



**Memoria de titulación para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico**

**ANÁLISIS DE RIESGOS INFRAESTRUCTURALES EN EL
PUERTO DE IQUIQUE ANTE EVENTOS DE TERREMOTO
Y TSUNAMI.**

Marco Esteban Saravia Contreras

Enero 2018

**UNIVERSIDAD DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“ANÁLISIS DE RIESGOS INFRAESTRUCTURALES EN EL PUERTO DE
IQUIQUE ANTE EVENTOS DE TERREMOTO Y TSUNAMI.”**

Marco Esteban Saravia Contreras

COMISIÓN REVISORA	NOTA	FIRMA
Sr. Mauricio Reyes G. Profesor guía	_____	_____
Sr. Felipe Caselli B. Revisor	_____	_____
Sr. Raúl Oberreuter O. Revisor	_____	_____

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL OCEÁNICO,
VALPARAÍSO, CHILE
2018

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no han sido presentados anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

Nombre y firma profesor guía

Nombre y firma alumno

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su gracia inmerecida y a quien he ido descubriendo cada vez más a lo largo de mi vida, entendiendo que nada es producto del azar, sino de su perfecta voluntad.

A mis padres por su amor, paciencia y apoyo incondicional.

A mis hermanos por siempre estar presentes y aconsejarme.

A mis amigos, en especial a... José Luis, Francisco, Luis, Pablo, Franco y Fabián por ser parte de todo este proceso y de lo que vendrá.

A profesores y excelentes profesionales conocidos a lo largo de todo este camino, especialmente a Raúl Oberreuter, Felipe Caselli, Patricio Winckler, Ariel Grandón, José Beyá y mi profesor guía Mauricio Reyes por sus consejos, críticas y por transmitir vida más allá de lo académico.

A todos los que de una u otra forma se hicieron presente en actos sencillos, detalles del día a día, que se vuelven trascendentales en parte de todo este proceso.

A Dios ...Porque de él, y por él, y para él, son todas las cosas.

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. OBJETIVOS	17
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2.3. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	17
3. MARCO TEÓRICO.....	19
3.1. GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES	21
3.1.1. FASES DEL CICLO DE DESASTRES	23
3.1.2. EL CONCEPTO DE RIESGO.....	25
3.1.3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS.....	26
3.1.4. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE DAÑOS.	28
3.2. PLAN DE CONTINUIDAD DE NEGOCIOS (BCP).....	30
3.3. RIESGOS ASOCIADOS A TSUNAMIS Y TERREMOTOS.....	32
3.3.1. TERREMOTOS	32
3.3.2. TSUNAMIS	40
3.4. RIESGOS INFRAESTRUCTURALES	46
3.4.1. CARGAS EN ESTRUCTURAS PORTUARIAS.....	48
3.5. LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA EN CHILE.....	49
4. METODOLOGÍA	53
5. TERREMOTO DE CAUQUENES.....	57
5.1. RESUMEN DE DAÑOS	63
5.1.1. LICUACIÓN Y DESPLAZAMIENTO LATERAL	64
5.1.2. PILOTES INCLINADOS	65
5.1.3. JUNTAS DE ACCESO	66
5.1.4. OTROS DAÑOS ESTRUCTURALES	66
5.1.5. OTROS DAÑOS NO ESTRUCTURALES.....	67
5.2. RECUPERACIÓN PORTUARIA POST 27F	67
6. PUERTO DE IQUIQUE	69
6.1. SECTORIZACIÓN DEL PUERTO DE IQUIQUE	73
6.1.1. EMPRESA PORTUARIA DE IQUIQUE (EPI)	73
6.1.2. IQUIQUE TERMINAL INTERNACIONAL (ITI)	73
6.2. DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA	75
6.2.1. OBRAS DE ABRIGO Y DEFENSAS COSTERAS	75
6.3. TERREMOTO DE IQUIQUE 1° DE ABRIL DE 2014.....	78
6.3.1. DAÑOS REGISTRADOS EN EL PUERTO DE IQUIQUE.....	78
6.3.2. RESUMEN DE DAÑOS DEL MOLO DE ABRIGO.....	82
7. MATRIZ DE EVALUACIÓN DE DAÑOS	84
7.1. MATRIZ DE RIESGO PARA PUERTOS DE LA OCTAVA REGIÓN.....	87
7.2. MATRIZ DE RIESGO PARA EL PUERTO DE IQUIQUE.....	88
7.3. ESCENARIOS DE PELIGRO ADOPTADOS.....	89
7.3.1. ESCENARIO 1	89
7.3.2. ESCENARIO 2	91
8. CONCLUSIONES.....	92

ANEXO A. INFRAESTRUCTURA DEL PUERTO DE IQUIQUE	96
I. SERVICIOS BÁSICOS DEL PUERTO DE IQUIQUE.	96
a. INSTALACIONES ELÉCTRICAS.	96
b. INSTALACIONES DE AGUA POTABLE.	96
c. INSTALACIONES DE ALCANTARILLADO.	96
d. ALMACENES.	97
ANEXO B. SISTEMA PORTUARIO EN CHILE	98
I. HISTORIA PORTUARIA DE CHILE	98
II. MODERNIZACIÓN PORTUARIA.....	99
III. DESCENTRALIZACIÓN PORTUARIA.....	99
IV. PROCESO DE LICITACIONES PORTUARIAS	100
ANEXO C. SISMICIDAD EN CHILE	102
I. ACTIVIDAD SÍSMICA EN CHILE.	102
II. RIESGO SÍSMICO EN CHILE.	104
III. ZONIFICACIÓN SÍSMICA EN CHILE.....	104
IV. LAGUNAS SÍSMICAS.	106
V. LA LAGUNA SÍSMICA DEL NORTE DE CHILE.	106
ANEXO D. PUERTOS ANALIZADOS DE LA OCTAVA REGIÓN Y DAÑOS REGISTRADOS POST 27F.	113
I. BAHÍA DE CONCEPCIÓN.....	113
a. PUERTO LIRQUÉN.....	113
b. MUELLE DE PENCO	120
c. PUERTO DE TALCAHUANO.....	130
II. BAHÍA DE SAN VICENTE	132
a. SAN VICENTE TERMINAL INTERNACIONAL (SVTI)	132
b. MUELLE ENAP	134
c. MUELLE CAP HUACHIPATO.....	136
III. BAHÍA DE CORONEL	140
a. PORTUARIA CABO FROWARD.....	141
b. PUERTO DE CORONEL.....	144
ANEXO E. FENÓMENO DE LICUACIÓN	149
I. LICUACIÓN DE SUELOS.....	149
II. DESPLAZAMIENTO LATERAL.....	150
ANEXO F. MATRICES DE RIESGO	152
I. MATRIZ INFRAESTRUCTURA VS DAÑO, OCTAVA REGIÓN.	156
II. MATRIZ TIPOLOGÍA INFRAESTRUCTURA VS DAÑO PUERTO DE IQUIQUE.....	163
a. ESCENARIO ABRIL DE 2014.....	163
b. ESCENARIO 1.	165
c. ESCENARIO 2.	166
BIBLIOGRAFÍA.....	167
GLOSARIO.....	174

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Velocidad de convergencia, placas Nazca y Sudamericana.	13
Figura 1.2: Zona de ruptura y registro de acelerómetros durante el sismo del 27F.	13
Figura 1.3: Bahía de Talcahuano.	14
Figura 1.4: Puerto de Talcahuano post terremoto (06 de marzo de 2010).....	15
Figura 1.5: Daños en Puerto Talcahuano.....	15
Figura 3.1: Distribución espacial de la licuefacción observada.	20
Figura 3.2: Curvas de fragilidad para daño leve, moderado, severo y total.	30
Figura 3.3: Gestión de continuidad del negocio.	31
Figura 3.4: Fuentes sísmogénicas.....	33
Figura 3.5: Terremoto de Iquique 1877.	36
Figura 3.6: Atenuación y efectos en el suelo local.	37
Figura 3.7: Zonificación de Chile por tipo de suelo.....	39
Figura 3.8: Generación de tsunamis por terremoto submarino.	40
Figura 3.9: Amplitud de tsunamis, altura de run-up y factor de run-up.	41
Figura 3.10: Cinturón de Fuego del Pacífico (línea roja).	41
Figura 3.11: Condiciones resonantes de la Bahía de Concepción.....	43
Figura 3.12: Cargas características en un muelle.	49
Figura 3.13: Puertos de uso público.	50
Figura 3.14: Puertos de uso privado.....	51
Figura 3.15: a) Estructura tipo abierta; b) Estructura tipo cerrada.....	52
Figura 3.16: Tipos de muelle: a) Muelle marginal; b) Muelle perpendicular.	52
Figura 4.1: Esquema de metodología utilizada.	54
Figura 5.1: Tasas de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana.	58
Figura 5.2: Puertos analizados de la octava región.....	59
Figura 5.3: Mediciones de runup y profundidad de flujo.	62
Figura 5.4: Compresión de zona del muelle.	65
Figura 5.5: (a) Perfil de pilotes sector Puente de Acceso y Cabezo. (b) Torsión natural. ..	66
Figura 5.6: (a) Esquema general de falla en muro de contención.	67
Figura 5.7: Gráfico de recuperación portuaria octava región.	68
Figura 6.1: Plano topográfico de Iquique, 1861.....	69
Figura 6.2: Plano del Puerto de Iquique 1928.	70
Figura 6.3: Corte transversal del molo de unión con Isla Serrano.....	71
Figura 6.4: Molo de abrigo Puerto de Iquique.	71
Figura 6.5: Perfil parte extrema del molo.....	72
Figura 6.6: Puerto de Iquique.	73
Figura 6.7: Plano de licitaciones Puerto de Iquique.	74
Figura 6.8: Infraestructura Puerto de Iquique.....	75
Figura 6.9: Vista transversal Molo de Abrigo.....	76
Figura 6.10: Vista transversal de la infraestructura del Espigón.	77
Figura 6.11: Vista transversal del Sitio 4 luego de ampliación en 2005.	77
Figura 6.12: Grietas en las explanadas del Molo de Abrigo (EPI).....	79
Figura 6.13: Grieta en muro exterior (extremo del Molo de Abrigo).	80
Figura 6.14: Ejemplo de aberturas en bloques de hormigón del Molo de Abrigo (EPI).....	81
Figura 6.15: Daños en sitios 3 sector Espigón (ITI).....	82
Figura 6.16: Sectorización de daños del Molo de Abrigo (EPI).	82
Figura C.1: Zonificación Sísmica del Territorio Nacional (NCh433 Of.93).	103

Figura C.2: Zonificación sísmica octava región.	105
Figura C.3: Zonificación sísmica Iquique.	105
Figura C.4: Curvas de igual intensidad (isositas) asociadas al terremoto de Arica 1868.	108
Figura C.5: Curvas de igual intensidad (isositas)	109
Figura C.6: Sismos significativos y zonas de ruptura al norte de Chile y sur de Perú	110
Figura C.7: Sismicidad durante un mes de duración, asociada a los terremotos del sur de Perú (2001), Iquique (2014), Tocopilla (2007) y Antofagasta (1995).	111
Figura C.8: Diagrama espacio temporal de los sismos fuertes en Chile continental.	112
Figura D.1: Puerto Lirquén. Muelle 1 (Lirquén Este), Muelle 2 (Lirquén Oeste).....	114
Figura D.2: Daños típicos en sección transversal.	115
Figura D.3: Asentamiento Muelle 1.	116
Figura D.4: Falla en el sistema de amarre del Muelle 1.	116
Figura D.5: Fotografía de pilotes Muelle 1.....	117
Figura D.6: Daños típicos en vigas longitudinales inferiores, Muelle 1.	118
Figura D.7: Daños típicos en vigas transversales, Muelle 1.....	118
Figura D.8: Daño en la conexión viga-pilote del Muelle 1.	119
Figura D.9: Daño en la conexión de uno de los ejes del Muelle 1.....	119
Figura D.10: Daño en la conexión viga-pilote del Muelle 1.	120
Figura D.11: Muelle de Penco.	121
Figura D.12: Fotografías del Puente de Acceso, Muelle Penco.	122
Figura D.13: Vista general del cabezo.....	123
Figura D.14: Representación de la socavación en las zapatas de pilotes.	124
Figura D.15: Pilote con fisura y pandeo local.	125
Figura D.16: Pilote con fisura bajo la camisa de hormigón.	125
Figura D.17: Descenso en cepas, Muelle Penco.....	126
Figura D.18: Viga castella desplazada en Puente de Acceso.	126
Figura D.19: Ejemplo de riostras cortadas en cepas del Puente de Acceso.....	127
Figura D.20: Viga travesaño desoldada y desplazada	127
Figura D.21: Camisa de pilotes agrietadas y desprendidas en el cabezo.....	128
Figura D.22: Pilotes desoldados y desplazados en el cabezo.	128
Figura D.23: Pilotes desoldados y desplazados del jacket.....	129
Figura D.24: Puerto de Talcahuano.....	130
Figura D.25: Daños en Puerto de Talcahuano post 27F.	131
Figura D.26: Vista aérea de daños en Puerto de Talcahuano.....	131
Figura D.27: Ubicación Puerto San Vicente Terminal Internacional.....	133
Figura D.28: Ubicación Muelle ENAP.....	134
Figura D.29: Muelle ENAP:.....	135
Figura D.30: Ubicación Muelle CAP Huachipato.	136
Figura D.31: Falla por corte en unión viga-pilote.....	137
Figura D.32: Grieta en la loza del muelle (sector del puente de acceso).	137
Figura D.33: TD1	138
Figura D.34: Bogies descarrilados.....	139
Figura D.35: a) Pluma de carga principal; b) Grúa inclinada.....	139
Figura D.36: Ubicación Bahía de Coronel.	140
Figura D.37: Ubicación Empresa Portuaria Cabo Froward.	141
Figura D.38: Inclinación en sistema de fundación del Muelle Jureles	143
Figura D.39: Ubicación Puerto de Coronel.....	144
Figura D.40: Ubicación de aisladores sísmicos del M. Coronel Sur.....	145
Figura D.41: Grietas en el pavimento de zona de acopio.....	146

Figura D.42: Conexión viga-pilote en muelles Coronel Norte y Sur.	147
Figura D.43: Desplazamiento relativo medido entre el Cabezo aislado sísmicamente y el Puente de Acceso no aislado del Muelle Coronel Sur.....	147
Figura D.44: Desplome de pilas de containers en sector de acopio, Puerto Coronel.	147
Figura D.45: Asentamiento y fisuras en el terreno de la zona de acopio	148
Figura D.46: Agujeros en el pavimento de la zona de acopio.	148
Figura E.1: Representación esquemática del desplazamiento lateral	150
Figura E.2: Efecto del desplazamiento lateral sobre pilotes.....	151
Figura E.3: Licuación y desplazamiento lateral de explanada en Puerto de Talcahuano	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Los 10 principales desastres naturales en Chile del siglo XX y el megaterremoto de 2010, según daños económicos.....	22
Tabla 3.2: Organización secuencial del ciclo de desastres.	24
Tabla 3.3: Esquematación del concepto de gestión riesgo.....	26
Tabla 3.4: Estado de daño según ATC-13.	29
Tabla 3.5: Escala de intensidad EMS-98.....	35
Tabla 3.6: Escala de grados de tsunami según Inamura.	44
Tabla 3.7: Escala de grados de tsunami según lida.	44
Tabla 3.8: Escala de grados de tsunami según Inamura e lida, transcrita por Wiegel.....	45
Tabla 3.9: Escala de intensidad de tsunamis propuesta por Soloviev.	45
Tabla 3.10: Diferentes métodos de calificación para caracterización de daño.....	48
Tabla 5.1: Infraestructura general de los puertos analizados de la octava región.	60
Tabla 5.2: Registro de 'run-ups' e inundaciones en la octava región	61
Tabla 5.3: Resumen de daños más comunes registrados.	64
Tabla 5.4: Recuperación de los sitios de atraque por puerto, octava región.....	68
Tabla 6.1: Clasificación de daños en molo de abrigo (EPI) del Puerto de Iquique.....	83
Tabla 7.1: Matriz de riesgo en infraestructura portuaria.	86
Tabla 7.2: Matriz de impacto aplicada a los puertos de la octava región.	87
Tabla 7.3: Matriz de impacto aplicada al Puerto de Iquique.....	88
Tabla 7.4: Matriz de impacto ante Escenario 1 aplicada al Puerto de Iquique.....	90
Tabla 7.5: Matriz de impacto ante Escenario 2 aplicada al Puerto de Iquique.....	91
Tabla F.1: Matriz de riesgo BHP.....	153
Tabla F.2: Matriz de riesgos ENAP.	154
Tabla F.3: Matriz de riesgos SERNAGEOMIN.	155
Tabla F.4: Matriz infraestructura vs daños, parte 1.	157
Tabla F.5: Matriz infraestructura vs daños, parte 2.	158
Tabla F.6: Matriz infraestructura vs daños, parte 3.	159
Tabla F.7: Matriz infraestructura vs daños, parte 4.	160
Tabla F.8: Matriz infraestructura vs daños, parte 5.	161
Tabla F.9: Costos asociados a las reparaciones de los puertos de la octava región.....	162
Tabla F.10: Infraestructura vs Daño Puerto de Iquique, evento 1° abril de 2014.....	164
Tabla F.11: Infraestructura vs Daño Puerto de Iquique, Escenario 1.....	165
Tabla F.12: Infraestructura vs Daño Puerto de Iquique, Escenario 2.....	166

RESUMEN

Actualmente es necesario contar con planes de continuidad de negocios (BCP, por su sigla en inglés) ante escenarios de desastre, siendo fundamental evaluar el nivel de riesgo ante un evento, como terremoto, tsunami o la combinación de ambos.

En el marco del proyecto JICA-Satreps “Research Project on Enhancement of Technology to Develop Tsunami-Resilient Community”, la metodología de BCP, ha sido aplicada en el Puerto de Iquique. Para ello, se analizaron los puertos estatales y privados del Gran Concepción en el evento sismo tsunamigénico del 27 de febrero del 2010, sumado a los daños observados durante el terremoto de Iquique, ocurrido el primero de abril de 2014. Para esto, fue necesario realizar una caracterización infraestructural de los puertos de la octava región y del Puerto de Iquique, basándose en una recopilación, clasificación y codificación de la información oficial dentro de la Dirección de Obras Portuarias, perteneciente al Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile y también del uso de información no oficial, relativa a puertos privados, para el posterior desarrollo de resúmenes esquemáticos de la infraestructura analizada.

El proyecto presenta un análisis de riesgo para la infraestructura del Puerto de Iquique, basado empíricamente en los daños registrados en la infraestructura de los puertos de la Octava Región del Biobío, como consecuencia del evento del 27 de febrero de 2010. Realizándose una descripción detallada de la infraestructura, descripción y evaluación de daños para la posterior elaboración de una matriz de daño infraestructural para el Puerto de Iquique, ante hipotéticos escenarios de riesgo, discutidos y adoptados, ante la posibilidad de un evento sismo tsunamigénico.

1. INTRODUCCIÓN

El sector portuario es fundamental para el crecimiento de la economía, siendo un elemento clave para el comercio y desarrollo de ciudades, países y regiones continentales. La mayoría de las ciudades antiguas tenían carácter portuario, y los puertos han seguido siendo el punto focal de la urbanización en la edad moderna (Rodríguez & Prieto, 2012).

Chile posee un borde costero continental de aproximadamente 4200 km, y cerca de 83850 km considerando islas, lagos y ríos. Siendo uno de los 20 países con mayor longitud de costa del mundo (SFA, 2014). Los recientes tratados de libre comercio junto a los nuevos procesos de asociación público-privada han permitido aumentar la eficiencia portuaria en más de un 50%. Actualmente, cerca del 94% del comercio en Chile se realiza por transporte marítimo, y el 98% de las exportaciones (sin considerar cobre) sale de los puertos de la V a la VIII región (Valparaíso, San Antonio, Talcahuano, San Vicente, Coronel) (MOP, 2009).

Los puertos son la columna vertebral del comercio en Chile y el mundo, jugando un papel clave en el intercambio de mercancías, y es vital que cuenten con buenas instalaciones para su competitividad. Además, la infraestructura portuaria de buena calidad es esencial para el crecimiento del comercio y la competitividad de la región. Una infraestructura portuaria de alta calidad, permite el crecimiento de una economía basada en el comercio o la fabricación, y favorece el desarrollo inminente del cambio de paradigma que significa considerar a Chile como poseedor de maritorio más que un territorio.

La paralización portuaria, ya sea por demandas de los trabajadores o bien por catástrofes, produce significativas pérdidas (AQUA, 2014). Cuando se produce un sismo de gran intensidad, suelen verse afectadas las vías terrestres de comunicación, pasando los puertos a ser fundamentales para el suministro de insumos a la población (CEPAL, 2010).

El 27 de febrero de 2010 (en adelante 27F), y aproximadamente 330 km al suroeste de Santiago, se produjo un terremoto que tuvo su hipocentro en las coordenadas 36°17'23"S y 73°14'20"O a una profundidad estimada de 30 km (CSN, 2010). Al sur del epicentro, a unos 80 km aproximadamente, se ubican las ciudades de Concepción y Talcahuano, las cuales fueron unas de las principales ciudades afectadas por el terremoto del 27F y que concentran el 10% de la industria portuaria de Chile (MOP, 2005).

El terremoto de magnitud 8.8Mw, fue originado en la zona de convergencia entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana, donde la primera se introduce por debajo de la última a una velocidad que varía entre 5.5 a 7 cm/año (ver: Figura 1.1) (McGuire, 2004). El terremoto, con ruptura estimada de 450 km de largo por 150 km de ancho, se ubicó en una zona de silencio sísmico frente a las costas de Constitución (ver: Figura 1.2) (Barrientos, 2010), afectando a casi el 80% de la población de Chile.

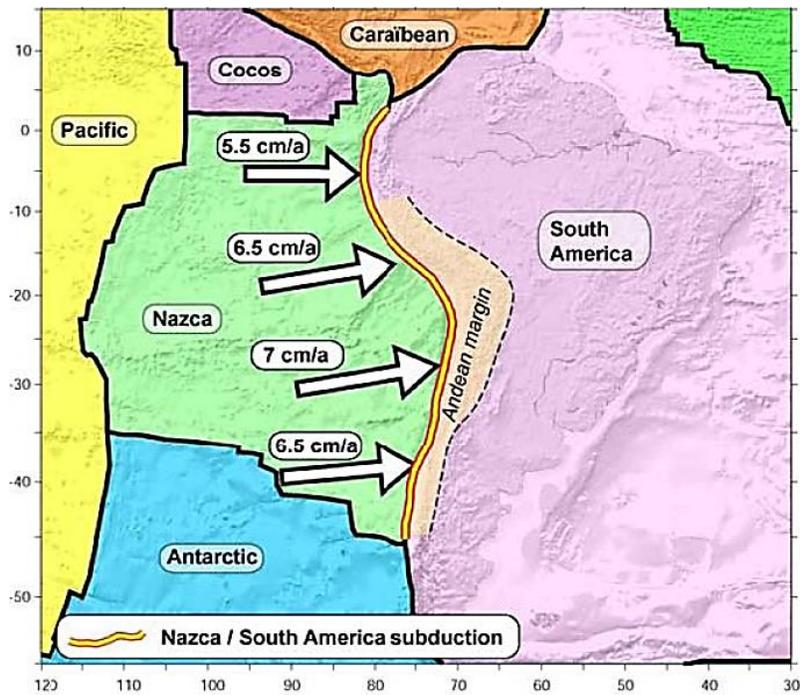


Figura 1.1: Velocidad de convergencia, placas Nazca y Sudamericana.
 FUENTE: (VIGNY, Y OTROS, 2010).

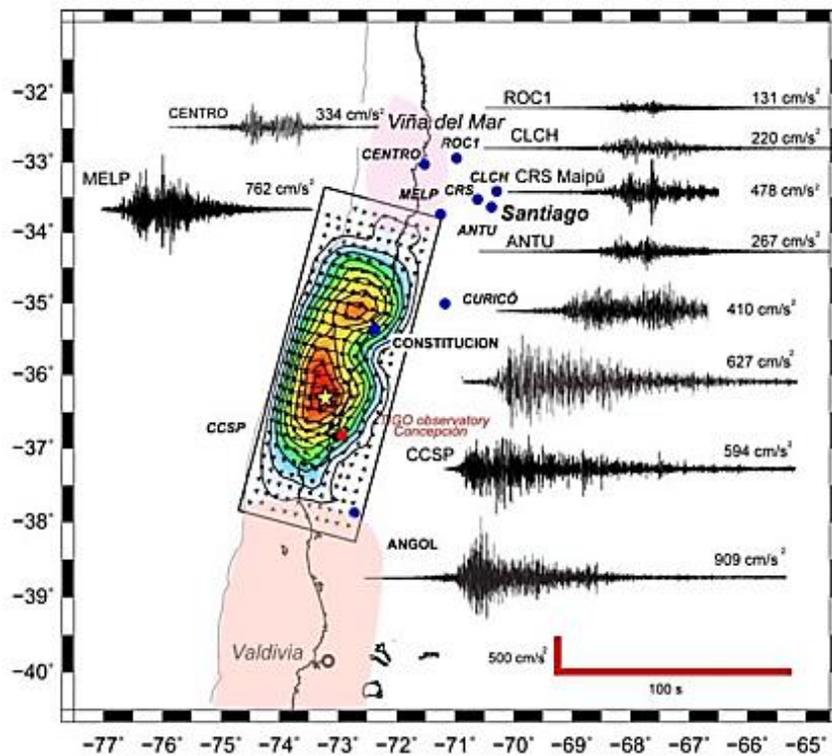


Figura 1.2: Zona de ruptura y registro de acelerómetros durante el sismo del 27F.
 FUENTE: CENTRO SISMOLÓGICO NACIONAL (CSN) Y RED DE COBERTURA NACIONAL DE ACELERÓGRAFOS (RENADIC), UNIVERSIDAD DE CHILE.

Cerca de 30 minutos después de ocurrido el terremoto, se reportaron ondas de tsunami de gran intensidad a lo largo de unos 550 km de la costa chilena, desde San Antonio ($33^{\circ}35'S$, $71^{\circ}37'O$) hasta Tirúa ($38^{\circ}20'S$, $73^{\circ}30'O$), afectando también a las islas de Juan Fernández ($33^{\circ}37'S$, $78^{\circ}50'O$), ubicadas a 600 km de la costa (Fritz, y otros, 2011).

El efecto combinado del terremoto y tsunami tuvo un efecto devastador en algunos puertos de la Octava Región, sobre todo en el Puerto de Talcahuano y el Astillero de la Armada, ubicados en la Bahía de Talcahuano, producto de su configuración geográfica en relación a la dirección de propagación del tsunami y sus posteriores fenómenos de transformación dentro de la bahía, siendo azotados de manera directa por las ondas de tsunami (ver: Figura 1.3, Figura 1.4 y Figura 1.5).



Figura 1.3: Bahía de Talcahuano.
FUENTE: MODIFICADO DE GOOGLE MAPS.



Figura 1.4: Puerto de Talcahuano post terremoto (06 de marzo de 2010).
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA DESDE GOOGLE EARTH.



Figura 1.5: Daños en Puerto Talcahuano.
FUENTE: BIBLIOTECA DIRECCIÓN DE OBRAS PORTUARIAS (DOP).

Los daños provocados por terremoto y tsunami del evento del 27F, significó la paralización de los puertos por meses e incluso años, como el caso del Puerto de Talcahuano, que luego de haber sido destruido en su totalidad, reanudó recién sus operaciones el 14 de mayo de 2014, a más de un año del desastre. Por su parte, las pérdidas económicas fueron estimadas en cerca de 30 mil millones de dólares por el gobierno chileno, donde más de dos terceras partes de este valor correspondió a daños en la infraestructura pública y privada (SVS, 2013).

Los servicios y la logística portuaria en general funcionan como una cadena, y cuando falla un eslabón se afecta la cadena completa. La paralización de un puerto o su funcionamiento a media marcha produce innumerables efectos. Por una parte, se ven afectados los clientes en la espera de su mercancía y la pérdida de ventas; y los proveedores, como empresas navieras, que son afectadas al perder y quedar atrapados sus contenedores, viéndose forzados a romper el protocolo de sus itinerarios; y el puerto, que, al no poder garantizar un buen servicio a las navieras, que optan por usar otros puertos, de manera temporal o realizando cambios en sus rutas de forma definitiva.

En Chile, una catástrofe natural puede ocurrir en cualquier momento, siendo entonces fundamental contar con planes de emergencia portuaria para que el puerto pueda continuar proporcionando los servicios requeridos a sus clientes, proveedores, reguladores y otras partes interesadas. Es por esto, que los gobiernos de Japón en conjunto con el Gobierno de Chile han firmado un acuerdo de colaboración ante este tipo desastres, llevado a cabo por la agencia internacional de colaboración JICA, el cual consta de un equipo de profesionales interdisciplinarios de ambas naciones y en el cual se ha planteado la aplicación de la metodología de Business Continuity Plan (BCP). El BCP, considera lo que se debe hacer antes de una interrupción (preparación ante emergencia), lo que se debe hacer durante una interrupción (respuesta de emergencia) y qué hacer después de la interrupción (reanudación de negocios), y que en primera instancia se ha propuesto su aplicación al Puerto de Iquique, como puerto piloto.

El BCP requiere conocimiento cabal acerca del escenario de riesgo que busca gestionar resultando clave para ello la caracterización infraestructural del puerto. La intención es prever los daños potenciales antes de un evento sísmico tsunamigénico, permitiendo proponer mejoras estructurales al puerto en pos de una rápida restauración y reanudación de éste.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Elaborar un informe único consolidado que registre los daños más comunes en puertos para la posterior aplicación del Plan de Continuidad de Negocios en el Puerto de Iquique. Generando una base empírica para estimación de daños en la infraestructura portuaria de Chile ante eventos de terremotos y/o tsunamis de campo cercano.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar una caracterización infraestructural de los puertos de la octava región aplicada al Puerto de Iquique.
- Elaborar resúmenes esquemáticos mediante la recopilación y análisis de los daños registrados oficialmente en puertos de la octava región y la recuperación del sistema portuario, posterior al terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010.
- Elaborar matrices de los daños registrados según la tipología infraestructural de los puertos analizados de la octava región y del Puerto de Iquique.
- Proponer las bases metodológicas para la estimación de daños en el marco de estudios de Planes de Continuidad de Negocios.

2.3. ALCANCES Y LIMITACIONES.

Este proyecto de título, propone establecer las bases metodológicas para la aplicación de curvas de fragilidad y el desarrollo de un Plan de Continuidad de Negocios para el Puerto de Iquique. Para ello, se ha contemplado sólo el estudio de los daños producidos en los puertos de la octava región producto del evento del 27F, ya que ha sido el último y más reciente sismo de gran magnitud en Chile, y que a su vez ha originado un tsunami de significativa intensidad. Además, un factor importante fue la diversidad de la infraestructura portuaria de la Octava Región y los consecuentes daños registrados, por las diferencias topográficas de las bahías en estudio.

La información recopilada de daños de los puertos de la octava región, ha sido sintetizada y esquematizada según los tipos de daños principales y agrupando los daños de menor envergadura para posteriormente contrastarlos con lo ocurrido en el Puerto de Iquique y los escenarios de riesgo adoptados, identificando a su vez sus coincidencias de diseño e infraestructurales.

La presente memoria, no pretende determinar que pasaría en caso de un evento sismo-tsunamigénico de gran magnitud de manera verificable, porque se trata de un fenómeno con demasiadas variables, que imposibilitan determinar empíricamente lo que sucedería, no obstante, se ejemplifican escenarios de riesgo hipotéticos que permitan comprender y representar posibles daños, factibles de ocurrir basándose en la experiencia y observación de hechos de similares características. Para esto, sólo se ha estudiado la infraestructura portuaria en Chile, y no todas las tipologías estructurales existentes en otros países del mundo. Asimismo, para registrar los posibles escenarios de riesgo, no se han supuesto

todos los tipos de falla tectónica, ni posibles fenómenos que alteren o modifiquen la influencia del tsunami; sólo se ha considerado el daño de éstos, asumiendo más las consecuencias, que sus causas, en base principalmente al evento del 27F e implícitamente otros eventos anteriores ocurridos en Chile.

Uno de los aspectos que aún quedan por desarrollar, expuestos superficialmente en este proyecto de título, es el análisis a cabalidad de las características propias del suelo donde se encuentra emplazado cada puerto y como éstos influyeron en los diferentes niveles de daños registrados, ya sea alterando, modificando o retardando los efectos del evento sismo tsunamigénico. De igual manera, debe considerarse el planteamiento de la metodología para desarrollar un análisis de riesgo integral, ante un evento de gran envergadura, debe contemplarse un trabajo interdisciplinario debido a las implicancias y necesidades que éste presenta; en consecuencia, la presente memoria es sólo una parte del análisis, abordándolo desde el punto de vista de los daños infraestructurales en puertos. Por esto, es que, si bien se han presentado diferentes daños en el desarrollo del cuerpo de esta memoria y más detalladamente en los anexos, éstos se han categorizado según los daños más significativos y comunes a la infraestructura portuaria estudiada y que sean comparables con las similitudes del Puerto de Iquique. No se han considerado temas legales, ni administrativos, como, por ejemplo, seguros implicados, responsabilidades desde el punto de vista económico, costos estatales o privados, ni sus implicancias sociopolíticas o medioambientales, entre otras.

3. MARCO TEÓRICO

Uno de los objetivos principales de esta memoria, es generar un informe consolidado que permita establecer las bases empíricas para la estimación de daños infraestructurales en puertos producto de terremotos y/o tsunamis. En relación a esto, se han desarrollado algunas investigaciones que registran los daños por terremotos y tsunamis en las regiones costeras de Chile central y algunos de sus puertos (JICA, 1986; GEER, 2010; ITIC, 2010; JRC, 2010). La mayoría de estas investigaciones se han realizado posterior al terremoto del Maule del 27 de febrero de 2010, salvo el catastro ejecutado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA, por su sigla en inglés), que registra daños asociados al terremoto de 1985 en Valparaíso y San Antonio.

Se estudió la investigación realizada por Fritz et al. (2011), que registra las mayores alturas de olas alcanzadas por el tsunami en algunos sectores de la Octava Región, además de otros lugares, a fin de comprender las características físicas naturales de las olas de tsunami y como se presentaron y afectaron los puertos de las bahías de Talcahuano, San Vicente y Coronel.

Otra información relevante sobre antecedentes sísmicos, ha sido recogida de organismos, como USGS (United States Geological Survey) y del Servicio Sismológico de la Universidad de Chile (CSN), junto a diversos estudios realizados por investigadores autónomos (Comte & Pardo, 1991; Madariaga, 1998; Dash, Monda, Rai, Jain, & Kaushik, 2008; Ruegg y otros, 2009; Béjar-Pizarro, y otros, 2010, 2013; Chlieh, y otros, 2011; entre otros) relacionados con ruptura, sismicidad histórica, efectos en terreno, entre otros aspectos.

GEER (2010) y González & Verdugo (2012), reúnen observaciones in-situ con respecto a la licuefacción y desplazamiento lateral de suelos, y como éstos repercutieron en los diferentes sistemas infraestructurales del Puerto de Coronel, Octava Región. Además, presentan una caracterización de la distribución espacial de este fenómeno, observada en el plano de falla producido por el terremoto (ver: Figura 3.1), donde se aprecia un alto nivel de licuación para todos los puertos de la Octava Región (Bahías de Talcahuano, San Vicente y Coronel).

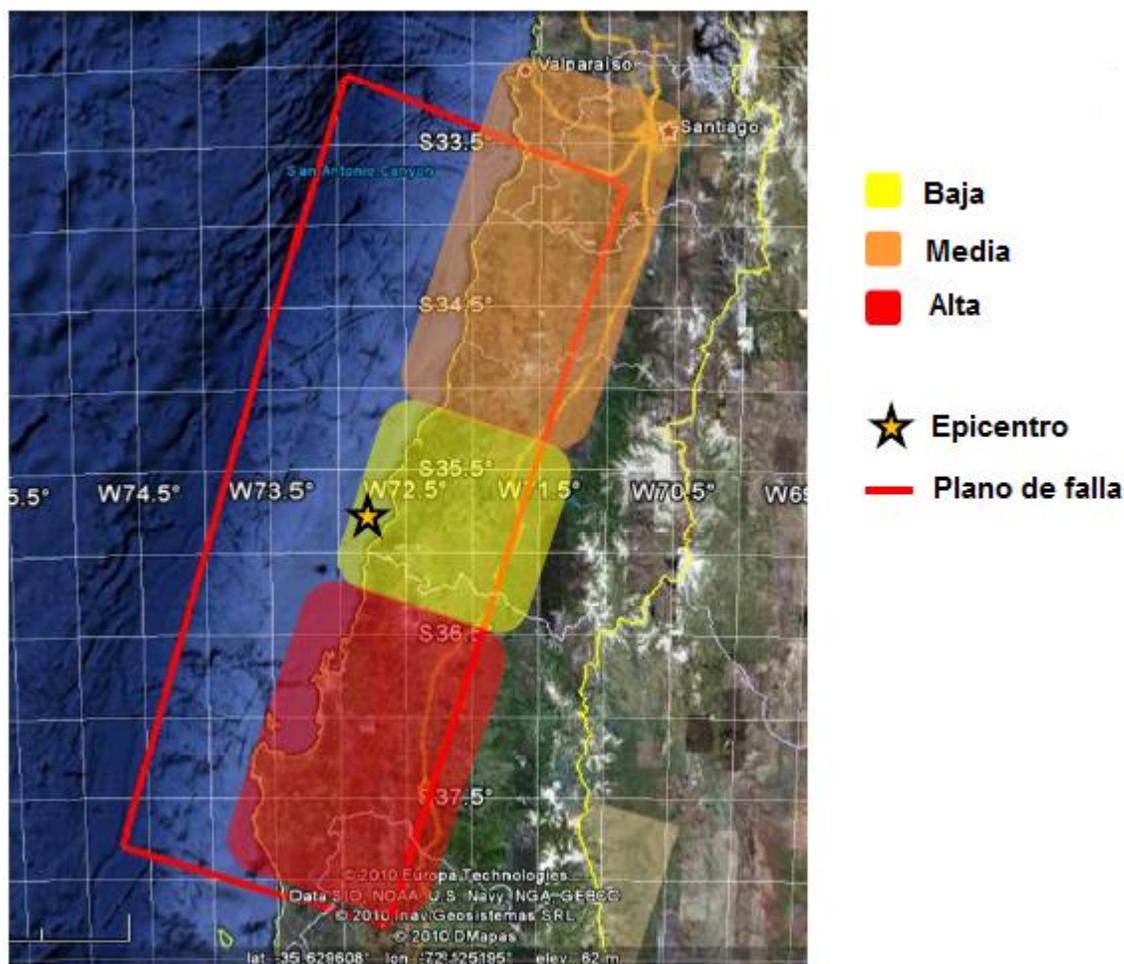


Figura 3.1: Distribución espacial de la licuefacción observada.
 FUENTE: (GEER, 2010).

Diversos estudios han sido desarrollados para determinar el potencial sísmico del norte de Chile y parte del sur de Perú, que evidencian la existencia de lagunas sísmicas a lo largo de la brecha entre Perú y Chile, en la zona de subducción entre las placas de Nazca y Sudamericana (Comte & Pardo, 1991; Kausel & Campos, 1992; Béjar-Pizarro, y otros, 2010; Chlieh, y otros, 2011). En ese contexto, la ciudad de Iquique es objeto principal de estudio.

