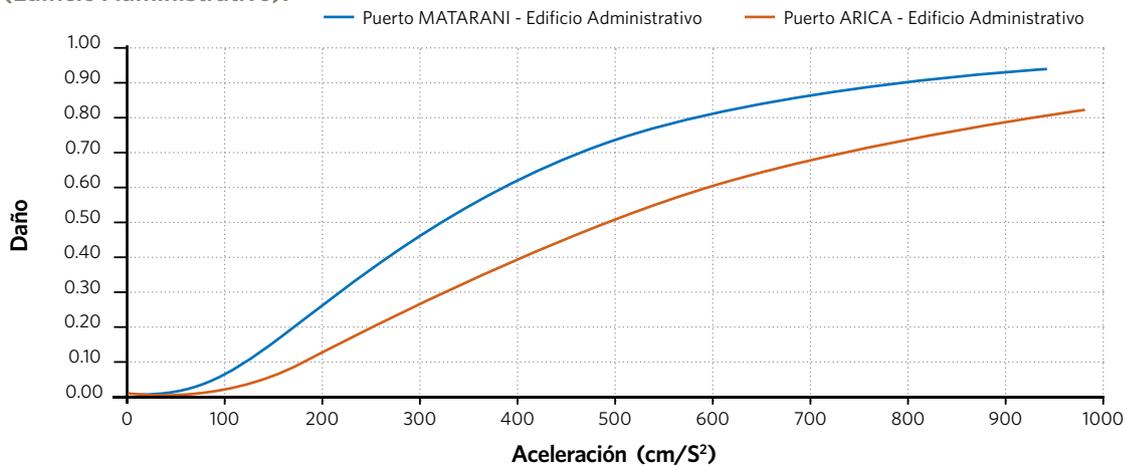
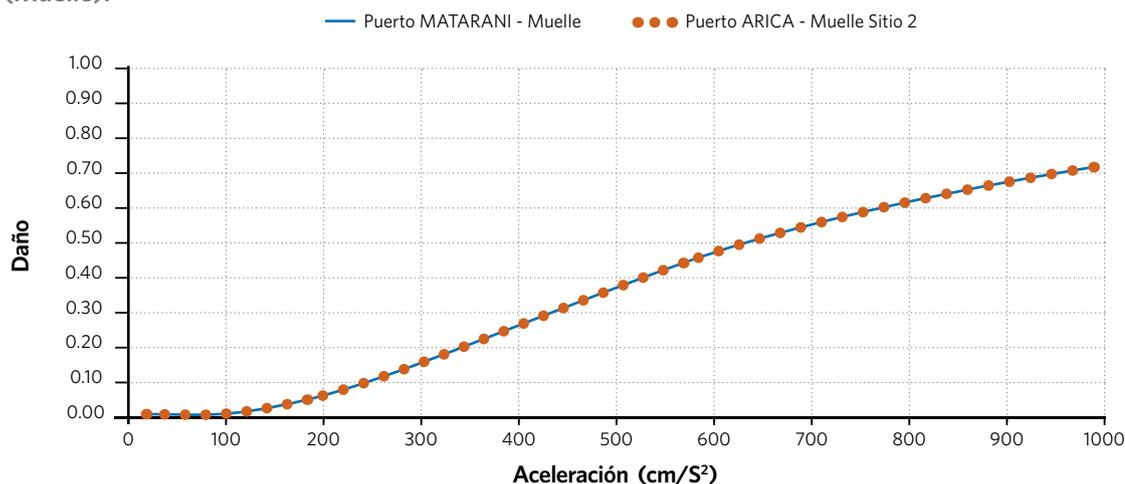


Figura 4257. Comparación entre las funciones de vulnerabilidad del Puerto de Arica y Tacna (Muelle).



Análisis comparativo de las curvas de fragilidad y vulnerabilidad entre aeropuertos de Chile y Perú.

Las estructuras de los edificios de terminal de pasajeros, al no contar con la información suficiente se generaron valores conservadores representativos y consistentes con la inspección visual efectuada. Las fragilidad y vulnerabilidad asignada a las terminales de pasajeros son distintas para los aeropuertos de Tacna y Arica. Las fragilidades asignadas a los edificios S.E.I. son idénticas. En términos de los componentes no estructurales, se aprecia que la ausencia de detallamiento sísmico es común para estos componentes en ambas estructuras, por lo que los parámetros asociados a su fragilidad son iguales.

La estructura del edificio terminal del aeropuerto de Tacna es más vulnerable que la estructura del edificio terminal del Aeropuerto de Arica.

Análisis comparativo de las curvas de fragilidad y vulnerabilidad entre puertos de Chile y Perú.

Las fragilidad y vulnerabilidad asignada a los edificios administrativos de los Puertos de Matarani y Arica son distintas, la estructura del edificio administrativo del puerto de Matarani es más vulnerable que la estructura del edificio administrativo del puerto de Arica. Las fragilidades y vulnerabilidad asignadas a los muelles de los puertos son iguales, ya que sus sistemas estructurales son similares; lo anterior es consistente con la inspección visual efectuada.

Análisis de Riesgo

La metodología para el análisis probabilista de riesgo se describe con detalle en el Anexo 3 de este informe; de forma ilustrativa en la siguiente imagen se muestran los elementos requeridos para llevar a cabo el análisis de riesgo por fenómenos naturales:

Figura 4258. Componentes requeridos para el análisis probabilista de riesgo



Los principales resultados del análisis probabilista de riesgo son (ver Anexo 3 a este informe para su descripción detallada):

- ▶ Pérdida Anual Esperada.
- ▶ Curva de Pérdida vs Período de retorno (conocida como curva de PML), así como la Curva de Pérdida vs Tasa de Excedencia de la Pérdida (la tasa de excedencia es el inverso del período de retorno).
- ▶ Pérdida ante eventos específicos.

De manera general la Pérdida Anual Esperada representa la cantidad que cada año durante un intervalo de tiempo muy amplio, debería de ahorrarse o pagarse a un tercero para transferir el riesgo (típicamente una compañía de seguros), de tal forma que pueda disponerse de recursos económicos para solventar las pérdidas futuras.

Matemáticamente la Pérdida Anual Esperada se calcula con la siguiente expresión: \longrightarrow

Donde: P_{AE} \rightarrow Pérdida Anual Esperada.

$\sum_{i=1}^{Eventos}$ \rightarrow Es la sumatoria para todos los eventos naturales (sismos y tsunamis en este caso) independientes que potencialmente pueden afectar el área de estudio.

$E(P|Eventoi)$ \rightarrow Es el valor esperado de la pérdida económica ("P") calculada para los componentes de infraestructura analizados, dado que ocurrió el evento natural "Eventoi", (un sismo o un tsunami independiente en este caso).

$F_A(Eventoi)$ \rightarrow Es la frecuencia anual de ocurrencia del evento natural "Eventoi", (un sismo o un tsunami independiente en este caso).

Por ejemplo, en la siguiente tabla se presenta el ejemplo de cálculo de la pérdida anual esperada empleando la expresión anterior, para el caso hipotético de cuatro escenarios sísmicos, cada uno de ellos presenta la frecuencia anual de ocurrencia y la pérdida esperada que se indica. El cálculo de la pérdida anual esperada en este caso hipotético corresponde a un valor de \$370.000.00 unidades monetarias.

$$P_{AE} = \sum_{i=1}^{Eventos} E(P|Eventoi)F_A(Eventoi)$$

Tabla 405. Ejemplo hipotético de cálculo de Pérdida Anual Esperada

Escenario	Frecuencia anual de ocurrencia $F_A(Evento_i)$	Pérdida Esperada ante el escenario $E(P Evento_i)$	$E(P Evento_i)F_A(Evento_i)$
Sismo - 1	0.100	\$100,00.00	\$ 10,000.00
Sismo - 2	0.020	\$ 500,000.00	\$ 10,000.00
Sismo - 3	0.010	\$ 25,000,000.00	\$ 250,000.00
Sismo - 4	0.0001	\$ 100,000,000.00	\$ 100,000.00
$P_{AE} = \sum_{i=1}^{Eventos} E(P Evento_i)F_A(Evento_i)$			\$ 370,000.00

Los resultados del cálculo probabilista de riesgo obtenidos para la infraestructura analizada en este estudio se presentan a continuación.



AEROPUERTO DE ARICA

Los componentes principales para el análisis de riesgo en el Aeropuerto de Arica se presentan en la tabla 406. La ubicación de estos componentes se presenta en la tabla 407 a continuación.

Tabla 406. Componentes de infraestructura en el Aeropuerto de Arica

#	Componente	Descripción estructura/sistema
1	Terminal de Pasajeros	Estructura de concreto reforzado de uno y dos pisos con columnas en voladizo diseñada en conformidad con NCh433.Of96 y ACI318-95.
2	Edificio S.E.I.	Sector de oficinas, de dos niveles, estructurado en base a mampostería confinada por pilares y cadenas de concreto reforzado.
3	Edificio S.E.I.	Sector de techumbre estructurado en base a perfiles tubulares de acero, de doble altura, sin detallamiento sísmico.
4	Sala eléctrica	Estructura.

Tabla 407. Localización de componentes de infraestructura en el Aeropuerto de Arica

#	Estructura	Latitud	Longitud
1	Edificio terminal	-18.349333	-70.335772
2	Cuartel SEI	-18.350633	-70.336114
3	Edificio S.E.I. Techumbre	-18.350894	-70.336172
4	Sala eléctrica	-18.350214	-70.336017

A partir de esta información se formó una base de datos geográfica, la cual se empleó como insumo del programa de cómputo experto para llevar a cabo el análisis probabilista de riesgo.

Pérdida Anual Esperada: de acuerdo con el análisis probabilista de riesgo, es de **1.11%** del valor de la infraestructura.

En las siguientes figuras se muestran las curvas de Pérdida vs Período de retorno, así como Pérdida vs Tasa de Excedencia de la Pérdida, para el Aeropuerto de Arica.

Figura 4259. Curva de Pérdida vs Período de Retorno, por sismo para el Aeropuerto de Arica.

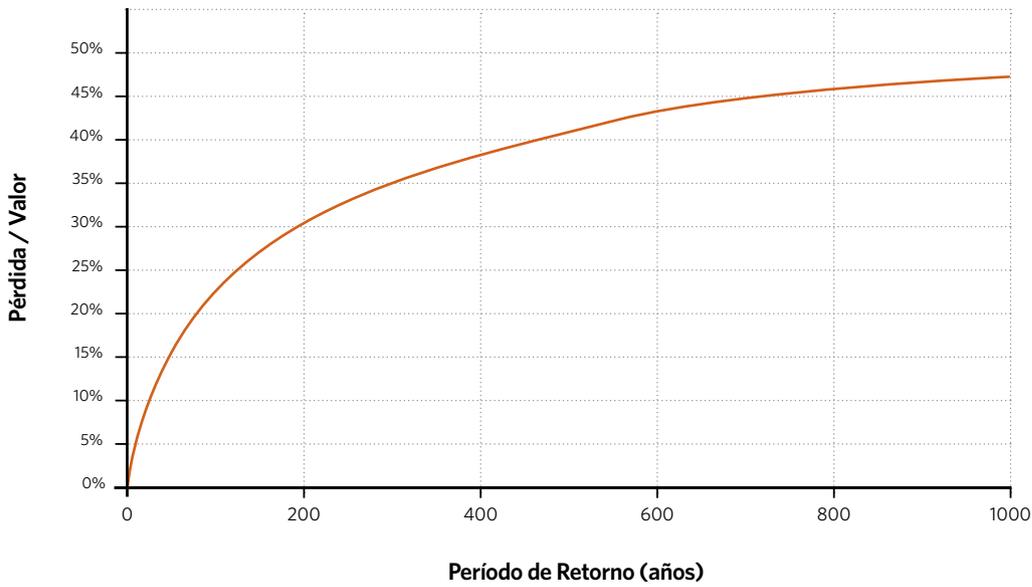
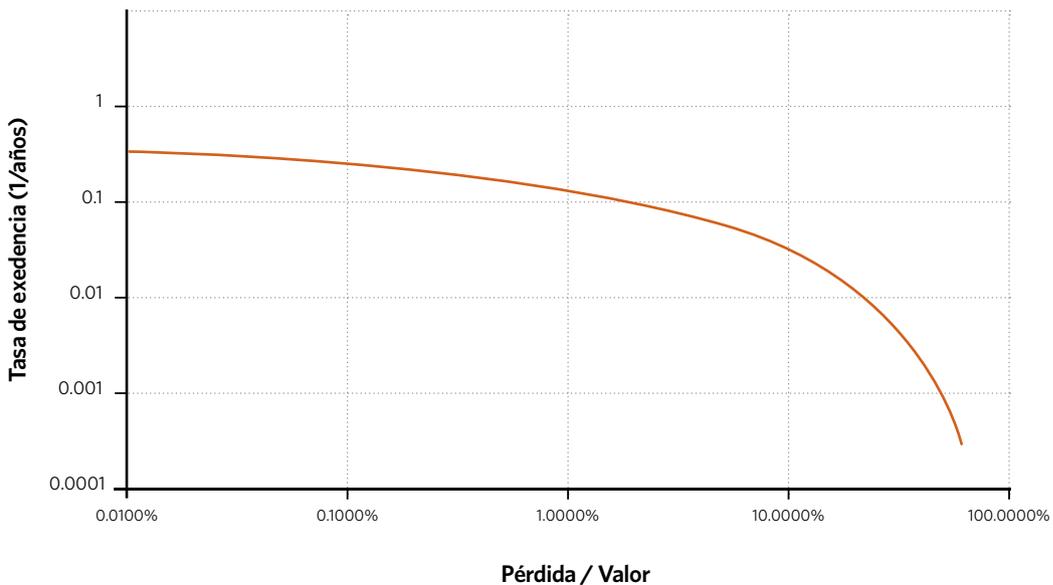


Figura 4260. Curva de Pérdida vs Tasa de Excedencia, por sismo para el Aeropuerto de Arica.





Los componentes principales para el análisis de riesgo en el Puerto de Arica se presentan en la tabla 408. La ubicación de estos componentes se presenta en la tabla 409 a continuación.

Tabla 408. Componentes de infraestructura en el Puerto de Arica

#	Componente	Descripción estructura/sistema
1	Edificio Administrativo	Estructura, presumiblemente de mampostería, de dos pisos de altura y un subterráneo.
2	Sala eléctrica	Estructura, presumiblemente de mampostería, de un piso, en algunos sectores de 2 pisos.
3	Muelle Sitio 2	Muelle de 220 m de longitud y 28 m de ancho, estructurado por 5 marcos longitudinales @ 8.13 m y 28 marcos transversales @ 8 m. Posee 84 pilotes verticales 28" día, y 56 pilotes inclinados 16" día. Losa HA e=0.4 m. Vigas HA 0.8/1.8 m.

Tabla 409. Localización de componentes de infraestructura en el Puerto de Arica

#	Estructura	Latitud	Longitud
1	Edificio Administrativo	-18.476186°	-70.321490°
2	Sala eléctrica	-18.475705°	-70.321244°
3	Muelle Sitio 2	-18.473757°	-70.324730°

A partir de esta información se formó una base de datos geográfica, la cual se empleó como insumo del programa de cómputo experto para llevar a cabo el análisis probabilista de riesgo.

Pérdida Anual Esperada: de acuerdo con el análisis probabilista de riesgo, es de **0.83%** del valor de la infraestructura.

En las figuras 4261 y 4262 (ver en página siguiente) se muestran las curvas de Pérdida vs Período de retorno, así como Pérdida vs Tasa de Excedencia de la Pérdida, para el Puerto de Arica.

Para el caso de tsunami, es importante conocer la pérdida que potencialmente podría presentarse ante eventos específicos con características destructivas, por ejemplo, para el caso del Puerto de Arica se analizó un evento que ocasiona una variación máxima del nivel del mar de 20m, similar al evento del 13/08/1868 (ver figura 4263 en página siguiente).

La **Pérdida Esperada** ante este evento es del **57%** del valor de la infraestructura en el puerto.

Figura 4261. Curva de Pérdida vs Período de Retorno, por sismo para el Puerto de Arica.

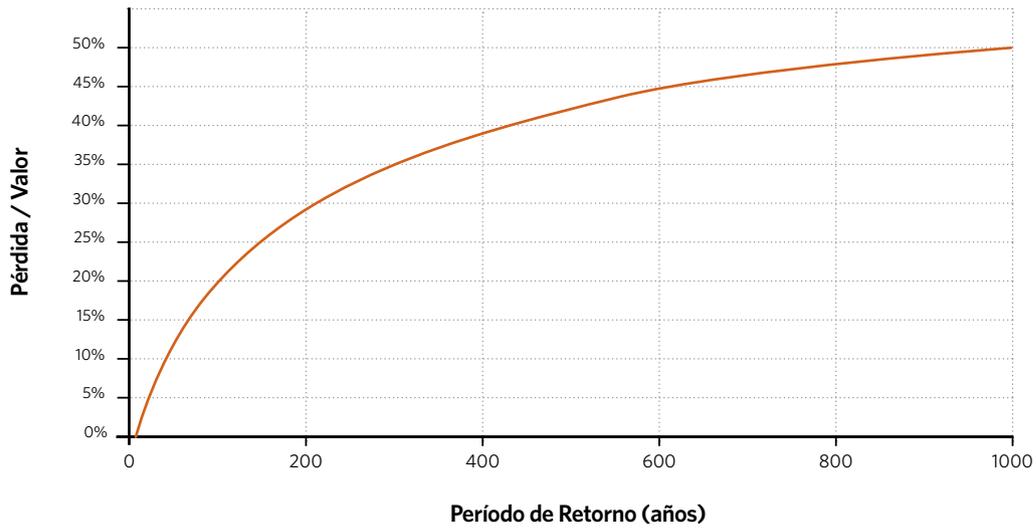


Figura 4262. Curva de Pérdida vs Tasa de Excedencia, por sismo para el Puerto de Arica.

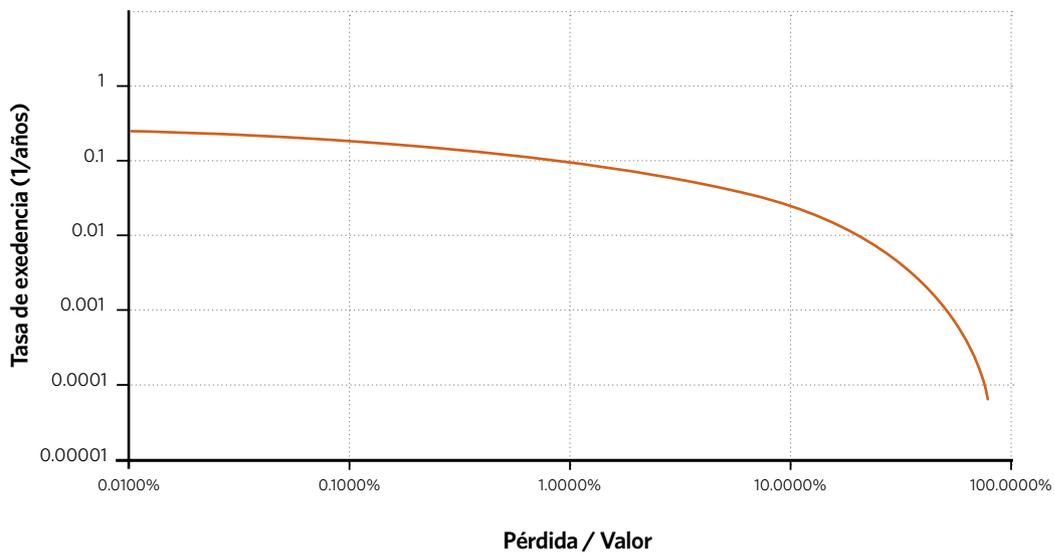


Figura 4263. Análisis de Riesgo por Tsunami en el puerto de Arica para evento que ocasiona una variación máxima del nivel del mar de 20m, similar al evento del 13/08/1868.





Los componentes principales para el análisis de riesgo en el Puerto de Matarani se presentan en la tabla 410. La ubicación de estos componentes se presenta en la tabla 411 a continuación.

Tabla 410. Componentes de infraestructura en el Puerto de Matarani

#	Componente	Descripción estructura/sistema
1	Edificio Administrativo	Estructura, presumiblemente de mampostería confinada, de dos pisos de altura.
2	Almacenes Recepción de Minerales	Estructura en base a muros de mampostería confinada y estructura de techumbre curva, con arriostres (tensores) horizontales. No se observan arriostres verticales en muros ubicados en las culatas del almacén.
3	Muelle	Muelle de concreto.
4	Ship Loader	Estructura de acero, que podría presentar problemas de estabilidad global.

Tabla 411. Localización de componentes de infraestructura en el Puerto de Matarani

#	Estructura	Latitud	Longitud
1	Edificio Administrativo	-16.999293°	-72.105849°
2	Almacenes Recepción de Minerales	-17.000630°	-72.102751°
3	Muelle	-16.999298°	-72.106655°
4	Ship Loader	-16.997713°	-72.104898°

A partir de esta información se formó una base de datos geográfica, la cual se empleó como insumo del programa de cómputo experto para llevar a cabo el análisis probabilista de riesgo.

Pérdida Anual Esperada: de acuerdo con el análisis probabilista de riesgo, es de **3.92%** del valor de la infraestructura.

En las figuras 4264 y 4265 (ver en página siguiente) se muestran las curvas de Pérdida vs Período de retorno y Pérdida vs Tasa de Excedencia de la Pérdida, para el Puerto de Matarani.

Para el caso de tsunami en el puerto de Matarani, se analizó un evento que inunda hasta la cota de elevación de 10m sobre el nivel del mar, tal como lo documenta la Dirección de Hidrografía y Navegación del Departamento de Oceanografía de Perú (ver figura 4266 en página siguiente).

La **Pérdida Esperada** ante este evento es del **46%** del valor de la infraestructura en el puerto.

Figura 4264. Curva de Pérdida vs Período de Retorno, por sismo para el Puerto de Matarani.

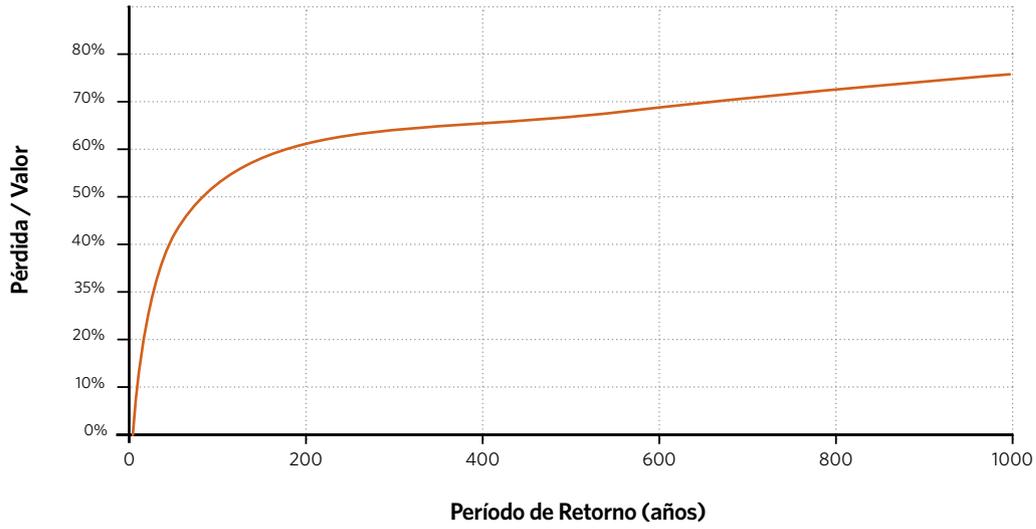


Figura 4265. Curva de Pérdida vs Tasa de Excedencia, por sismo para el Puerto de Matarani.

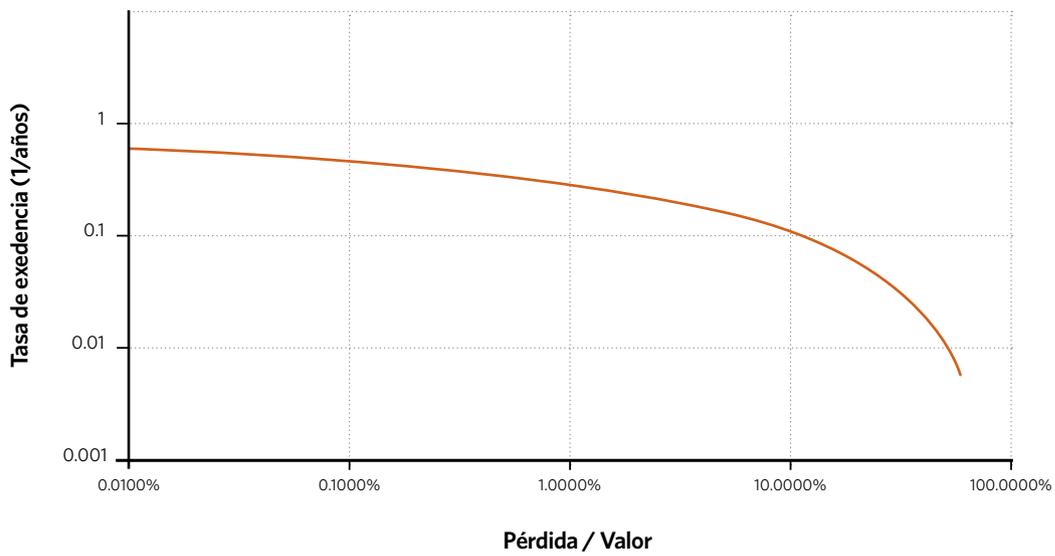
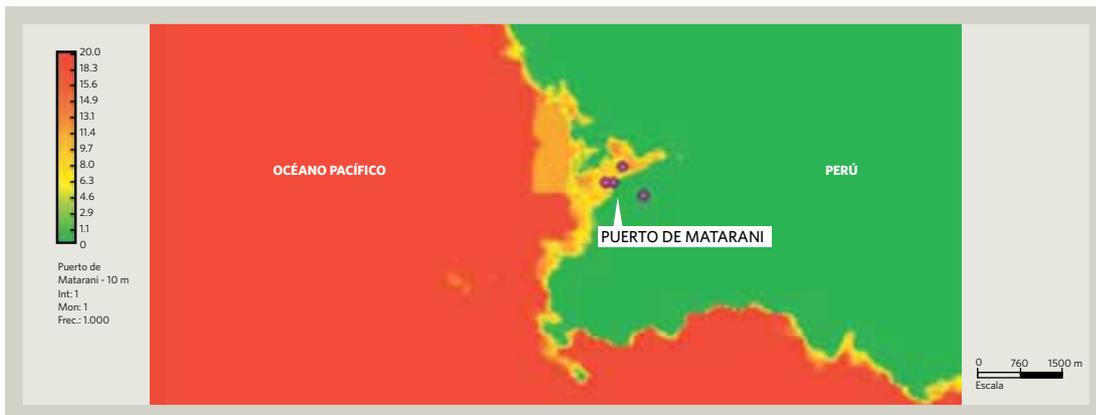


Figura 4266. Análisis de Riesgo por Tsunami en el puerto de Matarani para evento que ocasiona una inundación hasta la cota de 10m sobre el nivel del mar.





Los componentes principales para el análisis de riesgo en el Aeropuerto de Tacna se presentan en la tabla 412. La ubicación de estos componentes se presenta en la tabla 413 a continuación.

Tabla 412. Componentes de infraestructura en el Aeropuerto de Tacna

#	Componente	Descripción estructura/sistema
1	Terminal de Pasajeros Estructura	Estructura de concreto reforzado de uno y dos pisos, de construcción antigua y reciente. El sector de construcción antigua no cumpliría requisitos de diseño sísmico actuales.
2	Terminal de Pasajeros Techumbre	Estructura de techumbre en sector de manejo de equipaje.
3	Edificio S.E.I. Oficinas	Sector de oficinas, de un nivel, estructurado en base a mampostería confinada por pilares y cadenas de concreto reforzado. Particularmente vulnerable resulta la torre de observación del cuartel.
4	Edificio S.E.I. Techumbre	Sector de techumbre estructurado en base a perfiles tubulares de acero, de doble altura, sin detallamiento sísmico.

Tabla 413. Localización de componentes de infraestructura en el Aeropuerto de Tacna

#	Estructura	Latitud	Longitud
1	Terminal de Pasajeros Estructura	-18.050255°	-70.276740°
2	Terminal de Pasajeros Techumbre	-18.050169°	-70.277063°
3	Edificio S.E.I. Oficinas	-18.054127°	-70.278584°
4	Edificio S.E.I. Techumbre	-18.054146°	-70.278485°

A partir de esta información se formó una base de datos geográfica, la cual se empleó como insumo del programa de cómputo experto para llevar a cabo el análisis probabilista de riesgo.

Pérdida Anual Esperada: de acuerdo con el análisis probabilista de riesgo, es de **2.08%** del valor de la infraestructura.

En las figuras 4267 y 4268 (ver en página siguiente) se muestran las curvas de Pérdida vs Período de retorno y Pérdida vs Tasa de Excedencia de la Pérdida, para el Aeropuerto de Tacna.

Figura 4267. Curva de Pérdida vs Período de Retorno, por sismo para el Aeropuerto de Tacna.