Actualmente, no existen estudios sistemáticos sobre los riesgos por desastre de terremoto y/o tsunami en puertos de Chile, en cuanto a su condición generalizada de vulnerabilidad. Por ello, el primer paso para llevar a cabo esta memoria, ha sido reunir información apropiada para la investigación, mediante la recopilación de archivos de artículos científicos, sitios web y diversas fuentes, siendo la principal fuente de recopilación, la Dirección Nacional de Obras Portuarias de Chile (DOP). La DOP se encarga de “la supervigilancia, fiscalización y aprobación de los estudios, proyectos, construcciones, mejoramientos y ampliaciones de toda obra portuaria, marítima, fluvial o lacustre, y del dragado de los puertos y de las vías de navegación que se efectúen por los órganos de la

Administración del Estado, por entidades en que éste tenga participación o por particulares.” (DFL 850, art.19, 1960).

La información recogida, se basa principalmente en planos estructurales, registros fotográficos antes y después del evento del 27F, informes sobre características de suelo, layout's portuarios y equipamiento portuario, entre otros.

A partir de esta información, se han elaborado resúmenes esquemáticos que permiten establecer una base empírica para la estimación de daños en la infraestructura portuaria en Chile, ante eventos de terremotos y/o tsunamis de campo cercano, como una forma de prever los daños factibles de ocurrir, teniendo como parámetro lo sucedido en el terremoto y tsunami del 27F. Sin embargo, debido a la escasa información sobre metodologías de evaluación de daños en puertos ante eventos de terremoto y/o tsunami, se propone una evaluación cualitativa, como forma de inferencia de los daños o efectos ante escenarios de riesgo hipotéticos (Reyes, 2013).

3.1. GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES

El concepto de desastres naturales es comúnmente empleado en la literatura para describir la ocurrencia de fenómenos naturales extremos. Eventos tales como terremotos, tsunamis, huracanes, inundaciones, entre otros, configuran un desastre natural cuando afectan asentamientos humanos.

Los desastres naturales han sido recurrentes a lo largo de la historia de Chile. Desde el período de la conquista española, cronistas e historiadores registraron diversas catástrofes que azotaron el país, lo que además de afectar el normal desarrollo de las actividades humanas implicaron pérdidas económicas y vidas, ralentizando a su vez el desarrollo del país.

Las amenazas de origen natural corresponden a fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos e incendios, los cuales, por su localización, severidad y frecuencia, poseen la capacidad de afectar a las personas, sus estructuras y actividades (CEPAL, 2010).

Diversos autores han aportado elementos para la estimación de daños o pérdidas debido a sismos, complementando los modelos existentes sobre estimación de amenazas. En general se acepta que el daño no es sólo producto de la magnitud del fenómeno natural, sino también de la fragilidad o vulnerabilidad de los elementos expuestos, lo que ha contribuido a una comprensión más acabada del riesgo de desastre. Pese a los esfuerzos iniciales a mediados del siglo XX, efectuados por la geografía y las ciencias sociales, el tema sobre la evaluación de riesgos concerniente a la prevención de desastres, ha sido tratado mayormente en los últimos años (Cardona O. , 2001).

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, 2012), señala que *“Hay una creciente conciencia de que abordar los desastres de manera reactiva intentando disminuir sus efectos adversos sólo mediante planes y operativos de emergencia y estrategias de recuperación no es suficiente. Lograr una mejor gestión de riesgos de desastres se ha convertido en una necesidad crítica para la comunidad internacional y también, de forma cada vez más notoria, para Chile.”*

Además, de las catástrofes registradas en las últimas décadas en Chile, los sismos de gran intensidad han sido los más devastadores debido a la numerosa pérdida de vidas humanas y cuantiosos daños a la infraestructura, junto con otros tipos de impacto, como pérdidas medioambientales y socio-culturales (UNISDR, 2012).

A continuación, se muestra una tabla con los principales desastres ocurridos en Chile en las últimas décadas, según su estimación económica.

Tabla 3.1: Los 10 principales desastres naturales en Chile del siglo XX y el megaterremoto de 2010, según daños económicos.

N°	Desastre	Fecha	Daño en miles de dólares (US\$)
1	Terremoto y tsunami	27/02/2010	30.000.000
2	Terremoto	03/03/1985	1.500.000
3	Terremoto	24/01/1939	920.000
4	Terremoto y tsunami	22/05/1960	550.000
5	Terremoto	06/05/1953	500.000
6	Incendio forestal	02/01/1999	280.000
7	Terremoto	08/07/1971	236.400
8	Terremoto	28/03/1965	235.000
9	Sequía	enero/1991	200.000
10	Inundación	24/05/2002	200.000

FUENTE: EMDAT 2012

La gestión de riesgo de desastres corresponde a un proceso y no a un fin último, y tiene como objetivo disminuir los riesgos existentes y prevenir la generación de nuevos riesgos (UNISDR, 2012).

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, define la Reducción de Riesgos de Desastres, como: *“El concepto y la práctica de reducir el riesgo de desastres mediante esfuerzos sistemáticos dirigidos al análisis y a la gestión de los factores causales de los desastres, lo que incluye la reducción del grado de exposición a las amenazas, la disminución de la vulnerabilidad de la población y la propiedad, una gestión sensata de los suelos y del medioambiente, y el mejoramiento de la preparación ante los eventos adversos”*.

Las apreciaciones sobre la vulnerabilidad y el riesgo según distintos profesionales, como geólogos, geógrafos, planificadores e ingenieros de las diversas disciplinas pueden llegar a ser muy distintas a las percepciones de la población en general, haciéndose necesaria una profundización del conocimiento sobre la percepción individual y colectiva del riesgo e investigar las características culturales, que contribuyan o dificulten la prevención y mitigación, que son aspectos fundamentales para identificar medios eficientes y eficaces que permitan reducir el impacto de los desastres en el mundo (Maskrey, 1994).

Algunos conceptos definidos por La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres que intervienen en la gestión de desastres son:

Amenaza o peligro. Factor de riesgo externo de una persona, población o sistema, representado por el peligro de que un evento o fenómeno físico de origen natural o antropogénico se manifieste y produzca efectos adversos a las personas o bienes y al medio ambiente. Peligro o amenaza se refiere a los fenómenos naturales, como sismos, tsunamis, sequías, inundaciones, etc.

Vulnerabilidad. Es el factor de riesgo interno de una persona, población o sistema expuesto a una amenaza y corresponde a su factibilidad intrínseca de ser afectados o de ser susceptible a sufrir daño. Por ejemplo, son vulnerables las personas que viven cerca del borde costero.

Vulnerabilidad estructural. Está asociada fundamentalmente con la capacidad que tiene una estructura para soportar desplazamientos y esfuerzos inducidos por solicitaciones externas y que debe ser considerada en la etapa de diseño. Ante el caso de un sismo, el desempeño del edificio dependerá de que éste pueda mantener su operatividad y continuidad de sus servicios.

Vulnerabilidad no estructural. Se refiere a los componentes no estructurales que se apoyan en los componentes estructurales (paredes divisorias, cielos rasos, ventanas, componentes arquitectónicos), incluyendo todo el equipamiento del tipo de sistemas eléctricos y mecánicos, sistemas protectores, etc.

Elementos en riesgo. Corresponde a la población, el medio ambiente, sistema productivo, actividades económicas, edificaciones e infraestructura expuesta en un área determinada, entre otros.

Riesgo. Es el grado de daños, destrucciones o pérdidas, determinados por la probabilidad de ocurrencia de fenómenos peligrosos y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a tales peligros o amenazas. El riesgo está en función de la magnitud de la amenaza y del grado de vulnerabilidad. Es importante obtener una estimación del riesgo lo más precisa posible, para así definir medidas de mitigación.

Las amenazas de origen natural como sismos y tsunamis, corresponden a fenómenos naturales y no al resultado de acciones humanas. Sin embargo, su impacto es potenciado por el incorrecto uso del suelo y su descuido en la planificación, diseño y ubicación de la infraestructura en áreas expuestas a este tipo de fenómenos. Además, los impactos en el desarrollo portuario son rápidos y visibles sobre todo en la infraestructura, aunque en ésta, su impacto es más difícil de cuantificar debido a sus efectos acumulativos a largo plazo (daños infraestructurales internos que se manifiestan a largo plazo o bien efectos negativos en la morfología del sector de emplazamiento de la infraestructura que comprometa su estabilidad y operatividad a futuro).

El desarrollo portuario cuantitativo aumenta la exposición frente a los desastres naturales mencionados, provocando efectos negativos en diversos ámbitos, pudiendo afectar de manera importante la economía y el bienestar humano, por lo tanto, la gestión de riesgos de desastres es un asunto de suma importancia para proteger el avance de los países hacia el desarrollo y en el caso de los países desarrollados mantener sus estándares.

3.1.1. FASES DEL CICLO DE DESASTRES

La gestión del riesgo de desastres, puede resumirse en tres etapas, en las que una etapa se podría extender hasta la fase posterior, desarrollándose paralelamente. Estas etapas se clasifican por el nombre de antes, durante y después, las que además contemplan sub-etapas relacionadas al evento en cuestión (ver Tabla 3.2).

Tabla 3.2: Organización secuencial del ciclo de desastres.

Fases y actividad fundamental	Antes del evento Planificación	Durante el evento Respuesta	Después del evento Recuperación
Etapas	<ul style="list-style-type: none"> • Prevención • Mitigación • Preparación • Alerta 	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto • Emergencia <ul style="list-style-type: none"> - Aislamiento - Medidas externas de rescate y socorrismo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rehabilitación • Reconstrucción
Objetivos principales	<ul style="list-style-type: none"> • Impedir que sucesos naturales o tecnológicos determinen un desastre. • Reducir el impacto. • Reducir la vulnerabilidad. • Organizar y estructurar los diferentes componentes de respuesta. • Establecimiento de precauciones específicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo y asistencia a los afectados. • Medidas de evaluación y atenuación de las consecuencias. • Prevenir la prolongación de los daños y su amplitud. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación de servicios básicos. • Vigilancia y educación sanitarias. • Reparación con alcance de desarrollo igual o superior al existente previo al desastre.

FUENTE: MODIFICADO DE (MEDICINA DE DESASTRES, 2004)

Este trabajo de investigación se enmarcó en la fase “Antes del desastre” (planificación). Esta etapa corresponde a los esfuerzos en reducir el riesgo previo al desastre, es decir, son las actividades que se realizan anticipadamente mientras se tiene un período de calma. Además, es la etapa de mayor duración y la más importante de todo el proceso de gestión, debido a que permite desarrollar herramientas fundamentales para la mitigación y preparación ante emergencias y desastres. De esta forma la etapa “Antes del evento”, es decir, la planificación, se compone de las etapas de Prevención, Mitigación, Preparación y Alerta.

Prevención: Corresponde a las acciones coordinadas para evitar o impedir que eventos naturales o de origen humano provoquen un desastre. En otras palabras, son las medidas que se toman para evitar la ocurrencia de un desastre, como, por ejemplo, impedir la ubicación de un hospital, escuelas, hogares en zonas expuestas a tsunamis.

Mitigación: Corresponde al conjunto de actividades que se realizan antes de un desastre, a fin de reducir o atenuar el impacto en la población, la economía, el medio ambiente y la infraestructura, es decir, es una intervención que tiene por objetivo reducir el impacto de la amenaza, aunque estos fenómenos naturales extremos no sean previsible. La etapa de mitigación, busca reducir los efectos dañinos que causan los desastres, siendo necesario establecer prioridades que permitan poner en práctica las medidas más adecuadas.

Preparación: Es el conjunto de acciones cuyo objetivo es planear y organizar de manera efectiva la respuesta de la población ante el impacto de eventos inminentes relacionados

con una amenaza, contribuyendo a una rápida restauración, tanto física, social y/o económica.

Alerta: Corresponde al momento previo del desastre, que se comunica a fin de adoptar precauciones específicas, por la inminente ocurrencia de un evento destructivo. El sistema de alerta temprana será de poca utilidad si es que no cuenta con la capacidad para difundirla a toda la población y en el tiempo oportuno.

Una vez ocurrido el desastre, viene el proceso de recuperación, que tiene por finalidad la restauración de la infraestructura, entre otros aspectos. Además, de ser necesario, se contempla el mejoramiento de la infraestructura, como parte de los esfuerzos para reducir los factores del riesgo de desastres (UNISDR, 2012).

Al haberse elaborado una buena planificación, es esperable que los efectos causados por el desastre sean mitigados, contribuyendo a una recuperación en el corto plazo de los servicios básicos, además de una eficiente restauración de los daños físicos. Esta reconstrucción infraestructural suele ser un proceso de mediano y largo plazo, a un nivel de desarrollo igual o mayor al existente antes del desastre.

3.1.2. EL CONCEPTO DE RIESGO

Para comprender de mejor manera lo que es el riesgo, Cardona (2001) propuso la consideración de tres factores en conjunto; el contexto, la eventualidad y las consecuencias para cualquier estimación de riesgo que esté incompleta. El contexto particular de la zona de estudio, es lo que determina las razones, objetivos, interacciones y limitaciones que deben ser consideradas, por lo que se debe contemplar en todos los aspectos relevantes del estudio de riesgos.

Para efectos prácticos de este proyecto de título, se abordó el riesgo según la definición expuesta previamente por la ONU, como el grado de daños, destrucciones o pérdidas, según la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno. Además, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2012), establece que el riesgo es un factor que tiene una estrecha relación con el proceso de desarrollo humano, referido al uso, ocupación y transformación del territorio y a la creación de bienes y servicios, aprovechamiento de recursos naturales y disposición de residuos, los cuales tienen una incidencia directa en la exposición a amenazas (naturales y antropogénicas) en los diferentes elementos que componen estos procesos y su vulnerabilidad ante este tipo de amenazas.

El propósito de este proyecto, es proponer un método para la evaluación de riesgos infraestructurales en puertos, como el propuesto por el Joint Technical Committee (2004), que lo establece como un proceso general de identificación de riesgos, análisis de riesgos y evaluación de riesgos, en conjunto por lo propuesto por Pliefke, Sperbeck, Urban, Peil y Budelmann (2007), quienes incluyen el tratamiento del riesgo, como parte del monitoreo de éste. Sin embargo, actualmente no existe un método que permita evaluar el riesgo y daños probables por efectos de terremotos y/o tsunamis en infraestructura portuaria.

Pliefke et Al. (2007) propusieron una metodología para comprender y desarrollar la gestión de riesgos, que se presenta en el siguiente esquema:

Tabla 3.3: Esquematación del concepto de gestión riesgo.



FUENTE: MODIFICADO DE (PLIEFKE, SPERBECK, URBAN, PEIL, & BUDELMANN, 2007).

Reyes (2013), expone que todo el territorio nacional se encuentra expuesto a algún tipo de amenaza natural, por lo cual no es válido hablar sobre zonas libres de peligros en Chile. El daño potencial de estas amenazas se ve incrementado producto de que los métodos de identificación, análisis y evaluación no se encuentran desarrollados lo suficiente en el país, por lo cual la información adecuada no está disponible oportunamente para quienes, como autoridad, toman las decisiones. Además, el impacto potencial de los desastres naturales, se agrava ante la falta de conocimientos sobre la vulnerabilidad relativa de las distintas comunidades, así como de la vulnerabilidad de la infraestructura y de los sistemas expuestos a amenazas de origen natural. Sin embargo, la ausencia y/o difícil acceso a la información pertinente y actualizada para la gestión de desastres es una limitación para la gestión de riesgos. De manera análoga a lo sucedido en otros países, el marco normativo e institucional de Chile para la gestión del riesgo de desastres se ha ido desarrollando y afianzando en forma posterior a cada evento, siendo un destacado ejemplo de ésto, la evolución de los códigos de construcción después del terremoto de Talca de 1928 (Reyes, 2013).

3.1.3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS.

El prerequisite para la realización de la fase de identificación de riesgos es estar conscientes sobre una situación peligrosa, es necesario definir el sistema bajo análisis, el cual puede estar compuesto de uno o más edificios o elementos infraestructurales, una ciudad, una región o un país. Asimismo, se deben identificar los eventos que puedan poner en peligro el sistema y caracterizados por el término 'peligro', como ¿qué puede pasar? y ¿dónde? (Pliefke y otros, 2007).

Al haber definido el sistema e identificado todos los riesgos posibles, comienza la etapa de evaluación, que consta de dos subprocedimientos; el análisis y la evaluación de riesgos. El propósito de esta evaluación, es lograr que el riesgo considerado sea comparable a otros riesgos competitivos del sistema, por el uso adecuado de medidas de contingencia. En este contexto, las curvas de probabilidad llamadas de excedencia, se han comenzado a utilizar como una herramienta para ilustrar el riesgo de manera gráfica. Una curva de probabilidad

de excedencia, expone la probabilidad de que un cierto nivel de pérdida sea superado en un periodo de tiempo específico y es representado ante distintos niveles de pérdida. Una vez finalizada esta etapa, se clasifican los riesgos, en base a la percepción de riesgo individual.

Actualmente, no existe ninguna fórmula clara que se utilice para definir el riesgo. Además, algunos autores lo definen como un producto de múltiples variables (Thywissen, 2006) y otros evitan cualquier formulación matemática para su cuantificación, argumentando que el riesgo es producto de varios términos. Sin embargo, Pliefke y otros (2007), presenta algunas clasificaciones hechas por diversos autores y organismos sobre los riesgos de desastres y en base a éstas proponen cinco clasificaciones generales mediante ecuaciones, que son:

Riesgo = Peligro x Vulnerabilidad x Exposición

Riesgo = Peligro x Vulnerabilidad

Riesgo = Probabilidad x Consecuencias

Riesgo = Probabilidad x Pérdidas

Riesgo = Probabilidad x Daños

El riesgo (R), se encuentra definido por la probabilidad de daños económicos, ambientales, sociales e infraestructurales en un área definida y durante un lapso de tiempo determinado, a causa del acontecimiento de un evento. En resumen, el riesgo (R), es la consecuencia de una o más amenazas y los componentes de vulnerabilidad que existen.

La expresión de riesgo, en términos del daño, es de gran importancia en la ingeniería civil para determinar el comportamiento estructural bajo posibles cargas por peligros externos, como, por ejemplo, si se debe implementar una medida de fortalecimiento en algún edificio para reducir su riesgo estructural, decisión que debe tomar un ingeniero.

Para identificar y cuantificar el riesgo durante este proceso, se estudiaron los siguientes principios, como parte del análisis:

- 1) *Identificación y evaluación de los peligros o amenazas.* En este estudio corresponden a causas sismo-tsunamigénicas. Para esto es necesario conocer la probabilidad de ocurrencia de este tipo de peligro, y de qué manera afectaría al puerto bajo análisis, siendo necesario conocer sus características, como su infraestructura, tipo de suelo, layout, entre otras. Además, es útil conocer el registro histórico de daños producidos por eventos de esta índole en la infraestructura portuaria, junto con su magnitud y frecuencia. En ello, hay que tener especial consideración de que Chile puede ser considerado un perfecto laboratorio sísmico natural.
- 2) *Estimación de la vulnerabilidad.* El análisis de la vulnerabilidad estructural, se puede representar a modo general mediante dos métodos. El primero consta de una inspección visual y rápida ante eventos de sismo y/o tsunamis. Mientras que el segundo, más complejo, requiere de análisis más detallados, como por ejemplo curvas de fragilidad. La metodología empleada se basa en el método de asignación de puntajes a las estructuras con el objetivo de identificar sus zonas potencialmente vulnerables mediante las deficiencias infraestructurales que presenten.

- 3) *Evaluación del riesgo.* La relación entre una determinada amenaza y los componentes vulnerables, permite realizar una estimación del nivel de riesgo, de manera tal, que pueda ser analizado y así definir las medidas de prevención, mitigación y preparación, que permitan reducir los posibles daños sobre el sistema.

Aunque este procedimiento contempla un trabajo multidisciplinario, actualmente no existe una clara delimitación de las fronteras del alcance de los riesgos por desastre. Existen diversas definiciones de riesgo y metodologías de cálculo por las diferentes áreas profesionales, que interpretan en términos basales el riesgo, la vulnerabilidad, la exposición, las consecuencias, daños y pérdidas. No obstante, es necesario uniformar este lenguaje, debido a que es indispensable para una colaboración multidisciplinaria eficiente en la ejecución de todas las subetapas de la cadena de gestión de riesgos.

3.1.4. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE DAÑOS.

Para poder relacionar la magnitud de un evento sísmico con el nivel de daño en las edificaciones, suelen utilizarse matrices de daño o curvas de fragilidad, que pueden ser relacionadas con la pérdida o la vulnerabilidad estructural, lo que permite la simulación de probables escenarios de daños. Metodología que comúnmente se ha implementado con el objetivo de contribuir con información sobre riesgos o amenazas a la planificación física y al ordenamiento territorial. Además de ser una herramienta útil para la toma de decisiones (Smith, 1992; Alexander, 1993).

Para desarrollar este tipo de estudios, es necesario elaborar una modelación estocástica de la amenaza y estimar los eventuales daños que pueda sufrir un sistema, lo cual se puede realizar de manera analítica o bien basándose en información empírica. De esta manera, los resultados se pueden interpretar como pérdidas potenciales, y se pueden emplear según el concepto de costo/beneficio para elaborar normas de construcción, de seguridad, planificación urbana y proyectos de inversión. El enfoque de este estudio, se basa en que el riesgo es una variable objetiva y por lo tanto se puede cuantificar probabilísticamente (Cardona O. , 2001).

En los últimos años ha sido muy relevante el aporte de la ingeniería al estudio sobre las capacidades estructurales del sistema expuesto, permitiendo estimar los efectos o los daños físicos que se puedan presentar, logrando una mejor comprensión del riesgo. Sin embargo, aunque en el campo del conocimiento de la ingeniería se puedan realizar algunas hipótesis sobre el riesgo, éstas siempre serán parciales, por lo que se debe hacer énfasis en el proceso de gestión y manejo de la seguridad (Blockley, 1996).

Una de las metodologías más utilizadas, debido a su sencillez y practicidad, es la ATC-13 (1985), que consiste en un grupo de matrices de probabilidad de daño elaboradas por medio del método Delphi. Este método considera el aporte de especialistas de diversas disciplinas, que contribuyen con su experiencia y conocimiento basándose en observaciones empíricas y estimaciones elaboradas al relacionar la solicitud de carga y la capacidad infraestructural en términos de su rigidez, resistencia y capacidad de disipar energía. Estos estados de daños se presentan en tablas, como la que se muestra a continuación:

Tabla 3.4: Estado de daño según ATC-13.

Caracterización de daño	Rango de daño %	Índice de daño	Descripción
NINGUNO	0	0	Sin daño.
LEVE	0-1	0.5	Daño mínimo que no requiere reparación.
LIGERO	1 - 10	5	Daño menor localizado en algunos elementos que no siempre requiere reparación.
MODERADO	10 - 30	20	Daño menor localizado en muchos elementos que debe ser reparado.
FUERTE	30 - 60	45	Daño extensivo que requiere reparaciones mayores.
SEVERO	60 - 100	80	Daño grave generalizado que puede significar demolición de la estructura.
DESTRUCCIÓN	100	100	Destrucción total o colapso.

FUENTE: MODIFICADO DE (Applied Technology Council. Earthquake Damage Evaluation Data for California, 1985).

Para la elaboración de estas matrices de daños (matrices de vulnerabilidad física), es necesario considerar la información histórica de daños que haya sufrido la infraestructura a causa de terremotos y/o tsunamis, para ello se realizó una caracterización infraestructural de los daños en los puertos de la Octava Región producto del terremoto y tsunami del 27 de febrero de 2010, a fin de contrastarlo con lo acontecido en el Puerto de Iquique en el terremoto del 1° de abril del 2014. Debido a la distancia espacial entre eventos sísmicos de gran magnitud, y aún más para una zona determinada, es que no existe suficiente información registrada sobre daños en puertos. Siendo el evento sísmico del 27F, el que registra mayores antecedentes de daños en infraestructura portuaria. La información analizada contempla daños tanto estructurales (vigas, lozas, pilares, etc.), como no estructurales (mampostería, equipamiento, recubrimientos, etc.), además de sus implicaciones económicas y tiempos de paralización, para posteriormente confeccionar las matrices de daños.

Cardona (2001), expone que este tipo de información histórica, está profundamente relacionada al tipo de construcción y a la tecnología constructiva que se utiliza en el área bajo estudio, por lo cual la información histórica recopilada sobre una zona determinada no necesariamente sirve para ser utilizada en otro lugar del mundo, salvo como antecedente o consideración de los parámetros. Además, la información histórica suele no ser del todo fidedigna debido a la carencia de buenos inventarios de daño (Cardona & Hurtado, 1995).

Una curva de probabilidad de excedencia forma parte del modelo de gestión del riesgo de desastres. Para un conjunto de elementos estructurales en riesgo, una curva de excedencia es una representación gráfica de la probabilidad de que un determinado nivel de pérdida

sea sobrepasado en un período de tiempo definido, permitiendo establecer cuál es la probabilidad de que se alcance o se supere el estado de daño especificado en función de la severidad del movimiento sísmico. El inicio del uso de estas curvas de fragilidad datan de la década de 1980 por Kennedy, Cornell, Campbell, Kaplan & Perla (1980) y Kennedy & Ravindra (1984) con el empleo del método probabilístico de riesgo en centrales nucleares e instalaciones para el almacenamiento de materiales radioactivos peligrosos.

Para elaborar este tipo de funciones, es necesario clasificar previamente la infraestructura a analizar. Además, estas funciones se clasifican según niveles de daño: Leve, Moderado, Severo y Colapso o como los expuestos en la Tabla 3.4. En síntesis, las curvas de fragilidad, son una manera gráfica de representar la probabilidad de alcanzar o exceder un nivel de daño límite específico, dado un valor de respuesta definido (Moreno & Bairán, 2010).

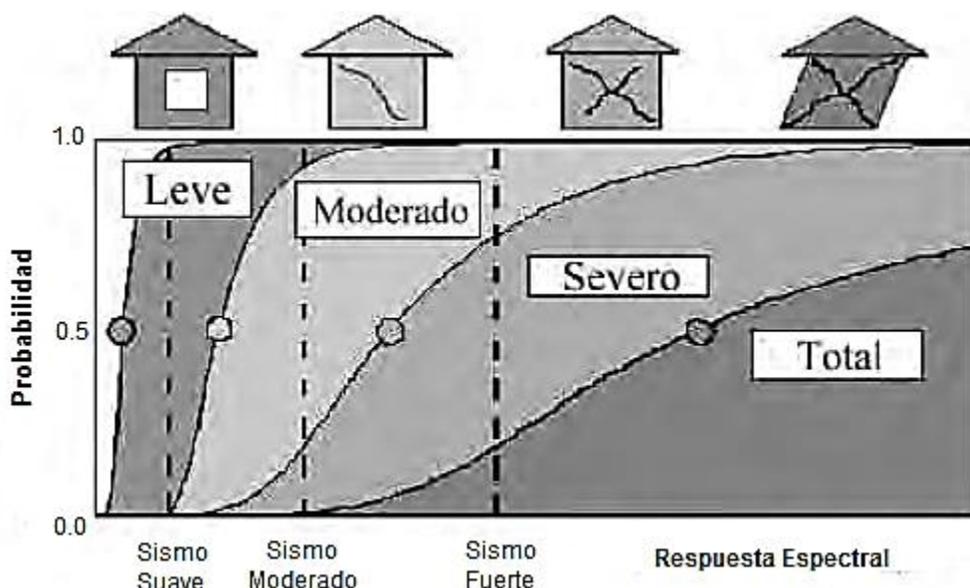


Figura 3.2: Curvas de fragilidad para daño leve, moderado, severo y total.
FUENTE: (Kircher, Nassar, Kustu, & Holmes, 1997)

3.2. PLAN DE CONTINUIDAD DE NEGOCIOS (BCP)

Un Plan de Continuidad de Negocios (o sus siglas en inglés **BCP**, por **Business Continuity Plan**) es la respuesta de una organización ante una emergencia que afecte drásticamente los servicios que otorga y que son los que permiten la ejecución de sus trabajos diarios, siendo su objetivo mantener la funcionalidad a un nivel mínimo aceptable durante una contingencia. De esta manera, un Plan de Continuidad de Negocios permite reducir el tiempo de recuperación ante un escenario de riesgo determinado, como también los daños que se podrían llegar a provocar. Además, la aplicación de un BCP permite que la empresa pueda mantenerse en el negocio y resguardar la integridad de sus trabajadores (Savage, 2002), posibilitando la reducción del impacto en sus actividades.

El objetivo principal de un BCP es obtener una herramienta que facilite el proceso de toma de decisiones para retomar el normal desarrollo de las actividades del puerto luego de un

desastre, como un terremoto y/o tsunami u otro motivo de paralización portuaria. Para esto, es necesario identificar y analizar las amenazas potenciales y su impacto potencial en el negocio portuario.



Figura 3.3: Gestión de continuidad del negocio.
FUENTE: (Benton International Latin America, 2012)

El Instituto de Recuperación de Desastres, DRI (Disaster Recovery Institute International Business, 1988), propone las fases que conforman un Plan de Continuidad de Negocios, que son:

1. Inicio y gestión del proyecto.
2. Análisis y evaluación de riesgos.
3. Análisis del impacto sobre el negocio (BIA).
4. Estrategias de continuidad del negocio.
5. Preparación y respuesta ante emergencia.
6. Desarrollo e implementación del BCP.
7. Programas de concientización y capacitación.
8. Aplicación, auditoria y mantenimiento del BCP.
9. Comunicación de crisis.
10. Coordinación con agencias externas y autoridades.

Entre algunos de los múltiples beneficios derivados de la correcta aplicación de estas fases, se pueden destacar la identificación de diferentes escenarios de peligro que podrían impactar sobre la continuidad de las operaciones y su nivel de impacto en el negocio; conocimiento de los tiempos críticos de recuperación para volver a la condición previa al desastre que no comprometa las actividades; ayudar a evitar o minimizar las pérdidas del negocio en un desastre, y permiten organizar los activos para priorizar su resguardo ante un desastre. Beneficios que en suma otorgan una ventaja competitiva ante otras empresas.

Además, la pronta recuperación portuaria podría colaborar en una rápida logística de emergencia y apoyo, así como una pronta recuperación de la economía local (Disaster Recovery Institute International Business, 1988).

3.3. RIESGOS ASOCIADOS A TSUNAMIS Y TERREMOTOS.

La evaluación de la posible ocurrencia de una amenaza natural, permite estimar la ubicación y severidad del fenómeno, junto con la probabilidad de que éste ocurra dentro un lapso de tiempo definido y afectando a un área determinada. Este tipo de estudios se fundamentan principalmente en la documentación científica existente; incorporando caracterizaciones de suelos, mapas geológicos y geomorfológicos, información climática e hidrológica, mapas topográficos, imágenes satelitales y fotografías aéreas. Además, la recopilación de información histórica es útil para categorizar eventos potenciales.

3.3.1. TERREMOTOS

Un terremoto, es el resultado de la liberación de la energía acumulada durante mucho tiempo entre placas tectónicas. Estas placas, tienen un proceso de acomodación durante millones de años, lo que ha ido dando forma a la superficie terrestre. Este fenómeno, se da en los bordes convergentes entre placas tectónicas, conocidas como zonas de subducción, donde una placa, comúnmente oceánica, subducta bajo una placa cabalgante, comúnmente continental. Al deformarse los bordes de las placas tectónicas en contacto, por fricción, éstas acumulan una tensión progresiva, que, al alcanzar cierto límite, se destraban de manera violenta, rompiéndose y tendiendo a volver a su equilibrio natural, emitiendo ondas sísmicas al liberar la energía acumulada. Aproximadamente, sólo el 10% de los terremotos suceden lejos de esta zona de contacto entre placas.

En Chile, casi la totalidad del borde costero se encuentra en una zona de subducción, constituida por la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana (ver: Figura 3.4). En estas zonas de subducción, se pueden establecer al menos cuatro tipos de eventos sísmicos definidos por el Centro Sismológico Nacional (CSN, 2013) de la siguiente manera:

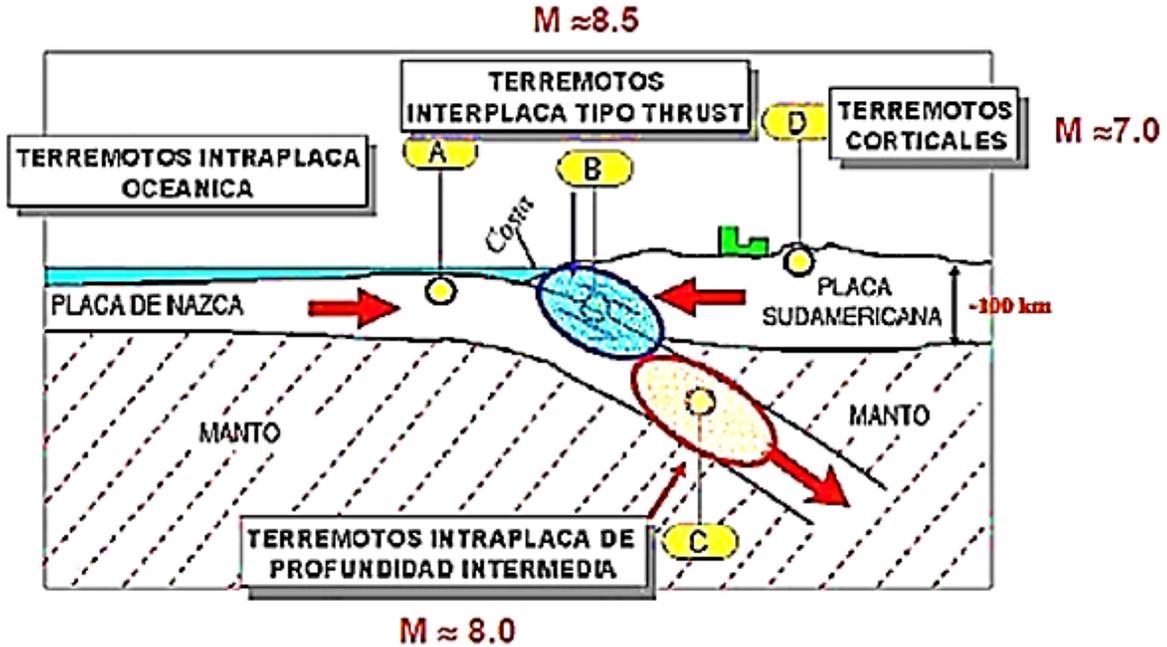


Figura 3.4: Fuentes sísmicas.
FUENTE: (Astroza & Astroza, 2008)

- A) Terremotos intraplaca oceánica (*outer-rise*): Son sismos que ocurren costa afuera de la fosa oceánica, debido a la deformación de la Placa de Nazca al tratar de meterse bajo el continente y que el contacto interplaca no se mueve por estar acoplado. Sus profundidades son de entre 0 a 60km, y en general, tienen magnitudes menores a $8.0M_w$. Un ejemplo de este tipo, es el terremoto de Valparaíso de 2001.
- B) Terremotos interplaca tipo '*thrust*': La fuerza de roce entre las placas traba el movimiento entre éstas, las que se pueden mover relativamente sólo cuando la fuerza neta en la zona interplaca es mayor a su fuerza de roce. Son responsables de los sismos de mayor magnitud. Sus profundidades oscilan entre 5 y 50km. Un ejemplo de este tipo, es el reciente terremoto del Maule de 2010 y el de 1960 en Valdivia.
- C) Terremotos intraplaca de profundidad intermedia: Son sismos que ocurren dentro de la placa oceánica subductada debido al peso de la placa y fuerte acoplamiento interplaca. Sus profundidades, oscilan entre 60 y 120km. Su potencial de daños es mayor al de los terremotos interplaca de la misma magnitud. Un ejemplo de estos, son el de Chillán en 1939 ($M_w=8.3$), y Punitaqui en 1997 ($M_w=7.1$).
- D) Terremotos corticales: Son sismos que ocurren dentro de la placa continental, en la corteza, a profundidades menores a 30km. En general, ocurren en torno a la cordillera, tanto en Chile como en Argentina. Un ejemplo de estos sismos, es el de Las Melosas en 1958 en el Cajón del Maipo ($M_w=6.3$).

No todos los terremotos suceden en conocidas zonas de falla. Por lo tanto, en algunos casos se utiliza una distribución espacial de los eventos sísmicos pasados en un área definida, para estimar la distribución espacial de probables terremotos futuros dentro del área. Sin embargo, debido a la incertidumbre de la ubicación exacta de las fallas

subyacentes (que se infieren de la actividad sísmica de la zona), se realizan modelos de catástrofe que permiten simular terremotos, no sólo en donde ya ha habido, sino también, en cualquier lugar dentro del área definida, basados en una probabilidad menor, lo cual se obtiene mediante un suavizado estadístico de los registros históricos (Cardona, 2001).

Este registro de sismicidad histórica es insuficiente para identificar todas las fuentes sísmicas de un área definida, siendo una razón, el hecho de que los sismos de gran intensidad asociados a fallas específicas suelen tener intervalos de recurrencia de períodos muy largos, mientras que los registros históricos y registros instrumentales con los que se cuenta, son de un período relativamente corto. No obstante, estos registros históricos pueden ser complementados con información extra, tal como los datos paleosísmicos. La paleosismología, es el estudio de terremotos prehistóricos, principalmente su ubicación, tiempo y tamaño. Las pruebas paleosismológicas sobre terremotos prehistóricos, consideran estudios de formaciones geológicas ubicadas en zonas de fallas expuestas, pruebas de levantamiento rápido y pruebas de penetración cerca de áreas costeras. El principal desafío de este enfoque es asignar magnitudes a los paleoterremotos. Para esto es necesaria la ubicación de zonas que actualmente exhiban evidencias de paleosismicidad, además de estimar el área total que fue afectada y la conversión de esta área a una magnitud. No obstante, hay una incertidumbre importante sobre las estimaciones de las tasas de recurrencia derivadas de los datos paleosísmicos. Pese a esto, la paleosismología es una fuente importante de datos para estimar períodos de retorno de terremotos de gran magnitud (Goldfinger, y otros, 2012).

Otra técnica más reciente, para la identificación de fuentes sísmicas potencialmente activas, es el empleo de datos de registros geodésicos. Los registros geodésicos, y en especial los datos obtenidos de sistemas de posicionamiento global (GPS), que revelan los movimientos relativos de la corteza terrestre, proporcionan información que puede ser utilizada para identificar las regiones en tensión. Los datos geodésicos pueden proporcionar información valiosa para identificar regiones bajo presión, y por lo tanto con un alto potencial de actividad sísmica (Patel, 2005).

Toda la investigación, referente al tamaño y recurrencia de los terremotos, permite comprender de mejor manera el comportamiento en las zonas de subducción, que es donde se producen los terremotos de mayor magnitud. Así, la paleosismología ha permitido ampliar los registros históricos, ayudando a que distintos países elaboren estudios de amenaza sísmica, como Japón, donde a fines del 2011, se creó una ley que establece la preparación de cada región, ante el peor escenario (mayor magnitud) de terremoto y tsunami posible de ocurrir, por parte de cada gobierno local. Así mismo, en la costa pacífica de Norteamérica (zona de subducción de Cascadia), se han reforzado las estructuras, luego de realizarse estudios paleosismológicos e historia japonesa para revelar un gran terremoto y tsunami ocurrido cerca del año 1700 (Atwater, Musumi-Rokkaku, Satake, Tsuji, Ueda, & Yamaguchi, 2005).