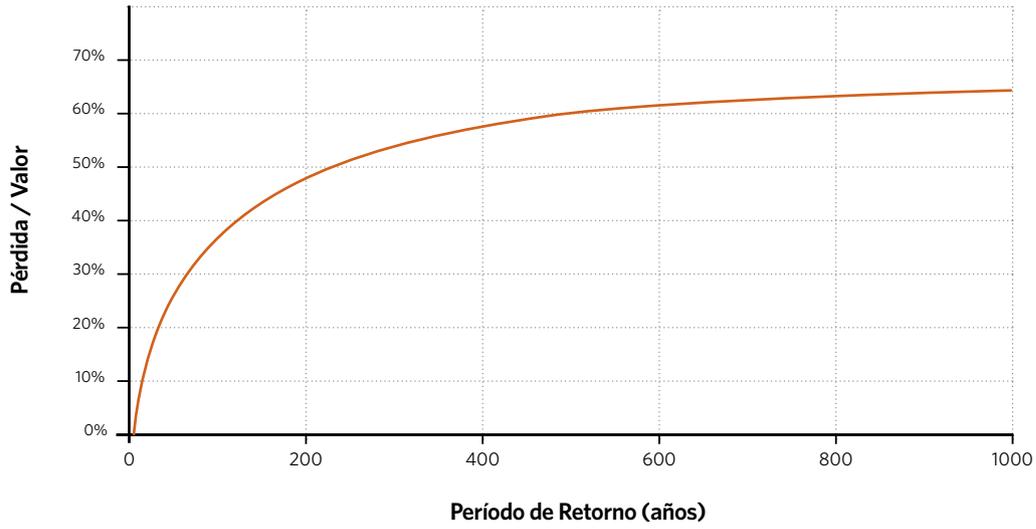
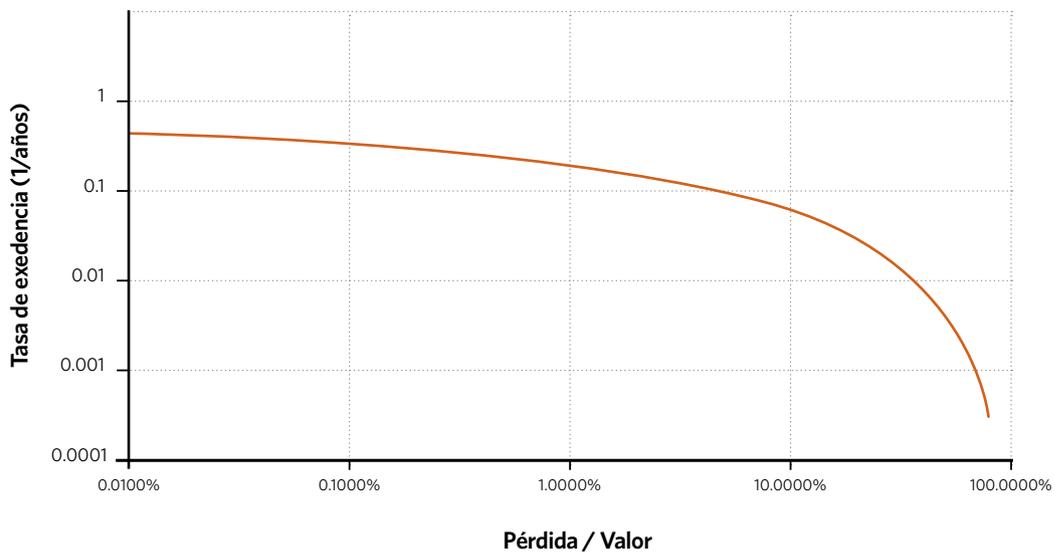


Figura 4268. Curva de Pérdida vs Tasa de Excedencia, por sismo para el Aeropuerto de Tacna.



A manera de resumen se muestra una comparación de los indicadores de riesgo (pérdida anual esperada y curva de pérdida vs período de retorno) entre los Puertos y los Aeropuertos analizados.

Tabla 414. Pérdida anual esperada para la infraestructura analizada.

Sitio	Pérdida Anual Esperada (PAE)
Aeropuerto de Arica	1.11 %
Aeropuerto de Tacna	2.08 %
Puerto de Arica	0.83 %
Puerto de Matarani	3.92 %

Figura 4269. Curva de Pérdida vs Período de Retorno, por sismo para el Aeropuerto de Arica y Tacna.

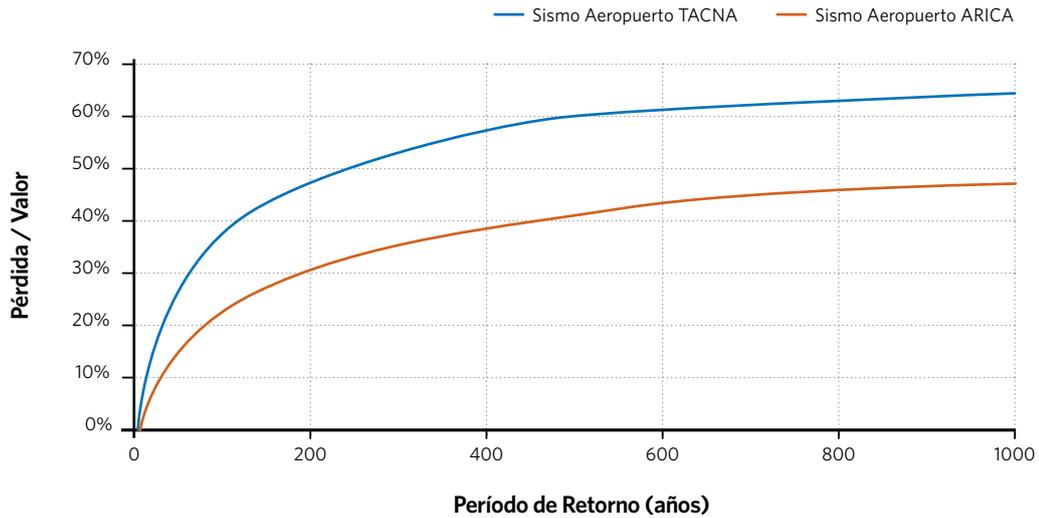
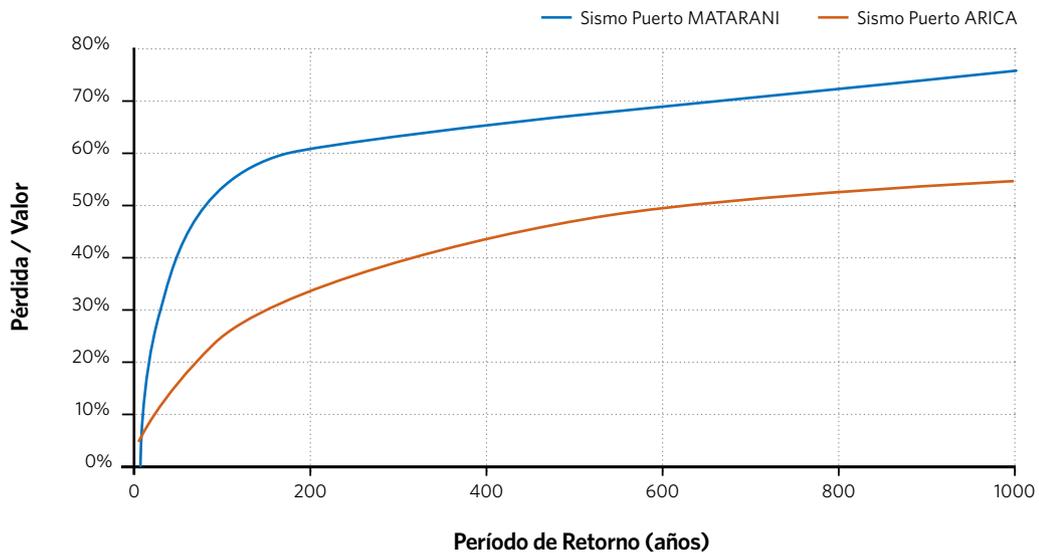


Figura 4270. Curva de Pérdida vs Período de Retorno, por sismo para el Puerto de Arica y Matarani.



De la comparación de los resultados anteriores se identifica lo siguiente:

- ▲ El aeropuerto de Arica presenta un menor nivel de riesgo en comparación con el Aeropuerto de Tacna. Lo anterior se observa en una mayor Pérdida Anual Esperada (PAE) para el Aeropuerto de Tacna (2.08%) en comparación con el Aeropuerto de Arica (1.11%). La Pérdida anual esperada indica el costo (en este caso en porcentaje del valor de la infraestructura) que tendría que reservarse para resarcir los daños futuros. Este valor de Pérdida anual esperada es utilizado para el aseguramiento de la infraestructura por parte del sector Asegurador y Re-Asegurador a nivel internacional.
- ▲ El puerto de Arica presenta un menor nivel de riesgo en comparación con el puerto de Matarani. Lo anterior se observa en una mayor Pérdida Anual Esperada (PAE) para el puerto de Matarani (3.92%) en comparación con el puerto de Arica (0.83%).

- ▲ En cuanto a las Curva de Pérdida vs Período de Retorno, se observa la misma tendencia:
 - ▶ El aeropuerto de Arica presenta un menor nivel de riesgo en comparación con el Aeropuerto de Tacna. Por ejemplo, en la figura 4269 para un período de retorno de 500 años (eje horizontal de la figura) en el Aeropuerto de Tacna se esperaría una pérdida del 60% de la infraestructura analizada; en tanto que para el mismo período de retorno de 500 años se esperaría una pérdida del 40% en el Aeropuerto de Arica. Los valores anteriores se obtienen al ubicarse en el período de retorno deseado en el eje horizontal, posteriormente intersectar la curva de pérdida de la ubicación analizada y leer en el eje vertical el valor de pérdida correspondiente.
 - ▶ El puerto de Arica presenta un menor nivel de riesgo en comparación con el puerto de Matarani. Por ejemplo, en la figura 4270 para un período de retorno de 500 años (eje horizontal de la figura) en el puerto de Matarani se esperaría una pérdida del 68% de la infraestructura analizada; en tanto que para el mismo período de retorno de 500 años se esperaría una pérdida del 42% en el Aeropuerto de Arica.

Lo anterior concuerda con lo observado en las inspecciones de campo, ya que en general la infraestructura ubicada en Arica es menos vulnerables en comparación con la infraestructura ubicada en Tacna y Matarani.

Es importante mencionar que los resultados anteriores se encuentran en porcentaje del valor de la infraestructura analizada en este estudio, por lo que los Operadores de la infraestructura podrán contar con una estimación del monto económico de la pérdida anual esperada al multiplicar los porcentajes aquí presentados por el valor de la infraestructura analizada.



Posibles medidas de reducción de riesgo

Introducción

En esta sección se presentan las medidas de mitigación de la vulnerabilidad sísmica y por tsunami emanadas del análisis de las cuatro infraestructuras seleccionadas en territorio Chileno y Peruano. Se presenta un resumen de las vulnerabilidades estructurales y no estructurales observadas durante la inspección de campo efectuada en cada una de las instalaciones, detalladas a continuación:

1. Aeropuerto de Tacna, Perú
 - a. Estructura terminal de pasajeros
 - b. Pista de aterrizaje
 - c. Estación Cuartel S.E.I.
2. Puerto de Matarani, Perú
 - a. Ruta crítica de manejo de minerales
3. Aeropuerto de Arica, Chile
 - a. Estructura terminal de pasajeros
 - b. Pista de aterrizaje
 - c. Sistema de agua potable
 - d. Estación Cuartel S.E.I.
4. Puerto de Arica, Chile
 - a. Equipos de grúas móviles
 - b. Sitio 2
 - c. Edificio Administrativo

Se identifican las vulnerabilidades determinadas para cada componente estudiado y se provee una estimación del costo unitario de las medidas de mitigación correspondientes.

Metodología para la identificación de medidas de reducción del riesgo

Habitualmente los planes de protección, de mitigación y de operación durante y post desastre de este tipo de instalaciones prevén la seguridad de las personas y de las instalaciones o de la operatividad de los servicios. De esta manera, dependiendo de las características y objetivos de desempeño requerido para cada instalación considerada y de los recursos económicos disponibles, es posible conseguir estratégicamente instalaciones con una alta seguridad en su operación e infraestructura e instalaciones con una alta protección en su infraestructura, que si bien no siempre se espera que funcionen inmediatamente después de una emergencia, pueden ser recuperados en plazos razonables y con costos controlados. Para esto se pueden usar métodos convencionales de protección sísmica o aplicar técnicas de evaluación de desempeño.

Una vez identificadas las vulnerabilidades de las instalaciones, mediante la información provista por el Cliente y la inspección de campo, y determinados los desempeños que en su condición actual las estructuras podrían alcanzar, se evaluaron distintas opciones para su remediación, dependiendo del tipo de amenaza, de la tipología estructural, de la extensión de los posibles daños y/o deterioros y del objetivo de desempeño esperado. Para estas medidas se considera la implementación de métodos convencionales acordes con las prácticas actuales.

El método convencional de remediación considera el refuerzo o modificación de la estructura y de los componentes y sistemas no estructurales existentes en función de los objetivos de desempeño que requieren ser alcanzados. Esto equivale al desarrollo de diseños conceptuales para los refuerzos de las estructuras y de sus contenidos.

Las medidas consideradas para la reducción de riesgo aquí descritas son aplicadas regularmente en la práctica profesional actual y han dado buenos resultados en la protección sísmica de la estructura y sus contenidos.

Posibles medidas de reducción de riesgo ante sismo

A continuación se presentan detalles de vulnerabilidades y medidas de mitigación por componente ante amenaza sísmica, así como posibles medidas de mitigación.

Cielos rasos

Durante la inspección en terreno de las infraestructuras visitadas se constató la existencia de deficiencias en el detallamiento de las soluciones de los cielos rasos, entre las que se cuentan:

- ▶ Algunos cielos modulares se encuentran suspendidos por alambres de acero proyectados desde estructuras metálicas de techumbre. Cielos modulares en esta condición han históricamente presentado un comportamiento sísmico inadecuado.

- ▶ En la totalidad de los cielos inspeccionados no se observan elementos de arriostre lateral.
- ▶ En la totalidad de los cielos inspeccionados no se observan elementos de apuntalamiento vertical.
- ▶ En la totalidad de los cielos inspeccionados no se observan dilataciones en el perímetro de los paños de cielo raso.
- ▶ Los sistemas de iluminación y de aire acondicionado se apoyan directamente sobre el cielo raso, sin contar con un sistema de sujeción independiente.
- ▶ En muchos casos no se observan escalerillas para el transporte de cables y ductos, los que se encuentran apoyados directamente sobre el cielo raso.
- ▶ En algunos casos se observa el uso de anclajes inadecuados para zona sísmica.
- ▶ En situaciones particulares, los rociadores de la red de incendio que cruzan el cielo raso no cuentan con holgura necesaria en su cruce.

En la figura 501 y figura 502 se muestran imágenes obtenidas durante la inspección. En general, se observa que los cielos rasos no presentan un diseño sísmico acorde a las prácticas actuales. Para la remediación se debe implementar de 4 arriostres diagonales y un puntal de compresión en el punto de convergencia de los arriostres, espaciados a una distancia máxima, medida entre puntales de compresión consecutivos en dos direcciones ortogonales, de 3.6 metros, como se muestra en la figura 503 (ver en página siguiente).

El diámetro de los cables, la geometría del puntal y el detalle de los anclajes a losa se debe determinar mediante un estudio de ingeniería que considere los pesos de los cielos rasos, luminarias, difusores y otros elementos que se encuentren apoyados en el cielo. Se deberá usar cables certificados y dispositivos de anclaje también certificados para uso en zona sísmica.

Por su facilidad de instalación, versatilidad y certificación sísmica se recomienda el uso cables y postes de compresión tipo Gripple, como los que se muestran en la figura 504 y figura 505 (ver en páginas siguientes). El estudio de ingeniería deberá entregar planos de detalles, memoria de cálculo, certificaciones y checklist para la implementación de la solución de rehabilitación. La información desarrollada deberá ser sometida a la revisión de un profesional especialista en diseño sismorresistente.

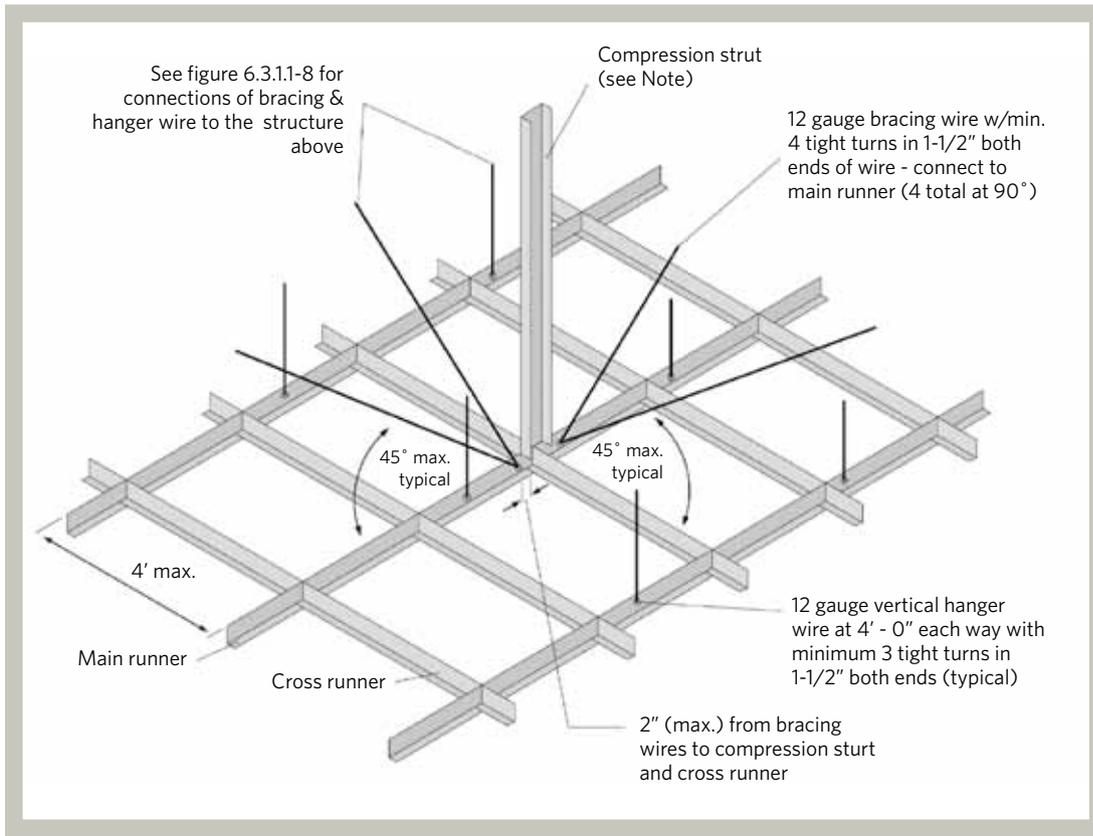
Figura 501. Ejemplos de vulnerabilidad sísmica cielos rasos



Figura 502. Ejemplos de vulnerabilidad sísmica cielos rasos



Figura 503. Ejemplos de mitigación vulnerabilidad sísmica cielos rasos



Fuente: FEMA E74

Figura 504. Ejemplo cable Gripple certificado



Figura 505. Ejemplo puntal de compresión Gripple estándar



Tabiquería

Durante la inspección de campo se observaron deficiencias en el detallamiento de las soluciones de tabiquerías, como por ejemplo:

- ▶ Conexión de los muros de tabiquería liviana a losas aligeradas.
- ▶ Carencia de diseño sísmico en tabiquerías (elementos sin dilatación perimetral), y elementos de fachada con cierto grado de deterioro.
- ▶ Se observan elementos de fachadas sin dilatación en juntas de dilatación entre estructuras.
- ▶ Tabiquería pesada sin dilatación perimetral efectiva.

La figura 506 muestra algunas imágenes obtenidas durante la inspección.

En general, las medidas de mitigación relacionadas a la tabiquería liviana y pesada requieren la implementación de dilataciones a la estructura existente y la incorporación de un revestimiento sismo-resistente exterior, como se muestra en la figura 507.

La geometría de los perfiles de fijación a losa y de soporte fuera del plano del tabique, junto con los detalles de los anclajes certificados sísmicamente, se deben determinar mediante un estudio de ingeniería que considere los pesos de los gabinetes y libreros que se adosan al tabique. El estudio de ingeniería deberá generar planos de detalles, memoria de cálculo, certificaciones y checklist para la implementación de la solución de rehabilitación. La información desarrollada deberá ser sometida a la revisión de un profesional especialista en diseño sismorresistente.

Figura 506. Ejemplos de vulnerabilidad sísmica de tabiquerías

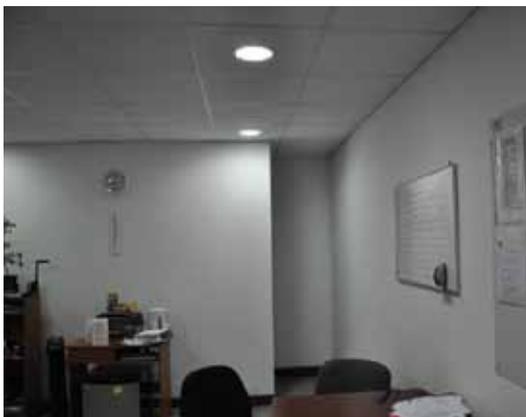
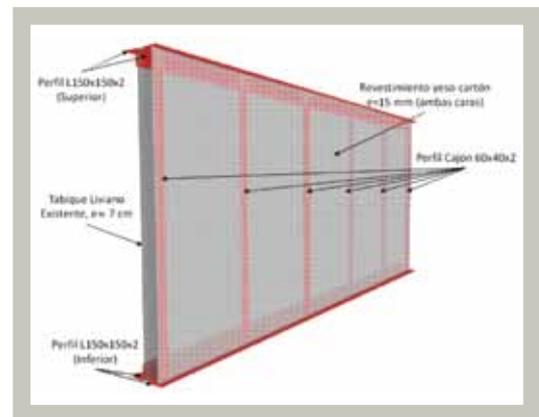


Figura 507. Ejemplos de mitigación de vulnerabilidad sísmica de tabiquerías



Gabinetes y mobiliario

Durante la inspección en campo se observó deficiencias en el detallamiento de las soluciones de gabinetes y mobiliario, como por ejemplo:

- ▶ Carencia de anclajes.
- ▶ Corrosión de anclajes.
- ▶ Conducciones sin abrazaderas y algunas bombas sin la totalidad de sus anclajes.
- ▶ Gabinetes eléctricos presentan componentes que no cuentan con conexión positiva a los racks o gabinetes que los contienen.
- ▶ Gabinetes sin fijación a paredes ni anclaje a piso, susceptibles al vuelco y deslizamiento.

La figura 508 muestra imágenes obtenidas durante la inspección. En general, las medidas de mitigación relacionadas a los gabinetes y mobiliario están asociadas a la incorporación de dispositivos que prevengan su caída o la de sus contenidos.

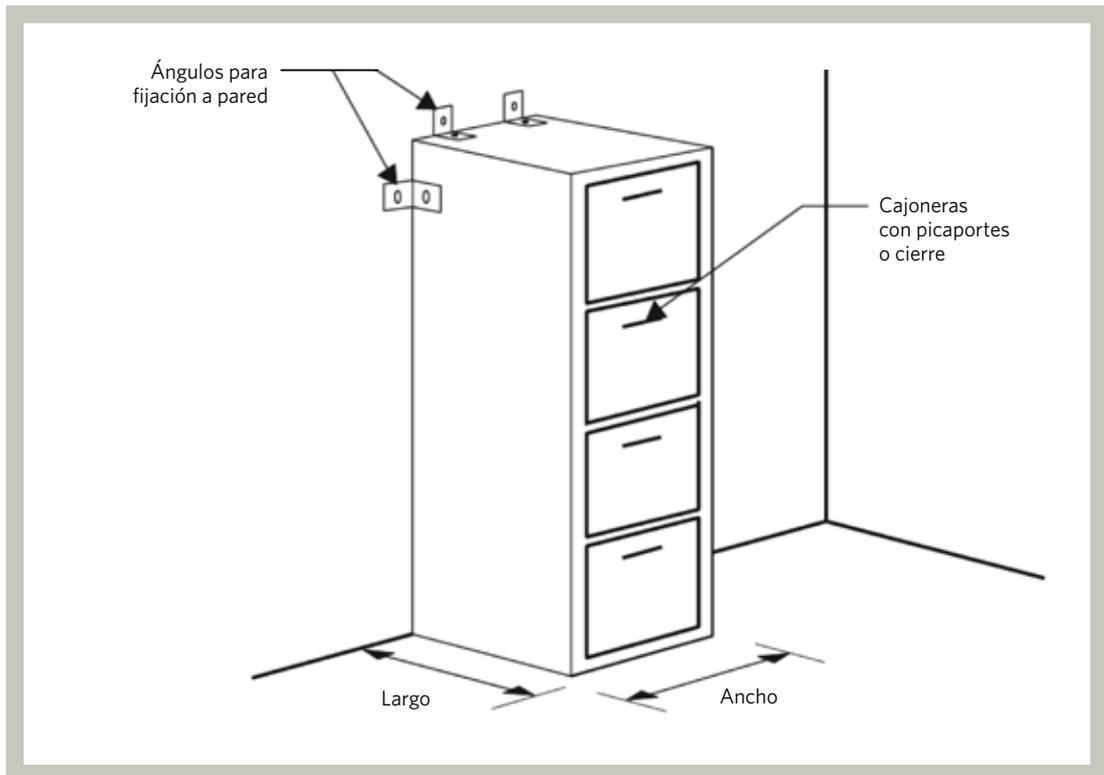
En particular se considera necesario para mitigar su actual vulnerabilidad la incorporación de anclajes a piso y de fijación a pared certificados sísmicamente. Se requiere el uso de gabinetes y estantes que cuenten con diseño sismorresistente, certificados para uso en zona sísmica.

Un estudio de ingeniería deberá generar planos de detalles, memoria de cálculo, certificaciones y checklist para la implementación de la solución de rehabilitación. La información desarrollada deberá ser sometida a la revisión de un profesional especialista en diseño sismorresistente. Algunas soluciones tipo se presentan en la figura 509 y figura 510.

Figura 508. Ejemplos de vulnerabilidad gabinetes y mobiliario

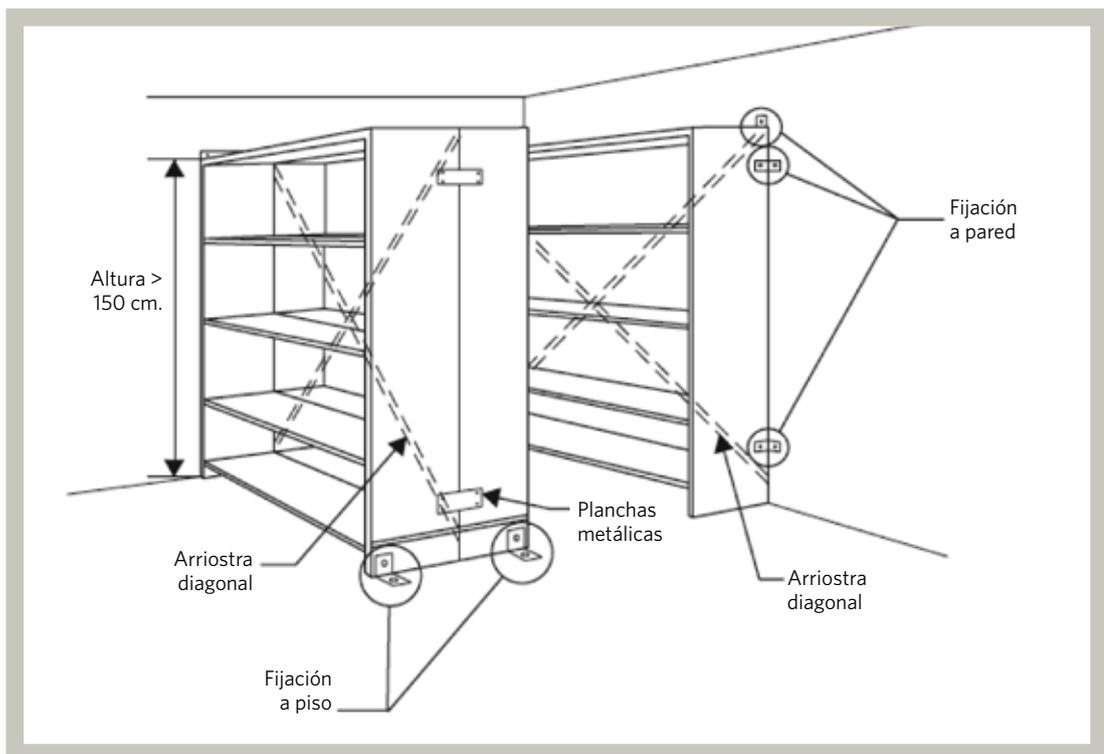


Figura 509. Ejemplos de mitigación vulnerabilidad sísmica de gabinetes y mobiliario



Fuente: *Guide and Checklist for Nonstructural Hazards in California Schools.*

Figura 510. Ejemplos de mitigación vulnerabilidad sísmica de gabinetes y mobiliario



Fuente: *Guide and Checklist for Nonstructural Hazards in California Schools.*

Equipos eléctricos y mecánicos

Las principales deficiencias identificadas en equipos eléctricos y mecánicos durante la inspección de campo se observan en las soluciones de anclaje, como por ejemplo:

- ▶ Equipos con apoyos móviles que no cuentan con dispositivos de control de desplazamiento ni volcamiento.
- ▶ Equipos montados sobre apoyos aisladores de vibraciones que no son aptos para uso en zona sísmica.
- ▶ Equipos simplemente apoyados sobre el radier sin incorporar anclajes.
- ▶ Equipos apoyados sobre estructuras de soporte metálicas no ancladas al piso.

En la figura 511 y figura 512 se muestran imágenes obtenidas durante la inspección de campo.