La Intensidad Macrosísmica, es una de las formas más antiguas para medir la intensidad de un evento sísmico en base a su efecto del movimiento del suelo. Una de las primeras escalas, fue la de Rossi-Forel, en 1873, y de la cual deriva la conocida Escala de Mercalli. A diferencia de las escalas sísmicas de magnitud, que expresan la energía sísmica liberada por un terremoto, las escalas de intensidad macrosísmica indican el grado en que un terremoto afecta a un lugar específico, como los efectos que produce el terremoto en los

seres humanos (sensaciones), en los objetos (movimientos) y en las construcciones (daños). Un ejemplo de esto, es la escala EMS-98 elaborada por la Comisión Sismológica Europea (CES) y que se presenta en la Tabla 3.5. Este tipo de tablas permiten determinar el grado de intensidad macrosísmica en las diferentes zonas donde fue percibido el sismo, mediante el trazado de curvas isosistas que separan áreas con igual nivel de intensidad (ver: Figura 3.5), a partir de observaciones de un evento en particular.

Tabla 3.5: Escala de intensidad EMS-98.

INTENSIDAD EMS	RESUMEN
I No sentido	No sentido
II Apenas sentido	Sentido sólo por muy poca gente en situación de reposo en casa.
III Débil	Sentido en el interior de las casas por poca gente. Las personas en reposo sienten un ligero balanceo o temblor.
IV Ampliamente observado	Sentido en el interior por mucha gente, fuera por muy pocos. Algunas personas se despiertan. Tintineo de ventanas y vajillas.
V Fuerte	Sentido en el interior por la mayoría y en el exterior por pocos. Muchas personas se despiertan. Pocas personas se asustan. Los edificios tiemblan. Los objetos colgados oscilan considerablemente. Pequeños objetos se mueven. Puertas y ventanas se balancean o se cierran.
VI Levemente dañino	Muchas personas salen asustadas de casa. Algunos objetos se caen. Muchas casas sufren pequeños daños no estructurales como grietas o caída de pequeños trozos de yeso o enlucido.
VII Dañino	La mayoría de la gente está asustada y corre fuera de casa. Los muebles se levantan y una gran cantidad de objetos cae de las estanterías. Muchos edificios ordinarios bien contruidos sufren daños moderados: grietas en las paredes, caída de yeso, colapso parcial de la chimenea. Las construcciones antiguas tienen grandes grietas y caída de tabiques.
VIII Gravemente dañino	A mucha gente le resulta difícil permanecer en pie. Muchas casas tienen grandes grietas en los muros. En unos pocos edificios ordinarios bien contruidos se dañan seriamente los muros mientras que las estructuras antiguas y débiles pueden colapsar.
IX Destructor	Pánico generalizado. Muchas construcciones débiles colapsan. Incluso edificios contruidos adecuadamente presentan daños importantes: serios colapsos de muros y colapso parcial de la estructura.
X Muy destructor	Muchos edificios correctamente contruidos colapsan.
XI Devastador	Muchos edificios bien contruidos colapsan, incluso algunos con diseño sismoresistente.
XII Completamente devastador	Casi todos los edificios son destruidos.

FUENTE: (Grüntal & De León, 1998).

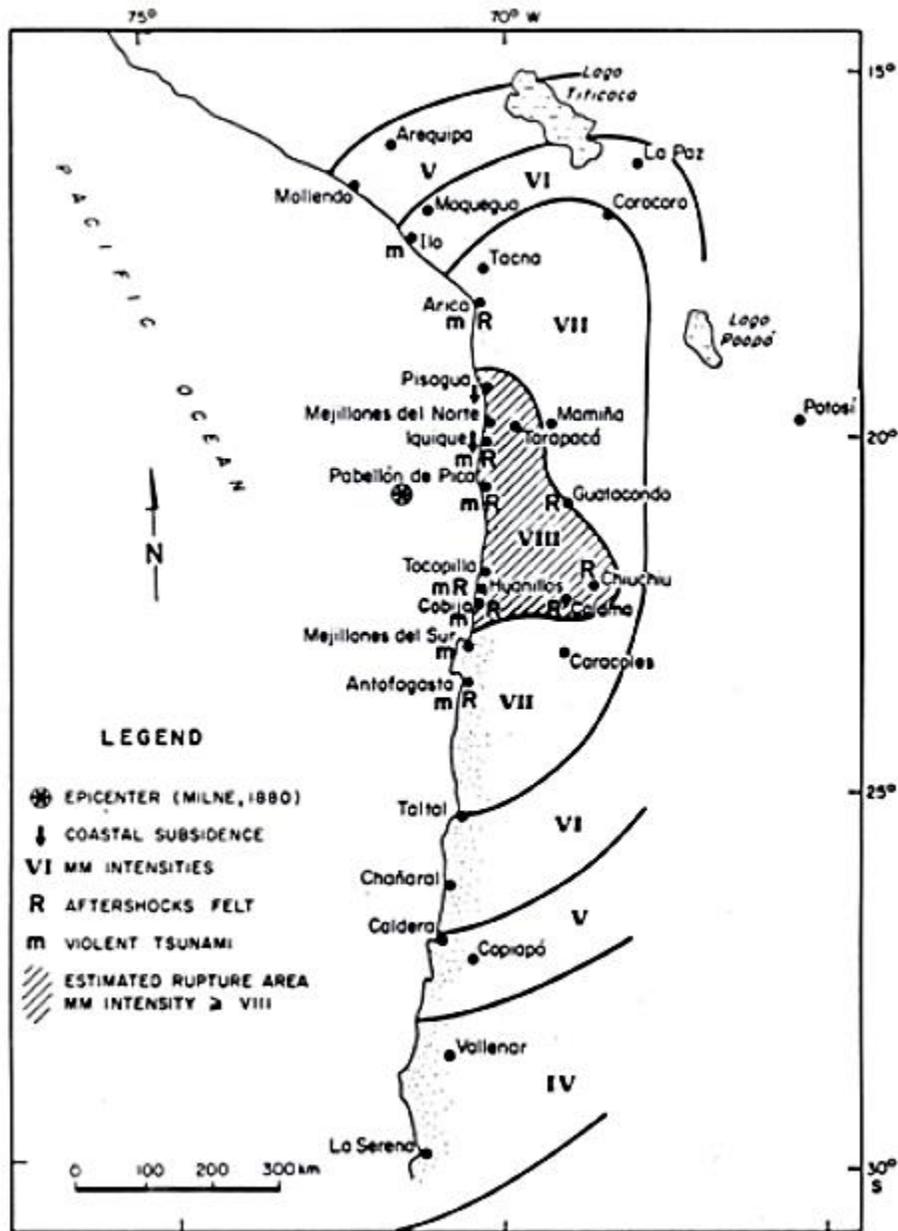


Figura 3.5: Terremoto de Iquique 1877.

FUENTE: (Kausel & Campos, 1992).

Existe bastante documentación que registra los distintos efectos que un sismo produce en las estructuras, dependiendo de las propiedades del suelo en que se ubique. Las características propias del suelo donde se encuentra apoyada la estructura, la profundidad, el nivel de la napa freática y la topografía adyacente, influyen directamente en los daños ocasionados en edificaciones debido a grandes sismos. La experiencia sismológica, indica que en general las edificaciones reciben menos daños cuando se encuentran en suelo resistente. Mientras que los suelos blandos y disgregados, conllevan a mayores daños (Cardona & Barbat, 2000).

Tras la ruptura, una falla libera energía, creando perturbaciones dentro de su zona de origen. Estas perturbaciones se propagan lejos de la fuente, a través de la región en forma de ondas sísmicas (ver: Figura 3.6). El daño en las estructuras, es sensible a la amplitud y frecuencia de las ondas sísmicas, que son parámetros que dependen del mecanismo de la fuente del terremoto, las características de los materiales geológicos que intervienen en el terreno, a través del cual viajan las ondas y por último, las características de los materiales de suelo subyacentes de cada sitio afectado.

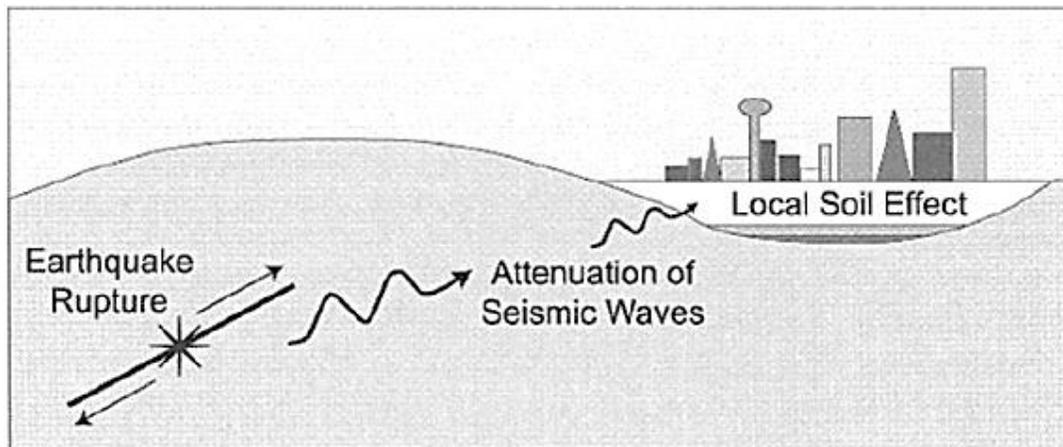


Figura 3.6: Atenuación y efectos en el suelo local.

FUENTE: (Patel, 2005)

La amplitud de las ondas de alta frecuencia se desintegra más rápido que las ondas de baja frecuencia. Esta tasa de decaimiento se da en función del material por el cual se propagan las ondas sísmicas, es decir, la heterogeneidad de la corteza terrestre, como las fracturas y una variedad de complejidades geológicas propias de cada zona que influyen en estas tasas de atenuación. Por ésta, y otras razones, las ecuaciones de atenuación empírica son específicas de cada región. Además, el movimiento del suelo en sitios equidistantes de la ruptura, pero con diferentes propiedades del suelo local puede ser muy diferente, incluso cuando los parámetros subyacentes del origen del terremoto son similares, como, por ejemplo, las cuencas de suelos blandos pueden atrapar las ondas sísmicas y crear patrones muy complejos de amplificación y desamplificación para los movimientos de tierra de baja frecuencia. Mientras que el material de suelo de poca profundidad afecta mayormente a componentes de alta frecuencia del movimiento sísmico (Stein, 2003).

Los factores asociados a condiciones naturales que controlan el movimiento del suelo son (Astroza & Schmidt, Capacidad de deformación de muros de albañilería confinada para distintos niveles de desempeño, 2004):

- La fuente sismogénica (tipo A, B, C o D) (ver: Figura 3.4)
- La magnitud del evento (energía liberada).
- La distancia del lugar a la fuente sismogénica (epicentro, propagación de falla).
- El tipo de depósito geológico donde se ubica la construcción.
- La topografía del lugar.
- Las propiedades del suelo sobre el cual se apoya la fundación de la estructura.
- La profundidad del nivel freático.

Álvarez (2001), define tres aspectos principales del terreno de influencia al movimiento sísmico:

1. Las propiedades geológicas y dinámicas del material de emplazamiento.
2. La topografía superficial.
3. La composición y dirección de la radiación incidente en la base rocosa.

Estos tres aspectos antes mencionados, pueden causar una variación en las amplitudes máximas y duración del movimiento del suelo, generando una gran variabilidad en lugares próximos entre sí.

La siguiente figura muestra los lugares donde existen construcciones de obras marítimas y portuarias en el territorio chileno, clasificados según su tipo de suelo (ver: Figura 3.7).

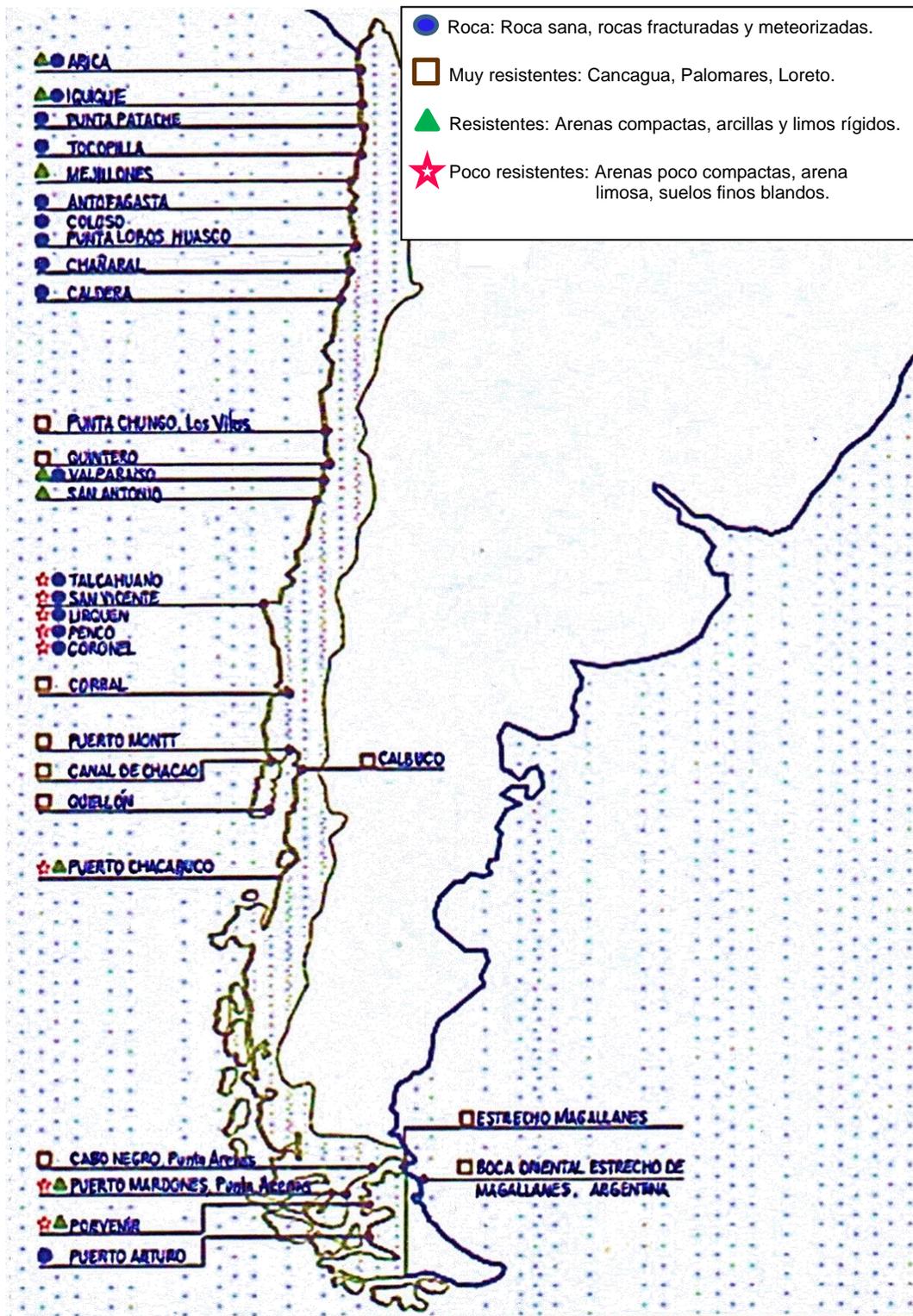


Figura 3.7: Zonificación de Chile por tipo de suelo.

FUENTE: MODIFICADO DE: "LA GEOTECNIA EN OBRAS PORTUARIAS", JOSÉ VEIGA. GEOVENOR, 2008.

3.3.2. TSUNAMIS

津波 Tsunami es una palabra japonesa que significa 'puerto' (tsu) y 'ola' (nami), siendo su traducción literal 'ola en el puerto'. Puede ser una ola o una serie de olas gigantes causadas por terremotos o erupciones volcánicas submarinas, deslizamientos de tierra o incluso el impacto de meteoritos. El tectonismo es el causante de cerca del 96% de tsunamis registrados, las erupciones submarinas cerca del 3%, y el 1% restante corresponde a deslizamientos del talud continental. Estos tsunamis de origen tectónico, son generados cuando el fondo marino se deforma de manera abrupta, desplazando verticalmente el agua suprayacente. Cuando se producen estos terremotos bajo el mar, el agua por encima de la zona deformada se desplaza de su posición de equilibrio formando olas, que son influenciadas por la gravedad tratando de reestablecer su equilibrio (ver: Figura 3.8) (Levin & Nosov, 2009).

A grandes profundidades, las olas del tsunami no aumentan considerablemente su altura, pero a medida que estas olas se acercan a la costa (zonas de menor profundidad) aumentan gradualmente. La velocidad de las olas de tsunami depende de la profundidad del océano, pudiendo ser calculada como la raíz cuadrada del producto entre la fuerza de gravedad y la profundidad. Se estima que la profundidad media del Océano Pacífico es de 4.000 metros, lo que da una velocidad media de 700km/hr para una onda de tsunami, con una longitud de onda que normalmente supera los 100km y con períodos que oscilan entre 20 y 60 minutos. Además, debido a la pequeña altura de cresta (amplitud de onda) que posee, se vuelve un fenómeno difícil de detectar y monitorear (CGM, 2015).

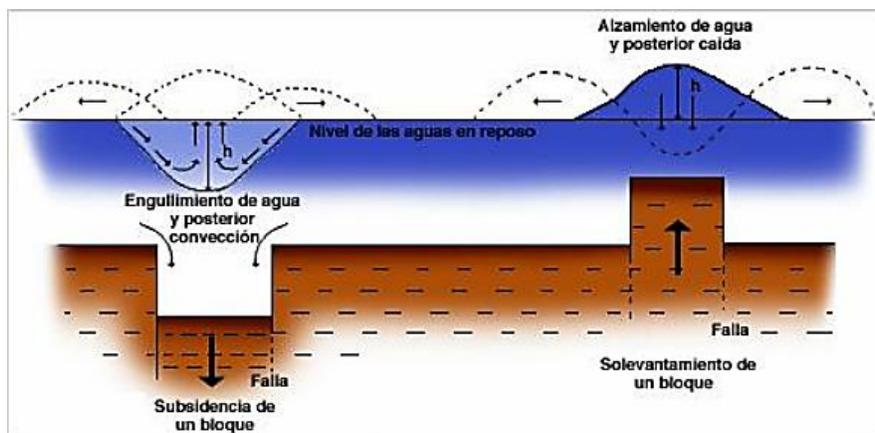


Figura 3.8: Generación de tsunami por terremoto submarino.

FUENTE: (MetEd, 2015)

Al aproximarse las ondas de tsunami, a aguas poco profundas, son transformadas por fenómenos de refracción, disminuyendo su velocidad y longitud de onda, aumentando a su vez su altura. La energía de las olas de tsunami se mantiene casi constante en su recorrido, de manera que, al llegar a zonas de menor profundidad, su energía cinética se transforma en energía potencial aumentando su altura considerablemente (ver: Figura 3.9) y alcanzando alturas de 6 o 7 metros, pero pudiendo llegar a alcanzar alturas sobre los 20 metros.

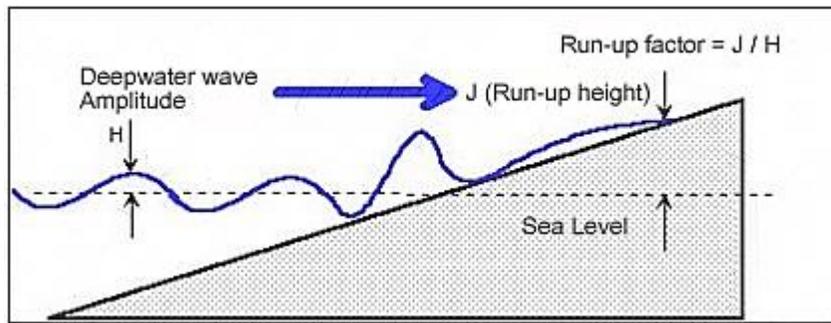


Figura 3.9: Amplitud de tsunami, altura de run-up y factor de run-up.

FUENTE: SMS TSUNAMI WARNING.

La generación de tsunamis dependerá entonces de:

- La magnitud del terremoto.
- La distribución de la zona de ruptura.
- La orientación de la zona de ruptura.
- Las dimensiones de la ruptura.
- La ubicación del epicentro.
- El desplazamiento vertical.

El término tsunamigénico, se refiere a los terremotos que se producen en zonas de subducción de placas tectónicas dadas en las fronteras de las placas continentales, como la Cuenca del Océano Pacífico, que se superpone con el Cinturón de Fuego del Pacífico, donde suelen generarse tsunamis (ver: Figura 3.10).



Figura 3.10: Cinturón de Fuego del Pacífico (línea roja).

FUENTE: (MetEd, 2015).

Los tsunamis son una de las principales amenazas por riesgo de desastre para toda la infraestructura y comunidades ubicadas en la costa chilena. La probabilidad de que se produzca un tsunami importante depende de sus características, como área de ruptura y magnitud del sismo, la cual en general se considera debe ser de magnitud mayor a 7.5M_w.

En Chile, se registran más de 30 sismos por sobre esta magnitud, que han posibilitado el desarrollo de tsunamis, habiéndose registrado a la fecha alrededor de 35 tsunamis en las costas de Chile (CSN, 2013).

Las consecuencias de un tsunami son diversas, dependiendo de sus características, por ejemplo, una ola de tsunami de período corto llega a tierra con una fuerte corriente, en cambio, una ola de tsunami de período largo, provoca una inundación lenta con poca corriente. Además, mientras mayor sea la altura de ola, mayor será la energía acumulada, lo que causaría una mayor inundación al llegar a tierra, pero siempre bajo las condiciones del terreno, como su pendiente y morfología. Mientras mayor sea la pendiente de la ola, es decir, la razón entre su altura y longitud de onda, mayor será la altura máxima de inundación. Además, las características batimétricas propias del sector costero, como su forma y pendiente, tienen la capacidad de amplificar o atenuar las ondas de tsunami, influyendo directamente en su potencial de energía. Por ejemplo, una batimetría escalonada con bruscos cambios de pendiente, causará que las olas de tsunami vayan disipando su energía cinética de manera gradual, y por ende su energía potencial, producto de las turbulencias y roce del agua con el fondo marino por los bruscos cambios de profundidad. Mientras que una batimetría con suaves pendientes, es decir, sin cambios bruscos en su profundidad, permitirá una casi plena transmisión de energía del tsunami, incrementando su poder destructivo (CGM, 2015).

En las bahías suele darse el fenómeno de reflexión, donde una onda puede ser reflejada a ambos lados de la bahía generando que se propaguen nuevamente a otro punto de la costa, produciendo una concentración de energía en el fondo de dicha bahía. Condición que causa una amplificación de las alturas del tsunami (CGM, 2015), como se registró en la Bahía de Concepción producto del terremoto y tsunami del 27F.

La fuerza destructiva del tsunami en áreas costeras, depende de la combinación de los siguientes factores:

- Magnitud del fenómeno que lo induce. En el caso de ser un sismo submarino se debe considerar la magnitud y profundidad de su foco.
- Influencia de la batimetría en la propagación del tsunami.
- Distancia a la costa desde la zona donde se genera el fenómeno.
- Configuración de la línea de costa.
- Influencia de la orientación del eje de una bahía respecto al epicentro (características direccionales).
- Presencia o ausencia de corales o rompeolas, y el estado de la marea al tiempo de la llegada del tsunami, y
- La influencia de la topografía en la superficie, incluye pendientes y grado de rugosidad derivado de construcciones, árboles y otros obstáculos en tierra.

En los bordes costeros de las bahías, puede darse el fenómeno de reflexión, si la frecuencia de onda coincide con la frecuencia de resonancia natural, la energía de la onda se amplifica a través de la interferencia constructiva. En los cuerpos de agua cerrados, esto se llama *seiche* y se originan cada vez que la frecuencia de onda es igual o un múltiplo de la frecuencia natural de la resonancia. Bajo estas condiciones, se puede producir la amplificación de las alturas de ondas del tsunami al interior de una bahía, como ocurrió en la Bahía de Concepción producto del terremoto del 27F (Burgos, Catalán, & Cienfuegos,

2011). La Figura 3.11 muestra la Bahía de Concepción encerrada por un rectángulo de 11.7km de ancho por 14.6km de largo, y que además posee una profundidad media de 25m. A 25m de profundidad, la velocidad del tsunami correspondería a 56.3 km/hr ($V_{tsu} = \sqrt{gh}$), por lo cual la onda de tsunami tardaría aproximadamente 15.5 minutos en recorrer el largo de la bahía y 12.5 segundos el ancho de ella (CGM, 2015).

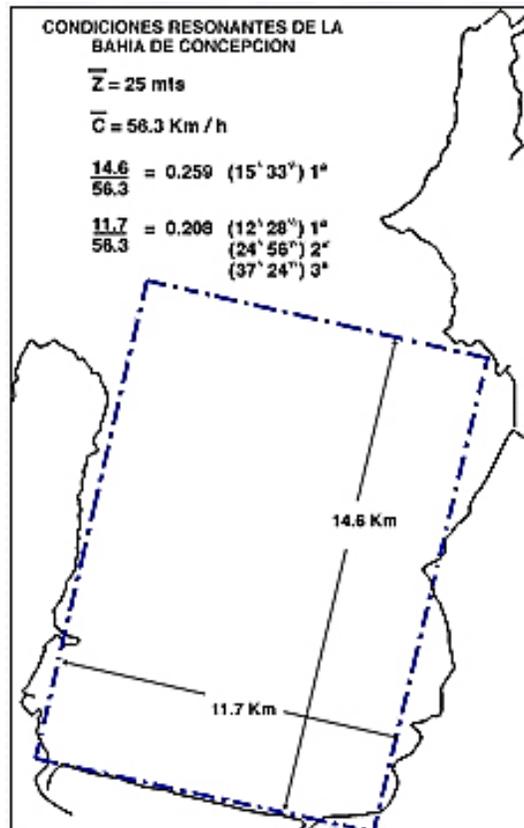


Figura 3.11: Condiciones resonantes de la Bahía de Concepción.

FUENTE: SHOA, 1995

La magnitud de un tsunami corresponde a un número empleado para comparar la envergadura de tsunamis generados por distintos terremotos. Se calcula a partir del logaritmo de la amplitud máxima del tren de ondas del tsunami, y que se mide a través de un sensor de mareas ubicado a una cierta distancia de la fuente del tsunami. Diversos investigadores han propuesto métodos para estimar la magnitud de un tsunami mediante escalas de grados de intensidad, Inamura (1949), Iida (1963), Soloviev (1970), Wiegel (1970) y Murty (1977).

En 1949, Inamura propuso una escala en función de la altura de ola y los daños que éstas causan en áreas costeras (ver: Tabla 3.6). Posteriormente, Iida (1963) propuso una escala de grados de tsunamis, relacionando los valores de magnitud con los niveles máximos de run-up, y la energía para diferentes grados de tsunamis (ver: Tabla 3.7).

Tabla 3.6: Escala de grados de tsunami según Inamura.

Grado de tsunami <i>m</i>	Altura de ola H (metros)	Descripción de los daños
0	1 – 2	No produce daños.
1	2 – 5	Casas inundadas y botes destruidos son arrastrados.
2	5 – 10	Hombres, barcos y casas son barridas.
3	10 – 20	Daños extendidos a lo largo de 400 km de la costa.
4	> 30	Daños extendidos sobre más de 500 km a lo largo de la costa.

FUENTE: CURSO GEOGRAFÍA DEL MAR PUC.

Tabla 3.7: Escala de grados de tsunami según lida.

Grado de tsunami <i>m</i>	Energía (Erg.)	Máxima altura de inundación R (metros)
5.0	25.6×10^{23}	> 32
4.5	12.8×10^{23}	24 - 32
4.0	6.4×10^{23}	16 - 24
3.5	3.2×10^{23}	12 - 16
3.0	1.6×10^{23}	8 - 12
2.5	0.8×10^{23}	6 - 8
2.0	0.4×10^{23}	4 - 6
1.5	0.2×10^{23}	3 - 4
1.0	0.1×10^{23}	2 - 3
0.5	0.05×10^{23}	1.5 - 2
0.0	0.025×10^{23}	1 - 1.5
-0.5	0.0125×10^{23}	0.75 - 1
-1.0	0.006×10^{23}	0.50 - 0.75
-1.5	0.003×10^{23}	0.30 - 0.50
-2.0	0.0015×10^{23}	< 0.30

FUENTE: CURSO GEOGRAFÍA DEL MAR PUC.

Más tarde, Wiegel (1970) combinó las escalas presentadas por Inamura e lida, como se muestra en la Tabla 3.8. Para esto, Wiegel añadió el nivel máximo de run-up (R) propuesto por lida a la escala de Inamura, adaptándolo por medio de intervalos discontinuos, debido a que la escala de lida contenía medios grados, y se extendía desde $m=-2$ hasta $m=5$.

Tabla 3.8: Escala de grados de tsunami según Inamura e lida, transcrita por Wiegel.

Grado tsunami m	Altura de la ola H (metros)	Cota máxima de inundación R (metros)	Descripción de los daños
0	1 - 2	1 - 1.5	No produce daños.
1	2 - 5	2 - 3	Casas inundadas y botes destruidos son arrastrados.
2	5 - 10	4 - 6	Hombres, barcos y casas son barridos.
3	10 - 20	8 - 12	Daños extendidos a lo largo de 400 km de la costa.
4	> 30	16 - 24	Daños extendidos sobre más de 500 km a lo largo de la línea costera.

FUENTE: CURSO GEOGRAFÍA DEL MAR PUC.

Sin embargo, Soloviev (1970) señaló la inadecuación del término “magnitud de tsunami”, como se utilizó anteriormente, exponiendo: “*Si la terminología sismológica es aplicada a la descripción de los tsunamis, los grados de la escala de Inamura-lida deben ser designados como la intensidad del tsunami y no su magnitud. Esto se debe a que el último valor debe caracterizar de forma dinámica los procesos en el origen del fenómeno y el primero que debe caracterizarlo en algún punto de observación... el punto incluido a la fuente más cercana.*” La siguiente escala de intensidad de tsunami es la presentada por Soloviev (1978):

Tabla 3.9: Escala de intensidad de tsunamis propuesta por Soloviev.

Intensidad	Altura de run-up (m)	Descripción del tsunami
I	0.5	<i>Muy débil.</i> Ola tan débil, que será perceptible sólo en los registros de mareógrafos.
II	1	<i>Débil.</i> Olas vistas por las personas que viven a lo largo de la costa y que están familiarizadas con el mar.
III	2	<i>Un poco grande.</i> Generalmente percibida. Inundación en costas de pendiente suave. Botes ligeros arrastrados a tierra. Leves daños en las estructuras de material ligero ubicadas cerca de la costa. En estuarios, se da una reversión del flujo del río hasta una cierta distancia aguas arriba.
IV	4	<i>Grande.</i> Inundación de la costa hasta una profundidad determinada. Lavado ligero del suelo. Terraplenes y diques dañados. Estructuras ligeras dañadas cerca de la costa. Veleros grandes y barcos pequeños son arrastrados tierra adentro o mar adentro. Costas llenas de escombros flotantes.
V	8	<i>Muy grande.</i> Inundación general de la costa hasta una profundidad determinada. Muelles y otras grandes estructuras cerca del mar son dañadas. Estructuras ligeras destruidas. Severa erosión en tierras de cultivo y basura esparcida en la costa, como objetos flotantes, peces y otros animales marinos. A excepción de los grandes buques, todas las embarcaciones son arrastradas tierra adentro o mar adentro. Se dan grandes olas en estuarios. Las obras del puerto son dañadas. Las olas son acompañadas por un fuerte rugido, y hay personas ahogadas.
≤ VI	16	<i>Desastroso.</i> Destrucción parcial o completa de estructuras hechas por el hombre a una cierta distancia de la orilla. Inundaciones costeras con grandes profundidades. Los barcos grandes son severamente dañados. Los árboles son arrancados o rotos por las olas. Muchas víctimas.

FUENTE: MODIFICADO DE SOLOVIEV (1978).

Los daños más comunes ocasionados por un tsunami, pueden ser clasificados en tres tipos (CGM, 2015):

- 1) *Daños causados por el impacto del flujo.* Este daño se produce cuando el gran volumen o masa de agua del tsunami, que es acompañado de una fuerte corriente, impacta de lleno sobre el terreno, como construcciones, árboles u otros elementos. Este impacto es una manifestación de la gran capacidad destructiva de un tsunami, embate que se ve incrementado por la colisión de todo el material que arrastra la corriente. Al momento que la masa de agua retorna al mar, todo este desecho de material arrastrado aumenta la fuerza de arrastre del flujo vaciante, provocando que las estructuras que fueron debilitadas en la primera embestida terminen de ser destruidas. A veces, esta intensidad del momento de flujo puede ser lo suficientemente elevada, como para arrastrar grandes buques tierra adentro. Cabe destacar, que este es un tipo de daño se ve incrementado en las bahías o fiordos, cuando son golpeadas por tsunamis de período corto.
- 2) *Daños causados por la inundación.* Ante un flujo de menor intensidad, la inundación gradual causa la flotación de toda obra o elemento que no esté bien sujeto a su base. Las vastas extensiones de terrenos planos, permiten que la masa de agua penetre libremente hacia el interior, y que, además, si consta de cambios de pendiente hará que el flujo de agua varíe su aceleración, causando el barrido del material que se encuentre a su paso.
- 3) *Daños causados por socavón.* Son daños que se dan comúnmente en estructuras portuarias. Aledaño a la costa, la corriente de flujo del tsunami causa la remoción del material del fondo del mar, como arena y fango, pudiendo socavar los cimientos de las estructuras costeras, como puertos, muelles, muros de contención, entre otros. De acontecer esto, las estructuras afectas pueden colapsar, derrumbándose hacia el mar, como se ha registrado en muelles pilotados. Este colapso, también puede suceder cuando la corriente de refluo socava los cimientos. Asimismo, esta inundación puede causar que el tsunami socave los cimientos de líneas férreas o carreteras, provocando una interrupción del tráfico, dificultad en los rescates, y extensos trabajos de reconstrucción.

3.4. RIESGOS INFRAESTRUCTURALES

La información infraestructural es la base para poder cuantificar el impacto potencial que pueda tener un evento natural sobre las actividades de desarrollo, por ejemplo, los antecedentes recopilados sobre infraestructura portuaria son elementos críticos, que permiten evaluar las vulnerabilidades e iniciar labores de preparación y de respuesta ante un desastre (Cardona & Barbat, 2000).

Además, es necesario conocer las características físicas propias de la zona, por ejemplo, pendientes y estabilidad, profundidad, calidad de suelos, entre otros, lo que proporciona una base para poder estimar los efectos que pueda tener un evento natural en la infraestructura bajo estudio, y que además permiten conocer la manera en que ciertos factores alteran, modifican, aceleran y/o retardan los efectos del fenómeno natural (Moreno & Bairán, 2010).

Los estudios sobre los daños causados por tsunamis han demostrado que la supervivencia de la estructura varía según el tipo de construcción y la altura de runup del tsunami (Yeh, Robertson, & Preuss, 2005).

Los sismos suelen causar daños a las obras civiles, ya sea por el movimiento del suelo, o bien por otros fenómenos que un terremoto puede desencadenar, tsunamis, licuación de suelos, deslizamientos, etc. Los sismos de mayor intensidad, suelen producir daños estructurales en pilares, como grietas diagonales, provocadas por esfuerzo cortante o torsión, o grietas verticales, causando que el material de recubrimiento se desprenda. Además, la sobrecarga por esfuerzos de flexocompresión, produce que las barras longitudinales se pandeen y el hormigón se comprima. En las vigas, suelen originarse grietas diagonales y verticales, rotura en los estribos y refuerzos longitudinales debido a esfuerzos cortantes o torsión, y aplastamiento del hormigón producto de la flexión por cargas alternadas.

Los puntos de unión entre los elementos estructurales son usualmente los puntos más propensos a fallar. En estas uniones (viga-pilar), el esfuerzo cortante genera grietas diagonales, además es común notar fallas por la conexión y anclaje de los refuerzos longitudinales de las vigas debido a su insuficiente elaboración o bien por un exceso de esfuerzos por flexión. Las losas, son otros de los principales elementos estructurales en que suelen registrarse daños, en ellas suelen producirse grietas por efectos de una carga directa excesiva (punzonamiento) en torno a los pilares, además de producirse grietas longitudinales a través de la losa del piso, como consecuencia de una excesiva demanda por flexión inducida por el sismo (Cardona & Hurtado, 1995).

El comportamiento sísmico de las estructuras portuarias es un tema recientemente estudiado, diversos investigadores han aportado con sus observaciones y análisis que han sido documentados en la literatura (Dash, Monda, Rai, Jain, & Kaushik, 2008; Mahoney, Francis, & Kennard, 2008; Dash, Govindaraju, & Bhattacharya, 2009; Ingham, Wotherspoon, Hogan, & Bilel, 2010; Lekkas, Andreadakis, Alexoudi, Kapourani, & Kostaki, 2012) evidenciando patrones recurrentes y corroborando que la interacción suelo-estructura es un factor de importancia crítica.

Debido a todos estos antecedentes registrados, es que países como Inglaterra, Japón, Estados Unidos y España entre otros, han desarrollado guías y recomendaciones para el diseño de estructuras portuarias considerando efectos sísmicos, incorporando criterios de daños, como curvas de fragilidad, y procedimientos de análisis con metodologías establecidas. Sin embargo, aunque existen estas recomendaciones de diseño estructural para puertos, los efectos sísmicos en distintas estructuras portuarias presentan un notable comportamiento aleatorio, producto de las características propias del suelo en que se encuentran fundadas.

En una investigación realizada por Cardona y Hurtado (1995), expusieron algunos de los distintos métodos que se utilizan para clasificar el daño, en el ámbito de la evaluación sísmica de la vulnerabilidad urbana en términos de capacidad y demanda de absorción de energía, lo que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3.10: Diferentes métodos de calificación para caracterización de daño.

Método	Clasificación de daño	Descripción
Park, Ang y Wen (1987)	NINGUNO	Fisuras menores localizadas.
	MENOR	Fisuras menores generalizadas
	MODERADO	Agrietamientos localizados en el concreto.
	SEVERO	Agrietamiento del concreto y exposición de las barras de refuerzo.
	FUERTE	Aplastamiento del concreto y exposición de las barras de refuerzo.
Stone y Taylor (1993)	SIN DAÑO O DAÑO MENOR	
	REPARABLE	
	IRREPARABLE	
	COLAPSO	
EERI (1994)	NINGUNO	Sin daño.
	LEVE	Daño menor no estructural, el edificio puede abrirse en menos de una semana.
	MODERADO	En su mayoría daño no estructural y pocos daños estructurales. El edificio puede ser reabierto en tres meses, se presenta riesgo menor de pérdida de vida para los ocupantes.
	FUERTE	Daño estructural generalizado. El edificio puede estar cerrado por largo tiempo, es posible que sea necesaria su demolición, se presenta un alto riesgo de pérdida de vida para los ocupantes.
	TOTAL	Colapso parcial o total, daño irreparable. Se presenta un riesgo muy alto de pérdida de vida para los ocupantes.
EERI (1996)	NINGUNO	Sin daño.
	LEVE	Solamente daño no estructural, el costo de las reparaciones es menor al 5% del valor de la venta del edificio.
	MODERADO	Daño no estructural considerable y daño estructural leve. Los costos de reparación son menores al 25% del valor de la venta del edificio.
	FUERTE	Daño estructural considerable, daño no estructural fuerte. Los costos de reparación son menores al 50% del valor de venta del edificio.
	SEVERO	Es más económico demoler que reparar.
	TOTAL	Colapso estructural.

FUENTE: (Cardona & Hurtado, 1995).