En general, las medidas de mitigación relacionadas a la vulnerabilidad de equipos eléctricos y mecánicos consisten en el reemplazo de apoyos por aisladores de vibraciones que se encuentren certificados para uso en zona sísmica, la incorporación de anclajes a losa y fijaciones a pared, y la incorporación de topes sísmicos para el control de desplazamientos horizontales y verticales.

Un estudio de ingeniería deberá generar planos de detalles, memoria de cálculo, certificaciones y checklist para la implementación de la solución de rehabilitación. La información desarrollada deberá ser sometida a la revisión de un profesional especialista en diseño sismorresistente. La figura 513 y figura 514 muestran esquemas de algunas soluciones tipo.

Figura 511. Ejemplos de vulnerabilidad sísmica equipos eléctricos y mecánicos



Figura 512. Ejemplos de vulnerabilidad sísmica equipos eléctricos y mecánicos



La figura 515 muestra algunas imágenes obtenidas durante la inspección.

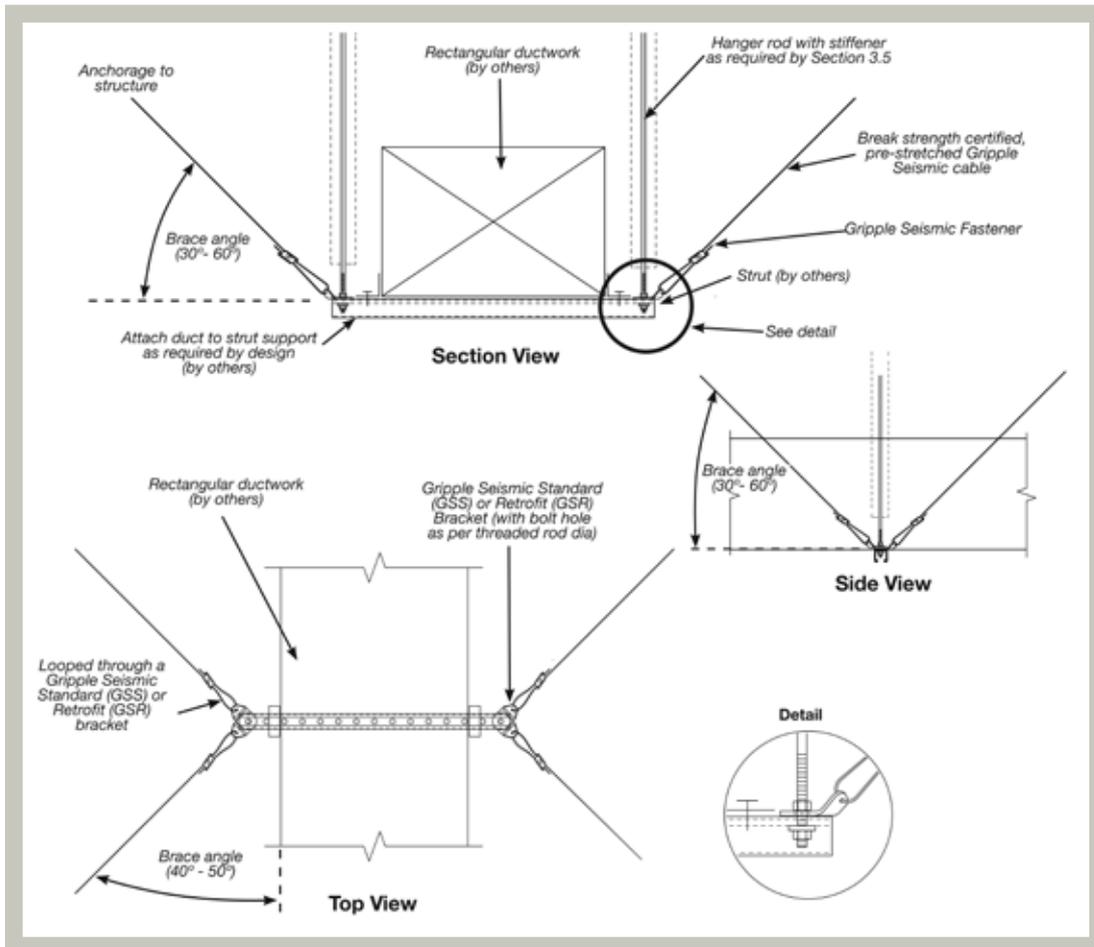
En general, las medidas de mitigación de vulnerabilidad sísmica consisten en la incorporación de arriostres sísmicos certificados y colgadores independientes para los sistemas distribuidos, no apoyar equipos directamente sobre el cielo raso e incorporar arriostres transversales y longitudinales, así como también puntales de compresión en los puntos de arriostre, como se esquematiza en las soluciones tipo mostradas en la figura 517 y figura 518.

Figura 515. Ejemplos de vulnerabilidad HVAC y sistemas de distribución.



Se debe incorporar anclajes que cuenten con certificación para uso en zona sísmica. Un estudio de ingeniería deberá generar planos de detalles, memoria de cálculo, certificaciones y checklist para la implementación de la solución de rehabilitación. La información desarrollada deberá ser sometida a la revisión de un profesional especialista en diseño sismorresistente.

Figura 516. Ejemplos mitigación vulnerabilidad sísmica sistemas distribuidos



Fuente: Gripple-Inc.

Figura 517. Ejemplos mitigación vulnerabilidad sísmica sistemas distribuidos

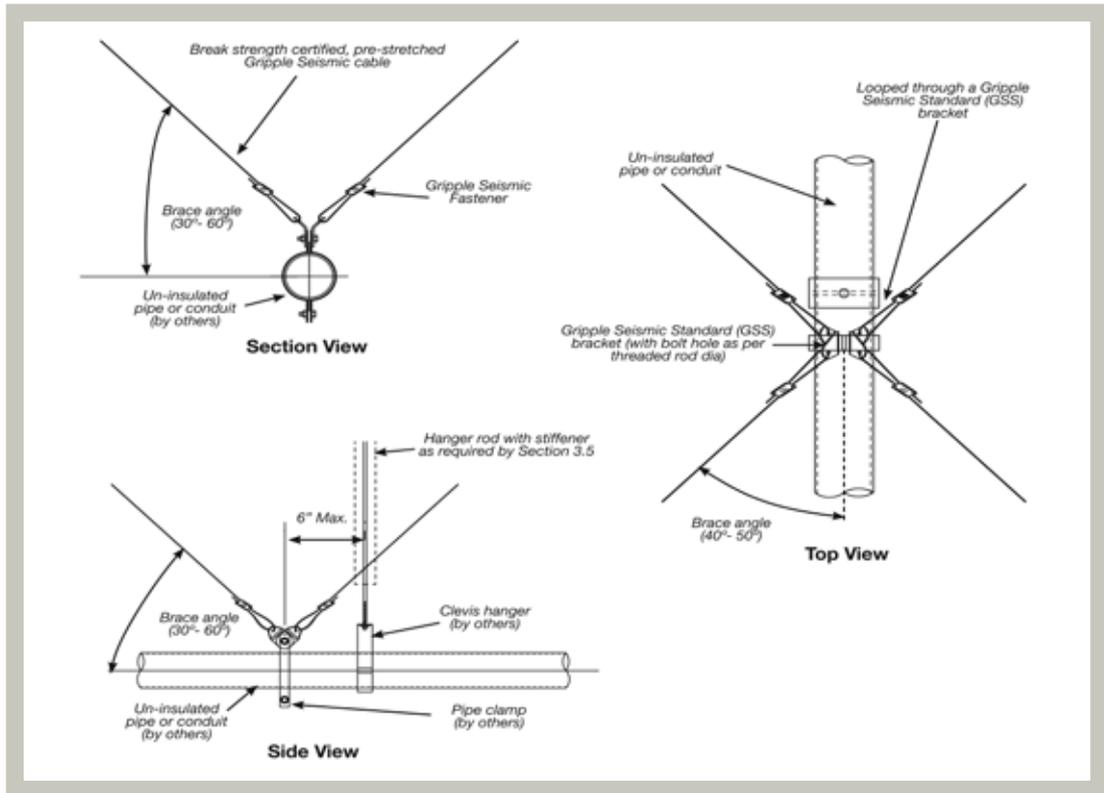
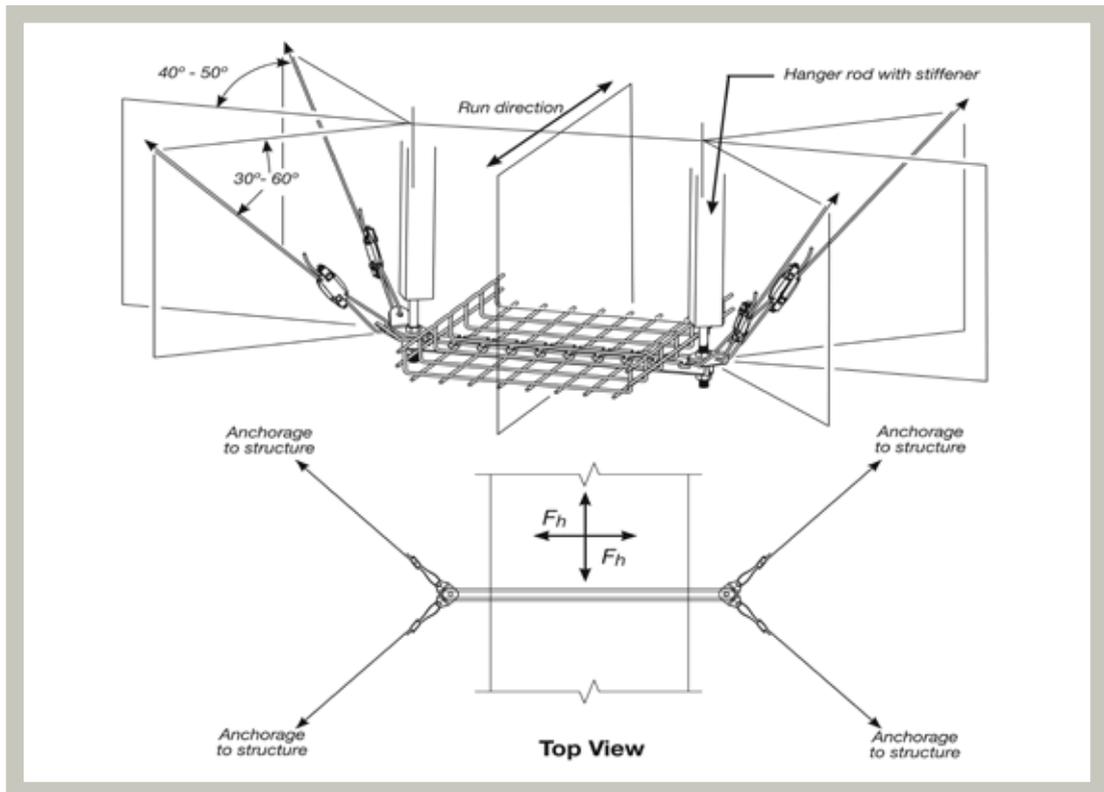


Figura 518. Ejemplos mitigación vulnerabilidad sísmica sistemas distribuidos



Fuente: Gripplle-Inc.

Datacenter

Durante la inspección de campo se observó deficiencias en la disposición de equipos y estructuras de soporte, como por ejemplo:

- ▶ Equipos apoyados sobre ruedas y/o apoyos simples capaces de deslizarse sin topes laterales que lo impidan.
- ▶ Estructura de soporte consiste en un piso registrable.

La figura 519 muestra algunas imágenes obtenidas durante la inspección. En general, las medidas de mitigación de vulnerabilidad consisten en la incorporación de anclajes y/o fijación a la pared. Los equipos deben contar con anclajes y arriostres independientes. Adicionalmente, el piso registrable requiere de arriostres laterales y anclaje a la losa de piso. Los contenidos de los racks deben contar con conexión positiva. Algunas soluciones para la mitigación de vulnerabilidad sísmica se esquematizan en la figura 520.



Figura 519. Ejemplos de vulnerabilidad Datacenter



Figura 520. Ejemplos de mitigación Datacenter (Parte A)

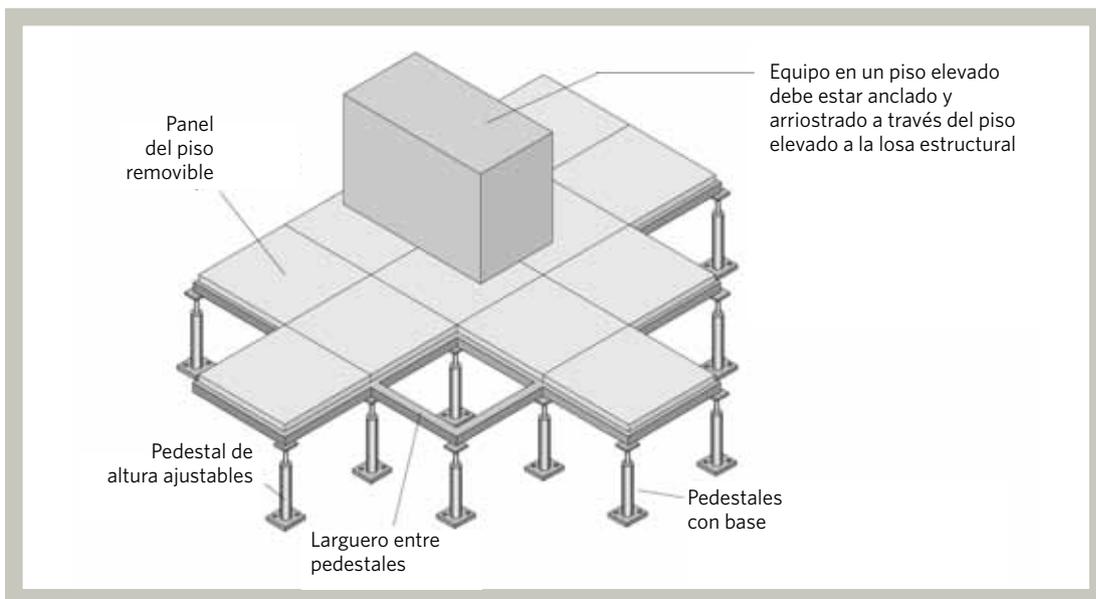
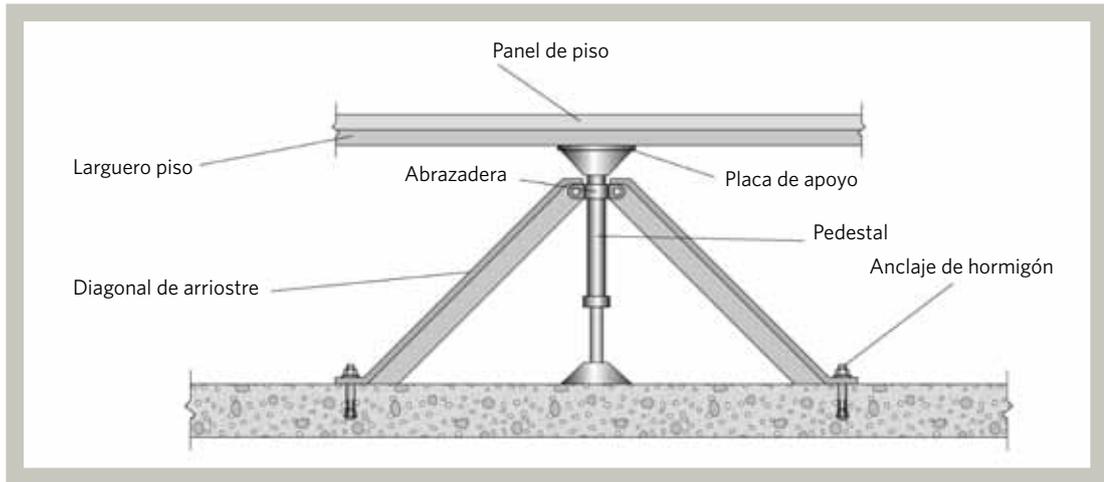


Figura 520. Ejemplos de mitigación Datacenter (Parte B)



Losas de cielo

En la inspección en campo se observó losas aligeradas podrían no contar con refuerzo suficiente para resistir la acción vertical del sismo.

La figura 521 muestra losas aligeradas con vigas en una y dos direcciones. Cabe destacar que existen elementos anclados a estas vigas, como lo son escalerillas, cielos rasos y tabiquerías.

En general, las medidas de mitigación no invasivas relacionadas a la vulnerabilidad sísmica de estas losas aligeradas consiste en el refuerzo con FRP, las cuales le proveerían la resistencia adicional requerida. Se requiere un estudio detallado de ingeniería para verificar la cantidad de refuerzo requerido para resistir las acciones del sismo vertical.

La figura 522 (en página siguiente) contiene un esquema tipo para el refuerzo de losas rigidizadas con vigas.

Figura 521. Ejemplos de vulnerabilidad losas de cielo



Figura 522. Ejemplos de mitigación vulnerabilidad losas de cielo



Estructura Edificio S.E.I.

Durante la inspección de campo de los Edificios S.E.I. se observó que estos no cuentan con una estructuración o detallamiento adecuado para zona sísmica. En particular, se observa que:

- ▶ No cuentan con arriostres de techo.
- ▶ No se observan arriostres verticales.
- ▶ Se observa que los perfiles utilizados son relativamente esbeltos.
- ▶ Todas las conexiones son soldadas.

La figura 523 y figura 524 muestran imágenes obtenidas durante la inspección.

En general, las medidas de mitigación de vulnerabilidad sísmica de las estructuras de los S.E.I. consisten en el reforzamiento general de la estructura, incorporando arriostres horizontales y verticales en techumbre y paredes, como se muestra en los esquemas de la figura 525. Se requiere el desarrollo de un estudio de ingeniería de detalles orientado a determinar los refuerzos necesarios para el edificio.

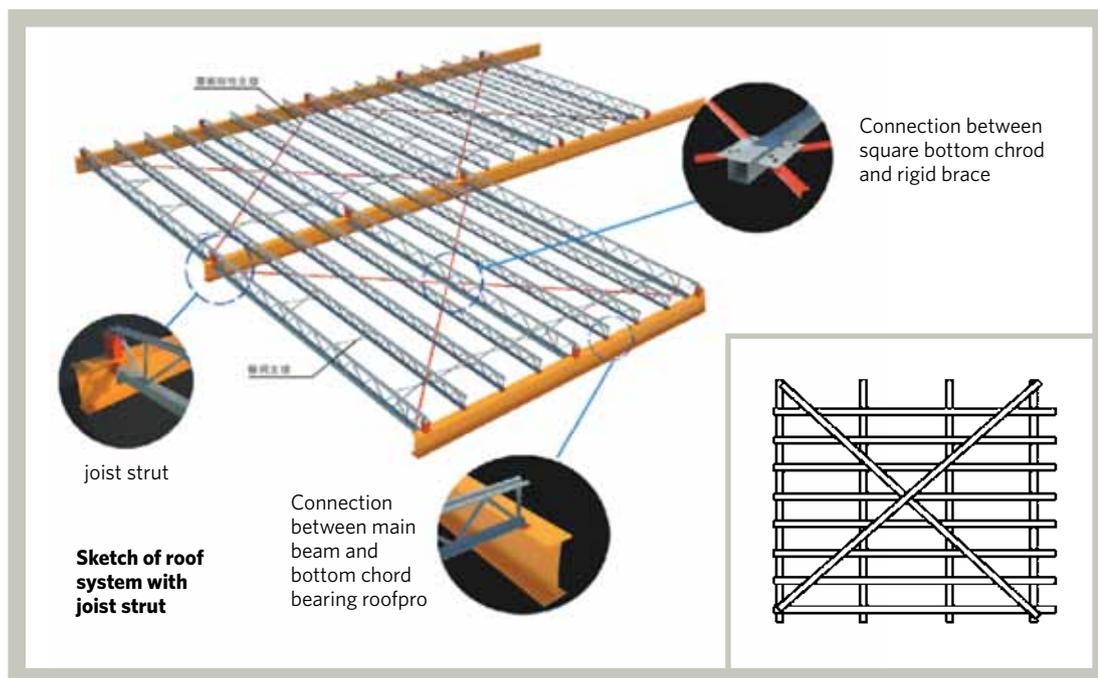
Figura 523. Ejemplos de vulnerabilidad sísmica Estructura Edificio S.E.I.



Figura 524. Ejemplos de vulnerabilidad sísmica Estructura Edificio S.E.I.



Figura 525. Ejemplos de mitigación Estructura Edificio S.E.I.



Fuente: www.open-joist.com

Mobiliario Edificio S.E.I.

De la inspección en terreno se evidencia deficiencias en el detallamiento de las soluciones de mobiliario, como por ejemplo:

- ▶ Contenidos vulnerables tales como roperos, estantes y contenedores con elementos químicos que no se encuentran anclados.
- ▶ Sin fijación a paredes ni anclados a piso, siendo susceptibles al vuelco y deslizamiento.
- ▶ Estanterías de almacenamiento en general sin diseño sismorresistente.

La figura 527 y figura 528 (ver en página siguiente) contienen imágenes obtenidas durante la inspección.

Se debe indicar que no es recomendable que elementos químicos y combustibles se almacenen al interior de las dependencias del S.E.I., dada la volatilidad de estos elementos y las condiciones de almacenamiento actuales.

En general, las medidas de mitigación relacionadas al mobiliario están asociadas a la incorporación de dispositivos que prevengan su caída o la de sus contenidos. En particular se considera necesario para mitigar su actual vulnerabilidad la incorporación de anclajes a piso y de fijación a pared. Dependiendo de la relación de aspecto de los componentes puede ser necesaria la incorporación de arriostres diagonales. En particular, se deben considerar el uso de componentes que se encuentren diseñados y certificados para uso en zona sísmica, como la solución tipo presentada en la figura 529. Un estudio de ingeniería deberá generar planos de detalles, memoria de cálculo, certificaciones y checklist para la implementación de la solución de rehabilitación. La información desarrollada deberá ser sometida a la revisión de un profesional especialista en diseño sismorresistente.

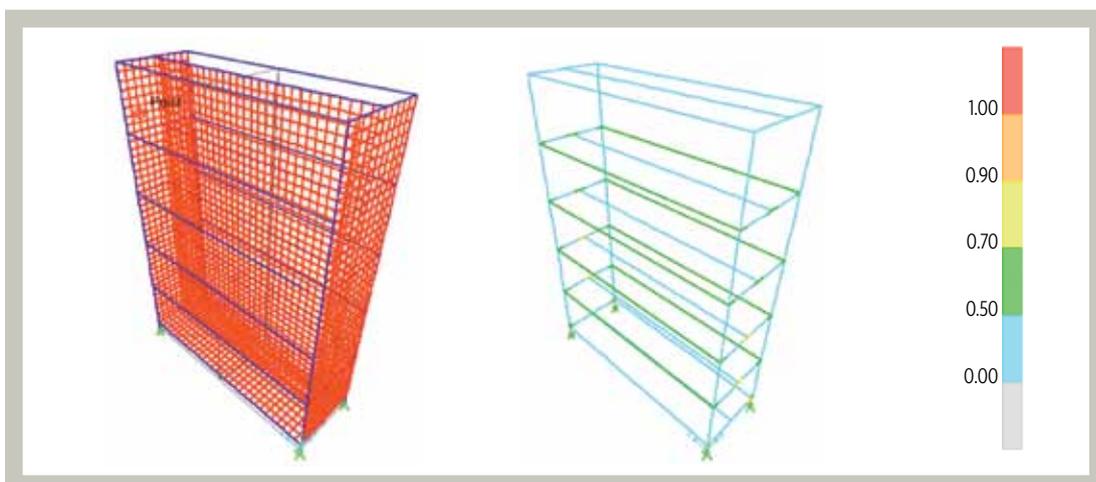
Figura 527. Ejemplos de vulnerabilidad Mobiliario Edificio S.E.I.



Figura 528. Ejemplos de vulnerabilidad Mobiliario Edificio S.E.I.



Figura 529. Ejemplos de mitigación Mobiliario Edificio SEI



Para las posibles medidas de reducción de riesgo ante tsunami ver Anexo 4 a este informe.

Diferencias cualitativas en las medidas de reducción de riesgos entre los aeropuertos de Arica y Tacna

En relación a las estructuras de los Aeropuertos, ambos presentan una estructuración diferente. El Aeropuerto de Arica está estructurado con un sistema de marcos de concreto reforzado en dos direcciones de un piso, con un techo de madera laminada, mientras que el Aeropuerto de Tacna está estructurado por marcos de concreto reforzado en una y dos direcciones, con un perímetro compuesto por muros de albañilería con columnas de confinamiento y con losas aligeradas en una y dos direcciones como losas de cielo. Cabe destacar que el Aeropuerto de Tacna cuenta con una remodelación que sólo contempla el frontis de la estructura original, manteniendo intacta gran parte de la estructura original. A partir de lo anterior, se desprende que al menos el sector de construcción antiguo no cumpliría requisitos de diseño sísmico actuales, siendo más vulnerable ante sismos. Es probable que pudieran requerir de refuerzo para cumplir los requisitos de diseño de los estándares actuales y/o aumentar su resistencia y seguridad sísmica. Adicional a lo anterior, se considera que es necesario un análisis detallado de la resistencia ante efectos de cargas de sismo vertical de las losas de cielo del Aeropuerto de Tacna. Lo anterior genera una diferenciación en cuanto a las medidas de reducción de riesgos consideradas para ambas infraestructuras.

En términos de estructuras, los Edificios S.E.I. son muy similares en cuanto a su estructuración en ambos aeropuertos. En particular se observa que ambas requieren las mismas medidas para mejorar su detallamiento sísmico. Ambas estructuras no presentan diferencias en la vulnerabilidad sísmica asignada ni en las medidas de mitigación de riesgo requeridas.

En relación a los componentes no estructurales, ambos Aeropuertos cuentan con componentes no estructurales similares, variando sólo en la cantidad. En términos del detallamiento de su conexión a la estructura sismo-resistente, éstos carecen de un detallamiento sísmico adecuado que les permita tener un comportamiento satisfactorio.

Diferencias cualitativas en las medidas de reducción de riesgos entre los puertos de Arica y Matarani

En relación a las estructuras de los puertos, el edificio administrativo del puerto de Arica cuenta con una estructuración en mampostería, de dos pisos de altura y un subterráneo. El edificio administrativo del Puerto de Matarani cuenta con una estructuración en mampostería confinada, de dos pisos de altura y con losas aligeradas en 1 y 2 direcciones como losas de cielo. No se cuenta con las memorias de cálculo y planos estructurales de ambas estructuras, por lo que no es posible realizar un análisis que permita verificar si su resistencia es suficiente ante la demanda sísmica. Es probable que pudieran requerir de refuerzo para cumplir los requisitos de diseño de los estándares actuales y/o aumentar su resistencia y seguridad sísmica. En particular, a partir de la inspección visual realizada en el Puerto de Matarani, se observa que hay cepas de estructura metálica con diagonales que se encuentran pandeadas, reduciendo su capacidad sísmica. Del mismo modo, se observa que el Ship Loader no tendría capacidad sísmica.

En relación a los componentes no estructurales, ambos Puertos cuentan con componentes no estructurales similares, variando sólo en la cantidad. En términos del detallamiento de su conexión a la estructura sismo-resistente, éstos carecen de un detallamiento sísmico adecuado que les permita tener un comportamiento satisfactorio.

Resumen de medidas de mitigación

A continuación se enumeran las vulnerabilidades detectadas durante la inspección en terreno y las medidas de mitigación correspondientes a cada componente analizado en este informe.

En todos los casos, se requiere estudios detallados de ingeniería, para cada infraestructura, que desarrollen el cálculo estructural de las medidas de mitigación recomendadas. En particular, debe implementarse sistemas que cuenten con memoria de cálculo, certificación sísmica, arriostres certificados, anclajes certificados, etc. Se debe desarrollar planos de detalles de cada sistema, incluidos sus sistemas de protección, memorias de cálculo y checklist para la correcta ejecución de las obras de mitigación. La documentación desarrollada debe ser sometida a la revisión de un especialista en diseño sismorresistente.

Tabla 501. Resumen de medidas de mitigación

Componente	Chile		Perú		Vulnerabilidad	Medidas de Mitigación
	Aeropuerto de Arica	Puerto de Arica	Aeropuerto de Tacna	Puerto de Matarani		
Cielos Rasos		✓	✓	✓	No presentan diseño ni detallamiento sísmico. Equipos apoyados directamente sobre cielo raso.	Incorporación de arriostres diagonales, puntales de compresión y anclajes certificados que cuenten con diseño sismorresistente. Incorporación de soportes y arriostres diagonales independientes para sistemas de iluminación, aire acondicionado, redes de incendio, etc. Todo con diseño sismorresistente.
Tabiquerías	✓	✓			Capacidad de deformación tabiquería pesada. Capacidad de los tabiques para resistir cargas fuera del plano.	Implementar dilatación de tabiques a estructura resistente. Implementar muros de revestimiento exterior con diseño sismorresistente.
Gabinets y mobiliario de oficina	✓	✓	✓	✓	Ausencia de dispositivos para prevenir la caída de contenidos. Susceptibilidad de vuelco o deslizamiento del mobiliario.	Incorporar anclajes de piso y fijación a la pared certificados para uso en zona sísmica. Incorporar arriostres diagonales certificados. Se debe utilizar gabinetes que se encuentren diseñados y certificados para uso en zona sísmica.