3.4.1. CARGAS EN ESTRUCTURAS PORTUARIAS

A diferencia de las diversas construcciones que pueden estar en una zona vulnerable a tsunamis, las obras portuarias siempre se encuentran en la zona de más alto impacto ante un evento de este tipo, por lo cual, debido a la envergadura de este tipo de construcción, debieran siempre contemplarse los fenómenos de sismos y/o tsunamis desde su etapa de pre-diseño. Además, debido a su alto costo, siempre se intenta minimizar las pérdidas tanto estructurales, como la de su mercancía, razón por la cual, su diseño y construcción juega un papel crítico en el rendimiento de las estructuras portuarias ante un tsunami.

Las estructuras portuarias, se encuentran sometidas a diversas y complejas cargas, ya sean provenientes del mismo muelle, del lado marino o del lado terrestre. A continuación, se presenta un esquema de las cargas características a las que se encuentra sometido un muelle propuesto por Thoresen (2003):

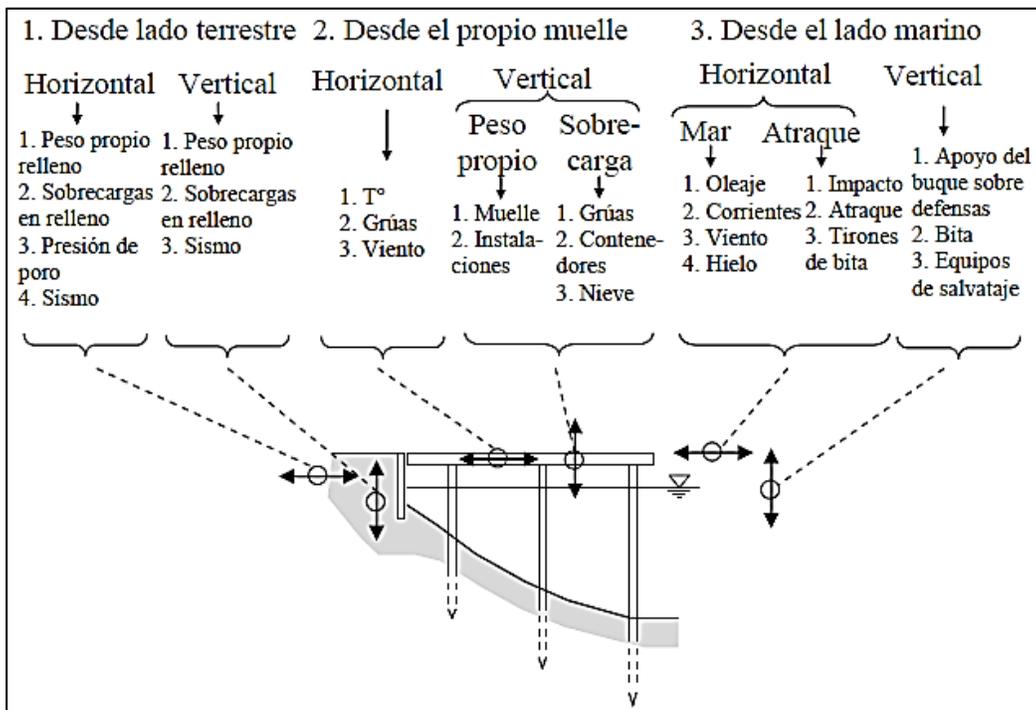


Figura 3.12: Cargas características en un muelle.

FUENTE: (Brunet, 2012).

La capacidad de respuesta que tengan las estructuras al movimiento del suelo, dependerá de factores que se definen en la etapa conceptual del proyecto, relacionados a las características propias de la estructura (Astroza & Schmidt, 2004), como lo son:

- El tipo de construcción (Material y refuerzos).
- La integridad global y local de la estructura (unión entre elementos de refuerzos).
- La configuración arquitectónica y estructural de la construcción.
- Propiedades dinámicas de la estructura (masa, rigidez, amortiguamiento).
- Ubicación de los contenidos y elementos arquitectónicos a lo alto de una estructura.
- Mantención o conservación.

3.5. LA INFRAESTRUCTURA PORTUARIA EN CHILE

El sistema portuario chileno está conformado por 56 puertos, de los cuales 24 son de uso público y 32 de uso privado. Los puertos de uso público ofrecen principalmente servicios de infraestructura (sitios de atraque, acopio y bodegaje) y servicios especializados (procesos de embarque, recepción, acopio y desacopio de cargas, porteo, desembarco, descarga, agenciamiento, entre otros) a cualquier solicitante que los requiera. Cabe mencionar, que, de estos 24 puertos comerciales de uso público, 10 son de propiedad estatal y 14 de propiedad privada, como se aprecia en la Figura 3.13).



Figura 3.13: Puertos de uso público.
(En rojo las empresas estatales y azul las empresas privadas)
 FUENTE: (MOP, Sistema portuario de Chile, 2005).

Por otro lado, los 32 puertos de uso privado proporcionan servicios específicos vinculados a las labores que desarrollan determinadas empresas, debido a la dificultad que les conlleva transportar grandes volúmenes de carga, como en el caso de la minería y refinados. De los 32 puertos privados en Chile, 15 corresponden a puertos mineros y 17 a puertos petroleros, los que se presentan en la siguiente figura (ver: Figura 3.14):

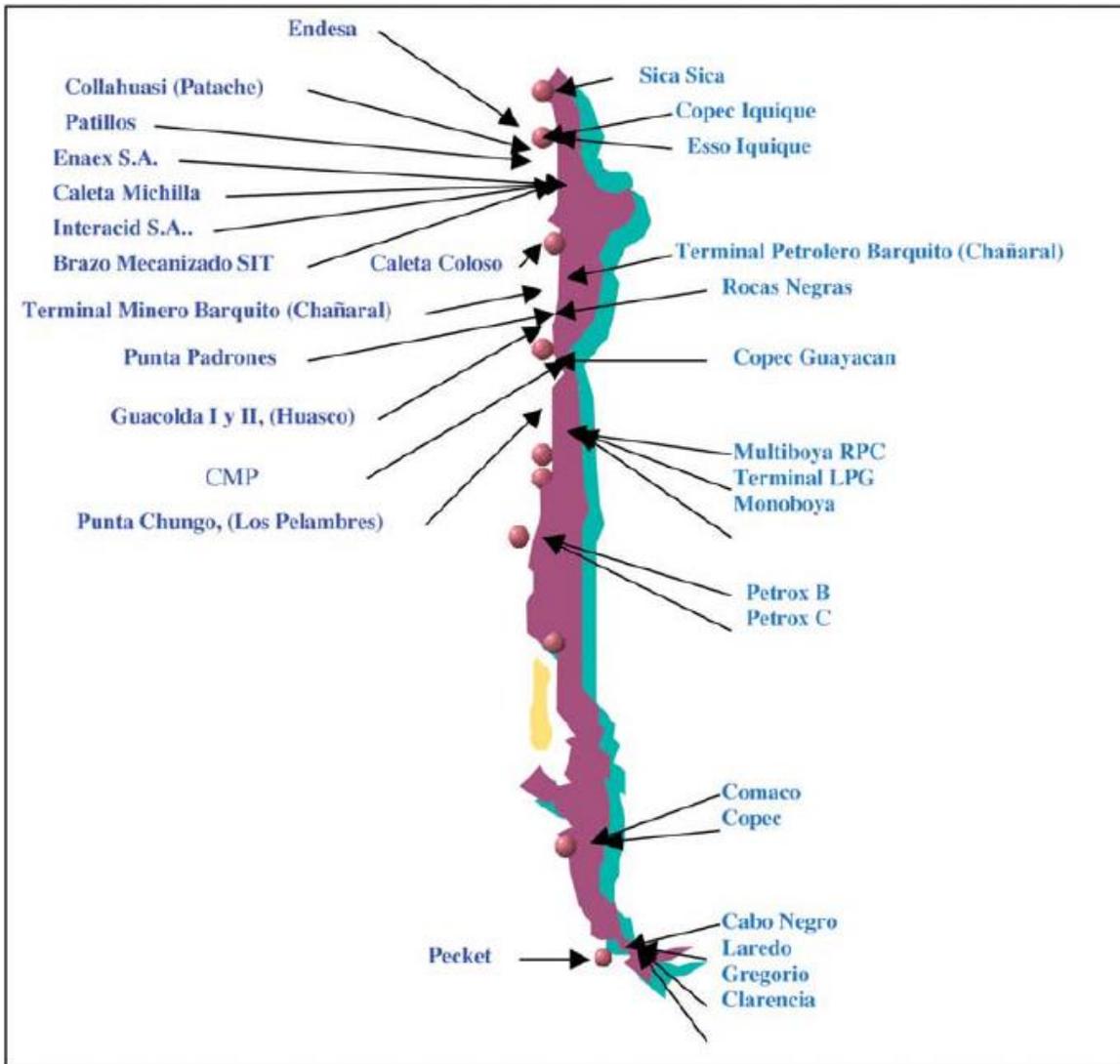


Figura 3.14: Puertos de uso privado.

A la izquierda los puertos mineros (en azul) y a la derecha los puertos petroleros (en celeste).

FUENTE: (MOP, Sistema portuario de Chile, 2005).

Las estructuras portuarias en Chile se pueden clasificar en dos tipos; de tipo abierta (en base a pilotes) y de tipo cerrada (estructura maciza adyacente a línea de costa), tal como se muestra en la Figura 3.15.

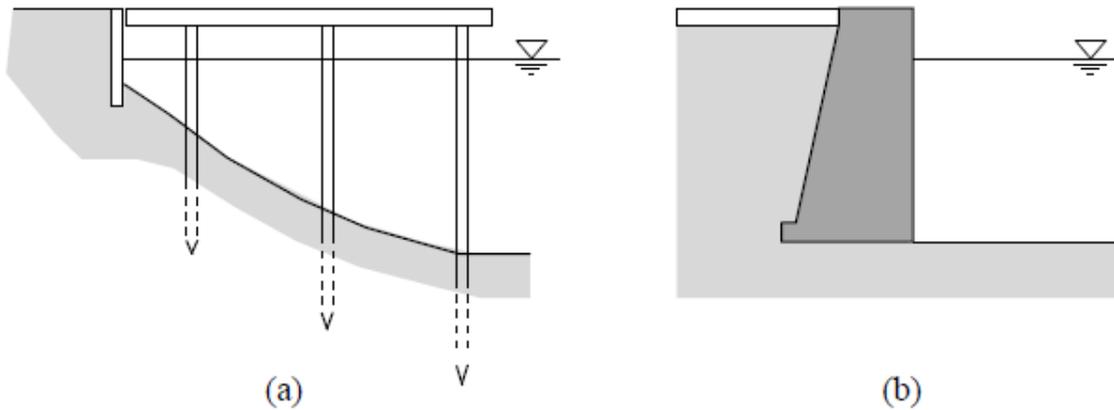


Figura 3.15: a) Estructura tipo abierta; b) Estructura tipo cerrada.

FUENTE: (Brunet, 2012).

Las estructuras de tipo cerrada cuentan con un mayor volumen de suelos de relleno, volviéndose más vulnerables a eventos sismo tsunamigénicos, registrando mayores daños por fenómenos de licuación y desplazamiento lateral (Brunet, 2012).

En general, las estructuras portuarias en Chile son de tipo abiertas, es decir, muelles pilotados, ya sean muelles marginales (sitios de atraque paralelos a la costa) o muelles perpendiculares (sitios de atraque perpendiculares a la costa) (ver: Figura 3.16). Estos muelles pueden ser de hormigón armado o bien de marcos de acero con tuberías o cintas transportadoras, según su propósito. Por otra parte, las estructuras del tipo cerradas son comúnmente hechas como muros de contención y muros sobre pilotes.



Figura 3.16: Tipos de muelle: a) Muelle marginal; b) Muelle perpendicular.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

4. METODOLOGÍA

El proyecto de título se enmarca en la elaboración de un Plan de Continuidad de Negocios (BCP por su sigla en inglés), el cual busca obtener una herramienta que permita acelerar el proceso de toma de decisiones para retomar el normal desarrollo de las actividades del puerto, luego de un evento de terremoto y/o tsunami. Para esto, es fundamental identificar y analizar las amenazas potenciales y cuál es el impacto que podrían tener en el negocio portuario, siendo necesario realizar una evaluación y análisis de la fragilidad de los recursos y del nivel de impacto que pueda tener, ante la ocurrencia de la amenaza identificada.

Uno de estos recursos críticos es el muelle, el que puede ser afectado tanto por el terremoto, como por el tsunami. Debido a esto, una de las primeras acciones, fue elaborar una caracterización infraestructural de los puertos de la Octava Región, para luego realizar una estimación empírica de las vulnerabilidades detectadas, mediante una matriz cualitativa de impacto, que permita establecer las bases metodológicas para la generación de curvas de fragilidad en puertos de Chile y en primera instancia para el Puerto de Iquique.

El siguiente esquema resume la metodología utilizada para el desarrollo de este proyecto de título (ver: Figura 4.1: Esquema de metodología utilizada.):

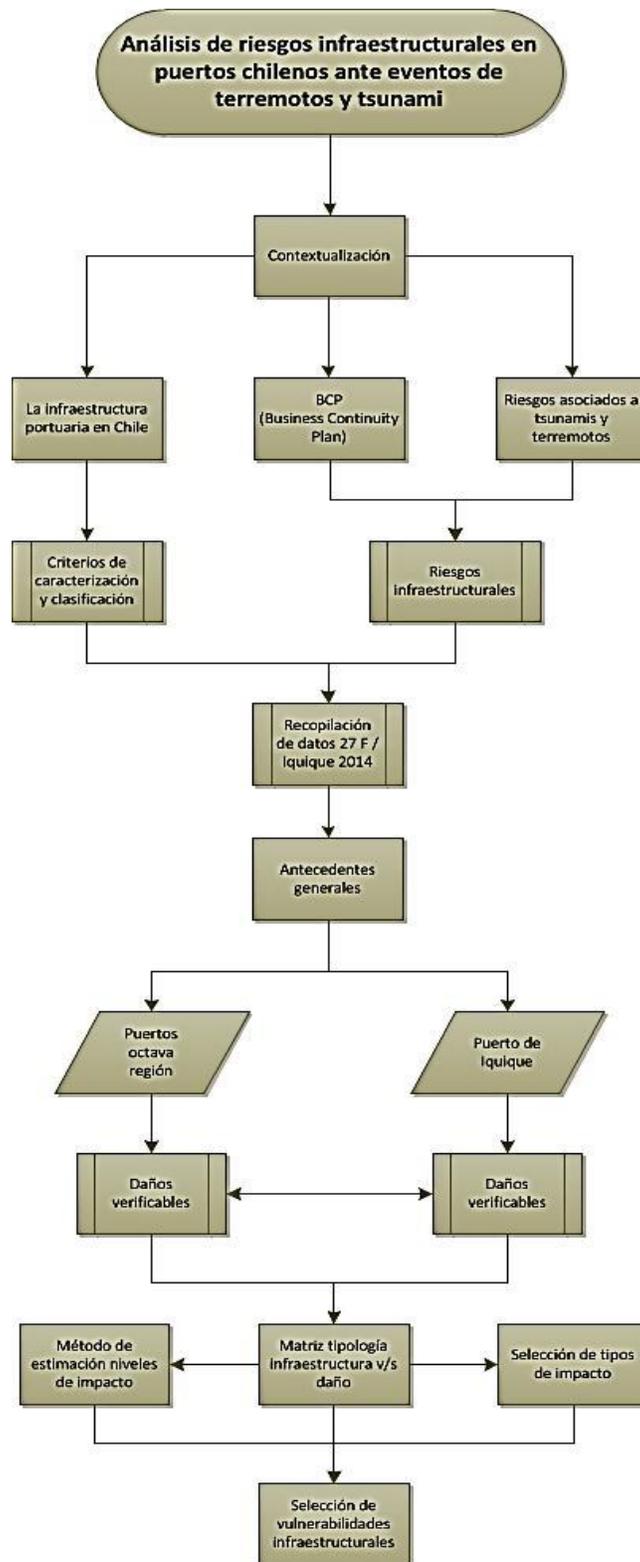


Figura 4.1: Esquema de metodología utilizada.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

El primer paso, consistió en la recopilación de información tanto pública como privada sobre los puertos (estatales y privados) de la Octava Región del Bío-Bío y del Puerto de Iquique. El principal organismo facilitador de esta información fue la Dirección de Obras Portuarias perteneciente al Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile. Además, se indagó en otras fuentes de índole privada para complementar la información adquirida, referente a puertos privados.

Posteriormente, se clasificó y organizó la información recopilada para facilitar su análisis y la elaboración de los esquemas a presentar. En este punto se revisaron planos tanto físicos, como digitales, para clasificar los tipos de estructuras portuarias y contrastarlas con la información escrita. De esta forma, se llevó a cabo una clasificación de la infraestructura portuaria, identificándose las zonas de mayor importancia, sus fines operativos y configuración portuaria con una breve descripción de las características geográficas propias del lugar de emplazamiento de cada puerto.

Luego se describe el evento del 27 de febrero de 2010 y los daños que este produjo en los puertos analizados de la Octava Región, información que se presenta mediante registros fotográficos y escritos. Para facilitar su análisis, estos daños fueron clasificados mediante tablas de resumen donde se diferencian los daños estructurales de los no estructurales (equipamiento), y se sectoriza la infraestructura portuaria según su tipología y uso. El mismo procedimiento se aplicó al Puerto de Iquique y los daños registrados producto del terremoto del 1° de abril de 2014.

Con esta información se generó una matriz de infraestructura versus daños, que resume todos los tipos de daños observados y los clasifica según su causa y la zona donde se produjo. Así, teniendo clasificadas las estructuras analizadas según su tipología, características geométricas, diseño constructivo y su importancia en cuanto al uso dentro del sistema, se desarrolló una matriz de niveles cualitativos de impacto. La metodología utilizada para su elaboración, se basó principalmente en observaciones de campo complementadas con la opinión de expertos en el área de diseño, análisis y anomalías estructurales. Con ello, se han elaborado formularios de inspección, que permiten registrar los daños observados y relacionarlos a un cierto nivel de daño. Cabe destacar que esta metodología, basada en observaciones de campo, es útil para evaluar de manera global la infraestructura con características similares, pero no es suficientemente precisa para evaluar una estructura en particular.

La matriz de riesgo se utiliza para identificar, evaluar y clasificar los riesgos en la infraestructura portuaria. El nivel de riesgo depende de la probabilidad de ocurrencia ante el escenario de peligro adoptado y el nivel de severidad que este tenga. El índice de probabilidad ha sido estimado de manera cualitativa, según los criterios establecidos por Reyes (2013), como “Severo”, “Serio”, “Moderado”, “Menor” y “Despreciable”, permitiendo evaluar cuán factible es que se produzcan efectos negativos, dependiendo de las condiciones y circunstancias propias del escenario de peligro.

La severidad de las consecuencias (nivel de daños), depende del sistema amenazado que se esté analizando y la manera en que los receptores puedan verse afectados. En el caso de la seguridad de las personas, éstas pueden sufrir lesiones o incluso morir, por causa de accidentes en las instalaciones (caída de maquinaria o contenedores) o fallas importantes en la infraestructura (colapso de muros de contención, colapso de losas de hormigón

armado, etc.). Otro tipo de receptor que puede verse afectado, es el medio ambiente, como su flora y fauna, zonas de cultivo y actividades económicas, etc.

Al combinar los factores de probabilidad de ocurrencia y niveles de daño, se obtiene una matriz de riesgo, que es una tabla de entrada doble, donde por cada combinación de los factores (Probabilidad de ocurrencia y Niveles de daño), se obtiene un valor único de magnitud del riesgo. Es razonable que mientras mayor sea la probabilidad del escenario de peligro y más significativas sus consecuencias, mayor será la magnitud del riesgo asociado a ese escenario en particular. Por el contrario, el riesgo será de menor magnitud, mientras menor sea la probabilidad de ocurrencia y menor sea la severidad de sus consecuencias (SERNAGEOMIN, 2008).

Así, la aplicación de la Matriz de Riesgos, permite evaluar los escenarios de peligro adoptados, ya sea por terremoto y/o tsunami, y clasificarlos según su probabilidad y severidad de sus consecuencias.

Para definir los niveles de daño: 'Despreciable', 'Menor', 'Moderado', 'Serio' y 'Severo' por cada tipo de impacto: 'Infraestructural', 'Operacional' y 'Activos', se utilizó la información previamente clasificada, empírica y cualitativamente, definiéndose los niveles de daño para el tipo de impacto 'Infraestructural'. Mientras que en el aspecto 'Operacional', los niveles fueron definidos en base al tiempo que le tomó a cada puerto reanudar sus operaciones. Finalmente, en tipo de impacto 'Activos', se analizaron los costos de reparación de cada puerto contrastándolos con la información de daños registrada en cada uno de ellos.

Cabe mencionar que el nivel 'Despreciable' se reservó para cuando no se hubiesen registrado daños en la infraestructura, ni daños significativos en el equipamiento y/o maquinaria, que imposibilitara el accionar normal del puerto, y que no haya implicado costos importantes de reparación. Así, las consecuencias son más graves en la medida que incrementa la severidad de los daños a la infraestructura y aumente el tiempo de recuperación de las actividades normales del puerto, implicando mayores pérdidas económicas en su ítem 'Activos'. De igual forma, en el aspecto infraestructural, el nivel de daño 'Severo' se reservó para cuando toda la estructura se viera comprometida y sus elementos no estructurales resultaran severamente dañados, imposibilitando su reparación, y sólo pudiendo ser reconstruido.

5. TERREMOTO DE CAUQUENES

El megaterremoto de magnitud 8.8 Mw que aconteció el sábado 27 de febrero de 2010 a las 03:34 am hora local (UTC-3), fue producto de un repentino desplazamiento entre la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana de un área comprendida entre el sur de la Península de Arauco hasta el norte de Pichilemu, abarcando cerca de 450km de longitud casi en dirección norte-sur y cerca de 150km de ancho. El área de contacto entre ambas placas está ubicada longitudinal al plano inclinado que fija la zona de falla causante del terremoto (Barrientos, 2010).

El hipocentro, que es el lugar donde se inicia la ruptura, se localizó en las coordenadas geográficas 36° 17' 23" S y 73° 14' 20" W, a alrededor de 30km de profundidad. El área de falla de 450km por 150km tuvo un desplazamiento mayor a 10m. Barrientos (2010), indica que la ruptura se da a partir del hipocentro y desde ahí se propaga a una tasa de velocidad entre 2.5 a 3.5 km/s en dirección de la longitud de falla. El tiempo estimado que tardó la ruptura en propagarse a lo largo de toda la falla activada fue de 110s.

El terremoto de Cauquenes del 27F, fue el sexto evento sísmico más grande registrado instrumentalmente y completó la laguna sísmica de mayor longitud en Chile y que había sido identificada por Ruegg y otros (2009), como una brecha sísmica madura (ver: ANEXO C. RIESGO SÍSMICO EN CHILE.).

Después de cinco minutos una vez ocurrido el terremoto, el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC por su sigla en inglés), emitió advertencias de tsunami y luego de 30 minutos transcurrido el terremoto, arribaron las primeras olas de tsunami en diferentes lugares, y a las costas de la Octava Región en las primeras horas de la mañana después del terremoto.

El tsunami alcanzó su máximo nivel de runup, 29m aproximadamente, en un acantilado en la costa de Constitución, mientras que en las bahías de la Octava Región, donde se encuentran los principales puertos (ver: Figura 5.2), el máximo nivel de runup fue cercano a 15m y con niveles de profundidad alrededor de 10m (ver: Tabla 5.2 y Figura 5.3).

La probabilidad que vuelva a acontecer un terremoto de similares características en la misma zona de falla es muy baja (Barrientos, 2010). Los estudios sobre los desplazamientos en la zona de falla alcanzaron valores de entre 10 a 12m. Conocida la tasa de convergencia, entre las placas de Nazca y Sudamericana, de 7.6 cm/año (Vigny, y otros, 2010), se deduce que sería necesario el transcurso de más de un siglo para que se lograra acumular tal cantidad de energía elástica que permita un desplazamiento similar en el futuro (Barrientos, 2010).

Esta tasa de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana, varía entre 5.5 cm/año al sur de Perú y entre 6.5 a 7 cm/año frente a Chile (Vigny, y otros, 2010). Cabe mencionar, que estas velocidades han sido determinadas con precisión geodésica por medio de observaciones de GPS. Mientras que, al sur de la placa de Nazca, se encuentra la placa Antártica que también penetra bajo la placa sudamericana (ver: Figura 5.1).

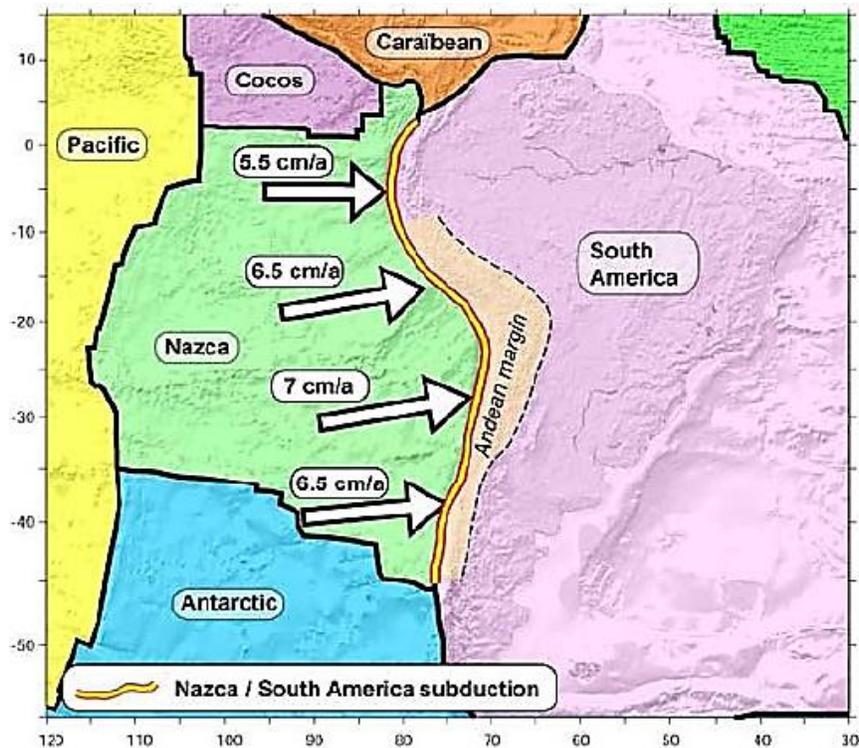


Figura 5.1: Tasas de convergencia entre las placas de Nazca y Sudamericana.

FUENTE: (Vigny, y otros, 2010).

Posterior al terremoto del 27F, hasta el 9 de marzo, el sitio web de la UNAVCO del Gobierno de Estados Unidos, registró un desplazamiento post-sísmico cercano a 50cm en la región del Maule.

A 100km al sur del epicentro del terremoto de Cauquenes del 27F, se encuentran las ciudades de Concepción, San Vicente y Coronel, cada una con sus respectivas bahías, las cuales se vieron afectadas por el fuerte evento sísmico. Estas ciudades concentran cerca del 10% de la industria portuaria nacional (MOP, 2005). La infraestructura portuaria de la región registró importantes daños relacionados principalmente al efecto de licuación, fenómeno que es descrito más adelante en este proyecto.

Para realizar la caracterización infraestructural del Puerto de Iquique, se ha considerado el análisis de los puertos de Talcahuano, San Vicente, Coronel y Lirquén. Además de los muelles de Penco, Huachipato y la empresa portuaria Cabo Froward, que posee los muelles Chollín, Puchoco y Jureles. El muelle de Abastible y el Astillero de la Armada, no han sido considerados, ya que el primero se trata de un muelle tipo multiboya, que no posee mayor infraestructura, y ASMAR por tratarse de un puerto militar, por lo que su información es reservada.

La siguiente figura presenta los puertos analizados de la octava región:

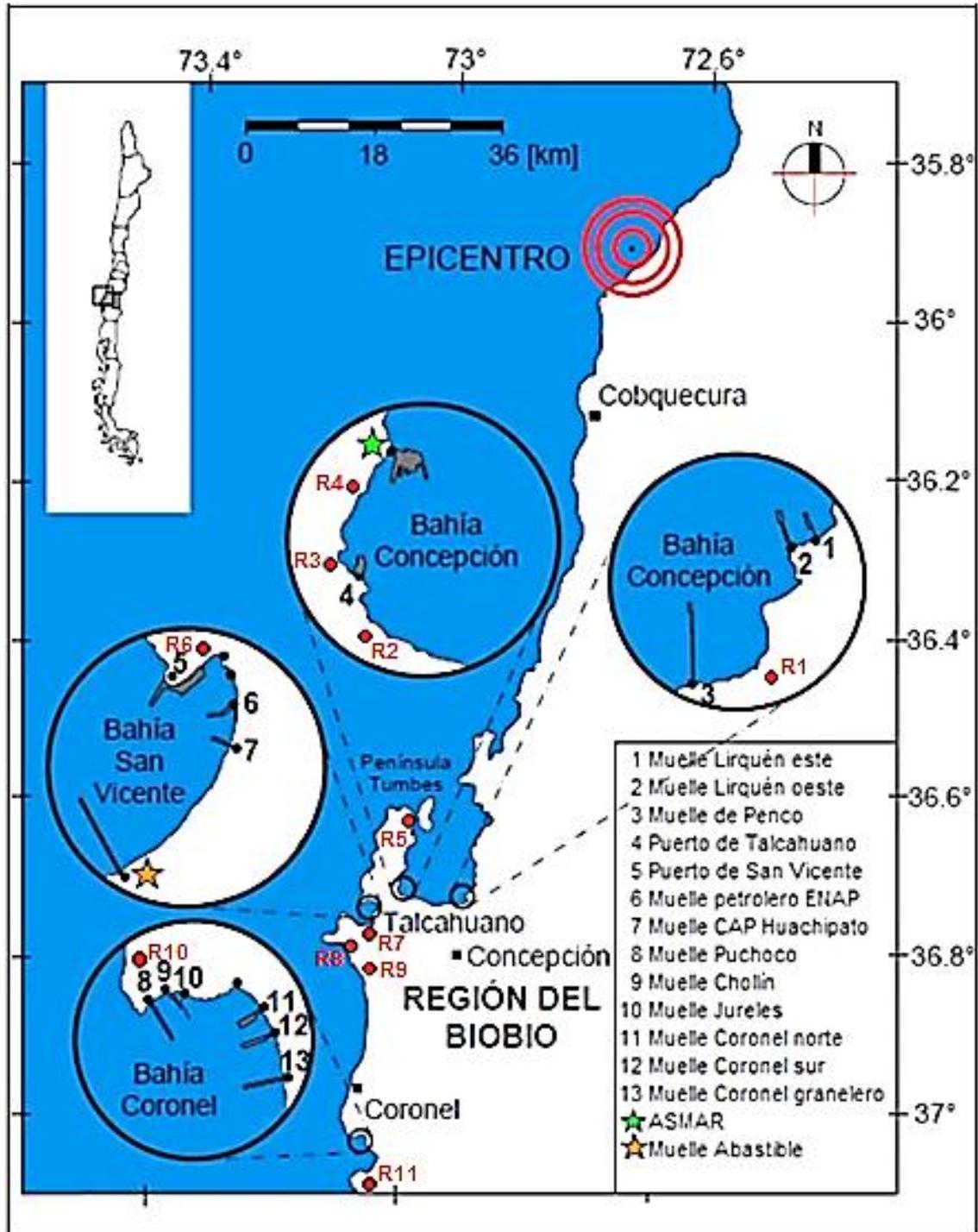


Figura 5.2: Puertos analizados de la octava región.

FUENTE: MODIFICADO DE BRUNET (2012).

La siguiente tabla, presenta las características estructurales generales de los puertos y muelles bajo estudio:

Tabla 5.1: Infraestructura general de los puertos analizados de la octava región.

Puerto/Terminal	Etiqueta Muelle	Tipo de carga	Largo [m]	Ancho [m]	N° de pilotes	Año de construcción	Tipo de estructura
Puerto de Lirquén	1	General	625	~20	451	1953, 1985*	Muelle perpendicular
	2	General	820	~45	404	1995, 2000*	Muelle perpendicular
Muelle de Penco	3	Granel	1644	2	157	1970	Muelle perpendicular
Puerto de Talcahuano	4	General	420	110	-	1935, 1973*	Muelle marginal
Puerto de San Vicente	5	General	605	22	782	1974, 1992*	Muelle marginal
Muelle ENAP	6	Petróleo	950	~8	~282	2009, 2011*	Muelle perpendicular
Muelle CAP Huachipato	7	Granel	385	26	1496	1949, 1974*	Muelle perpendicular
Empresa Portuaria Cabo Froward	8	Granel	820	3	128	1991	Muelle perpendicular
	9	Granel	1100	3	128	2009	Muelle perpendicular
	10	Granel	680	5	~192	1942, 1985*	Muelle perpendicular
Puerto de Coronel	11	Contenerizada	190	11.4	317	1996, 2000*, 2004**	Muelle perpendicular
	12	Contenerizada	400	14.5	312	2007	Muelle perpendicular
	13	Granel	1200	15	~256	2010	Muelle perpendicular
Muelle Abastible S.A.	★	Granel	2200	5	~280	2006	Muelle perpendicular
ASMAR	★	Militar	740	360	-	1896	Muelle marginal

*Primera extensión.

**Segunda extensión.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La siguiente tabla, presenta los máximos niveles de runup e inundación para las zonas indicadas en la Figura 5.2. Se puede apreciar que los máximos niveles de runup e inundación se registraron en la Bahía de Concepción (R1 a R5).

Tabla 5.2: Registro de 'run-ups' e inundaciones en la octava región producto del tsunami del 27F.

ID Medición	Run-up [m]	Inundación [m]
R1	5.2 - 5.7	68.8 - 81.0
R2	5.2 - 8.0	159.0 - 261.3
R3	6.6	340.3
R4	7.4	166.6
R5	4.6 - 13.3	54.4 - 136.8
R6	3.4	44.1
R7	6.1	50.9
R8	3.0	45.7
R9	2.9	67.6 - 73
R10	1.9	20.0
R11	2.4	25.0

FUENTE: (FRITZ, Y OTROS, 2011), MODIFICADO DE Brunet, 2012.

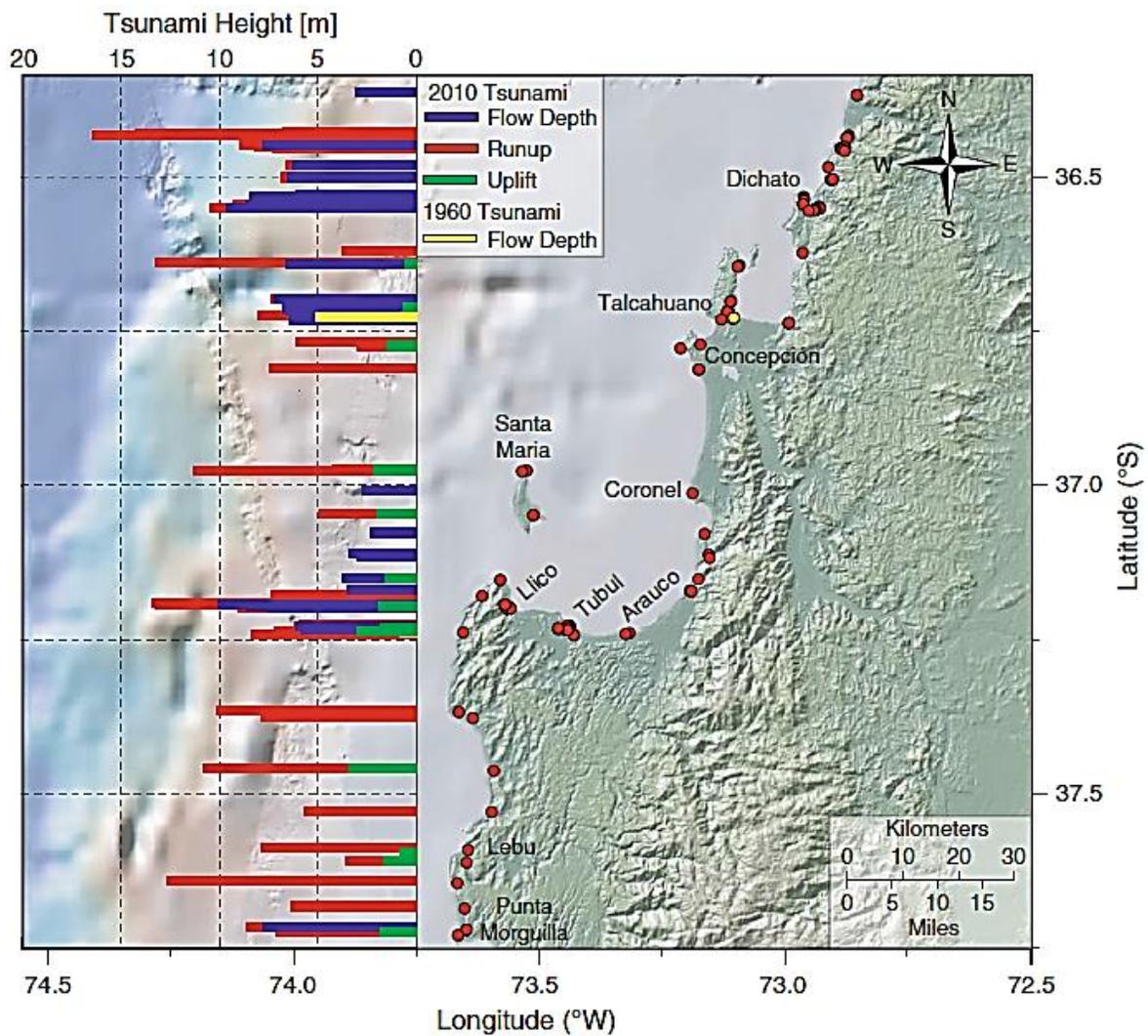


Figura 5.3: Mediciones de runup y profundidad de flujo.

FUENTE: (FRITZ, Y OTROS, 2011).

Una vez ocurrido el terremoto y tsunami de 2010, el Puerto de San Vicente Terminal Internacional (SVTI) quedó inoperativo producto de los graves daños que sufrió, por lo cual se realizó una evaluación para determinar el estado infraestructural en que se encontraba el puerto. Por otro lado, el Puerto de Talcahuano sufrió los mayores daños, siendo afectados seriamente todas sus instalaciones y servicios, quedando totalmente inoperativo.

Además, hubo varios contenedores que se encontraban en el Puerto de Talcahuano, que fueron arrastrados por el tsunami, dejándolos dispersos por la Bahía de Talcahuano y repartidos al interior de la ciudad junto algunos barcos, botes e infraestructura del puerto. Los contenedores colisionaron con las estructuras en tierra, destruyeron vehículos y bloquearon vías de acceso. Así mismo, los contenedores y las embarcaciones que fueron desplazadas en borde costero, obstaculizaron por semanas algunos accesos. Mientras que las grandes embarcaciones, accionaron su plan de emergencia de inmediato, una vez

ocurrido el terremoto, haciendo que la tripulación de turno zarpase, manteniendo las embarcaciones mar adentro, para impedir que éstas encallaran.

El impacto que tuvo el terremoto y tsunami en la infraestructura portuaria, afectó directamente a la productividad de la región. Destacándose la necesidad de establecer planes y protocolos que ayuden a prevenir riesgos prioritarios ligados a este tipo de fenómenos, que, si bien su objetivo principal es el salvaguardar las vidas, también debe generar condiciones favorables que permitan avanzar en una rápida recuperación de la infraestructura productiva (PNUD, 2012).

5.1. RESUMEN DE DAÑOS

El origen principal de los daños registrados en la infraestructura portuaria de la Octava Región se debió a fallas del suelo y otros netamente estructurales. Los efectos relacionados con las fallas del suelo, como licuación y desplazamiento lateral¹, se registraron en todas las bahías estudiadas, pero no en todos sus puertos. Un caso particular es la Bahía de Talcahuano, donde en todos sus puertos se observó el efecto de licuación y desplazamiento lateral, fenómeno que produjo inclinaciones y desplazamientos de pilotes, fallas en los muros de contención principalmente en los puentes de acceso y asentamientos en suelos, principalmente de relleno. Por otra parte, los daños estructurales más comunes registrados en los puertos, fueron fallas en las conexiones viga-pilote (en especial en los arriostramientos donde fallaron las soldaduras o los refuerzos en la cabeza de los pilotes), fallas por pandeo, pérdidas del recubrimiento de hormigón y *'pounding'*².

También existieron daños no estructurales en las dependencias portuarias, como elementos arquitectónicos (fachadas, vidrios y ventanas, techumbres, recubrimientos, etc.), equipamiento (descarrilamiento de grúas, rotura de sistemas de amarre, pérdida de mobiliario, etc.) y líneas de vida (redes de agua, de electricidad, de incendio y de comunicaciones, entre otros).

¹ Desplazamiento lateral: Falla por desplazamiento paralelo o inclinado a la superficie de falla, como suma de componentes horizontales y verticales.

² Golpeteo o choque de estructuras influenciada por movimientos externos, como sismos.

Tabla 5.3: Resumen de daños más comunes registrados.

Puerto/Muelle	Tipo de muelle	Estructura	Licuación	Desplazamiento lateral	Daños en pilotes	Juntas de acceso	Otros daños estructurales	Daños no estructurales
Lirquén Este	Perpendicular Abierto	Hormigón armado	X	X	X	-	X	X
Lirquén Oeste	Perpendicular Abierto	Hormigón armado	X	-	-	-	X	-
Penco	Perpendicular Abierto	Acero	X	X	X	-	X	X
Talcahuano	Marginal Cerrado	Hormigón armado	X	-	-	-	X	X
SVTI	Marginal Cerrado	Hormigón armado	X	X	-	X	X	-
ENAP	Perpendicular Abierto	Acero	X	X	X	X	X	-
CAP Huachipato	Perpendicular Abierto	Hormigón armado	X	X	X	X	X	X
Puchoco	Perpendicular Abierto	Acero	X	X	-	-	X	X
Chollín	Perpendicular Abierto	Acero	X	X	-	-	-	-
Jureles	Perpendicular Abierto	Acero	X	X	-	X	X	X
Coronel Norte	Perpendicular Abierto	Hormigón armado	X	X	X	X	-	-
Coronel Sur	Perpendicular Abierto	Hormigón armado	X	X	-	X	-	-
Coronel Granelero	Perpendicular Abierto	Hormigón armado	-	-	X	-	X	X

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

El tipo de suelo sobre el cual se encuentran fundados los puertos de las bahías de Talcahuano, San Vicente y Coronel, corresponde principalmente a suelos blandos, como arenas, limos, arcillas, y en menor medida, gravas, gravillas y rocas blandas. Además de altos niveles de fango en la superficie del subsuelo marino (ver: ANEXO C. ZONIFICACIÓN SÍSMICA EN CHILE.), como está expuesto anteriormente en la zonificación general por tipo de suelo en Chile, realizada por Geovenor (ver: Figura 3.7).

Aunque no fue contemplado en este estudio, cabe destacar que casi la totalidad de las caletas de la Octava Región sufrieron significativos daños, incluso llegando al colapso algunas de éstas.

5.1.1. LICUACIÓN Y DESPLAZAMIENTO LATERAL

La licuación de suelos y fallas del terreno, se relacionan comúnmente con sismos de gran magnitud. En el uso común, licuación se refiere a la pérdida de capacidad de soporte en suelos saturados y cohesionados debido a la acumulación de presiones intersticiales durante la carga dinámica (Sladen, D'hollander, & Krahn, 1985). Este fenómeno se registró en casi todos los puertos estudiados de la octava región, salvo en el Muelle Lirquén Oeste y el Muelle Coronel Granelero, el cual, para el 27 de febrero de 2010, se encontraba en etapa de construcción y que además ya contaba con aisladores sísmicos. Algunos de los efectos por este fenómeno, se observan en la Figura D.3: *Asentamiento Muelle 1.* y Figura D.17: *Descenso en cepas, Muelle Penco.* del ANEXO D.

Además, si estos suelos potencialmente licuables se encuentran en pendiente, tenderán a deslizarse pendiente abajo, fenómeno que es conocido como *'lateral spreading'* (mayor detalle en ANEXO E. DESPLAZAMIENTO LATERAL.).

El desplazamiento de la masa de suelo genera un empuje sobre los sistemas de fundación, provocando serios daños estructurales que comprometieron la estabilidad de las estructuras portuarias, donde se presentó este fenómeno. Un caso que ejemplifica esto, se observa en la Figura D.20: *Viga travesaño desoldada y desplazada*

en una de las cepas del Puente de Acceso.' y en la Figura D.22: *Pilotes desoldados y desplazados en el cabezo.*

En los muelles, donde se presentó desplazamiento lateral, las losas de los puentes de acceso no se movieron la misma distancia que los ejes y el extremo inferior de los pilotes, probablemente debido a que sus pilotes se encontraban apoyados en suelos licuables. Este efecto, se produce cuando algunos de los pilotes ubicados en el cabezo del muelle tienen una disposición inclinada y el subsuelo marino, en el que están fundados, tiene una pendiente menor en comparación al sector más cercano a la costa donde se ubica el puente de acceso (Brunet, 2012).

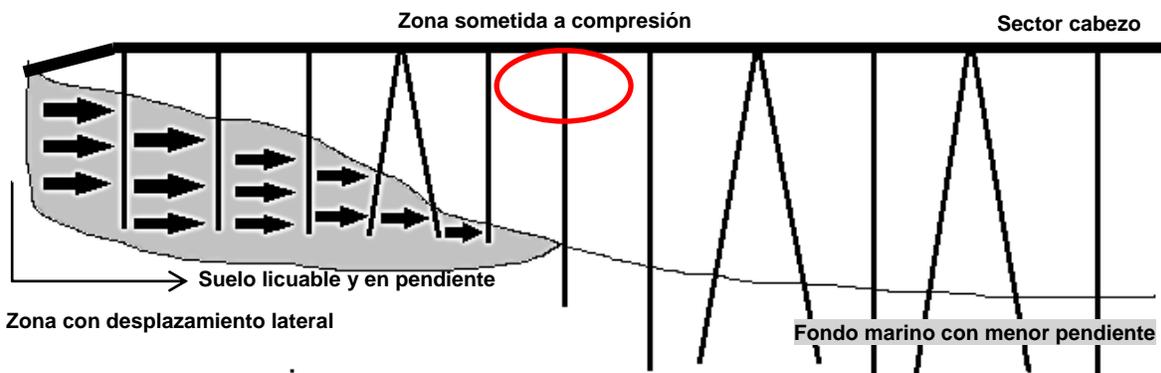


Figura 5.4: Compresión de zona del muelle asociada al fenómeno de desplazamiento lateral.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

5.1.2. PILOTES INCLINADOS

En la mayoría de los muelles bajo estudio, se registraron daños en la unión entre las vigas del muelle y los pilotes que la soportan (ver: Figura D.8, Figura D.10, Figura D.20, Figura D.22, Figura D.31, Figura D.42), principalmente en los pilotes inclinados, los cuales están diseñados para resistir cargas laterales (sismos, fuerzas de atraque de naves, impactos laterales, etc.), es decir, cuentan con una mayor rigidez lateral que les permite soportar mayores fuerzas sísmicas que los pilotes dispuestos verticalmente (PIANC, 2001).

Este tipo de daño puede darse producto de que los pilotes de menor longitud, ubicados principalmente en el puente de acceso, poseen la característica de ser más rígidos, por lo que tienden a tomar una mayor carga lateral que los pilotes más largos ubicados hacia el cabezo (ver: Figura 5.5), produciéndose una mayor tensión en las uniones viga-pilote de la zona del puente de acceso. Debido a la mayor rigidez que poseen los pilotes más cortos, se presentaron casos donde la losa del puente de acceso se giró, causando un mayor

desplazamiento en los pilotes hacia el sector del cabezo del muelle (Brunet, 2012). Ello pudo ser efecto de un diseño poco acabado en la conexión viga-pilote que facilitó este tipo de daño. En síntesis, el sector del puente de acceso, queda sometido a cargas laterales mayores que el resto del muelle, y la zona del cabezo afronta desplazamientos mayores.

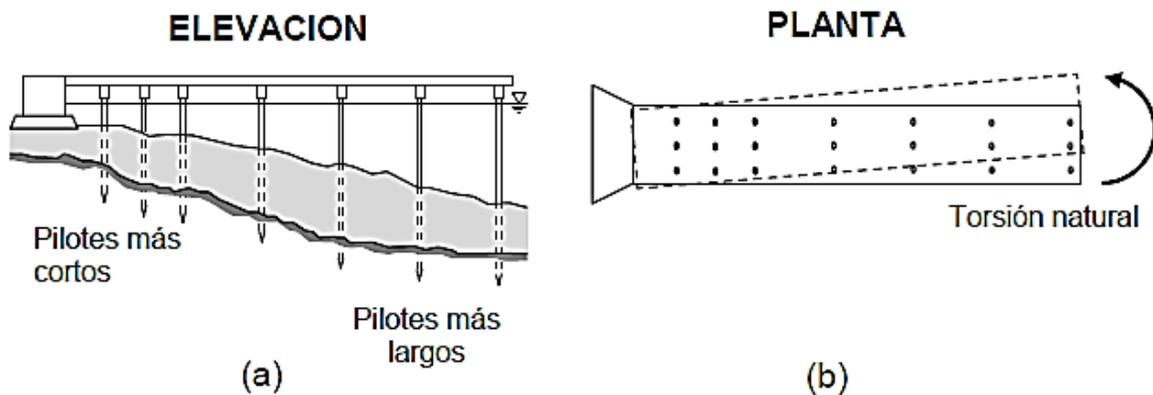


Figura 5.5: (a) Perfil de pilotes sector Puente de Acceso y Cabezo. (b) Torsión natural.

FUENTE: (Brunet, 2012).

5.1.3. JUNTAS DE ACCESO

Los daños en las juntas de acceso, se presentaron en la mayoría de las estructuras portuarias de tipo abierta (ver: Figura 3.15), es decir, muelles sobre pilotes, ya sean graneleros o de carga contenerizada.

Los muelles tuvieron comportamientos similares ante el sismo, presentándose daños por desplazamientos, inclinaciones y 'pounding', entre la losa del muelle y el muro de contención, produciéndose fisuras, fallas y hasta el colapso del puente de acceso, y otros elementos ubicados en éste.

El Muelle CAP Huachipato y el Muelle Jureles de la Portuaria Cabo Froward, se comportaron de manera similar, en donde la zona del puente de acceso estuvo sometida a una enorme fuerza de compresión. La losa de hormigón armado del Muelle CAP se fracturó, produciéndose pandeo en el refuerzo y causando significativas grietas en todo el muelle (ver: Figura D.32). De manera similar, en el Muelle Jureles de la Empresa Portuaria Cabo Froward, la viga de acero que formaba el puente de acceso se pandeó (ver: Figura D.38). No obstante, en el Muelle ENAP, el diseño de la junta de acceso permitió que la viga longitudinal se moviera libre sobre el estribo, como un apoyo deslizante (ver: Figura D.29).

5.1.4. OTROS DAÑOS ESTRUCTURALES

Se registraron daños en todos los muros de contención de tierra o agua, en los puertos de la región con diferentes niveles de daño. El más afectado fue el Puerto de Talcahuano, donde su muro de contención soportado por pilotes, colapsó totalmente. Producto de las sobrecargas inducidas por el sismo, se originaron múltiples grietas en la estructura, y se cortaron las uniones entre las vigas y los pilotes, falla que se vio favorecida por el alto nivel de corrosión existente previo al terremoto. Además, hubo daños en la zona de los galpones y en las redes de electricidad y de agua ubicadas sobre la losa. Finalmente, la estructura terminó de colapsar ante la embestida de las olas del tsunami. Las consecuencias

principales fueron la fractura y asentamiento de la losa y el desplazamiento total del sistema de anclaje hacia el mar, lo que indujo que la viga longitudinal se desplazara y desalineara de la línea de atraque. Este daño se repitió en el Astillero de la Armada (ASMAR), que se encuentra aledaño al Puerto de Talcahuano y que, además, posee una infraestructura similar a éste. Un ejemplo del daño en muros de contención se presenta en la Figura 5.6, correspondiente al Astillero de la Armada, mismo efecto que se produjo en el espigón del Puerto de Talcahuano.

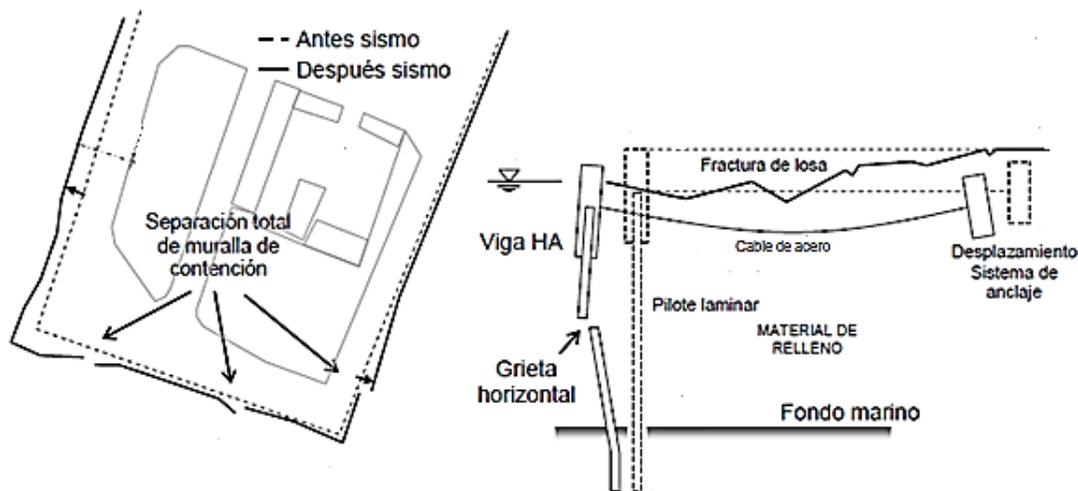


Figura 5.6: (a) Esquema general de falla en muro de contención.

FUENTE: MODIFICADO DE BRUNET (2012).

5.1.5. OTROS DAÑOS NO ESTRUCTURALES

Los daños no estructurales más recurrentes se registraron en las grúas y sistemas de amarre de naves. En general, las estructuras que soportan las grúas, corresponden a marcos rígidos incapaces de adaptarse al desplazamiento parcial de los rieles, por lo que se produjeron desrielamientos y rupturas en los mecanismos de anclaje, que mantienen las grúas fijas al riel (ver: Figura D.34). Se produjeron también inclinaciones en las grúas producto del asentamiento diferencial de los pilotes, como en el caso de la grúa del Muelle CAP Huachipato, la cual fue estabilizada con barras de acero para impedir su vuelco (ver: Figura D.35) producto del asentamiento relativo entre los soportes. Por otro lado, algunas naves que al momento del sismo se encontraban atracadas tomaron, como medida preventiva ante el inminente tsunami, soltar sus amarras causando fuertes tirones de bita, lo que produjo una falla en los sistemas de amarre de algunos puertos (ver: Figura D.4).

5.2. RECUPERACIÓN PORTUARIA POST 27F

Una vez ocurrido el terremoto del 27 de febrero de 2010, la Autoridad Marítima decretó el cierre de todos los puertos y muelles en la Octava Región, declarándolos como inoperativos o en evaluación, estableciendo como puertos alternativos Puerto Montt y Calbuco.

A la fecha del terremoto del 27F, había operativos un total de 25 sitios de atraque entre los puertos y muelles de la Octava Región. La fecha de reanudación de operaciones para cada sitio de atraque fue distinta, dependiendo del nivel de daños que tuvo cada uno. El más

afectado fue el Puerto de Talcahuano, que, debido al efecto combinado del terremoto y tsunami, toda su estructura colapsó, reanudando recién sus operaciones a finales del año 2013. La siguiente Tabla 5.4 y Figura 5.7, muestran el detalle de recuperación de los sitios de atraque de los puertos y muelles de la octava región.

Tabla 5.4: Recuperación de los sitios de atraque por puerto, octava región.

Puerto/Muelle	Cantidad de sitios operativos antes del 27F	Cantidad de sitios operativos a la fecha							
		27/02/2010	05/03/2010	10/03/2010	16/04/2010	01/06/2010	22/06/2010	13/07/2010	27/12/2013
Lirquén	6	0	2	2	2	6	6	6	6
Coronel	6	0	0	6	6	6	6	6	6
San Vicente	3	0	0	3	3	3	3	3	3
Talcahuano	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Penco	1	0	0	0	1	1	1	1	1
CAP Huachipato	2	0	0	0	0	0	0	2	2
Cabo Froward	2	0	0	0	0	2	2	2	2
Oxiquim Escuadrón	1	0	1	1	1	1	1	1	1
Terminales Petrox (B y C)	2	0	0	0	0	0	2	2	2
Total de Sitios Operativos	25	0	3	12	13	19	21	23	25
Porcentaje de sitios operativos	100%	0%	12%	48%	52%	76%	84%	92%	100%

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

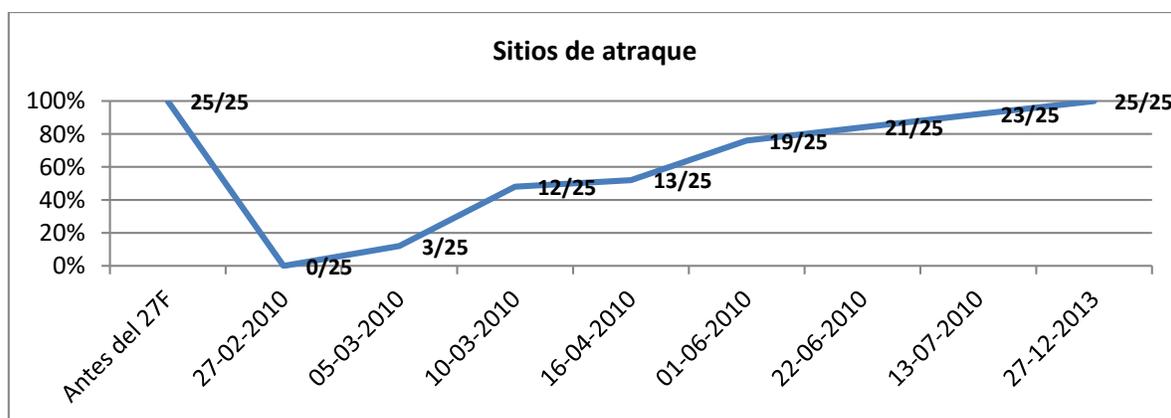


Figura 5.7: Gráfico de recuperación portuaria octava región.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

6. PUERTO DE IQUIQUE

En 1912, cuando la comisión de puertos elaboró el programa de política portuaria, el Puerto de Iquique había alcanzado una importancia destacada, pues su movilización anual era de 1.300.000 toneladas y contaba con un número importante de muelles particulares (ver: Figura 6.1) que permitían atender a las naves en condiciones climáticas aceptables. En ese entonces, la Bahía de Iquique estaba protegida naturalmente por la Isla Serrano (isla de Iquique en la Figura 6.1), que ofrecía resguardo y la hacía una bahía tranquila. Entre el espacio que quedaba, entre esta isla y la costa, se había construido un pequeño molo de abrigo a una profundidad cercana a 5m y que dejaba una abertura por la cual se hacía la comunicación entre un lado y otro del puerto (Lira Orrego, 1933).



Figura 6.1: Plano topográfico de Iquique, 1861.
FUENTE: BIBLIOTECA DOP.

En el año 1927, se inició el proceso de propuestas públicas y a principios de del año 1928 se contrató y se dio inicio a la parte fundamental de las obras, después se introdujeron algunas modificaciones para que se pudiese efectuar el desembarco de carbón, de esta manera, el diseño del puerto quedó como se muestra en la Figura 6.2. Se reconstruyó el molo AB, en unión con la Isla Serrano, alcanzando 500m de largo por 30m de ancho y elevando la altura de coronamiento hasta la cota +4m a fin de obtener un acceso cómodo al puerto para los dos ferrocarriles; el salitrero y el fiscal; y para los camiones de tráfico local. Por el lado norte de la isla se proyectó un molo de abrigo CF, de 846m de largo,

permitiendo obtener un sector abrigado en el área destinada al servicio del puerto (Lira Orrego, 1933).

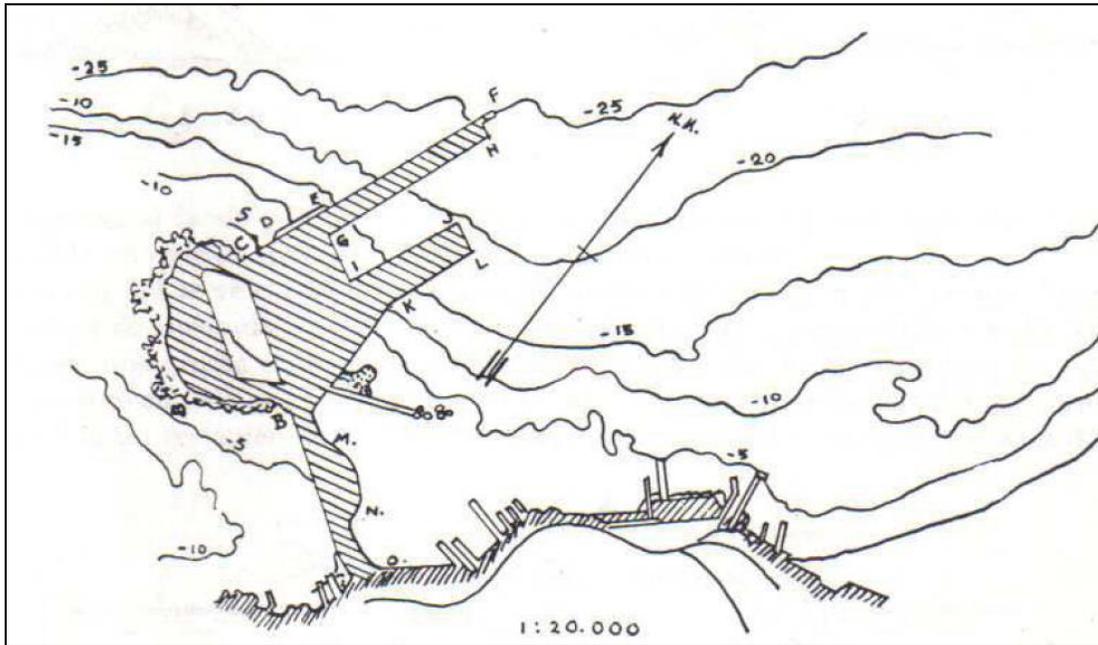


Figura 6.2: Plano del Puerto de Iquique 1928.

FUENTE: PUERTOS DE CHILE, LIRA ORREGO.

Adyacente al molo, se había previsto una explanada de 54m de ancho, limitada por malecones de 526m de largo y con un pie a profundidades naturales de 10m y aún más en pleamar. Paralelamente al molo y a una distancia de 150m de los malecones ya mencionados, había un espigón de atraque de 100m de ancho con 335m de largo útil por el lado poniente y 280m por el oriente, de manera que el puerto contaba una longitud de atracaderos de 1,140m para buques a vapor de gran calado, permitiendo atender simultáneamente a 6 o 7 buques de la época. Durante la construcción de las obras, se ensanchó la sección MN del molo de unión (ver: Figura 6.2), como explanada para el desembarco de carbón a granel. La mayor parte de la Isla Serrano fue emparejada a la cota +4m que tienen el resto de las explanadas, quedando una superficie total aproximada de 26ha (zona achurada en la Figura 6.2). El Puerto de Iquique contaba con un fondo rocoso cubierto en algunas partes por una delgada capa de arena, por lo que no hubo penetración de materiales en el fondo y los asentamientos fueron similares y conformes a lo que se había considerado en el diseño de las obras. En la Figura 6.3, se muestra una vista transversal del diseño original del molo de unión con la Isla Serrano, formando un nuevo enrocado que envolvía los restos del antiguo molo, y que estaba protegido por una coraza de rocas de 2 a 4t de peso unitario y un parapeto de concreto con una cota de elevación de +8.5m. Detrás del molo, se encontraba un terraplén de relleno cubierto por una capa de pequeñas piedras de entre 5 a 50kg, y una capa de piedras más grandes, de 50 a 500kg de peso unitario. La zona donde se había ensanchado el molo, se construyó un malecón de 150m de longitud, mediante un muro de bloques de hormigón y un coronamiento de concreto (Lira Orrego, 1933).



Figura 6.3: Corte transversal del molo de unión con Isla Serrano.

FUENTE: PUERTOS DE CHILE, LIRA ORREGO.

La construcción del molo original, se separó en cuatro secciones, debido a las distintas condiciones naturales (ver: Figura 6.2). La primera parte (CE), con una profundidad que no excedía los 12m, se dispuso un prisma de enrocados que era protegido con materiales de mayor peso y que finalizaba con un parapeto con elevación hasta la cota +8m.; en el tramo CD, la protección se realizó sólo con enrocados de gran tamaño, y el tramo DE, se protegió con bloques de hormigón colocados aleatoriamente de forma que adquiriera un talud natural bajo el agua. Mientras que la sección que quedaba fuera del agua tenía un talud de diseño 2:1 (horizontal-vertical) (ver: Figura 6.3). Por otra parte, para evitar que el terraplén fuera removido a través de los enrocados, se dispuso una capa delgada de desmontes de cantera, la que no aparece en la Figura 6.3. La segunda sección del molo (ver: Figura 6.4), fue construida con muros de bloques artificiales colocados por capas inclinadas. En los primeros metros de muro, los bloques fueron colocados formando capas horizontales escalonadas sirviendo de apoyo a la primera capa inclinada. El espesor de este muro de bloques fue de 10.5m, fundado sobre la cota -9.4m sobre un prisma de enrocados, y cuya plataforma superior dejaba una berma de 7.5m de ancho en su lado exterior, y sobre el cual se dispuso una fila de bloques como defensa; el coronamiento del muro de bloques, se ubicó a la cota +4m, cubierto con una capa de concreto de 1m de espesor y un parapeto que alcanzaba la cota de +8m. Para reforzar la parte trasera del molo, se colocó en la parte superior una capa de piedras de 5 a 60kg y en la zona inferior, se utilizó material de relleno entre 0 y 60kg, como refuerzo temporal durante su construcción para impedir que se filtrara el material a través del enrocado de la base. Criterio que se implementó en toda la longitud donde había malecones interiores (Lira Orrego, 1933).

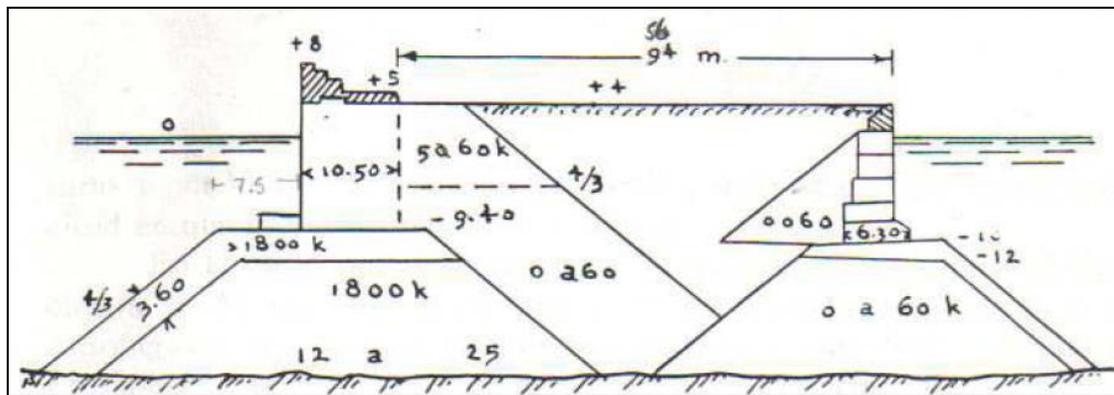


Figura 6.4: Molo de abrigo Puerto de Iquique.

FUENTE: PUERTOS DE CHILE, LIRA ORREGO.

En la parte extrema del molo, de 50m de largo, se optó por un diseño reforzado, como se aprecia en la Figura 6.5. Este perfil adoptado en el extremo del molo, se construyó

arrimando los bloques en placas inclinadas. En este tramo, la capa de concreto se realizó con un mayor espesor y alcanzó la cota de +6m; el parapeto al igual que el resto de la obra, quedó en gran parte englobado en esa capa de concreto.

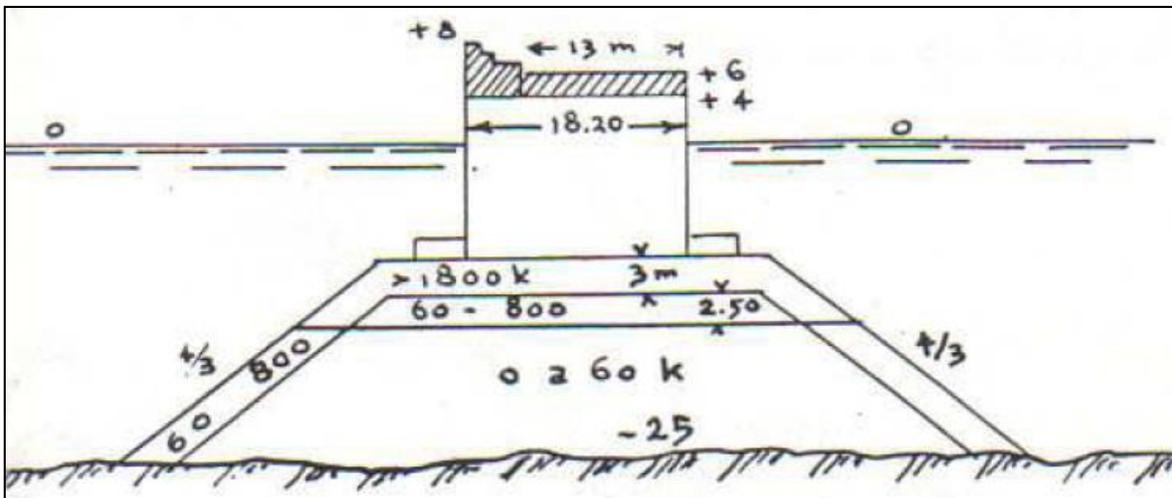


Figura 6.5: Perfil parte extrema del molo.
FUENTE: PUERTOS DE CHILE, LIRA ORREGO.

Los malecones fueron construidos, como en la Figura 6.4, mediante un muro de bloques de hormigón, dispuestos a la cota -10m sobre una base de enrocado de menor tamaño. El espigón de atraque se compuso de dos malecones (ver: Figura 6.4). Mientras que en el extremo JL del espigón (ver: Figura 6.2), el relleno se protegió con un prisma de enrocados mayor a 800kg para su contención. Finalmente, el tramo GI de la dársena (ver: Figura 6.2), que queda entre el espigón y los malecones del molo, se construyó un terraplén soportado por un prisma de piedras de tamaño medio (Lira Orrego, 1933).

La construcción del Puerto de Iquique, iniciada en 1928, finalizó sus obras en mayo de 1932. El costo total de las obras en ese entonces fue de \$71.385.980 de 6 peniques que equivaldrían actualmente a US\$2.962.518 aproximadamente, de los cuales US\$1.537.893 corresponden a obras de abrigo. Mientras que el resto se utilizó en los sitios de atraque y las explanadas destinadas al servicio del puerto (Lira Orrego, 1933).

Las principales obras de ampliación en el Puerto de Iquique, para llegar a su infraestructura actual, han sido (ver: Figura 6.8):

- La ampliación del sitio 4 en 2005.
- La extensión del sitio 4 en 2009.
- El refuerzo sísmico del sitio 3 en 2011.
- El relleno del borde costero en 2012, y
- El relleno de sector la poza CVBS en 2013.

6.1. SECTORIZACIÓN DEL PUERTO DE IQUIQUE



Figura 6.6: Puerto de Iquique.

FUENTE: WWW.EPI.CL

6.1.1. EMPRESA PORTUARIA DE IQUIQUE (EPI)

Correspondiente al sector del molo de abrigo (sector 1 Figura 6.7), dispone de dos sitios de atraque, que suman cerca de 400m lineales de frente de atraque, permitiendo la atención de naves mercantes y que se complementan con una línea de atraque adicional de 130m de atraque especiales destinadas a la Pesquera Camanchaca. La infraestructura de este molo está compuesta por una base de enrocado consistente en una estructura piramidal que sirve de soporte de un frente de atraque constituido por un muelle de tipo gravitacional (bloques de concreto de 20t, montados uno sobre otro) que conforman la línea de atraque y soportan las bitas de amarre, y defensas de los sitios 1 y 2. Complementa esta infraestructura una explanada de 20m de ancho, compuesta por un relleno compactado y una carpeta de desplazamiento de adocretos sobre una base de arena (EPI, 2014).

6.1.2. IQUIQUE TERMINAL INTERNACIONAL (ITI)

Desde el 1° de julio del año 2002, el concesionario Iquique Terminal Internacional, opera las dependencias del espigón del Puerto de Iquique (sector 2 Figura 6.7), conocido como Terminal 2. Originalmente, la concesión era de 20 años, pero aumento en 10 años más al comprometerse nuevas inversiones. Estos proyectos de inversión consisten en aumentar la longitud del sitio 4 en 69m hacia el norte para poder atender naves Post Panamax de hasta 300m de eslora, además de mejorar la infraestructura del sitio 3, introduciendo refuerzos antisísmicos. Actualmente, ITI consta de 2 sitios de atraque, que juntos suman 624m de frente de atraque y permiten naves con calado entre 9.3 a 11.4m.

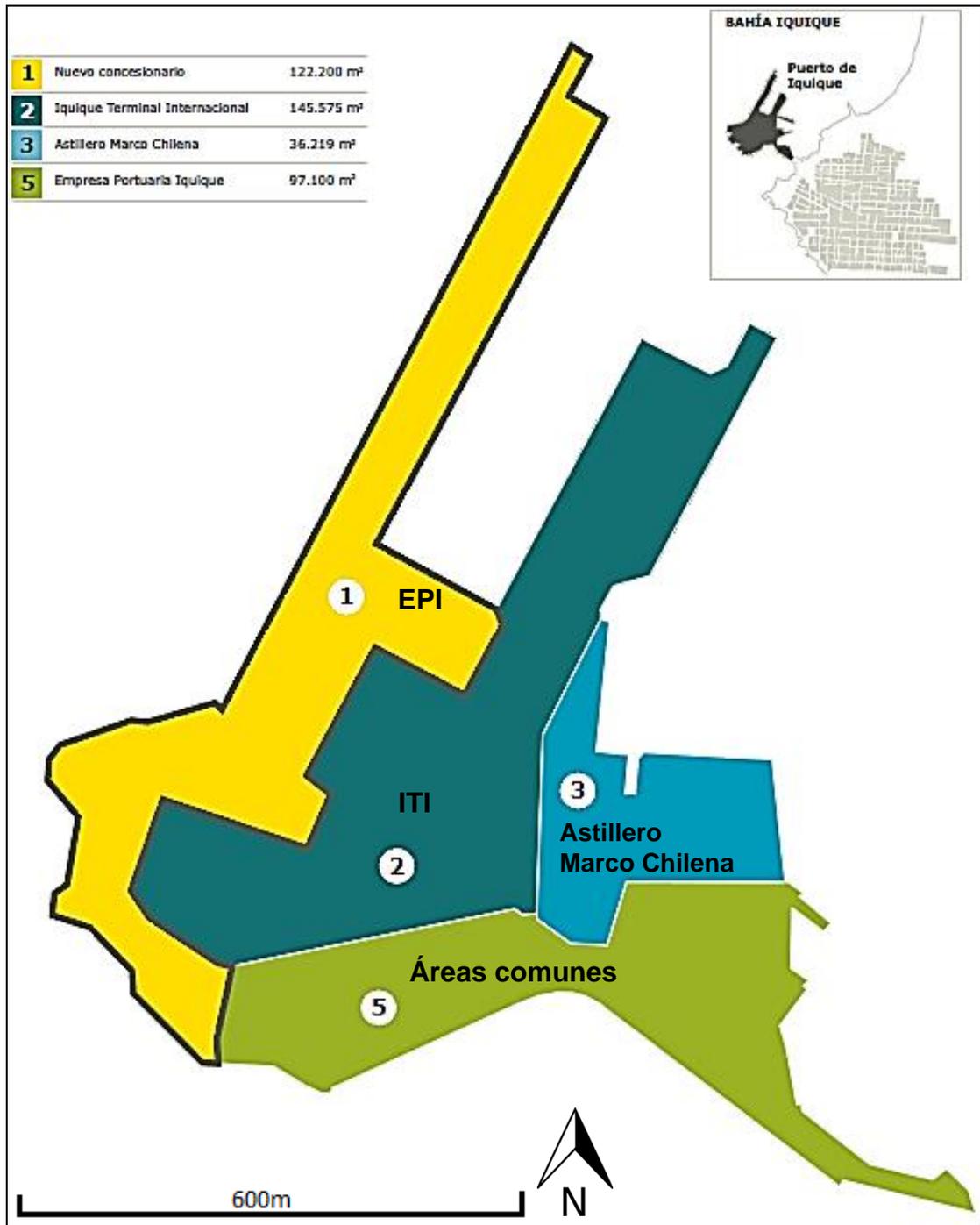


Figura 6.7: Plano de licitaciones Puerto de Iquique.

FUENTE: MODIFICADA DE WWW.EPI.CL

6.2. DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA



Figura 6.8: Infraestructura Puerto de Iquique.

FUENTE: MODIFICADA DE GOOGLE EARTH.

6.2.1. OBRAS DE ABRIGO Y DEFENSAS COSTERAS

Molo de abrigo.

Las obras de abrigo del Puerto de Iquique están constituidas por el denominado molo de abrigo principal, que consiste en un rompeolas de aproximadamente 801m de longitud, orientado de suroeste a noreste. Su tramo inicial, de aproximadamente 245m; a partir desde el sur, es del tipo rompeolas de escollera con coraza de rocas de peso mayor a 2t en su tramo inicial y de bloques de 40t en lo que sigue. A continuación, en una extensión aproximada de 556m, pasa a ser del tipo muro vertical de bloques de hormigón, fundado sobre escollera (vertical compuesto). En la Figura 6.9, se presenta una vista transversal de la infraestructura del molo de abrigo, concerniente a los Sitios 1 y 2 de EPI (EPI, 2014).