Componente	Chile		Perú		Vulnerabilidad	Medidas de Mitigación
	Aeropuerto de Arica	Puerto de Arica	Aeropuerto de Tacna	Puerto de Matarani		
Equipos eléctricos y mecánicos	✓	✓	✓	✓	Equipos montados sobre apoyos aisladores de vibraciones. Equipos simplemente apoyados sobre el radier sin incorporar anclaje vertical y lateral.	Reemplazo de apoyos por aisladores de vibraciones que incorporen diseño sísmico. Incorporación de anclajes a losa. Incorporación de topes sísmicos con diseño sismorresistente.
HVAC y sistemas de distribución horizontal y vertical	✓	✓	✓		Equipos apoyados directamente sobre el cielo raso. No cuentan con detallamiento sísmico adecuado.	Incorporar arriostres y colgadores independientes. Incorporar arriostres transversales y longitudinales. Incorporar postes de compresión.
Datacenter				✓	Equipos apoyados sobre ruedas o simplemente apoyados capaces de deslizar dado que no cuentan con topes laterales que lo impidan.	Incorporar anclajes de piso y fijación a la pared, como arriostres diagonales. Piso registrable requiere de arriostres laterales y anclaje a la losa.
Losas de cielo			✓		Resistencia limitada para sismo vertical.	Reforzamiento de losa con FRP. Se requiere proyecto de cálculo estructural.
Torre evacuación		✓		✓	Tsunami.	Colocación de torres de evacuación para personal en zona próxima al mar. Se requiere diseño sismorresistente de la torre.
Estructura Edificio S.E.I.	✓		✓		Sector de galpón estructurado en base a perfiles tubulares de acero, de doble altura, sin detallamiento sísmico.	Reforzamiento general de la estructura, incorporando arriostres horizontales y verticales en techumbre y paredes. Se debe proveer un sistema sismorresistente a la estructura.
Mobiliario Edificio S.E.I.	✓		✓		Equipos y mobiliario susceptible de volcar o deslizar. Ausencia de dispositivos para prevenir la caída de contenidos.	Incorporar anclajes de piso, fijación a la pared, arriostres diagonales certificados. Se debe utilizar gabinetes que se encuentren diseñados y certificados para uso en zona sísmica.

Estimación de costo para medidas de mitigación

A continuación se estiman los costos económicos, referenciales, de implementar las medidas de mitigación de vulnerabilidad sísmica propuestas para los distintos componentes analizados. Los resultados del análisis de precios unitarios se presentan en la tabla 502. Los valores presentados en la tabla 502 deben ser refrendados mediante un análisis de ingeniería de detalles efectuado por una empresa especializada en diseño y refuerzo estructural y no estructural.

La información de la tabla 502 es utilizada para estimar, también de manera referencial y aproximada, los costos globales de rehabilitación sísmica de las infraestructuras analizadas. Los resultados de dicho análisis económico se presentan en la tabla 503 a tabla 506. Nuevamente, los valores presentados en las tabla 503 a tabla 506 deben ser refrendados mediante un análisis de ingeniería de detalles.

Tabla 503. Costo Estimativo para Aeropuerto de Arica



AEROPUERTO DE ARICA				
Estructura / Componente	Unidad	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
Edificio Terminal de pasajeros	m ²	5181	TBD	TBD
Edificio Captación agua Potable	m ²	191	TBD	TBD
Edificio Subestación eléctrica Terminal	m ²	259	TBD	TBD
Total Mitigación Vulnerabilidad Estructural			TBD	TBD
Cielos rasos	m ²	900	19	17,100
Tabiquería liviana (metros lineales)	m	455	119	54,145
Gabinetes y mobiliario	ea	26	750	19,500
Equipos eléctricos y mecánicos	ea	176	230	40,480
Sistemas HVAC (estimado)	m	274	50	13,680
Sistemas incendio (estimado)	m	274	50	13,680
Sistemas de agua (estimado)	m	274	50	13,680
Estructura Edificios S.E.I. (superficie Total)	m ²	312	102	31,824
Mobiliario Edificios S.E.I.	ea	12	750	9,000
Total Mitigación Vulnerabilidad No Estructural				213,089
Gastos generales, utilidades e imprevistos	(100%)			213,089
			Total	426,178

Tabla 502. Análisis de precios unitarios

Componente	Chile		Perú		Solución y Precio Referencial	Unidad (Un)	Costo Solución (USD)	Superficie o Longitud Cubierta	Costo Unitario (USD/Un)
	Aeropuerto de Arica	Puerto de Arica	Aeropuerto de Tacna	Puerto de Matarani					
Cielos Rasos	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 4 cables Gripple para arriostamiento, 20 USD/ea ▶ 1 puntal de compresión, 40 USD/ea ▶ 6 pernos Hilti HSL-3 M8/20, 17 USD/ea ▶ Mano de obra, 12 USD/ea 	m ²	246	12.96	19.0
Tabiquería liviana	✓	✓			<ul style="list-style-type: none"> ▶ 4 perfiles L150x150x2 ▶ 2 perfiles Cajón 60x40x2 ▶ Placas de yeso cartón e=15 mm ▶ Mano de obra, 32 USD/m 	m	417	3.5	119.1
Tabiquería pesada	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 4 perfiles L150x150x6 ▶ 2 perfiles Cajón 100x50x5 ▶ Placas de yeso cartón e=15 mm ▶ Mano de obra, 32 USD/m 	m	697	3.5	199.1
Gabinetes y mobiliario	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Costo gabinete estandarizado certificado sísmicamente, incluidos anclajes, 750 USD/ea 	ea	750	1	750.0
Equipos eléctricos y mecánicos	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 1 tope, 200 USD/ea ▶ 2 pernos HAS-R 304/316 5/8", 9 USD/ea ▶ Mano de obra, 12 USD/ea 	ea	230	1	230.0
HVAC y sistemas de distribución horizontal y vertical	✓	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 2 puntales de compresión, 40 USD/ea ▶ 6 pernos Hilti HSL-3 M8/20, 17 USD/ea ▶ 2 abrazaderas de diámetro variable, 12 USD/ea ▶ 4 cables Gripple estandarizados y certificados para aplicaciones sísmicas, 20 USD/ea ▶ Mano de obra, 12 USD/ea 	m	298	6	49.7
Datacenter (contenedores)				✓	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 4 puntal de compresión, 40 USD/ea ▶ Mano de obra, 12 USD/ea ▶ 4 pernos Hilti HSL-3 M8/20, 17 USD/ea ▶ Mano de obra, 12 USD/ea 	m ²	240	2.25	106.7
Losas aligeradas			✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> ▶ FRP, 300 USD/m² (incluye mano de obra) 	m ²	300	1	300.0
Torre de evacuación		✓		✓	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 1 torre prefabricada, sísmicamente certificada por el fabricante 	ea	500000 1000000	1	500000 1000000
Estructura Edificio S.E.I.	✓		✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 2 arriostres horizontales L=4m, 400 USD/ea 	m ² (pared o techo)	800	7.84	102.0

Tabla 504. Costo Estimativo para Puerto de Arica



PUERTO DE ARICA				
Estructura / Componente	Unidad	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
Oficinas administrativas	m ²	1,160	TBD	TBD
Total Mitigación Vulnerabilidad Estructural			TBD	TBD
Cielos rasos	m ²	1,160	19	22,039
Tabiquería liviana	m	341	119	40,627
Tabiquería pesada	m	114	199	22,686
Gabinetes y mobiliario	ea	48	750	36,000
Equipos eléctricos y mecánicos	ea	304	230	69,920
Sistemas HVAC y otros sistemas distribuidos	m	480	50	24,000
Sistemas incendio (estimado)	m	480	50	24,000
Sistemas de agua (estimado)	m	480	50	24,000
Datacenter (contenidos)	m ²	60	107	6,420
Vulnerabilidad ante Tsunami	ea	2	500,000	1,000,000
Total Mitigación Vulnerabilidad No Estructural				1,269,691
Gastos generales, utilidades e imprevistos	(100%)			1,269,691
			Total	2,539,383

Tabla 505. Costo Estimativo para Aeropuerto de Tacna



AEROPUERTO DE TACNA				
Estructura / Componente	Unidad	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
Terminal de pasajeros	m ²	4,320	TBD	TBD
Total Mitigación Vulnerabilidad Estructural			TBD	TBD
Cielos rasos	m ²	2,160	19	41,040
Tabiquería liviana	m	190	119	22,610
Tabiquería pesada	m	236	199	46,964
Gabinetes y mobiliario	ea	22	750	16,500
Equipos eléctricos y mecánicos	ea	128	230	29,440
Sistemas HVAC (estimado)	m	350	50	17,500
Sistemas incendio (estimado)	m	350	50	17,500



AEROPUERTO DE TACNA				
Sistemas de agua (estimado)	m	350	50	17,500
Estructura Edificios S.E.I. (superficie Total)	m ²	600	102	61,200
Mobiliario Edificios S.E.I.	ea	14	750	10,500
Total Mitigación Vulnerabilidad No Estructural				280,754
Gastos generales, utilidades e imprevistos	(100%)			280,754
			Total	561,508

Tabla 506. Costo Estimativo para Puerto de Matarani



PUERTO DE MATARANI				
Estructura / Componente	Unidad	Cant.	Costo Unitario (USD)	Costo total (USD)
Almacenes	m ²	23,211	TBD	TBD
Edificio Administrativo	m ²	2,765	TBD	TBD
Subestaciones	m ²	276	TBD	TBD
Sistema de Mineral	m ²	14,672	TBD	TBD
Total Mitigación Vulnerabilidad Estructural			TBD	TBD
Comedores	m ²	285	TBD	TBD
Cielos rasos	m ²	2,765	19	52,535
Tabiquería liviana	m	287	119	34,153
Tabiquería pesada	m	550	199	109,450
Gabinetes y mobiliario	ea	90	750	67,500
Equipos eléctricos y mecánicos	ea	200	230	46,000
Sistemas HVAC y otros sistemas distribuidos	m	1,640	50	82,000
Sistemas incendio (estimado)	m	1,640	50	82,000
Sistemas de agua (estimado)	m	1,640	50	82,000
Datacenter (contenidos)	m ²	47	107	4,992
Losas de cielo	m ²	2,765	300	829,500
Vulnerabilidad ante Tsunami	ea	2	500,000	1,000,000
Total Mitigación Vulnerabilidad No Estructural				2,390,130
Gastos generales, utilidades e imprevistos	(100%)			2,390,130
			Total	4,780,259

Beneficio de las medidas de mitigación

De acuerdo las referencias internacionales que tratan el tema del beneficio de la mitigación (Rose A., et al. 2007, Mechler, R. 2005, Smyth A. et al. 2004), ésta puede estimarse como el “daño evitado” o el ahorro que se tendría al evitar una pérdida futura dada la implementación de una medida de mitigación.

De acuerdo con la información disponible en este estudio, se propusieron funciones de vulnerabilidad que representan el comportamiento de los diferentes elementos analizados al implementar una medida de mitigación estructural. Empleando las funciones de vulnerabilidad mitigadas para los diferentes componentes analizados de la infraestructura, se llevó a cabo nuevamente el análisis probabilista de riesgo empleando la plataforma CAPRA. Los resultados de Pérdida Anual Esperada (PAE) en el Estado Actual (sin medida de mitigación) y el Estado Mitigado (con medida de mitigación) de la diferente infraestructura analizada se presenta en la siguiente tabla, así como el porcentaje de reducción (ahorro o beneficio) en la PAE de la infraestructura que se tendría respecto al “Estado Actual” al implementar las medidas de mitigación en los componentes analizados de la infraestructura.

Tabla 507. PAE en el Estado Actual y el Estado Mitigado

Sitio	Pérdida Anual Esperada (PAE)		% Ahorro en PAE respecto a Estado Actual
	Estado actual	Estado mitigado	
Aeropuerto Arica ¹	1.11%	0.085%	92%
Puerto Arica ²	0.83%	0.153%	82%
Aeropuerto Tacna ³	2.08%	0.080%	96%
Puerto Matarani ⁴	3.92%	0.52%	87%

De la tabla anterior se observan los importantes beneficios de implementar medidas de mitigación, ya que de acuerdo a los análisis realizados empleando la información disponible, se observan reducciones en la pérdida anual esperada de más del 80% respecto al estado actual.

Es importante mencionar que los resultados anteriores se encuentran en porcentaje del valor de la infraestructura analizada en este estudio, por lo que los Operadores de la infraestructura podrán contar con una estimación del monto económico de la Pérdida Anual Esperada (PAE) y su ahorro, al multiplicar los porcentajes aquí presentados por el valor de la infraestructura analizada.

1. Componentes analizados: Terminal de Pasajeros, Edificio S.E.I. (oficinas y techumbre), Sala eléctrica.

2. Componentes analizados: Edificio Administrativo, Sala Eléctrica, Muelle Sitio 2.

3. Componentes analizados: Terminal de Pasajeros (estructura y techumbre), Edificio S.E.I. (oficinas y techumbre).

4. Componentes analizados: Terminal de Pasajeros (estructura y techumbre), Edificio S.E.I. (oficinas y techumbre).



Conclusiones

A continuación se presentan las principales conclusiones y reflexiones obtenidas de este estudio.

Vulnerabilidades

Con la finalidad de evaluar la vulnerabilidad sísmica de la infraestructura, durante la campaña en terreno se revisó la condición y el estado de la infraestructura crítica, la cual puede diferir de los planos de diseño y puede estar deteriorada por su uso y por las condiciones ambientales. En particular, este estudio contempló la inspección visual de campo. Las principales vulnerabilidades identificadas son:

Componentes estructurales:

- ▲ Estructuras en general. Se observan, en todos los sitios visitados, estructuras de mampostería de 1 ó 2 pisos que pudieran requerir de refuerzo para cumplir los requisitos de diseño de los estándares actuales y/o aumentar su resistencia y seguridad sísmica.
- ▲ Losas aligeradas de cielo. En el aeropuerto de Tacna se observaron losas aligeradas cuya resistencia ante efectos de cargas de sismo vertical debe ser evaluada.
- ▲ Estructura Edificios S.E.I. Se observan estructuras metálicas en los edificios S.E.I. de los aeropuerto de Tacna y Arica que requieren mejorar su detallamiento sísmico.
- ▲ Estructuras metálicas. En el caso del Puerto de Matarani se observan cepas de estructura metálica con diagonales que se encuentran pandeadas, reduciendo su capacidad sísmica. Del mismo modo, se observa que el ship loader no tendría capacidad sísmica.

Componentes no estructurales:

- ▲ Cielos rasos. Los cielos falsos presentes en todos los recintos visitados carecen de detallamiento sísmico (postes de compresión, perfilería heavy duty, etc.)
- ▲ Tabiquerías livianas y pesadas sin detallamiento sísmico. Las tabiquerías no cuentan con dilataciones ni con elementos de fijación que permitan acomodar movimientos en su plano y resistir solicitaciones fuera del plano.
- ▲ Gabinetes y mobiliario. Se observa en todas las instalaciones visitadas gabinetes, estanterías y mobiliario sin diseño sísmico. En la mayoría de los casos no se observan anclajes a piso o pared.
- ▲ Equipos eléctricos y mecánicos. Se observan equipos eléctricos montados sobre apoyos de vibración que no serían adecuados para uso en zona sísmica. Se observan equipos eléctricos sin anclaje.
- ▲ Sistemas HVAC y otros sistemas distribuidos. Los sistemas distribuidos de las infraestructuras inspeccionadas carecen de puntales de compresión, y arriostres y anclajes sísmicos.
- ▲ Datacenter. Se observan datacenters sin detallamiento sísmico adecuado.
- ▲ Mobiliario Edificios S.E.I. Se observan estanterías sin diseño sismorresistente. Materiales peligrosos e inflamables requieren ser asegurados para prevenir vuelcos y desplazamientos.
- ▲ Vulnerabilidad antes Tsunami. Se observa infraestructura crítica para la operación de los puertos en zona susceptible de inundación por tsunami.