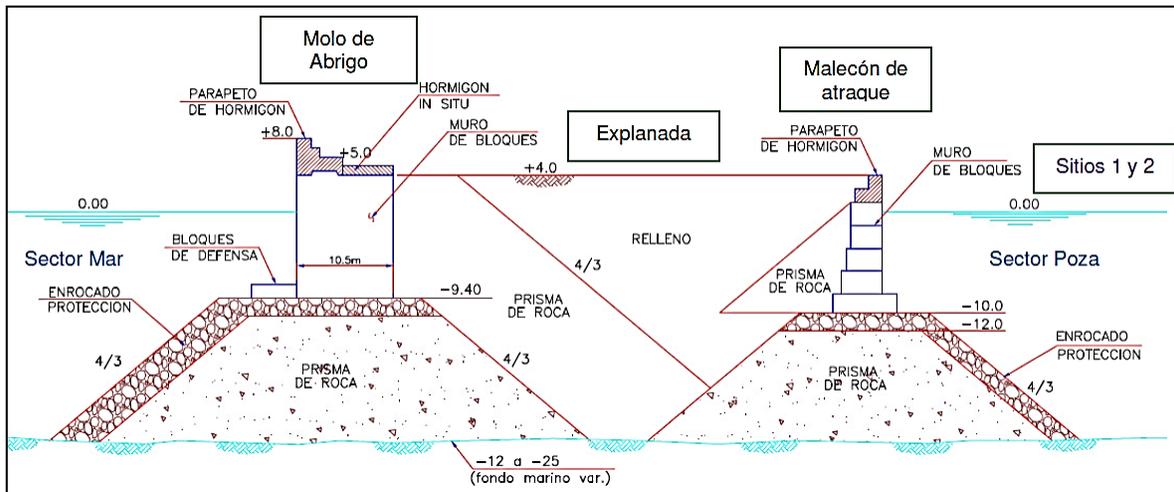


Figura 6.9: Vista transversal Molo de Abrigo.

FUENTE: PUERTO DE IQUIQUE.

Defensas costeras.

Las defensas costeras consisten en protecciones de enrocado que se sitúan en las siguientes ubicaciones:

- Entre los Sitios 2 y 3, al fondo de la dársena, 150m de longitud.
- En el Cabezo Norte del Molo, aproximadamente 30m.
- En el Cabezo Norte del Espigón, aproximadamente 100m.
- En el Molo de Unión, 500m de longitud.

Obras de atraque.

El puerto posee dos grupos de sitios de atraque: los ubicados por el costado interior del molo de abrigo (sitios 1 y 2) y los situados en el espigón (sitios 3 y 4) (ver: Figura 6.8).

Los Sitios 1 y 2, en su forma original, están conformados por un malecón gravitacional de bloques de concreto, colocados sobre un prisma de enrocado.

El Sitio 3, de 336m de longitud, conforma el costado poniente del espigón. Su malecón gravitacional de bloques de concreto colocados sobre un prisma de enrocados fue reforzado sísmicamente en 2011 mediante cables de anclajes. En tanto el Sitio 4, de 280m de longitud, conforma el costado oriente, y actualmente está estructurado por una plataforma de hormigón armado, apoyada sobre pilotes metálicos tubulares hincados en el fondo marino. Además, el Muelle tiene un alargue de 69m hacia el norte, estructurado en forma similar al ya descrito. El ancho de esta plataforma es de 30m. En la Figura 6.10, se presenta una vista transversal de la infraestructura general del Espigón operado por ITI.

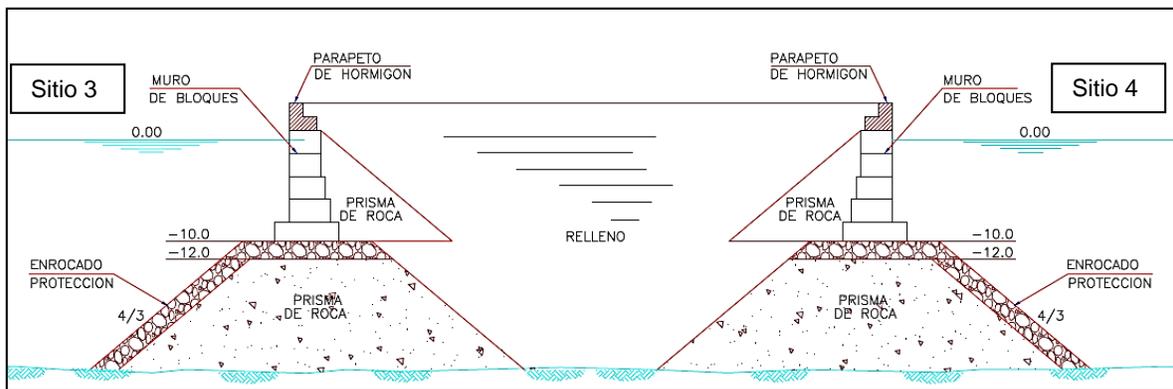


Figura 6.10: Vista transversal de la infraestructura del Espigón.

FUENTE: PUERTO DE IQUIQUE.

Posteriormente, en 2011, el Sitio 3 fue reforzado sísmicamente en la zona del parapeto de hormigón. En la Figura 6.11, se presenta una vista transversal de la infraestructura del Sitio 4 luego de la ampliación realizada en 2005 con aislación sísmica.

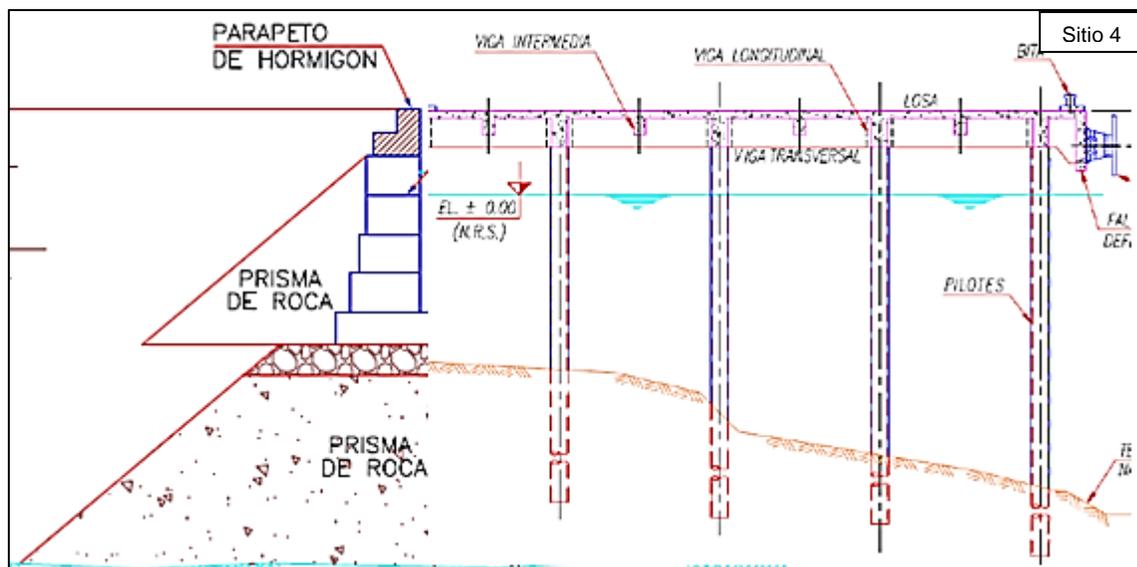


Figura 6.11: Vista transversal del Sitio 4 luego de ampliación en 2005.

FUENTE: PUERTO DE IQUIQUE.

Explanadas.

Están constituidas por la explanada posterior a los Sitios 1 y 2, las explanadas del espigón, las del sector sur y las del molo de unión. Los rellenos de las explanadas están conformados por materiales granulares diversos. El sector de la explanada del molo, incluidos los Sitios 1 y 2, tiene un área total de 43,503m², de los cuales 2,312m² corresponden a pavimentos de hormigón de 0.30m; 37,331m² corresponden a pavimentos de adoquines de concreto de 0.08m de espesor y 3,860m² corresponden a pavimentos de asfalto de 0.05m de espesor (EPI, 2014).

La Explanada sector sur (EPI) tiene áreas dispares pavimentadas, con un total de 46,207m², de los cuales 34,207m² están conformados por pavimentos de asfalto de 0.08m de espesor y 12,000m² corresponden a pavimentos de adoquines de concreto de 0.08m de espesor. Con respecto a ITI, el Sector Puerto tiene un área total de 65,000m², conformada por 26,836m² de pavimentos de hormigón simple, 38,696m² de adoquines de concreto de 0.08m de espesor y 15,751m² de pavimento de asfalto (EPI, 2014).

6.3. TERREMOTO DE IQUIQUE 1° DE ABRIL DE 2014

El terremoto de Iquique de 2014 ocurrió el día martes 1° de abril a las 20:46 (hora local), en una reconocida laguna sísmica (ver: ANEXO C. LAGUNAS SÍSMICAS.). Su magnitud fue de 8.2Mw con epicentro frente a las costas de Iquique y Pisagua, en las coordenadas 19.572°S y 70.908°O, a una profundidad hipocentral cercana a los 40km (Barrientos, 2014). La Onemi reportó intensidades máximas (Mercalli) de VIII en las localidades de Arica y Cuya. Mientras que en Iquique y Alto Hospicio la intensidad fue de VII (ver: Tabla 3.5: Escala de intensidad EMS-98.). El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) decretó alerta de tsunami, la cual luego fue elevada, registrándose un tsunami menor con alturas de olas entre 2 y 2.5m. Desde el 2008, se habían registrado múltiples sismos precursores en el área del evento del 2014, indicando la presencia de un terremoto lento (Ruiz, y otros, 2015). Hasta el 7 de abril, el Centro Sismológico Nacional registró más de 700 réplicas, de las cuales poco más de 50 pudieron ser percibidas por la población. La principal réplica, fue de magnitud 7.6Mw y se situó al sur de la zona de ruptura, a aproximadamente 30km de profundidad. Los modelos de deslizamiento indicaron valores máximos locales entre 5 y 7m ubicados en un área cercana al hipocentro de aproximadamente 60km de largo por 40km de ancho (An, Sepúlveda, & Liu, 2014). Además, en base a la distribución de las réplicas, se estima que el largo de la ruptura fue alrededor de 150km (Barrientos, 2014). Cabe mencionar, que las estimaciones preliminares del deslizamiento de falla indican que la región acoplada, entre las placas de Nazca y Sudamericana, no se ha activado totalmente con el terremoto del 1° de abril, faltando por activarse dos zonas, una al norte y otra hacia el sur de la zona de ruptura actual, las que pueden generar sismos de similar magnitud (8.2Mw) debido a que ambas poseen una longitud similar a la del terremoto del 1° de abril. Sin embargo, no se pueden descartar otros escenarios, como el que puedan activarse ambas zonas simultáneamente produciendo un sismo mucho mayor (Barrientos, 2014).

6.3.1. DAÑOS REGISTRADOS EN EL PUERTO DE IQUIQUE

Posterior al terremoto, personal del puerto realizó inspecciones de la infraestructura donde se determinó cerrar las dependencias de los sitios 1 y 2 de EPI, debido a los severos daños registrados en las explanadas, como asentamientos y significativas grietas. Mientras que la infraestructura correspondiente al espigón, operado por ITI, no tuvo daños significativos. El Sitio 3 contaba con refuerzo antisísmico, y pudo seguir operando salvo con algunas restricciones, y el Sitio 4, con diseño antisísmico, pudo seguir operando normalmente. Debido a esto, la autoridad marítima autorizó la reanudación de las operaciones de los sitios 3 y 4 de ITI el día 3 de abril.

A continuación, se describen los daños registrados en la infraestructura portuaria del Puerto de Iquique producto del evento del primero de abril de 2014 (EPI, 2014):

1) Daños en sitios de atraque 1 y 2 del Molo de Abrigo.

En este sector se registraron daños importantes debido al deslizamiento y giro de los bloques de hormigón debido al sismo. Estas deformaciones generaron un asentamiento de los rellenos y el colapso de los pavimentos trasdós del muro. Se incluye el muro transversal frontal, ubicado al norte de los frentes de atraque, que tiene la misma configuración y tipo de daños que dicho frente.

Los desplazamientos del muro y los asentamientos del relleno, fueron más severos en el extremo norte del Molo de Abrigo, en especial en el encuentro del muro longitudinal con el transversal donde se forman grietas y aberturas en los muros, dejando expuesto el material de relleno a la acción de lavado del oleaje y las mareas. Tanto las deformaciones del muro como los asentamientos tienen una magnitud relativamente menor (algunos centímetros) en el sector sur del frente de atraque del Sitio 2 y aumentan en importancia hacia el norte de éste, donde los desplazamientos registrados fueron del orden de 3m y los asentamientos del orden de 1.5m aproximadamente.

Cabe mencionar que la linealidad de este frente de atraque, se perdió completamente debido a la deformación del muro.



Figura 6.12: Grietas en las explanadas del Molo de Abrigo (EPI).

FUENTE: PUERTO DE IQUIQUE.

2) Extremo Molo de Abrigo

En el sector del extremo, el Molo está constituido por grandes bloques de hormigón, sin rellenos interiores, que abarcan toda la superficie de esta extensión. En este sector se registró una abertura longitudinal en la superficie, evidenciando la separación de los bloques que conforman este sector. Se estima que la abertura alcanzó el orden de 20 a 30cm. Además, en la misma abertura se produjo un desnivel del mismo orden de magnitud. Lo anterior, pudo causar que en este sector se produjera un desplazamiento y giro de los bloques de menor magnitud.

3) Muro Exterior Molo de Abrigo

En el sector externo del Molo de Abrigo, se produjo una pérdida de la verticalidad del muro de bloques en el que se registraron diversas grietas. Además, se produjo un desplazamiento relativo entre los bloques superiores e inferiores, que influyó en la pérdida de verticalidad. Esto se registró principalmente en el sector central del Molo, donde se produjo una curvatura y pérdida de linealidad en el coronamiento.



Figura 6.13: Grieta en muro exterior (extremo del Molo de Abrigo).

FUENTE: PUERTO DE IQUIQUE.

4) Otros daños

Sector Camanchaca:

En general, no se registraron daños importantes en el muro del Sector Camanchaca, salvo una leve inclinación. Mientras que los pavimentos de esta zona sufrieron algunos daños menores, como descensos y grietas.

Rellenos:

Se registró un descenso importante en los rellenos, especialmente en el sector central y sector norte del Molo. Este descenso de los pavimentos está claramente originado por el desplazamiento o giro de los muros que lo contienen, pero, además, pudo existir algún grado de compactación dinámica y pérdida de relleno debido al sismo.

Pavimentos:

En general, el daño en los pavimentos fue producto de deformaciones en los rellenos, como desniveles y grietas notables. En algunos sectores se registraron daños transversales, aparentemente por compresión, y ocasionados probablemente por las ondas sísmicas que se movieron longitudinalmente en el molo.

Servicios:

El servicio de electricidad y suministro de agua se vio interrumpido debido al sismo. Incluso, en algunos sectores se produjeron escurrimientos de agua debido a fugas.

Cabe mencionar que inspecciones submarinas contratadas por EPI arrojaron un total aproximado de 50 anomalías entre grietas, desplazamientos, desprendimientos de material, etc. Las anomalías expuestas a continuación, corresponden a las más significativas, siendo su repercusión más importante y teniendo un compromiso infraestructural mayor (EPI, 2014):

- Aberturas.
- Desplazamientos verticales.
- Desprendimientos.
- Desplazamiento lateral del cabezo.
- Desprendimiento en el molo (casi cabezo).
- 6 bloques desplazados horizontalmente.
- 2 bloques desplazados verticalmente.
- Desplazamiento horizontal de la zapata.
- 3 bloques desplazados horizontalmente sobre la zapata.
- Abertura en la zapata.
- Bloque desplazado y sumergido en el fondo.
- Desplazamientos laterales.

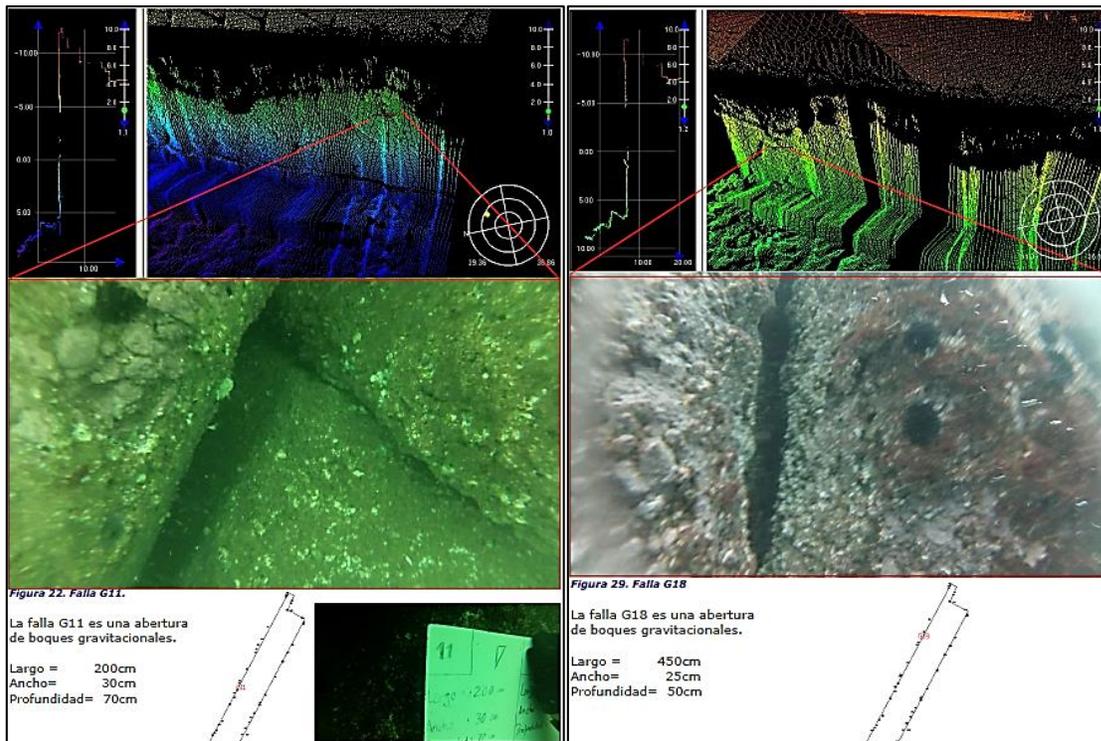


Figura 6.14: Ejemplo de aberturas en bloques de hormigón del Molo de Abrigo (EPI).

FUENTE: PUERTO DE IQUIQUE.

5) Daños en sitios 3 y 4 de ITI

El Sitio 3 sufrió daños menores que no impidieron la continuidad operacional del Muelle. Mientras que el Sitio 4 no presentó daños.



Figura 6.15: Daños en sitios 3 sector Espigón (ITI).

FUENTE: PUERTO DE IQUIQUE.

6.3.2. RESUMEN DE DAÑOS DEL MOLO DE ABRIGO.

La siguiente figura (Figura 6.16) resume los daños registrados en el sector del Molo de Abrigo perteneciente a EPI. Mientras que los daños en el Espigón perteneciente a ITI, no se incluyen en la tabla (Tabla 6.1), ya que sólo el Sitio 3, sufrió daños menores en una zona del pavimento y el Sitio 4, con diseño antisísmico, no registró daños.

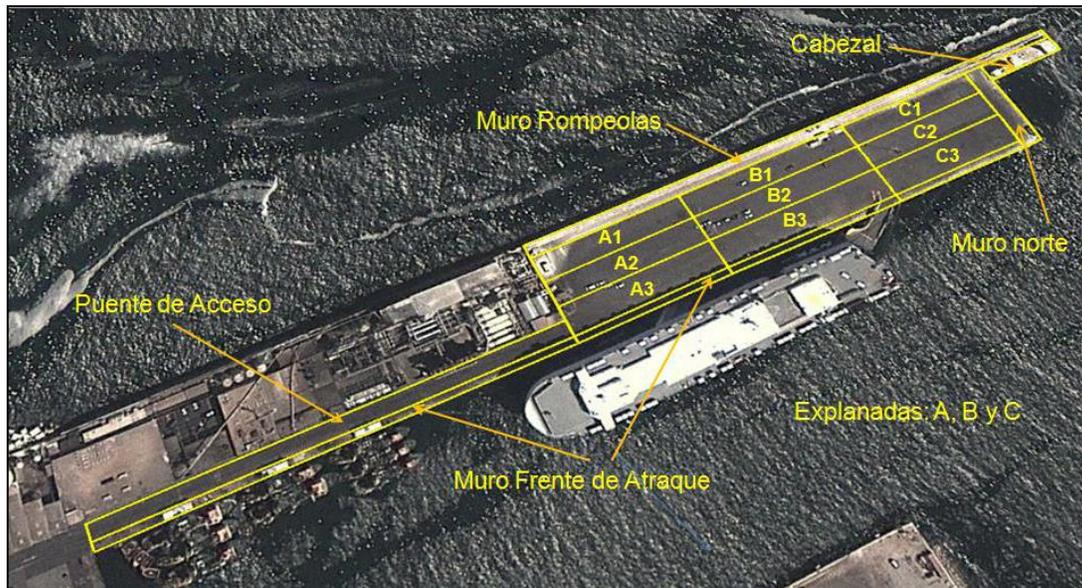


Figura 6.16: Sectorización de daños del Molo de Abrigo (EPI).

FUENTE: PUERTO DE IQUIQUE.

Tabla 6.1: Clasificación de daños en molo de abrigo (EPI) del Puerto de Iquique.

OBRA	SECTOR	ZONA	DAÑOS	MAGNITUD	OBSERVACIONES
MURO ROMPEOLAS	A		No		Daños leves, se registraron fisuras en el sector C y un desalineamiento en la zona central (B). No implicó riesgos.
	B		DA	Leve	
	C		F	Leve	
CABEZAL			F+G	Muy grave	Grieta expuesta al mar que drena el relleno, perdiendo su condición. Presentó un riesgo por colapso.
MURO NORTE			I+DN+F+G	Muy grave	Sector colapsado, en continuo deterioro por acción del oleaje en grietas.
MURO FRENTE DE ATRAQUE	A		No		Presentó una situación distinta según tramo, sin daño aparente entre las bitas 18 y 10, pero con daños graduales hasta el límite del colapso en su extremo, en Bita 1.
	B		DA+I+DN+F	Mediano	
	C		DA+I+DN+G+F	Grave	
	Zona pesqueros		No		
PUENTE DE ACCESO			DN+G	Mediano	Se permitió su uso con restricciones. Sólo para vehículos livianos.
EXPLANADAS	A	1	DN+G	Leve	Situación variable según tramo, con sectores colapsados.
		2	DN+G	Mediano	
		3	DN+G	Muy grave	
	B	1	DN+G	Mediano	Situación variable según tramo, con sectores colapsados.
		2	DN+G	Grave	
		3	DN+G	Muy grave	
	C	1	DN+G	Mediano	Situación variable según tramo, con sectores colapsados.
		2	DN+G	Grave	
		3	DN+G	Muy grave	
DA= Desalineamiento DN= Desniveles I= Inclinación F= Fisuras G= Grietas					

FUENTE: PUERTO DE IQUIQUE.

7. MATRIZ DE EVALUACIÓN DE DAÑOS

Como se ha presentado anteriormente, una matriz de riesgo es una herramienta de control y gestión, que sirve para identificar, evaluar y clasificar los riesgos ante uno o más escenarios de peligro. Para la composición de la Matriz de Riesgo de Infraestructura versus Daños, fue necesario definir los tipos de daños y establecer los niveles de daños, lo cual se explica a continuación.

El nivel de riesgo depende de la probabilidad de ocurrencia ante el escenario de peligro adoptado y el nivel de severidad que este tenga. El índice de probabilidad ha sido estimado de manera cualitativa como “Alto”, “Medio”, “Bajo” y “Despreciable”, y permite evaluar cuán factible es que se produzcan efectos negativos, lo cual depende de las condiciones y circunstancias del escenario de peligro.

La severidad de las consecuencias, depende del sistema amenazado bajo análisis y la manera en que los receptores puedan verse afectados. En el caso de la seguridad de las personas, éstas pueden sufrir lesiones o incluso morir, por causa de accidentes en las instalaciones o fallas importantes en la infraestructura (Ej. Caída de maquinaria o contenedores, colapso de muros de contención, etc.). Otro tipo de receptor que puede verse afectado es el medio ambiente, como su flora y fauna, zonas de cultivo, o bien, las actividades económicas, las cuales se consideran afectadas por la contaminación cuando se produce un daño a la calidad de los ecosistemas o terrenos productivos.

Para definir los tipos de impacto a utilizar se indagó en matrices realizadas por empresas privadas y organismos públicos (ver: ANEXO F. MATRICES DE RIESGO) a fin de poder establecer los criterios adecuados en la consideración de un escenario de peligro por terremoto y tsunami en la infraestructura portuaria. En base al estudio y análisis de estas tablas (ver: Tabla F.1, Tabla F.2 y Tabla F.3), se procedió a definir los tipos de impacto a utilizar ante escenarios de peligro por terremoto y tsunami en la infraestructura portuaria.

Al combinar los factores de probabilidad de ocurrencia y niveles de daño, se obtiene una matriz de riesgo, que es una tabla de entrada doble, donde por cada combinación de los factores (probabilidad de ocurrencia y niveles de daño), se obtiene un valor único de magnitud del riesgo. Es razonable que mientras mayor sea la probabilidad del escenario de peligro y más significativas sus consecuencias, mayor sea la magnitud del riesgo asociado a ese escenario en particular.

Así, la aplicación de la Matriz de Riesgos, permite evaluar los escenarios de peligro adoptados, ya sea por terremoto o tsunami, y clasificarlos según su probabilidad y severidad de sus consecuencias.

Los niveles de daño se determinan según los criterios establecidos por Reyes (2013), que conducen a una escala cualitativa definida en niveles como: Despreciable, Menor, Moderado, Serio y Severo.

Se estima un nivel de daños “Despreciable”, cuando no hay daños relevantes en la infraestructura, no se imposibilita el accionar normal del puerto, ni implica costos de reparación de la infraestructura. Así, las consecuencias serán más graves en la medida que

incremente el número de receptores afectados o aumente la gravedad de los daños ocasionados en la infraestructura. Cabe mencionar, que el nivel “Severo”, se ha reservado para cuando la totalidad de la infraestructura colapsa, dejando el puerto inoperativo a cualquier tipo de uso.

Así, el resultado de este procedimiento permitió obtener la matriz de análisis de riesgos expuesta a continuación (ver: Tabla 7.1):

Tabla 7.1: Matriz de riesgo en infraestructura portuaria.

NIVEL DE IMPACTO	TIPOS DE IMPACTO		
	INFRAESTRUCTURAL	OPERACIONAL	ACTIVOS
DESPRECIABLE	Los daños estructurales y/o no estructurales son despreciables. Su reparación es inmediata y los gastos asociados no son significativos.	No hay pérdida de continuidad del servicio.	Los daños sobre activos son despreciables y/o su costo asociado es muy bajo. No conlleva una interrupción operacional.
MENOR	Los daños estructurales y/o no estructurales son menores y localizados. Su reparación requiere una planificación simple y los gastos asociados no son importantes.	Las operaciones normales del puerto pueden continuar previo chequeo de las condiciones infraestructurales. Podría requerirse una parada operacional breve para ejecutar reparaciones.	Daño menor a MUS\$0.5. Con breve interrupción operacional.
MODERADO	Los daños estructurales son menores a moderados y los daños no estructurales son moderados a severos. Su reparación requiere una planificación detallada y los gastos asociados son importantes.	Las operaciones normales del puerto son interrumpidas y podrían continuar parcialmente después de chequear las condiciones infraestructurales. Es imprescindible efectuar paradas operacionales para ejecutar reparaciones.	Daño localizado, entre MUS\$0.5-1.5. Detención de algunos sectores del puerto.
SERIO	Los daños estructurales son moderados a mayores y los daños no estructurales son severos. Su reparación requiere una planificación detallada, con grandes gastos asociados y con efectos secundarios que pueden afectar la normal operación del puerto.	Las operaciones normales del puerto son interrumpidas y sólo pueden continuar parcialmente después de chequear y reparar las condiciones infraestructurales. Es imprescindible efectuar paradas operacionales extensas para ejecutar reparaciones.	Daño mayor, entre MUS\$1.5-5. Pérdidas parciales de operación.
SEVERO	Los daños estructurales son severos, y se compromete la estabilidad de las estructuras. Los elementos no estructurales resultan severamente dañados, afectando su serviciabilidad. Su reparación o reconstrucción requiere una planificación exhaustiva, con grandes gastos asociados y con efectos secundarios que afectan la normal operación del puerto.	Las operaciones normales del puerto son interrumpidas y sólo pueden continuar después de reconstruir la infraestructura dañada o, eventualmente, colapsada. Las paradas operacionales son muy extensas.	Daño extensivo, sobre MUS\$5. Pérdidas sustanciales de operación.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

7.1. MATRIZ DE RIESGO PARA PUERTOS DE LA OCTAVA REGIÓN

La matriz cualitativa de impacto expuesta anteriormente, fue aplicada a los puertos analizados de la octava región (ver: ANEXO D) para obtener empíricamente sus niveles de impacto producto del terremoto de 2010. El resultado final de este análisis se resume en la siguiente tabla:

Tabla 7.2: Matriz de impacto aplicada a los puertos de la octava región.

PUERTO	TIPOS DE IMPACTO		
	Infraestructural	Operacional	Activos
Lirquén Este	Moderado	Moderado	Moderado
Lirquén Oeste	Menor	Menor	Menor
Muelle Penco	Moderado	Moderado	Moderado
Talcahuano	Severo	Severo	Severo
SVTI	Serio	Moderado	Severo
Enap	Menor	Moderado	Severo
CAP Huachipato	Serio	Serio	Severo
Muelle Puchoco	Menor	Moderado	Serio
Muelle Jureles	Menor	Moderado	Serio
Muelle Chollín	Menor	Moderado	Moderado
Coronel Norte	Moderado	Moderado	Moderado
Coronel Sur	Menor	Menor	Menor

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Para determinar el nivel de impacto en el aspecto infraestructural, se compuso una matriz de infraestructura versus daños, que resume todo el estudio hecho en el ANEXO D. En esta matriz, se sectorizó la infraestructura portuaria y se analizó cada una de sus componentes según sus daños, para luego ponderar dicho daño de manera empírica con fundamento en los registros escritos y fotográficos obtenidos. La manera de ponderar fue mediante la misma escala de niveles de impacto (despreciable, menor, moderado, serio y severo), pero asignándoles un valor de 1 a 5 (siendo 1 despreciable y 5 severo), ponderación que fue hecha por cada sector del puerto (ver: MATRICES DE RIESGO; Tabla F.4, Tabla F.5, Tabla F.6, Tabla F.7 y Tabla F.8).

Al igual que el impacto Infraestructural, el tipo de impacto Operacional, fue definido de manera empírica, utilizando la información sobre la recuperación que tuvo cada puerto, es decir una vez ocurrido el evento del 27F, cuánto les tomó a cada sitio de atraque recuperar su operatividad (ver: Tabla 5.4: Recuperación de los sitios de atraque por puerto, octava región.; Figura 5.7: Gráfico de recuperación portuaria octava región.).

Por último en el tipo de impacto Activos, se establecieron los niveles de daños basándose en la información principalmente escrita del ANEXO D y contrastándola con los registros fotográficos y la información de daños infraestructurales junto a los costes de reparación de

cada puerto (ver ANEXO F: MATRIZ INFRAESTRUCTURA VS DAÑO, OCTAVA REGIÓN.).

7.2. MATRIZ DE RIESGO PARA EL PUERTO DE IQUIQUE

Una vez aplicada la Matriz de Riesgo a los puertos de la Octava Región, se procedió a aplicar mediante el mismo procedimiento, la matriz de riesgo (Tabla 7.1), al Puerto de Iquique. Para estimar empíricamente el nivel de daño infraestructural, se sectorizó el Puerto según sus concesionarios, que coinciden con sus principales obras marítimas y terrestres (ver: Figura 6.7 y Figura 6.8). Quedando de la siguiente manera: Molo de Abrigo (EPI), Espigón (ITI), Molo de unión (acceso al puerto), el Astillero Marco Chilena y las áreas comunes (usadas principalmente como zonas de acopio y tránsito).

El molo de abrigo fue el sector más dañado, por lo que fue necesario categorizar su infraestructura para definir el nivel de daño en cada zona. El sector del Espigón, sólo registró daños menores al igual que el molo de acceso al puerto. Mientras que las explanadas de las áreas comunes (zonas de acopio y tránsito) no registraron daños infraestructurales, sólo daños menores en equipamiento. Por último, el Astillero Marco Chilena no registró daños infraestructurales, ni tampoco en sus elementos no estructurales.

El impacto operacional más significativo, se dio en el sector del molo de abrigo, debido a los importantes daños que tuvo producto del sismo, donde aún se encuentran detenidas sus operaciones normales, a la espera que sea reconstruida gran parte de su infraestructura, la que se espera finalice el segundo semestre de 2017. El sector del espigón, correspondiente a ITI, sólo registró una breve parada operacional mientras se chequeaba su condición infraestructural luego del sismo. Luego de esto pudo continuar con normalidad sus operaciones. Mientras que los sectores del molo de unión y las zonas de acopio no sufrieron pérdidas en la continuidad del servicio.

Los daños sobre los activos del puerto fueron despreciables, con un costo asociado muy bajo, que no produjo una interrupción operacional, salvo en el sector del molo de abrigo (EPI), que tuvo daños mayores, lo que significó pérdidas parciales de operación.

Tabla 7.3: Matriz de impacto aplicada al Puerto de Iquique.

PUERTO DE IQUIQUE	TIPOS DE IMPACTO		
	Infraestructural	Operacional	Activos
Molo de Unión	Menor	Despreciable	Despreciable
Zona de Acopio	Despreciable	Despreciable	Despreciable
Espigón	Menor	Menor	Despreciable
Molo de Abrigo	Serio	Severo	Serio

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La tabla de infraestructura vs nivel de daño se expone en el ANEXO F (MATRIZ TIPOLOGÍA INFRAESTRUCTURA VS DAÑO PUERTO DE IQUIQUE.). Fue compuesta mediante la información recogida y analizada en el punto 6.3.1 (Daños registrados en el Puerto de Iquique). Donde se asignó un nivel de daño de 1 a 5 (Despreciable, Menor, Moderado, Serio y Severo) dependiendo de la severidad de las consecuencias que ocasionó el terremoto en la infraestructura.

7.3. ESCENARIOS DE PELIGRO ADOPTADOS

Si bien, el terremoto ocurrido el 1° de abril de 2014 afectó significativamente al Puerto de Iquique, y en especial a la Empresa Portuaria de Iquique (EPI), correspondiente al Molo de Abrigo, no fue el peor escenario que pudo suceder. Los principales daños registrados fueron causa del terremoto y no del tsunami de intensidad menor.

En el pasado, las ciudades de Arica e Iquique ya han experimentado eventos de mayor magnitud a lo sucedido el 2014. Los terremotos de Arica 1604 y 1868 e Iquique 1877, tuvieron una magnitud cercana a los $8.8M_w$, magnitud que fue estimada en relación a registros históricos de los tsunamis generados por estos mega eventos, todos con una altura cercana a los 20 metros. Barrientos (2014) indica que al estimar la longitud de ruptura de los principales sismos del último siglo en el norte de Chile, aún existen dos sectores en los cuales no se han producido sismos de mayor intensidad, precisamente al norte y sur de la zona de ruptura del evento sísmico del 2014 (ver: Figura C.7). Siendo probable que estas zonas se activen en las próximas décadas, ya sea en sismos independientes con magnitud cercana a la del 2014 ($8.2M_w$), pero también pudiendo llegar a activarse de manera simultánea, alcanzando una magnitud mucho mayor. (Más detalle en ANEXO C: LA LAGUNA SÍSMICA DEL NORTE DE CHILE.).

En vista de esto, es que se proponen otros dos escenarios de peligro similares a lo acontecido en el evento del 2010; uno de características sismo-tsunamigénicas, como lo ocurrido en la Bahía de Concepción (ver: ANEXO D. BAHÍA DE CONCEPCIÓN) y otro de características sismo-tsunamigénicas semejantes a lo sucedido en la Bahía de Coronel (ver: ANEXO D. BAHÍA DE CORONEL), a fin de poder contrastarlo con el evento de abril de 2014, e identificar el nivel de daños posible de ocurrir en la infraestructura del Puerto de Iquique ante un evento de mayor envergadura.

7.3.1. ESCENARIO 1

La Bahía de Concepción, también conocida como Bahía de Talcahuano, alberga a los puertos de Lirquén, Talcahuano, ASMAR (Astillero de la Armada) y Muelle Penco (ver: Figura 5.2). De éstos, el Puerto de Talcahuano junto con ASMAR fueron los más dañados por el tsunami del evento del 27F de 2010 debido a su cercanía al epicentro y aún más por su ubicación y orientación geográfica con respecto a la dirección de propagación del tsunami (ver: Figura 1.3 y Figura D.24). Al encontrarse dentro de una Bahía orientada hacia norte, recibió de lleno el tren de ondas de tsunami, que además una vez dentro de la Bahía se vio amplificado por distintos fenómenos, como refracción, difracción y reflexión, además de posibles efectos de resonancia (ver Figura 3.11: Condiciones resonantes de la Bahía de Concepción.), que coincide con el registro de los mayores niveles de runup e inundación (ver Figura 5.3: Mediciones de runup y profundidad de flujo.).

Un caso similar en el Puerto de Iquique, podría darse si el epicentro del terremoto estuviese ubicado entre el norte y noroeste del puerto, y que alcanzara una magnitud cercana a los 9.0M_w, lo que generaría un tsunami de intensidad mayor (ver: Tabla 3.9). De este modo, el tren de ondas de tsunami penetraría al interior del puerto sin mayores obstáculos, pudiendo devastar todo a su paso. Las explanadas de los sitios de atraque que se encuentran pilotados podrían verse sometidos a un efecto de subpresión por efecto del agua, mientras que los sectores compuestos por cajones gravitacionales se desalinearían de su disposición original e incluso algunos de sus elementos podrían salir expulsados ante el embate de las ondas de tsunami, de manera semejante a lo acontecido en el Puerto de Talcahuano producto del evento del 27F de 2010, lo que causaría severos daños en los sectores de atraque del puerto. Por otra parte, los elementos no estructurales del puerto (equipamiento, grúas, sistemas de amarre, etc.) podrían ser arrastrados de su disposición original o quedar inoperativos ante la embestida de otros elementos producto del tsunami. Ante la probable ocurrencia de este tipo de daños, se elaboró una matriz de evaluación de impacto infraestructural para el Puerto de Iquique, expuesta como 'ESCENARIO 1.', con la que se compuso la siguiente matriz de riesgos para el Puerto de Iquique:

Tabla 7.4: Matriz de impacto ante Escenario 1 aplicada al Puerto de Iquique.

PUERTO DE IQUIQUE	TIPOS DE IMPACTO		
	Infraestructural	Operacional	Activos
Molo de Unión	Moderado	Moderado	Menor
Zona de Acopio	Menor	Menor	Menor
Espigón	Serio	Severo	Serio
Molo de Abrigo	Severo	Severo	Severo

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Ante un evento sismo tsunamigénico, proveniente entre el norte y oeste, el molo de abrigo será siempre la estructura más expuesta, ya que aparte de servir como sitio de atraque, su estructura actúa como rompeolas, estando su lado oeste expuesto constantemente a la acción del oleaje y sirviendo como protección al sector interior del Puerto. Si bien, el Puerto de Iquique no cuenta con protección natural, el Molo de Abrigo, correspondiente a EPI actúa como protección para los otros sectores del lado este del puerto, como son ITI, el Astillero y la caleta de pescadores.