Lo que sería recomendable para reducir la vulnerabilidad/riesgo

En el presente estudio se ha definido una serie de medidas que se deben implementar para la reducción de las vulnerabilidades sísmicas detectadas, definidas como medidas de mitigación. Estas medidas contemplan una intervención en el detallamiento de los componentes estructurales y no estructurales como las siguientes:

- ▶ Incorporar anclajes y topes sísmicos para prevenir el deslizamiento y vuelco de equipos eléctricos y mecánicos.
- ▶ Incorporar exoestructuras para prevenir el vaciamiento de tabiquerías livianas y pesadas.
- ▶ Incorporar estanterías con diseño sismorresistente para prevenir la caída de contenidos.
- ▶ Incorporar arriostres, puntales y anclajes sísmicos en sistemas distribuidos y cielos rasos.

El estudio incorpora soluciones esquemáticas a nivel de ingeniería pre-básica, cuantificando estas soluciones en términos monetarios estimativos.

Las soluciones presentadas en este informe deben ser refrendadas mediante un estudio de ingeniería de detalles desarrollado por una empresa con experiencia demostrable en diseño y refuerzo estructural y no estructural.

Costo preliminar y general estimado para la implementación

Para la estimación del costo de la implementación se plantean soluciones esquemáticas para cada uno de los componentes analizados, incluyendo un ítemizado de la solución con precios referenciales. Para estimar el costo, se cuantifican, también a modo referencial, las cantidades de componentes vulnerables por infraestructura analizada. Los costos totales preliminares referenciales de rehabilitación serían del orden de:

- ▶ Puerto de Matarani: USD\$ 4,780,259
- ▶ Aeropuerto de Tacna: USD\$ 561,508
- ▶ Puerto de Arica: USD\$ 2,539,383
- ▶ Aeropuerto de Arica: USD\$ 426,178

Las estimaciones anteriores deben ser validadas mediante estudios de ingeniería de detalles para cada una de las instalaciones.

Recomendación

Se deberá ejecutar proyectos de ingeniería que permitan desarrollar los detalles de las medidas de mitigación provistas en este estudio. Los estudios de ingeniería deberán ser ejecutados por una oficina de diseño especialista tanto en diseño y refuerzo de sistemas estructurales y no estructurales. Se considera como indispensable la realización de una campaña en terreno que permita el levantamiento de la información requerida para la ejecución del estudio de ingeniería de detalle.

Lecciones aprendidas

Se requiere la definición por parte del Mandante de los flujos económicos correspondientes a las estructuras para las cuales se generará el estudio de riesgo sísmico con la finalidad de estimar las pérdidas debido a paradas funcionales de la infraestructura producto de las amenazas consideradas. De igual manera se requiere la definición por parte de los Mandantes de los objetivos de desempeño requeridos para la infraestructura, de los componentes estructurales y no estructurales. La entrega de la documentación requerida para un estudio de ingeniería de detalle, consistente principalmente de planos y memorias de cálculo de cada especialidad y la mecánica de suelos vigente.

Limitación del estudio

Queda fuera de los alcances de este estudio el desarrollo de análisis específicos y detallados de vulnerabilidad sísmica, como puede ser el caso del IDA (Incremental Dynamic Analysis), modelos no lineales, analíticos, numéricos, experimentales u otra técnica que requiera un nivel de esfuerzo superior al tiempo y presupuesto contemplado para este estudio.

Las funciones de vulnerabilidad física consideradas en este estudio están basadas en la práctica internacional, y están orientadas a caracterizar el comportamiento de la infraestructura de acuerdo a sus características e información disponible como: año de construcción, sistema estructural resistente, altura de entrepiso, reglamento de construcciones vigente, material de construcción, detallamiento sísmico, entre otros.



Referencias

Álvarez, G., Ramirez, J., Paredes, L., y Canales, M. (2010). Zonas oscuras en el sistema de alarma de advertencia de tsunami en Chile. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 18(3), 316-325.

Annaka T, Satake, K, Sakakiyama, T, Yanagisawa K, Shuto N (2007) Logic-tree approach for probabilistic tsunami hazard analysis and its application to the Japanese Coasts, *Pure and Applied Geophysics*, 164:577-592.

AON Benfield. (2015). Event Recap Report: 02/27/10 Chile Earthquake.

Aránguiz R, Shibayama T, Yamazaki Y (2013) Tsunamis from the Arica-Tocopilla source region and their effects on ports of Central Chile, *71(1):175-202*.

Arcos ME, LeVeque RJ (2013) Validation velocities in the GeoClaw tsunami model using observation near Hawaii from the 2011 Tohoku tsunami, *Journal of Geophysical Research*, 1-15.

Béjar-Pizarro M. et al. (2010). "Asperities and barriers on the seismogenic zone in North Chile: state-of-the-art after the 2007 Mw 7.7 Tocopilla earthquake inferred by GPS and InSAR data". *Geophysical Journal International*.

Berger MJ, George DL, LeVeque RJ and Mandli KT (2011) The GeoClaw software for depth-averaged flows with adaptive refinement, *Adv. Water Res.*, 34:1195-1206.

Carpio J, Tavera H (2002) Estructura de un catálogo de tsunamis para el Perú basado en el catálogo de Gusiakov (2002), *Boletín de la Sociedad Geológica del Perú*, 94: 45-59.

CENAPRED (2005) Tsunamis, Serie Fascículos, 44 pp.

Cornell CA (1968) Engineering seismic risk analysis. Bulletin Seismological Society of America 58(5):1583-1606.

Esteva L (1967) Criterios para la construcción de espectros para diseño sísmico, 3er Simposio Panamericano de Estructuras, Caracas, Venezuela.

Esteva L (1970) Seismic risk and seismic design decisions, In: Hansen RJ (ed) Seismic design for nuclear power plants. MIT Press, Cambridge: 142-182.

Farreras S (1997) Tsunamis en México, Lavín, M.F. en contribuciones a la oceanografía física en México M.F. Unión Geofísica Mexicana, Monografía, 3: 78-95.

Farreras S, Sánchez A (1991) The Tsunami Threat on the Mexican West Coast: A Historical Analysis and Recommendations for Hazard Mitigation, Natural Hazards 4: 301-316.

FEMA/NIBS (2003), Multi-hazard Loss Estimation Methodology. Earthquake Model HAZUS®MH 2.1 Technical Manual. Department of Homeland Security, Federal Emergency Agency Mitigation Division Washington, D.C.

Fernandez M, Molina E, Havskov J, Atakan K (2000) Tsunamis and tsunamis hazards in Central America, Natural Hazards, 22: 91-116.

Geist E, Lynet P (2014) Source processes for the probabilistic assessment of tsunami hazards, Oceanography 27(2):86-93.

Geist E, Parson T (2006) Probabilistic Analysis of Tsunami Hazard Natural Hazards, Natural Hazards 37: 277-314.

Gonzales F, Geist E, Jaffe B, Kânoglu U, Mofjeld H, Synolakis C, Titov V, Arcas, D, Bellomo D, Carlton D, Horning T, Jhonsonn J, Newman J, Parsons T, Peters R, Peterson C, Priest G, Venturato A, Weber J, Wong F, Yalciner A (2009) Probabilistic tsunami assessment at seaside, Oregon for near and far field seismic sources, Journal of Geophysical Research 114 C11023.

Gonzalez F, LeVeque RJ, Varkovitzky J, Chamberlain P, Hirai B, George DL (2011) GeoClaw Results for the NTHMP Tsunami Benchmark Problems, <http://bit.ly/1Rlr5mO>.

Hanks TC, Kanamori H (1979) A moment magnitude scale. Journal of Geophysical Research, 84: 2348-2350.

Jaimes, M.A., Reinoso, E., Ordaz, M., Huerta, B., Silva, R., Mendoza, E. y Rodríguez, J. (2015). A new approach to probabilistic earthquake-induced tsunami risk assessment, Ocean & Coastal Management, 119, 68-75.

Kulikov E, Rabinovich A, Thomson R (2005) Estimation of tsunami risk for the coasts of Peru and northern Chile, *Natural Hazards*, 35: 185-209.

Lermo Javier, Lazares Luos y Cuenca Julio. (2003). Terremoto de Arequipa, Perú del 23 de junio del 2001 (Mw = 8.2), efectos de sitio en las ciudades de Arequipa, Moquegua, Ilo y Tacna y su relación con los daños en las edificaciones. XIV congreso nacional de Ingeniería Civil - Iquitos 2003, 1, 10. 2015.

LeVeque RJ (2002) *Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems*, Cambridge University Press.

LeVeque RJ, George DL (2007) High-resolution finite volume methods for the shallow water equations with bathymetry and dry states, in *Advanced Numerical Models for Simulating Tsunami Waves and Runup*, vol. 10, edited by C.S.P.L-F. Liu, H. Yeh, 43-73, <http://bit.ly/1SS8C5x>.

LeVeque RJ, George DL, Berger MJ (2011) Tsunami modeling with adaptively refined finite volume methods, *Acta Numerica*, 211-289.

Mechler, R. Cost-benefit analysis of natural disaster risk management in developing countries. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. Federal Ministry for Economic Cooperation and Development of Germany, 2005.

Miranda E. (1999), Approximate Seismic Lateral Deformation Demands in Multistory Buildings, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 125, No. 4, pp. 417—425.

Morales-Soto, N., & Zavala, C. (2008). Terremotos en el litoral central del Perú: ¿podría ser Lima el escenario de un futuro desastre?. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 25(2), 217-224.

Moreano, h., Arreaga, P. y Nath, J. (2012) El tsunami de Chile 27-02-2010 y su comportamiento en las zonas: costera e Insular del Ecuador, *Acta Oceanográfica del pacífico* 17(1), 31-39

Nadim F, Glade T (2006) On tsunami risk assessment for the west coast of Thailand, *Engineering Conferences international proceedings*.

NOAA,(2015), <http://1.usa.gov/1laT1bg>

Okada Y (1985) Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bulletin of the Seismological Society of America* 75:1135-1154.

Okada Y (1992) Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bulletin Seismological Society of America* 82(2):1018-1040.

Okal, EA, Synolakis CE (2004) Source discriminants for near-field tsunamis, *Geophysical Journal International* 158:899-912.

Ordaz M, Aguilar A, Arboleda J (2007) CRISIS2007-V.8: program for computing seismic hazard, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

Ordaz, M (2000) Seismic risk assessment methodology focused on earthquake insurance management, National University of Mexico, Mexico.

Power W, Downes G, Stirling M (2007) Estimation of Tsunami Hazard in New Zeland due to South American earthquakes, *Pure appl. Geophys.* 164:547-564.

Randall J. LeVeque, David L. George and Marsha J. Berger, 2011. Tsunami modelling with adaptively refined finite volume methods. *Acta Numerica*, 20, pp 211-289. doi:10.1017/S0962492911000043.

Rikitake T, Aida I (1988) Tsunami hazard probability in Japan, *Bull. Seism. Soc. Am.* 78:1268-1278.

Rose A., Porter K., Dash N., Bouabid J., Huyck C., Whitehead J., Shaw D., Euguchi R., Taylor C., McLane T., Tobin L., Ganderton P., Godschalk D., Kiremidjian A., Tierney K. & West, C. T. "Benefit-cost analysis of FEMA hazard mitigation grants". *Natural hazards review*, vol.8, núm.4 (2007): 97-111.

Rosenblueth E, Jara J (1988) Probability distribution of times between characteristic subduction earthquakes, *Earthquake Spectra*, 4(3): 499-529.

Sanchez AJ, Ferreras SF (1987) Tsunami flooding extension for coastal zones of Mexico, *Marine Geodesy* 11:127-135.

Sánchez D, and Ferreras S (1993) Catálogo de tsunamis (maremotos) en la costa occidental de México, USA, World Data Center A. National Oceanic and Atmospheric Administration, United States Geological Survey. World data center for solid Earth Geophysics Publication SE-50.

Schwartz D, Coppersmith (1984) Fault behavior and characteristic earthquakes: examples from the Wasatch and San Andreas Fault zones, *J Geophys Res*, 89:5681-5698.

Servicio Sismológico Nacional, Universidad de Chile. (2013). Sismicidad y Terremotos en Chile. Servicio Sismológico Nacional.

Servicio Sismológico Nacional. (2015) catálogo de sismos, <http://bit.ly/1M7ajGT>

Singh S, Rodriguez M, Esteva L (1983) Statistics of small earthquakes and frequency of occurrence of large earthquakes along the Mexican subduction zone, *Bull Seismol Soc Am*, 73: 1779-1796.

Singh SK, Pérez-Campos X, Iglesias A, Melgar D (2012) A Method for Rapid Estimation of Moment Magnitude for Early Tsunami Warning Based on Coastal GPS Networks, *Seismological Research Letter*, 83(2):516-530.

Smyth, A. et al. (2004) "Probabilistic benefit-cost analysis for earthquake damage mitigation: evaluating measures for apartment houses in Turkey". *Earthquake Spectra*: 171-203.

Soloviev S, Go Ch (1975) Catalogue of tsunamis on the eastern shore of the Pacific Ocean, Moscow, Nauka publishing House 204p.

Suárez G, Albin P (2009) Evidence for great tsunamigenic earthquakes (M8.6) along the Mexican subduction zone, Bull. Seismol. Soc. Am. 99, 892-896.

Thio H, Ichinose G, Somerville P (2005). Probabilistic Tsunami Hazard analysis, Draft paper URS corporation Pasadena office California USA.

U.S. Geological Survey USGS (2015) <http://on.doi.gov/1OIQg9p>

Wesnousky S (1994) The Gutenberg–Richter or characteristic earthquake distribution, which is it? Bull Seismol Soc Am, 84:1940-1959.

Diseño editorial

estudiomartini07

www.martini07.com.ar • estudio@martini07.com.ar

Impreso en Argentina

Noviembre 2016

ERN Evaluación de Riesgos Naturales

Rubén Boroschek y Asociados Ltda.

Secretaría CCT Foro Técnico **COSIPLAN-IIRSA**

INTAL - Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista de la Secretaría y/o el CCT. El material incluido puede ser reproducido total o parcialmente, ya sea por medios mecánicos o electrónicos, citando la fuente.





Comité de Coordinación Técnica



INTAL Instituto para la Integración de América Latina y el Caribe

www.iirsa.org/cosiplan