Al igual que lo acontecido el 1° de abril de 2014, probablemente el Molo de Abrigo resultaría la infraestructura más dañada debido a su ubicación y orientación, dejando esta zona más expuesta al tsunami. Así mismo, ITI podría sufrir significativos daños, tanto por el terremoto de gran magnitud, como por la intensidad del tsunami y los posibles fenómenos de transformación al interior de la dársena, lo que amplificaría su poder destructivo. El otro sector que podría sufrir significativos daños por efectos del evento sismo tsunamigénico, sería el molo de unión, el cual requeriría ser reparado para su rehabilitación con gastos asociados importantes. Cabe destacar que la inoperatividad de este sector, condicionaría la operatividad de todo el Puerto, ya que corresponde a su principal y único acceso terrestre a las demás zonas. Por último, las áreas comunes correspondientes a las zonas de acopio, podrían sólo experimentar daños menores, principalmente daños no estructurales por efectos del arrastre de materiales y en su equipamiento debido al terremoto y tsunami.

7.3.2. ESCENARIO 2

Para el Escenario 2, se consideró lo acontecido en la Bahía de Coronel, que alberga al Puerto de Coronel y a la Empresa Portuaria Cabo Froward. La Bahía se encuentra en la zona noreste del golfo de Arauco (ver: Figura D.36), a aproximadamente 175km al sureste del epicentro del 27F de 2010. La Bahía se orienta hacia el oeste, y debido a la presencia de la Isla Santa María por el oeste y Punta Lavapié por el suroeste, se encuentra al abrigo del oleaje del tercer cuadrante que predomina la mayor parte del año. Mientras que la presencia de Punta Puchoco por el norte, le proporciona algo de abrigo respecto del oleaje incidente desde el cuarto cuadrante.

Tanto la Portuaria Cabo Froward como el Puerto Coronel, no registraron daños por efectos del tsunami, el que fue de menor intensidad en la Bahía de Coronel, registrando los menores niveles de runup e inundación (R10 y R11) dentro de las tres bahías analizadas (ver: Figura 5.2 y Tabla 5.2).

Los daños más significativos fueron producto de la licuación producida por el terremoto, siendo el Muelle 1 y las explanadas de las zonas de acopio del Puerto de Coronel, las zonas más afectadas (ver: ANEXO D. PUERTO DE CORONEL).

A diferencia de los puertos de la Bahía de Coronel, que cuentan con protección natural. El Puerto de Iquique no posee hitos geográficos importantes que se opongan ante la acción de un tsunami, ya que, por su ubicación, se encuentra expuesto al oleaje de todas direcciones. Sin embargo, la ex Isla Serrano, donde actualmente se encuentran las zonas comunes, puede actuar como protección para los sitios de atraque y el interior del Puerto, ante un tsunami proveniente entre el sur y suroeste. Así, para que ocurriese un caso similar a lo acontecido en la Bahía de Coronel (ver: ANEXO D. BAHÍA DE CORONEL), el evento sismo tsunamigénico, de características similares al Escenario 1, tendría que generarse entre el sur y suroeste del Puerto de Iquique (ver: Tabla 7.5: Matriz de impacto ante Escenario 2 aplicada al Puerto de Iquique.). Así, se compuso la siguiente matriz de impacto:

Tabla 7.5: Matriz de impacto ante Escenario 2 aplicada al Puerto de Iquique.

PUERTO DE IQUIQUE	TIPOS DE IMPACTO		
	Infraestructural	Operacional	Activos
Molo de Unión	Menor	Menor	Despreciables
Zona de Acopio	Moderado	Moderado	Menor
Espigón	Menor	Moderado	Menor
Molo de Abrigo	Moderado	Serio	Moderado

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

8. CONCLUSIONES

Si bien las amenazas por terremotos y tsunamis, analizadas en este proyecto de título, son producto de fenómenos naturales y no acciones humanas, el impacto que éstas puedan tener en la infraestructura puede ser potenciado por un incorrecto uso del suelo y una deficiente preparación ante este tipo de fenómenos, como el diseño, ubicación y configuración en general. En gran parte de los puertos analizados, los fenómenos de terremoto y tsunami causaron significativos daños en la infraestructura portuaria, pero se hacen difíciles de cuantificar debido a que producen efectos negativos acumulativos a largo plazo, es decir, daños infraestructurales internos que se manifiestan posterior al evento sismo tsunamigénico, o bien efectos negativos en la morfología del sector donde se ubica el puerto, lo que compromete su estabilidad y operatividad a futuro.

La capacidad de respuesta que tuvo cada puerto analizado fue variada y dependió principalmente de las características propias de cada uno de ellos, como su diseño constructivo, el tipo de unión entre los elementos de refuerzo, la configuración geográfica, las características físicas del suelo donde se emplazan, las propiedades dinámicas de las estructuras, su antigüedad, su manutención y conservación. Se observaron mayores daños en los puertos de tipo cerrado, es decir, que no contaban con pilotes, principalmente por fenómenos de licuación y desplazamiento lateral, que se ejemplifica en la Tabla F.4, Tabla F.7 y Tabla F.8, donde el sector del espigón del Puerto de Talcahuano, construido en 1935, registró severos daños en sus muros de contención correspondientes a cajones gravitacionales, los que terminaron por colapsar ante el embate de las ondas de tsunami. Del mismo modo los muelles marginales del Puerto de Talcahuano y SVTI, expuestos en la Tabla F.7 y Tabla F.8, registraron severos y serios daños respectivamente. Cabe mencionar que el sector del muelle marginal de SVTI, es un malecón construido en terrenos ganados al mar y donde sólo algunos sectores habían sido reforzados mediante pilotes. Un aspecto crítico en los muelles analizados, fue la rigidez lateral de los pilotes verticales (ver Figura E.2: Efecto del desplazamiento lateral sobre pilotes.), los que registraron una mayor cantidad de daños por licuación y desplazamiento lateral, lo que depende de las propiedades del suelo donde se encontraban hincados. Niveles de daños serios y severos, fueron registrados en el Puerto de Lirquén, Muelle Penco y Puerto de Coronel, lo que se representa en la Tabla F.5 y en la Tabla F.6, correspondientes a las zonas del puente de acceso y cabezo respectivamente.

La respuesta estructural de los puertos analizados de la Octava Región y del Puerto de Iquique, dependió principalmente del tipo de construcción de cada uno de ellos, por ejemplo, los puertos con estructura de acero (tanto losa como pilotes), prácticamente no registraron daños, salvo por algunos daños menores en elementos de la superestructura o en el encamisado de sus pilotes. Este menor nivel de daños, se puede entender por la alta capacidad de deformación del acero, en otras palabras, su gran capacidad para disipar energía, ante una inducción de movimiento externo, como un sismo. De los puertos analizados de la octava región, los que contaban con esta tipología estructural, fueron: Muelle Penco, Muelle ENAP y la Empresa Portuaria Cabo Froward, que se encuentran en las bahías de Talcahuano, San Vicente y Coronel respectivamente. De estos puertos, sólo el Muelle Penco se vio enfrentado a un tsunami de intensidad mayor, producto de la ubicación geográfica de éste, ya que la Bahía de Talcahuano, al estar orientada hacia el norte, recibió de manera directa el tren de ondas de tsunami, a diferencia de las otras dos

bahías que contaron con resguardo natural. Los daños de cada uno de estos puertos se presentan en el ANEXO D.

Aunque la variedad de la infraestructura portuaria en Chile no es mucha, se distinguen dos tipos principales en los puertos analizados, que son muelles pilotados (tipo abierto) o muelles en base a bloques de hormigón, como muros de contención (tipo cerrado), siendo estos últimos los que registraron un mayor nivel de daños, llegando incluso a colapsar. Mientras que, en las estructuras portuarias pilotadas, se presentaron daños menores más localizados. Un aspecto importante en esta diferencia de daños, fue el año de construcción de estos puertos, ya que precisamente el Puerto de Talcahuano, construido en 1935, era el más antiguo y terminó por colapsar. El colapso de su infraestructura pudo verse potenciado por una mala mantención, como fisuras en su estructura, deterioro del hormigón y distintos componentes, entre otros. Tanto los sectores de las zonas de acopio, el espigón y los sitios de atraque del muelle marginal, ponderaron un nivel de daño severo, señalados en las matrices de infraestructura versus daños en las tablas Tabla F.4, Tabla F.7 y Tabla F.8, lo que implicó un impacto severo a nivel de Operación y en los activos del puerto (ver: Tabla 7.2). Cabe destacar que la zona de emplazamiento del Puerto de Talcahuano, fue el sector que registró los mayores niveles de inundación y runup, como se vio en la Tabla 5.2, siendo otro factor determinante, la cercanía del puerto con el epicentro, la orientación geográfica de éste con respecto a la dirección de propagación del tsunami y las condiciones resonantes de la bahía. Así también, el molo de abrigo del Puerto de Iquique construido en 1932, mediante cajones gravitacionales dispuestos sobre un talud de enrocado y con gran parte de su infraestructura con suelos de relleno, fue el sector del puerto que registró mayores daños, llegando al colapso en varias de sus secciones (ver: Tabla 6.1 y Tabla F.10), y que aún se encuentra en proceso de reconstrucción.

Si bien los muelles de tipo abierto (pilotados), en general registraron menores daños, éstos tenían una menor antigüedad que las estructuras del tipo cerrada, y además no se encontraban en zonas donde el tsunami arribó de manera directa, sino que se encontraban en las zonas donde hubo menores niveles de runup e inundación. Por otra parte, las estructuras portuarias que contaban con sistemas antisísmicos en los sectores de atraque, registraron un notable comportamiento por sobre todas las demás estructuras, reduciendo considerablemente los daños en la losa de hormigón, y su unión con los pilotes, como aconteció en el Muelle Coronel Sur y en el sitio 4 de ITI del Puerto de Iquique. En el caso del Muelle Coronel Sur, la ponderación de los daños evaluados en su infraestructura, fue significativamente menor en comparación al Muelle Coronel Norte que se encuentra aledaño (ver: Matriz infraestructura vs daños: Tabla F.6 y Tabla F.7), lo que pudo deberse a la mayor antigüedad del Muelle Coronel Norte, pero principalmente por su tipología estructural, ya que como se mencionó anteriormente el Muelle Sur, construido en el 2007, contaba con sistema antisísmico. Al igual que los sitios de atraque del sector del Espigón, correspondiente a Iquique Terminal Internacional (ITI), que registró daños menores y despreciables, favorecidos por su diseño sismoresistente (ver Tabla 7.3: Matriz de impacto aplicada al Puerto de Iquique.).

La recopilación y análisis de datos permitió idear escenarios de riesgo hipotéticos para el Puerto de Iquique. Si bien fueron construidos de manera empírica, su justificación está dada en los riesgos descritos por amenazas de terremoto y tsunami, junto al análisis de los daños producto del evento del 27F y por lo acontecido en el evento del primero de abril de 2014 en Iquique. En base a esto, se pudo apreciar que el nivel de daño en la infraestructura

portuaria está en función de: la orientación geográfica del puerto; la topobatimetría del sector, por su incidencia en la propagación del tsunami; la distancia del puerto con el epicentro; las características del suelo en que se encuentra fundado (tipo de suelo, nivel de compactación, riesgo de licuación y desplazamiento lateral); y las características propias del puerto, como son su antigüedad, materiales de construcción y tipología estructural en general, además del tipo de operación y servicio que presta, ya que no implica la misma amenaza un puerto que transfiere elementos tóxicos o químicos, a uno de bienes de consumo, como ropa o electrodomésticos, entre otros.

De los puertos analizados de la Octava Región, los que más se asemejan al Puerto de Iquique según su infraestructura, son el Puerto de Talcahuano y San Vicente Terminal Internacional (SVTI), ya que parte de su tipología estructural es de muros de contención, como cajones gravitacionales o bloques de hormigón, como es el caso del molo operado por EPI (ver: ANEXO F. MATRIZ INFRAESTRUCTURA VS DAÑO, OCTAVA REGIÓN. y MATRIZ TIPOLOGÍA INFRAESTRUCTURA VS DAÑO PUERTO DE IQUIQUE.). Sin embargo, el sector del espigón operado por ITI, que contempla los sitios 3 y 4, está apoyado sobre pilotes, similar a la infraestructura de SVTI en sus sitios de atraque. De manera análoga, aunque los daños factibles de ocurrir nunca serán los mismos, pueden darse ciertas similitudes a lo acontecido en el evento del 27F. Cabe mencionar, que el oleaje dominante en la Bahía de Talcahuano de dirección norte, difiere notoriamente de la dirección común en la costa chilena, donde el oleaje dominante tiene dirección suroeste.

Lo acontecido en el Puerto de Iquique, producto del evento del primero de abril de 2014, estuvo lejos de ser el peor escenario. Debido principalmente a que el tsunami, producto del terremoto, fue de intensidad menor, causando un nivel de daño menor en la infraestructura del puerto, salvo en el sector del Molo de Abrigo correspondiente a EPI, el cual sufrió severos daños, pero por efectos del terremoto propiamente tal, lo que se vio acrecentado por la antigüedad y deficiente mantención de su estructura. Uno de los peores escenarios, podría ser el propuesto como Escenario 1, tanto por el terremoto, como por los efectos devastadores del tsunami. Mientras que en el Escenario 2, aunque los niveles de daños disminuyen considerablemente, el sector del molo seguiría siendo el más dañado. Esto se entiende debido a que, en cualquier escenario probable, el molo de abrigo será siempre la zona más expuesta ante una amenaza por tsunami, actuando como protección principal para el interior del puerto.

Actualmente se está terminando de reconstruir el sector del molo y sus nuevos sitios de atraque ahora pilotados y con aislación sísmica, por lo que ante un nuevo evento sísmico debiese tener una mejor respuesta, similar a los sitios 3 y 4 de ITI en el evento del primero de abril de 2014, los cuales sólo registraron daños despreciables. Sin embargo, su real respuesta ante un evento sismo tsunamigénico de gran intensidad seguiría siendo una incertidumbre.

Cabe mencionar, que, aunque existen diversas recomendaciones de diseño infraestructural para puertos, los efectos por eventos de terremoto y tsunami han presentado una notable aleatoriedad en los puertos analizados, identificándose como un factor relevante las características propias del suelo en que cada uno se encuentra fundado. Además de la imprecisión en la determinación de la intensidad, ya sea por terremoto o tsunami, debido a que se estima a partir del daño en las edificaciones sin tener necesariamente en cuenta su tipología constructiva.

Se espera que el desarrollo de este proyecto de título permita establecer las bases metodológicas para la generación de curvas de probabilidad de excedencia, también conocidas como curvas de fragilidad, que servirán como herramienta para representar el riesgo de manera gráfica, permitiendo identificar la probabilidad de que se sobrepasen los distintos niveles de daños para un período de tiempo específico.

El análisis llevado a cabo en este proyecto de título no responde a un fin último, sino que sienta las bases para investigaciones futuras, como lo son las curvas de fragilidad, ya sea en aspectos complementarios y/o paralelos a lo desarrollado, siendo necesario ahondar en los efectos y características propias de la infraestructura portuaria mayor, involucrando y detectando múltiples variables más allá de las descritas en este proyecto. Parte de los aspectos que quedan por desarrollar aún más, es el análisis sobre las características físicas propias de la zona de emplazamiento del puerto, como su pendiente y estabilidad del terreno, la calidad del suelo, su nivel de compactación y profundidad, como también realizar una descripción exhaustiva de las singularidades de cada puerto y un análisis detallado para los distintos componentes estructurales que posee cada uno de ellos. Siendo algunas de las variables que alteran, modifican o retardan los efectos del fenómeno natural, posibilitando estimar con mayor certeza los efectos que puedan producirse en la infraestructura portuaria.

El procedimiento aplicado para el análisis de riesgo, es aplicable en diversas disciplinas y contempla un trabajo multidisciplinario. Sin embargo, actualmente no hay una clara delimitación de las fronteras del alcance de los riesgos por desastre. Además de existir diversas definiciones de riesgo y metodologías de cálculo por las diferentes áreas profesionales, las que interpretan en términos basales el riesgo, la vulnerabilidad, la exposición, las consecuencias, daños y pérdidas. No obstante, es necesario uniformar este lenguaje, debido a que es indispensable para una colaboración multidisciplinaria eficiente en la ejecución de todas las subetapas de la cadena de gestión de riesgos.

El creciente desarrollo portuario trae consigo una mayor exposición de infraestructura portuaria a desastres por eventos sismo tsunamigénicos, los que producen efectos negativos en el desarrollo de la ciudad e incluso del país, pudiendo afectar significativamente la economía y el bienestar humano. Siendo necesario contemplar medidas para reducir la vulnerabilidad en el diseño del proyecto y no después, lo que aumenta significativamente su costo. De este modo, la gestión de riesgos de desastres es un asunto de suma importancia en el resguardo del avance de países en vías de desarrollo, como Chile.

En las últimas décadas, diversas áreas de ingeniería, han permitido importantes avances en la reducción de riesgos en la infraestructura de servicios públicos, considerada como básica o esencial, también llamadas líneas vitales, permitiendo anticipar los posibles daños en éstas. Aun cuando no se cuenta con detallados informes sobre la vulnerabilidad infraestructural, se ha logrado adoptar medidas concretas para mitigar el daño potencial, adoptando soluciones convencionales de ingeniería o adecuados criterios. No obstante, es fundamental que se fomente y desarrolle una mayor investigación e innovación tecnológica a fin de optimizar los diseños, la mitigación de daños y el resguardo de las líneas vitales ante eventos sismo tsunamigénicos. No olvidando que el después del desastre, es el antes del próximo evento y que por lo tanto todo lo que se haga o se deje de hacer, influirá en las repercusiones que alcance un próximo evento.

ANEXO A. INFRAESTRUCTURA DEL PUERTO DE IQUIQUE

i. SERVICIOS BÁSICOS DEL PUERTO DE IQUIQUE.

a. INSTALACIONES ELÉCTRICAS.

Las instalaciones eléctricas del puerto se abastecen de la empresa distribuidora local y distribuyen energía a través de diversas subestaciones, cuyas características son las siguientes:

- S/E Molo de Abrigo, posee transformador de 100 KVA de capacidad.
- S/E Almacén A 1,75 KVA de capacidad.
- S/E Sector 8,75 KVA de capacidad.
- S/E Acceso Principal, 50 KVA de capacidad.
- S/E Edificio Institucional, 100 KVA de capacidad.
- S/E Espigón, posee transformador de 200 KVA de capacidad.

Por otra parte, la red de electroductos que sirve de canalización subterránea de los conductores está compuesta de tubería PVC Conduit, de 75 y 110mm de diámetro, en bancos de 1 a 4 ductos, embebidas en un dado de hormigón reforzado con armadura de contorno, complementado con cámaras de hormigón armado y cámaras metálicas de distribución.

Cuenta además con 10 mástiles de alumbrado de corona móvil de 30.5m de altura, un mástil de alumbrado con corona móvil de 40m, dos mástiles de alumbrado 20m, un mástil de alumbrado de 25m y 15 mástiles de alumbrado 15m con sistema de iluminación fija y 30 postes de hormigón del tipo de alumbrado público.

b. INSTALACIONES DE AGUA POTABLE.

Las instalaciones de agua potable del puerto se surten de la empresa suministradora local. La distribución se efectúa mediante tubería de polietileno HDPE PN de 160mm de diámetro y 822m, delimitante con EPI por el sector interior de acceso a ITI, y continúa hacia los Sitios 1 y 2 por la parte posterior de las instalaciones de la Pesquera Camanchaca, en cañería de HDPE PN 10, de 110mm de diámetro y 638m de longitud. Luego continúa por el interior del muro rompeolas, hasta un contenedor de baño en el molo con tubería HDPE PN 10 de 110mm de diámetro, en una longitud de 175m. Por el mismo sector se cruza la explanada hacia el borde del muelle con tubería HDPE PN 10 de 110mm en una longitud de 54m y donde concluye con un grifo para suministro de agua a las naves comerciales. Esta matriz de agua incluye válvulas y derivaciones en todo su recorrido.

c. INSTALACIONES DE ALCANTARILLADO.

Las instalaciones interiores de alcantarillado del puerto, se componen de cañerías de polietileno, tipo HDPE PN 6, de 90 y 63mm de diámetro. Las aguas servidas desde los distintos sectores del terminal EPI se entregan a una cámara centralizada, desde donde son enviadas por impulsión, mediante cañerías del mismo material y diámetro, hasta la planta elevadora ubicada en placa de servicios interna de EPI y desde donde se envían por

impulsión mediante cañerías HDPE PN 10 de 75mm, al colector de la ciudad. Además cuenta con cámaras de inspección de hormigón armado y una cámara del mismo material, que sirve como cortadora de presión. El primer tramo se inicia desde el sector Molo donde se ubican los baños en contenedor, la tubería de diámetro 63mm alcanza una longitud de 727m hasta llegar al vértice del muro costero que colinda con el sector N°3. Este tramo cuenta además con dos cámaras para impulsión de las aguas servidas.

El tramo comprendido desde el vértice del muro costero que colinda con sector N°3 hasta la cámara recolectora, tiene una longitud de 94m y la tubería es de material HDPE PN 6 de diámetro 63mm.

La cámara recolectora y a su vez de impulsión, concentra dos ramales más: el primero proviene desde Almacenes 1 y 2, con cámara de impulsión y a través de una tubería de HDPE PN 6 de 63mm y longitud de 204m. El segundo, con cámara de impulsión, llega desde el sector N°5 (casino) con el mismo tipo de material anterior y con una longitud de 331m.

d. ALMACENES.

El puerto de Iquique cuenta con las siguientes edificaciones en zona primaria, cuya distribución se muestra en la figura siguiente:

Almacén N° 1

Ubicación : Entre Molo y Espigón, orilla Sur de la dársena.
Dimensiones : 40 x 110 m
Superficie : 4,400 m²
Características : Estructura metálica, con techumbre metálica y cubierta de planchas de asbesto cemento. Pavimento de asfalto sobre hormigón.
Año construcción : 1930

Almacén N° 2

Ubicación : Entre Molo y Espigón, tras almacén N°1.
Dimensiones : 48 x 110 m
Superficie : 5,280 m²
Características : Estructura metálica, con techumbre metálica y cubierta de planchas de asbesto cemento. Pavimento de asfalto sobre hormigón.
Año construcción : 1930

Almacén 4-5

Ubicación : Sector 7
Dimensiones : 24.50 x 32.20 m
Superficie : 789 m²
Características : Estructura metálica, con marcos metálicos y cubierta de planchas de fibrocemento. Pavimento de adoquines de 8cm de espesor, muro de hormigón armado de 2m de altura en el perímetro y recubrimiento de fachadas con planchas de fibrocemento.

ANEXO B. SISTEMA PORTUARIO EN CHILE

i. HISTORIA PORTUARIA DE CHILE

La primera actividad portuaria de transferencia de carga de la que se tiene noticia en el litoral chileno fue la recalada, en la Bahía de Valparaíso en 1536, de la pequeña nave Santiaguillo, que trajo recursos a la expedición de don Diego de Almagro, efectuada por tierra desde el Perú.

En 1960, mediante un programa de ordenamiento de las cuentas fiscales, el gobierno dictó varios decretos con fuerza de ley en el ámbito de los servicios públicos, entre otros, el D.F.L. 290, que creó la Empresa Portuaria de Chile, Emporchi, ente autónomo del Estado, a cargo de los puertos: Arica, Iquique, Antofagasta, Coquimbo, Valparaíso, San Antonio, Talcahuano, Valdivia, Puerto Montt y Punta Arenas.

Desde ese entonces, los servicios portuarios en Chile fueron provistos por el Estado, a través de un sistema caracterizado por la división de las tareas del manejo de carga entre dos sectores. Mientras las operaciones de transferencia y porteo eran desarrolladas por la Empresa Portuaria de Chile, Emporchi, las labores de estiba y desestiba estaban en manos de trabajadores marítimo - portuarios especializados, organizados en sindicatos de estibadores.

De acuerdo con este ordenamiento, Emporchi era por definición un monopolio público. Paralelamente, en el sector de los estibadores existían fuertes restricciones para el crecimiento del número de trabajadores, debido a que cada estibador debía contar con una licencia especial, denominada matrícula, para tener derecho a prestar sus servicios. Esta práctica transformó a los estibadores en propietarios del trabajo y monopolistas de los servicios que proveían.

A fines de los años setenta, el esquema de operación portuaria hizo crisis. Su ordenamiento laboral y tarifario, y la escasa coordinación en los servicios, había llevado a una situación de insuficiencia. A ello comenzó a sumarse la presión del importante aumento de la demanda. La liberalización de la economía había provocado una expansión del intercambio comercial chileno, el cual se realiza, mayoritariamente, por vía marítima.

Para satisfacer estos nuevos requerimientos, el Estado se vio enfrentado a la necesidad de mejorar la coordinación de las actividades portuarias. En 1981, la Ley N° 18.042, reestructuró el sistema portuario estatal, terminando con la operación exclusiva de Emporchi al interior de los puertos.

Casi simultáneamente, la ley N° 18.032 abolió el sistema de licencia para la estiba, permitiendo a cualquier trabajador realizar esas operaciones para las compañías navieras. El Estado entregó indemnizaciones para compensar a 2.700 trabajadores que perdieron este privilegio.

El gobierno de la época instauró así un sistema de libre acceso a múltiples operadores privados, introduciendo competencia al interior de los puertos estatales.

Más tarde, en 1990, por medio de la ley N° 18.966, radicó definitivamente en el sector privado la prestación de los servicios de estiba, desestiba, transferencia y porteo, dejando en manos de Emporchi la tarea de administrar la infraestructura y el almacenaje en los recintos portuarios.

De ese modo, se separó la propiedad y desarrollo de la infraestructura, a cargo de una empresa pública, y la prestación de los servicios portuarios, a cargo de múltiples empresas privadas, en un sistema denominado multioperador.

Se mantuvo una administración imparcial del puerto frente a los agentes portuarios, para evitar discriminaciones en el acceso a los frentes de atraque y en sus condiciones de uso.

Este esquema constituyó una verdadera privatización de la producción de los servicios de transferencia de carga, que implicó racionalizar el empleo portuario, cambiando por completo la dependencia de miles de trabajadores quienes, a partir de 1981, se vincularon con las empresas privadas, mayoritariamente en condiciones de empleo eventual.

Estas reformas, en conjunto, permitieron aumentar la productividad y el rendimiento de la operación portuaria y disminuir sus costos, sin necesidad de grandes inversiones en infraestructura. Sin embargo, la continuidad de un proceso de crecimiento basado en la apertura al comercio exterior planteó el desafío de seguir aumentando la capacidad.

La globalización de la economía mundial y la creciente competencia en el mercado internacional, habían elevado los estándares de productividad requeridos en toda la cadena del transporte marítimo, incluidos los puertos.

ii. MODERNIZACIÓN PORTUARIA

El aumento de la capacidad de las naves, la mayor rapidez de los tránsitos, la necesidad de disminuir los tiempos de operación en los puertos y la modernización de los elementos de transferencia de carga, entre otros, algunos de los factores que originaron la necesidad de modernización del sector portuario estatal.

Asimismo, la demanda por servicios tendientes a hacer más eficiente el uso de los espacios y el equipamiento portuario, hicieron necesario crear las condiciones para atraer la inversión de capitales privados.

Al inicio de la década de los noventa, existía consenso internacional respecto de la importancia de descentralizar los puertos y la urgencia con que debía hacerse. La comprensión del problema indicado en el país concitó el acuerdo entre los principales entes involucrados, a fin de materializar en una ley una serie de iniciativas tendientes a concentrar en esta normativa los principales aspectos para mejorar la administración de la actividad portuaria nacional.

iii. DESCENTRALIZACIÓN PORTUARIA

El 19 de diciembre de 1997 fue publicada la Ley N° 19.542 de Modernización del Sector Portuario Estatal. A un año de esa fecha, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, la Empresa Portuaria de Chile, las Empresas Portuarias Estatales y

el Comité de Coordinación de Licitaciones Portuarias llevaron adelante en forma satisfactoria las dos fases involucradas en la modernización del sector portuario estatal, cumpliendo con el acelerado cronograma del proceso definido por el Gobierno.

De esta forma, en octubre de 1998 se completó íntegramente la Fase I de Descentralización de Emporchi, que comprendió la formación y puesta en marcha de diez empresas estatales autónomas, y que culminó con la extinción de la Empresa Portuaria de Chile, el 30 de diciembre del mismo año.

Asimismo, y en forma paralela a la Fase I, durante 1998 se desarrollaron las principales tareas asociadas a la Fase 2 de Licitación de Concesiones de Frentes de Atraque en los tres principales puertos estatales, Valparaíso, San Antonio y Talcahuano-San Vicente. La venta de las bases respectivas y la adjudicación quedaron pendientes para 1999, debido a recursos de protección y amparo económico presentados por operadores navieros y portuarios locales. Hacia fines de 1998 se iniciaron también las actividades vinculadas a las licitaciones que realizaron las empresas portuarias Arica e Iquique.

Cabe destacar además que el proceso de descentralización y modernización se desarrolló de manera armónica, sin costos ni conflictos sociales, contando con el acuerdo de los trabajadores de la ex Emporchi, quienes, no compartiendo algunos aspectos esenciales del proyecto, asumieron la nueva ley y contribuyeron a su éxito. Asimismo, se contó con el compromiso y el esfuerzo de los trabajadores que permanecieron en las empresas portuarias estatales.

iv. PROCESO DE LICITACIONES PORTUARIAS

Durante 1999 se llevaron a cabo las primeras licitaciones de frentes de atraque estatales del país, a través de un proceso simultáneo y coordinado entre las empresas portuarias Valparaíso, San Antonio y Talcahuano - San Vicente.

Desde un punto de vista de políticas públicas, este proceso se orientó a liberar al sector portuario de las limitaciones que históricamente habían inhibido la inversión, generando un marco de incentivos para que actuara la iniciativa de empresas con experiencia portuaria y respaldo financiero. Con ello, se lograría un aumento importante de la productividad del sector, a través de inversiones en tecnología y gestión y, a futuro, en nuevas obras de infraestructura.

El alto grado de interés nacional e internacional concitado por este proceso se vio reflejado en la cantidad y calidad de los proponentes, mientras que la gran competencia registrada entre ellos determinó un exitoso resultado, tanto en lo concerniente a la reducción tarifaria, como a los ingresos obtenidos para las empresas estatales y a los ambiciosos planes de inversión dados a conocer por los consorcios que se adjudicaron los frentes de atraque.

Las concesiones permitirían generar importantes beneficios para el comercio exterior chileno. En primer término, se produciría una disminución del costo portuario general, por efecto de baja en las tarifas portuarias para algunas naves, desde el inicio de las concesiones. A los 18 meses de entregadas las concesiones, o incluso antes, se agregaría una importante reducción de los costos portuarios por efecto de la mejora en eficiencia y la consecuente disminución de los tiempos de espera de las naves. Finalmente, a mediano y

largo plazo se esperaba obtener una disminución progresiva de los costos de transporte, determinada por la posibilidad de los frentes modernizados de atraer naves de mayor capacidad y menores tarifas de flete marítimo.

ANEXO C. SISMICIDAD EN CHILE

i. ACTIVIDAD SÍSMICA EN CHILE.

Sin duda, Chile es uno de los países más actividad sísmica del mundo. Se estima que un terremoto de una magnitud promedio superior a 8 acontece cada diez años en algún lugar del territorio nacional continental. El nivel de actividad sísmica es tal, que desde 1962, se han registrado más de 4.000 sismos de magnitud superior a 5 y repartidos de manera no uniforme a lo largo del territorio.

La actividad sísmica en Chile, está determinada principalmente por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana. La tasa de convergencia entre estas placas, es de alrededor de 8 cm/año, generándose la interacción a una distancia de 50 a 100km de la costa, donde se encuentra la profunda fosa de Perú-Chile, conocida también como fosa de Atacama. El desplazamiento al cual se acercan ambas placas no es continuo, ya que la superficie de éstas, posee irregularidades (asperezas) que provocan fricción, causando el acumulo de tensiones a lo largo del tiempo. Este efecto, es el responsable del plegamiento de la placa Sudamericana y la formación de la geografía montañosa del territorio nacional. Cuando las placas llegan a su punto máximo de tensión, se produce la fractura o dislocación, que puede ser localizada o generalizada a lo largo de la longitud de falla. Sí, el material rocoso involucrado posee capacidad de fluencia, tendrá menor capacidad de acumular tensión, generando sismos de magnitud menor. Por el contrario, si el material es rígido, con poca capacidad de fluencia, la mayor capacidad de acumular tensión causará sismos con mayor liberación de energía.

Los límites naturales que interrumpen la extensión de la ruptura en la corteza, conocidas como barreras, comúnmente se deben a una variación de la tensión, inclinación de las placas y heterogeneidad del material presente en la extensión de falla, ofreciendo distintas resistencias a la rotura. Asimismo, existen fracturas este-oeste en las placas, con fallas transcurrentes. Donde es común la aparición de islas a lo largo de las fracturas.

Por otra parte, al sur de Chile, a partir de Puerto Aysén, se encuentra la placa Antártica que interacciona con la placa Sudamericana, pero a una velocidad relativa menor de lo que lo hace la placa de Nazca, lo que conlleva a una actividad sísmica considerablemente menor. Finalmente, al extremo sur, desde Tierra del Fuego al Estrecho de Magallanes se ubica la subplaca de Scotia, sin gran actividad sísmica, pero con importantes desplazamientos.

La zonificación sísmica del país, considerada por la Norma de Diseño Sísmico de Edificios (NCh433 Of.93), contempla tres zonas en las que la actividad sísmica aumenta paulatinamente desde la zona 1 a la zona 3 donde existe una mayor sismicidad (ver: Figura C.1).

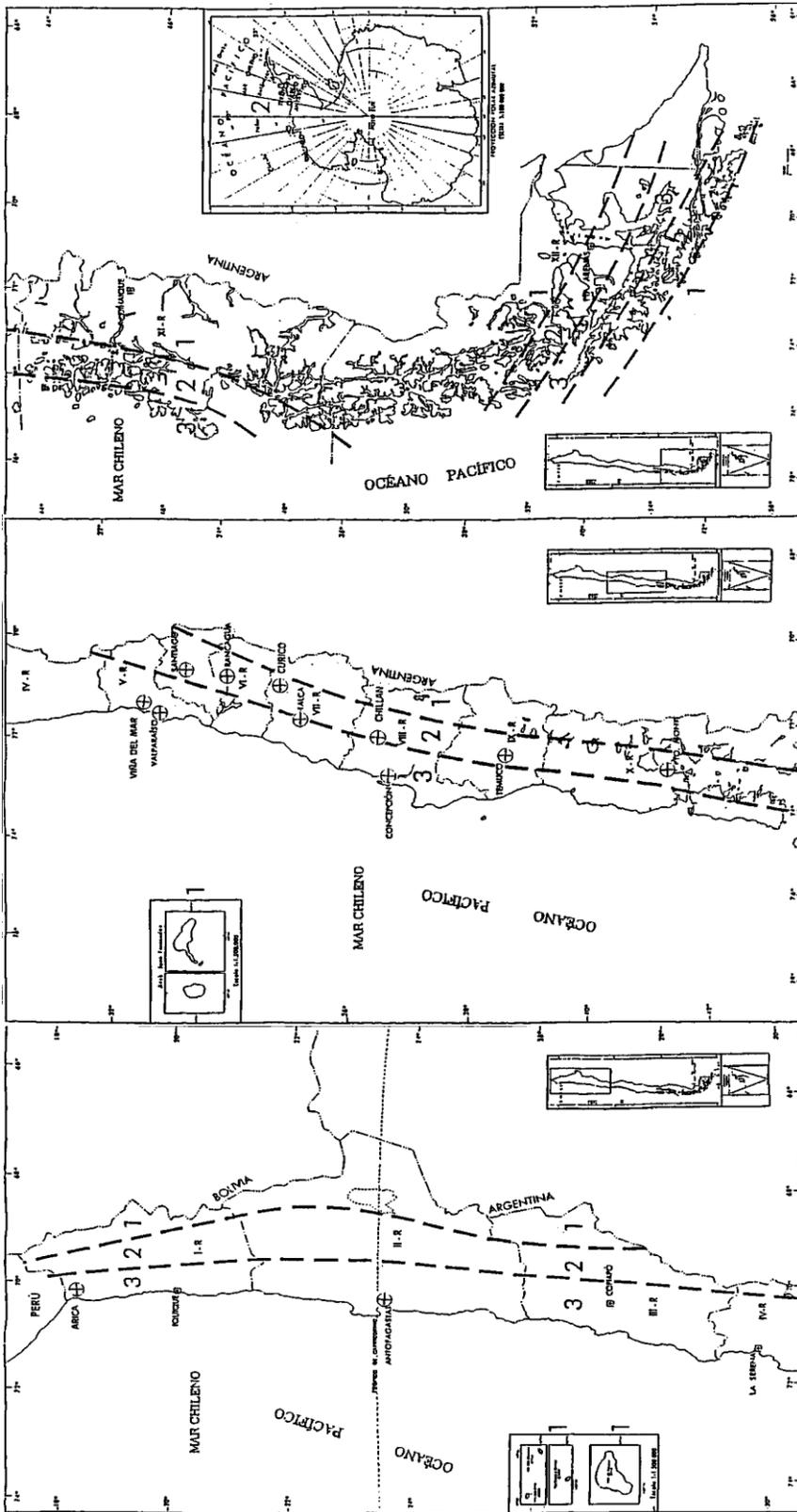


Figura C-1: Zonificación Sísmica del Territorio Nacional (NCh433 Of.93).

ii. RIESGO SÍSMICO EN CHILE.

Debido a la singular geografía chilena, la población se distribuye de manera irregular a lo largo del país. En la zona norte del país, la población se encuentra muy dispersa, aunque el creciente desarrollo industrial impulsado por la minería, ha atraído a numerosos habitantes hacia Arica, Iquique, Antofagasta, Calama, etc.

Madariaga (1998), expone *“Dado que Chile no posee una red homogénea de estaciones, la sismicidad de las lagunas sísmicas (sitios en los cuales no ha habido un gran terremoto desde hace 30 años) es desconocida. Sin un conocimiento acabado de la sismicidad en función del tiempo y del espacio hay muy poca esperanza que una vez que la laguna sísmica haya sido identificada, se pueda realizar una estimación exacta de la peligrosidad sísmica de la laguna. La única manera de estimar las zonas de ruptura con precisión y ver si efectivamente se ha liberado la deformación completamente o no, es utilizar datos sismológicos de precisión. Sin ellos no es posible estimar la peligrosidad residual en varias zonas que parecen mantener un potencial sísmico elevado.”*

iii. ZONIFICACIÓN SÍSMICA EN CHILE.

Si bien la norma chilena (NCh433-1996) referente a la zonificación sísmica de Chile y su clasificación de suelos. No se aplica al diseño sísmico de algunas obras civiles, como puertos, muelles y puentes entre otros. Ni a instalaciones y edificios industriales. Si pueden recogerse algunos antecedentes generales útiles referentes a las características del suelo y parámetros sísmicos.

De los estudios presentados en la norma se excluyeron ciertos tipos de suelos por requerir de un estudio especial. Estos suelos corresponden a:

- Suelos potencialmente licuables, como arenas, arenas limosas o limos, saturados, con índice de penetración estándar N menor que 20 (normalizado a la presión efectiva de sobrecarga de 0.10 MPa).
- Suelos susceptibles de densificación por vibración.

La zonificación sísmica de la octava región (“al igual que Iquique”) está categorizada como zona 3, que corresponde a una arena permanente no saturada; grava o arena no saturada, con grado de compactación menor que el 95%; Suelos cohesivos y arenas saturadas. Con un espesor mínimo de estrado de 10m.

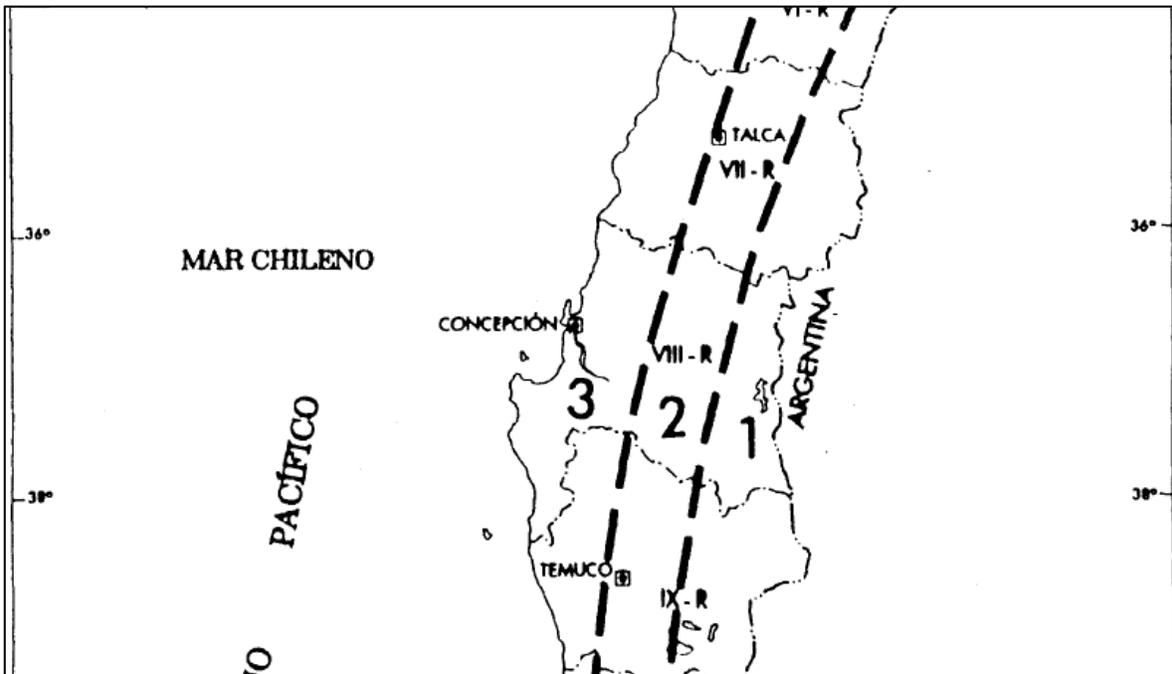


Figura C.2: Zonificación sísmica octava región.
 FUENTE: NORMA CHILENA ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE CHILE (NCH433-1996).

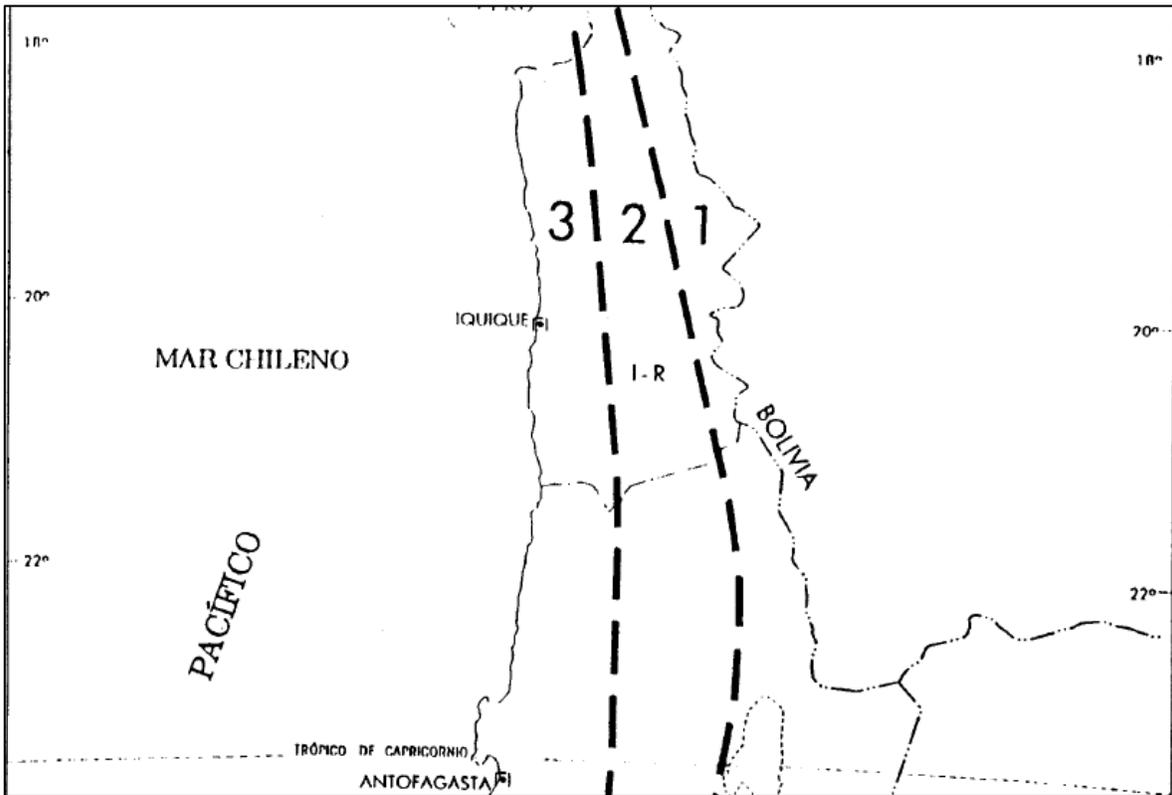


Figura C.3: Zonificación sísmica Iquique.
 FUENTE: NORMA CHILENA ZONIFICACIÓN SÍSMICA DE CHILE (NCH433-1996).

iv. LAGUNAS SÍSMICAS.

En Chile habían sido identificadas dos zonas potencialmente peligrosas en base a estudios de lagunas sísmicas, que corresponden a zonas donde no se han producido terremotos desde hace más de 30 años. Este procedimiento para reconocer zonas de subducción potencialmente sísmicas fue propuesto por Fedotov (1965) y aplicado en Chile por diversos investigadores, como Kelleher, Sykes y Oliver (1973), quienes plantearon que los estudios de la sismicidad histórica de grandes terremotos se pueden explicar, como ciclos continuos de carga lenta de las zonas donde se produce ruptura durante períodos intersísmicos y las fuertes descargas de la energía acumulada en un menor lapso de tiempo, ya sea en uno o más terremotos. Debido a que la velocidad de desplazamiento de las placas es conocida y no tiene variación dentro de un lapso menor a un millón de años, existe una idea práctica sobre que los terremotos tienen una cierta recurrencia en determinadas zonas conocidas como lagunas (McCann, Nishenko, Sykes, & Krause, 1979).

Sin embargo, un gran número de especialistas no cree que los terremotos respondan a una periodicidad ni tampoco se repitan de igual manera (Kagan & Jackson, 1991). Mientras que otros investigadores clasifican la zona sur de Perú y norte de Chile, como una brecha sísmica en que no se han producido sismos de gran magnitud en más de 100 años (Comte & Pardo, 1991), (Kausel & Campos, 1992) y (Chlieh, y otros, 2011). Siendo muy probable que un terremoto de gran magnitud de paso a una serie de sismos de mediana intensidad, en el mismo lugar donde se produjo la ruptura.

Madariaga (1998) expone que el método de identificación de lagunas sísmicas tiene una importante limitación a la hora de estimar los tiempos de recurrencia de terremotos de magnitud ≥ 9 , debido a la carencia de datos empíricos sobre la relación entre el momento y deslizamiento.

Por otro lado, los estudios paleosismológicos, parecen aportar información favorable a la idea de que los mega-terremotos corresponden a eventos extremos con período de retorno superior a 200 años. No obstante, sigue siendo un área de investigación que requiere de mayores estudios y seguir instrumentando zonas sísmicas, como *'la laguna sísmica del norte de Chile.'*

v. LA LAGUNA SÍSMICA DEL NORTE DE CHILE.

Tres de los más grandes terremotos conocidos en Chile se produjeron en 1604, 1868 y 1877 al sur de Perú y norte de Chile, en los cuales su magnitud fue estimada en base a registros de relatos históricos de la época (Comte & Pardo, 1991), siendo de gran importancia la información sobre los tsunamis producidos. Algunos fragmentos de registros históricos, se presentan a continuación:

24 de noviembre de 1604

"Hubo un terremoto y tsunami en el sur de Perú y norte de Chile. Arequipa, San Marcos de Arica e Ica, junto con todos los asentamientos entre las latitudes 16° S y 20° S fueron destruidos. Se observaron numerosos derrumbes, avalanchas, hundimientos y grietas en el terreno. Estos problemas fueron acompañados por la aparición de un tsunami que inundó la zona costera por una distancia de 1.200 kilómetros, siendo Arica la que sufrió más. De

acuerdo a un informe del Gobernador de Arica, el océano retrocedió una distancia comparable a dos disparos de mosquete por debajo del punto normal de baja marea, para posteriormente, mientras aún persistían los temblores, retornó furiosamente con tal fuerza que cubrió el islote Alacrán. Una gran parte de Arica fue arrasada, incluyendo el fuerte con todos sus cañones y armas.”

Epicentro del terremoto: latitud 18° S; longitud 71° O

Magnitud estimada: 8.7 M_w

Largo estimado de la dislocación: 415km

Variación máxima del nivel del mar: 16m en Arica

13 de agosto de 1868

“Gran terremoto y tsunami, ocurrido en el sur de Perú y norte de Chile a las 16:45 horas. Arica fue totalmente destruida a excepción de unos pocos edificios de dos pisos, así como también los daños fueron cuantiosos en Pisagua e Iquique. En Arica, después del terremoto, el mar elevó su nivel entre dos y cinco metros sobre la alta marea, inundando el terreno en una extensión de más de 450 metros y barriendo con 200 personas que se habían refugiado en el rompeolas. Posteriormente, a los 20 minutos de ocurrido el terremoto, el mar se retiró repentinamente alrededor de 2 kilómetros de la playa; la bahía se secó y todas las embarcaciones fueron transportadas con gran velocidad a mar abierto. Varios minutos más tarde el mar regresó en una terrible ola de 15 a 18 metros de alto, transportando a las embarcaciones en su cresta. Inundó una gran porción del terreno dejando a muchas embarcaciones encalladas en la playa. Una segunda ola, 15 minutos más tarde, fue tan intensa como la primera. Este tsunami afectó prácticamente toda la cuenca del océano Pacífico, registrándose en Perú, Australia, Alaska, islas Marquesas, islas Chatman, Nueva Zelanda, Hawai, costa oeste de Estados Unidos, Japón y Filipinas.”

Epicentro del terremoto: latitud 17,7° S; longitud 71,6° O

Magnitud estimada: 8.8 M_w

Largo estimado de la dislocación: 500km

Variación máxima del nivel del mar: 20m en Arica

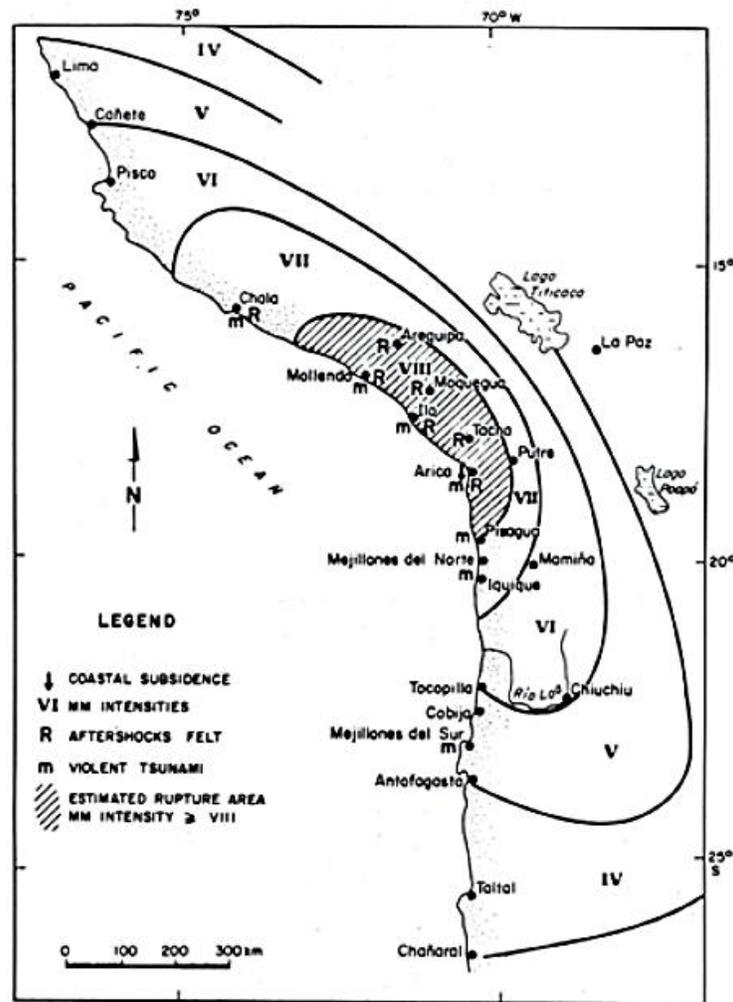


Figura C.4: Curvas de igual intensidad (isotitas) asociadas al terremoto de Arica 1868.
FUENTE: (KAUSEL, 1986).

9 de mayo de 1877

“Hubo un terremoto destructivo y un tsunami catastrófico en el norte de Chile, a las 20:30 horas. Las mayores intensidades se registraron entre Iquique y Antofagasta, siendo Tocopilla totalmente destruida. En esta ciudad y en Cobija, el tsunami comenzó 5 minutos después del terremoto con un lento ascenso del nivel del mar que alcanzó entre 10 y 15 metros sobre el nivel del mar. Una segunda onda de tsunami ocurrió 15 minutos más tarde. En Mejillones se informa que esta segunda onda alcanzó una altura de 23 metros. En Iquique el primer ascenso del nivel del mar ocurrió 20 a 30 minutos después del terremoto de manera tranquila. Un segundo ascenso del nivel del mar, más intenso que el primero, ocurrió a las 21:00 horas. Posteriormente, hasta las 01:00 horas, se registraron otros 3 a 5 ascensos del nivel del mar, siendo el último de ellos el más severo. Este tsunami causó daños en Iquique, caleta Pabellón de Pica, Chanabaya, Punta Lobos, Huanillos, Tocopilla, Cobija, Mejillones y Antofagasta. Fue registrado a lo largo de toda la costa oeste de Sudamérica, Hawai, San Francisco (Estados Unidos), Acapulco (México), Fiji, Samoa, Nueva Zelanda, Australia y Japón.”

Epicentro del terremoto: latitud 21,0° S; longitud 70,3° O
 Magnitud estimada: 8.8 M_w
 Largo estimado de la dislocación: 420km
 Variación máxima del nivel del mar: 21m en Mejillones

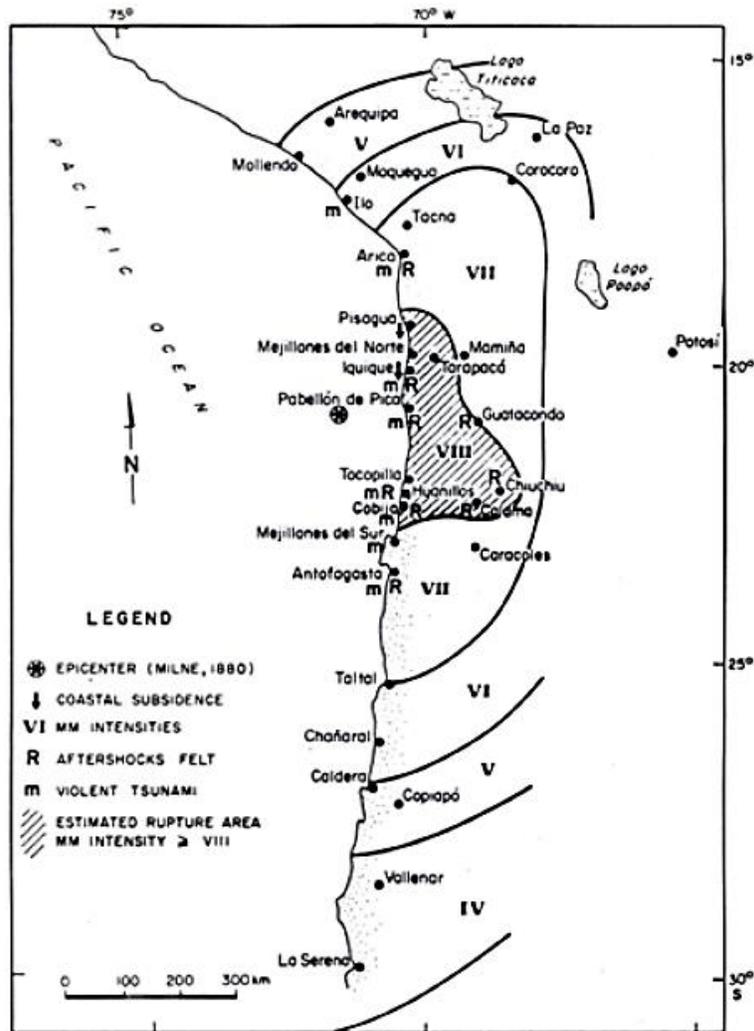


Figura C.5: Curvas de igual intensidad (isotas) asociadas al terremoto de Iquique de 1877.

FUENTE: (KAUSEL, 1986).

Previo al terremoto de Iquique de 2014, la laguna sísmica quedaba comprendida entre las zonas de ruptura del terremoto del 2001 al norte de Arica y el de 2007 al sur de Iquique (ver: Figura C.6). El terremoto de 2001 tuvo su epicentro al sur de Perú y registró una magnitud de 8.4 M_w , mientras que el terremoto de 2007 localizado en Tocopilla, alcanzó una menor magnitud de 7.7 M_w . El terremoto de Iquique de 2014, se localizó alrededor de los 20°S, frente a las costas de la ciudad de Iquique y la localidad de Pisagua, ubicada unos 70km al norte (Barrientos, 2014).

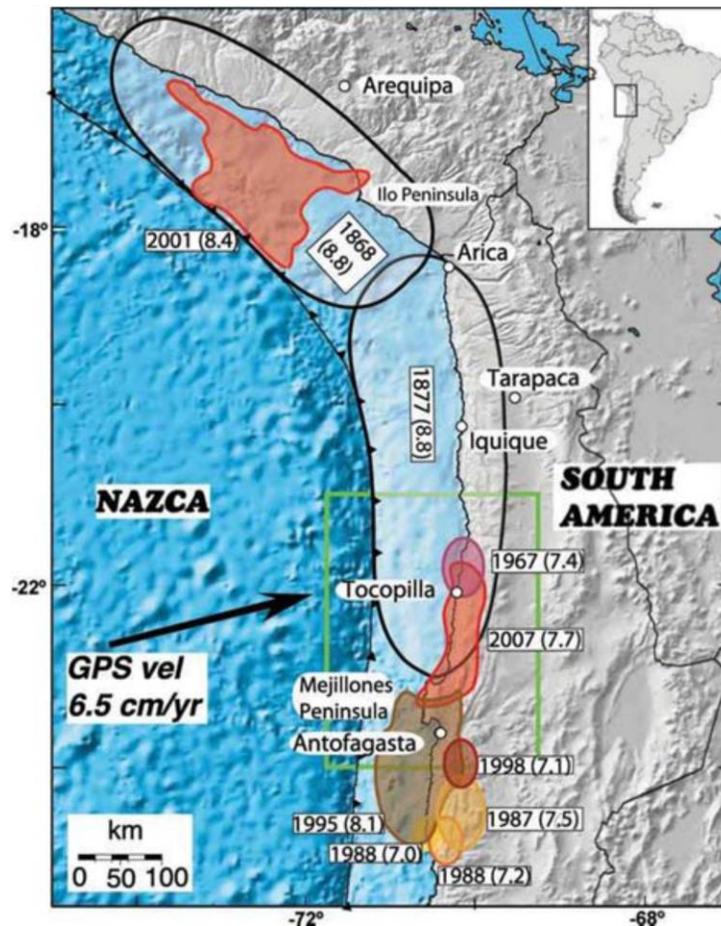


Figura C.6: Sismos significativos y zonas de ruptura al norte de Chile y sur de Perú (previos al 2014).

FUENTE: (Béjar-Pizarro, y otros, 2010).

Producto de la tasa de convergencia entre la placa de Nazca y la Sudamericana en el norte, alrededor de 7cm/año, diversos investigadores han llegado a la conclusión de que desde 1877 existe un déficit del desplazamiento acumulado entre ambas placas cercano a 10m (Barrientos, 2014), (Chlieh, y otros, 2011). El que además concuerda con el desplazamiento esperado ante un terremoto de magnitud 9 o superior en una zona de subducción. De esta manera, investigadores como Béjar-Pizarro y otros (2013), habían indicado la posibilidad de que se produjeran desplazamientos capaces de generar un sismo de magnitud cercana a 8.6M_w, en base a deformaciones conseguidas mediante observaciones GPS e InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) en conjunto con un modelo de deformación elástica.

Por el momento, no existe un consenso sobre la tasa de recurrencia de grandes terremotos y si las tensiones acumuladas serán liberadas en una serie de terremotos de magnitud cercana a los 8.0M_w, o en un tipo de megaterremoto de magnitud mayor a 9.0M_w. Los sismólogos tienden a adoptar una hipótesis más pesimista, mientras que las autoridades locales prefieren el escenario de una liberación de energía dilatada en el tiempo.

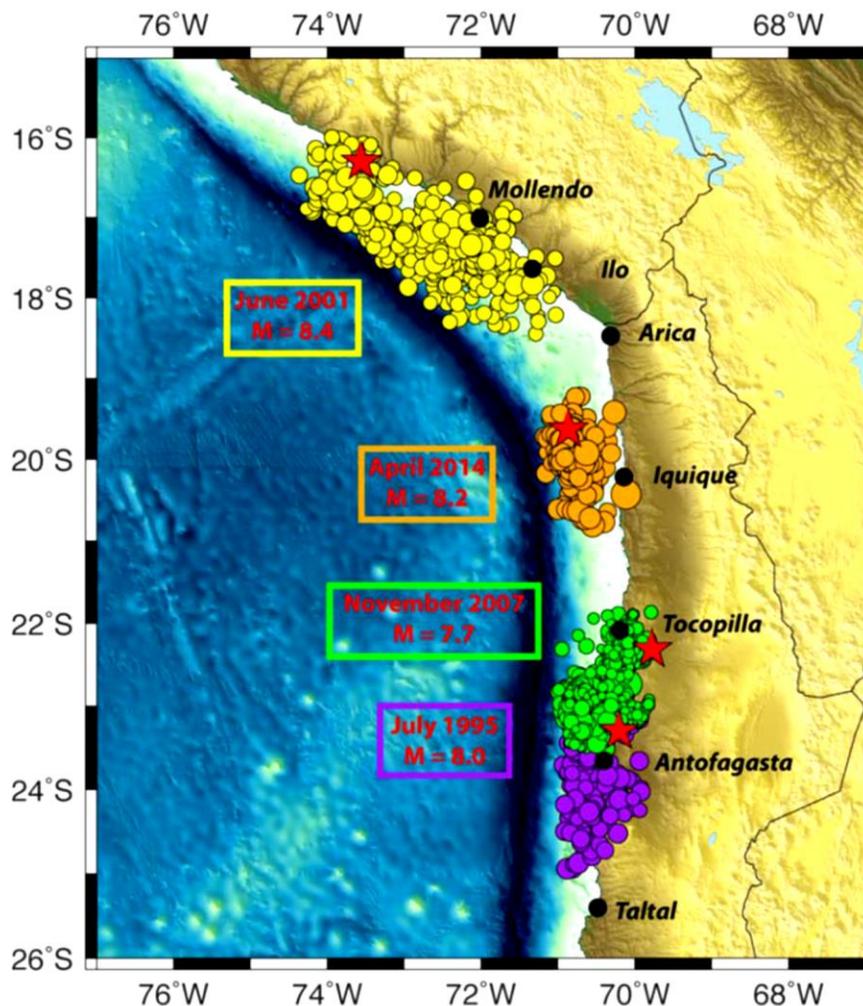


Figura C.7: Sismicidad durante un mes de duración, asociada a los terremotos del sur de Perú (2001), Iquique (2014), Tocopilla (2007) y Antofagasta (1995).

FUENTE: (Barrientos, 2014).

La Figura C.7 muestra la sismicidad durante un mes de duración asociada a los principales terremotos más recientes ocurridos en el norte de Chile y sur de Perú. Barrientos (2014), menciona que, al considerar la distribución de estas réplicas, es posible estimar la longitud de ruptura de cada uno de estos eventos. Indicando que existen dos sectores donde no han ocurrido sismos de magnitud o desplazamientos significativos en las últimas décadas. El primer sector, abarca desde Cuya hasta Ilo (Perú), frente a la ciudad de Arica, que corresponde al sector entre las de ruptura del terremoto de 2001 y 2014. Y el segundo sector, que abarca desde Punta Patache (un poco al sur de la ciudad de Iquique) hasta Tocopilla, que corresponde al sector entre las rupturas del terremoto de 2007 y 2014. Es probable que estas dos zonas se activen en el futuro, y que de hacerlas por separado tendrían magnitudes similares a la del evento del 2014 (cercanas a 8.2Mw), debido a que tienen una longitud similar a la abarcada por el terremoto de 2014. Sin embargo, no se puede descartar que ambas zonas se activen simultáneamente, pudiendo alcanzar una magnitud mucho mayor (Barrientos, 2014).

Po el momento no existe un consenso sobre la tasa de recurrencia de grandes terremotos y si las tensiones acumuladas serán liberadas en una serie de terremotos de magnitud cercana a los $8.0M_w$, o en un tipo de megaterremoto de magnitud mayor a $9.0M_w$. Los sísmólogos tienden a adoptar una hipótesis más pesimista, mientras que las autoridades locales prefieren el escenario de una liberación de energía dilatada en el tiempo.

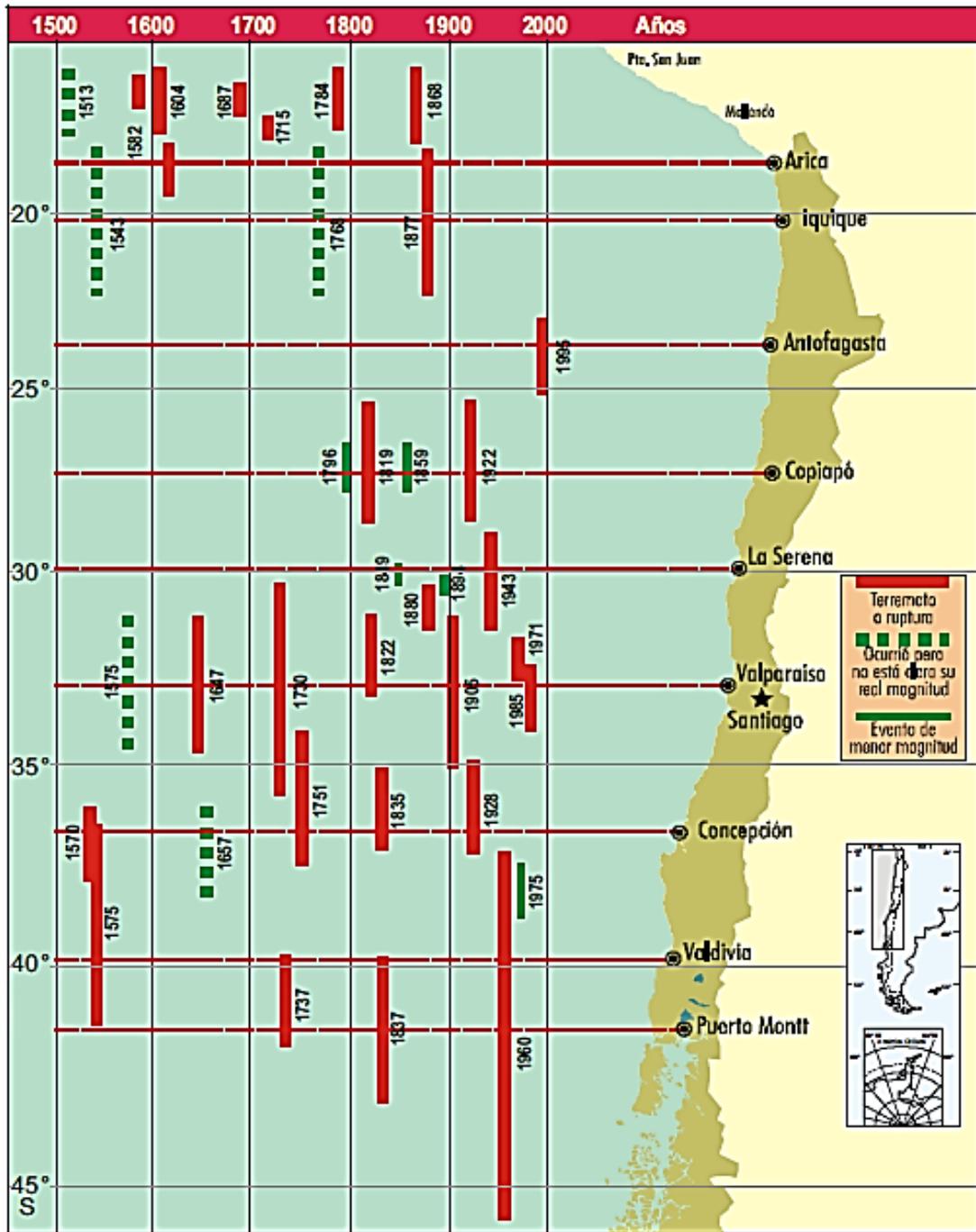


Figura C.8: Diagrama espacio temporal de los sismos fuertes en Chile continental.

FUENTE: DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA, UNIVERSIDAD DE CHILE.

ANEXO D. PUERTOS ANALIZADOS DE LA OCTAVA REGIÓN Y DAÑOS REGISTRADOS POST 27F.

i. BAHÍA DE CONCEPCIÓN

La Bahía de Concepción, también conocida, como Bahía de Talcahuano, alberga al Puerto de Lirquén, al Muelle de Penco, al Puerto de Talcahuano y al Astillero de la Armada (ASMAR).

El viento operacional reinante se caracteriza por incidencias del S y SO un 48% del año y un 25% de direcciones N y NO, con velocidades menores a 20 nudos un 95% del año (GHD, 2012).

Las mareas presentes, son típicas del litoral central del país, es decir, semidiurnas, con desigualdad diurna y de amplitud moderada. Este régimen se caracteriza por presentar dos pleamares y dos bajamares en el día, con un nivel medio del mar NMM= +0.91m NRS, y pleamares máximas en periodos de sicigias de aprox. +2.0m NRS (PRDW-AV, 2010).

El oleaje en la bahía de Concepción está conformado por olas de corto período tipo *sea*, generadas por los vientos locales en el interior de la bahía y por oleaje tipo *swell* que incide desde aguas profundas en el Pacífico Sur (PRDW-AV, 2010).

La propagación del oleaje oceánico hacia la bahía de Concepción está gobernada por el abrigo natural de la isla Quiriquina y de la península Tumbes, que protege el sector del puerto frente a eventos del tercer cuadrante. A su vez, el oleaje del cuarto cuadrante penetra en la bahía principalmente por la abertura formada por la isla Quiriquina y el morro Lobería, lo que genera una marcada difracción en la propagación del oleaje.

Sólo el 2% del tiempo las alturas de oleaje superan 1m (H_{m0}), que corresponden a eventos provenientes del NO, en aguas profundas, y que se producen durante las estaciones de invierno y primavera (PRDW-AV, 2010).

Toda la el área costera de la octava región, está definida como Zona 3 según la Norma Chilena de Zonificación Sísmica (ver: Figura C.2), que corresponde a suelos potencialmente licuables, principalmente, compuestos por arenas, arenas limosas y limos arcillosos saturados (ver: Figura 3.7).

a. PUERTO LIRQUÉN

Puerto Lirquén se encuentra ubicado en la VIII Región de Chile, a 16km de la ciudad de Concepción y a aproximadamente 500km al sur de Santiago. El puerto está situado sobre la costa oriental de la Bahía de Concepción.

El Muelle Lirquén Este (Muelle 1), cuenta con cuatro sitios de atraque, y es usado principalmente para la carga de celulosa y descarga de fertilizantes. El Muelle Lirquén Oeste (Muelle 2), cuenta con dos sitios de atraque para carga y descarga de contenedores.

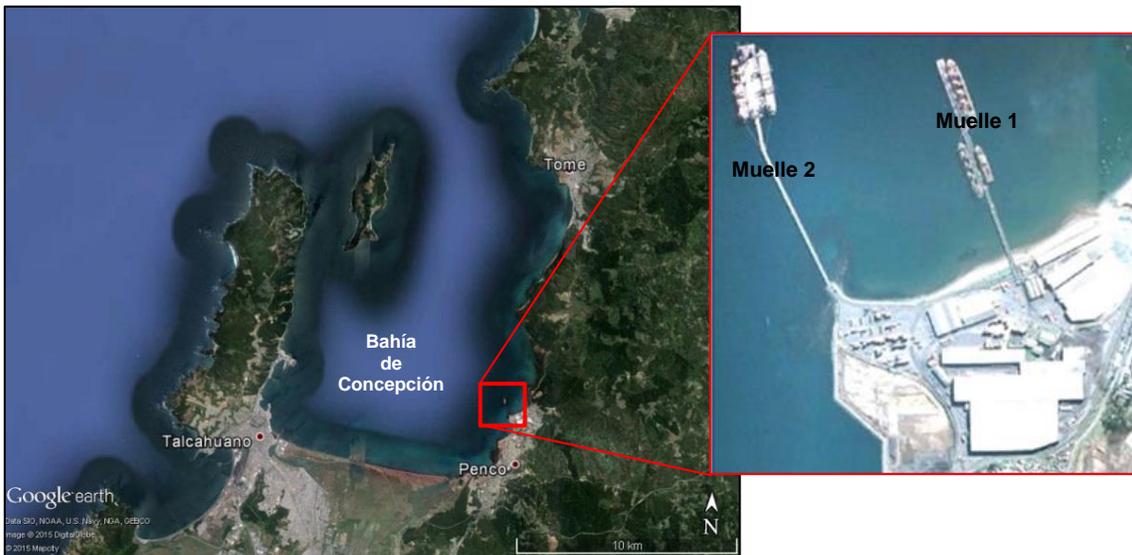


Figura D.1: Puerto Lirquén. Muelle 1 (Lirquén Este), Muelle 2 (Lirquén Oeste).

Antecedentes infraestructurales.

El Muelle 1, posee 500m de longitud, su viaducto de acceso es de hormigón y consiste de pilotes de sección circular, cabezales, vigas de arriostramientos y vigas longitudinales, con una plataforma conformada por elementos prefabricados de hormigón armado.

El viaducto de acceso al Muelle 1, se construyó con anterioridad al año 1963. La estructura original del Muelle 1, incluía 42 pares de pilotes, que conformaban el viaducto de acceso y otros 21 pares constituyendo el Muelle propiamente tal.

La plataforma de madera original fue sustituida en el año 1979 por vigas PI prefabricadas de hormigón armado y en el mismo año se colocó un encamisado de hormigón armado en torno a algunos de sus pilotes, sólo por encima del nivel del lecho marino. Además, en 1979 se removieron las cruces de arriostramiento transversal en parte de éste.

El Muelle 2, fue construido en los años 1994 y 1995. Actualmente, posee 820m de longitud (el año 2007, se llevó a cabo una ampliación de 68m en la dirección norte) y 45m de ancho (en 2001 se incrementó el ancho del muelle de 26m a 45m). Su estructura consiste en pilotes, cabezales y vigas longitudinales de acero con una losa de hormigón armado.

Daños 27F.

Para mayo de 2010, los sitios 3 y 4 del Muelle 1 (Lirquén Este), aún se encontraban cerrados desde el terremoto del 27 de febrero debido a los severos daños sufridos en la estructura de hormigón armado. Además, con los cerca de 60 años que tiene el muelle desde su creación, se presume que antes del terremoto ya existían daños en su infraestructura (PRDW-AV, 2010).

Se registraron daños en:

- Crucetas de hormigón armado.
- Cortes en unión viga-pilote.

- Grietas y fisuras en los elementos del muelle.
- Desprendimiento de recubrimientos de hormigón.
- Daños en vigas inferiores que rigidizan la estructura.

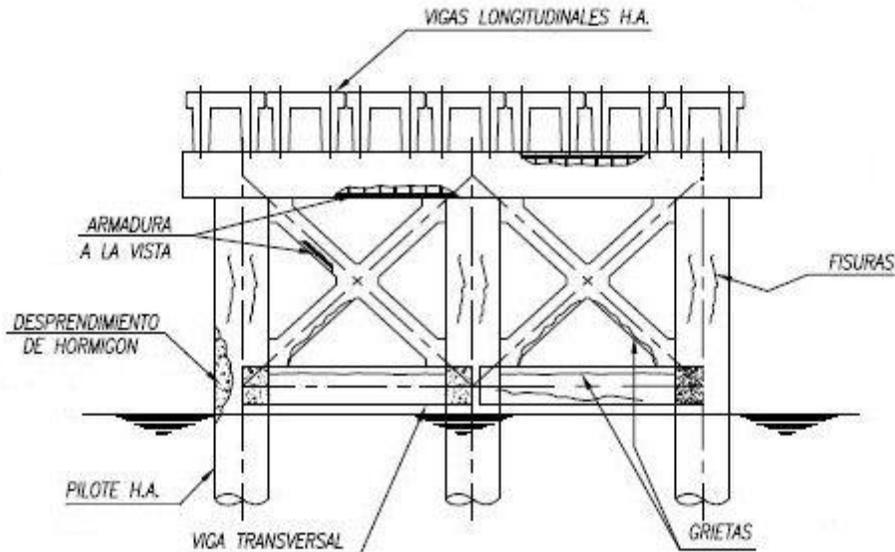


Figura D.2: Daños típicos en sección transversal.

FUENTE: MODIFICADO DE (Análisis de Estabilidad Sitio 1, Puerto de Talcahuano).

El año 2007, se llevó a cabo un estudio de suelos por Geovenor, que señalaba la baja capacidad de soporte del suelo existente sobre la roca, siendo incapaz de empotrar los pilotes y señalando la alta probabilidad de que presentase licuación (Geovenor, 2007). Al producirse licuación desaparece la capacidad de restricción lateral que impone el suelo a los pilotes, ante lo cual, se toman acciones como aumentar el tamaño de los pilotes (Delgado, 2011).

Producto de la licuación, el Muelle Lirquén Este, sufrió asentamientos verticales de sus pilotes, de entre 5 a 40cm, ubicados en la zona del puente de acceso. Lo que causó un desplazamiento relativo de éstos (ver: Figura D.3). Además, producto de este asentamiento, algunas vigas longitudinales quedaron parcialmente sumergidas aumentando el riesgo de sufrir corrosión (PRDW-AV, 2010).



Figura D.3: Asentamiento Muelle 1.
FUENTE: (Brunet, 2012).

También, se produjeron fallas en algunos sistemas de amarre (ver: Figura D.4), producto de fuertes tirones de bita de los buques que se encontraban atracados al momento del terremoto (PRDW-AV, 2010).



Figura D.4: Falla en el sistema de amarre del Muelle 1.
FUENTE: PUERTO LIRQUÉN.

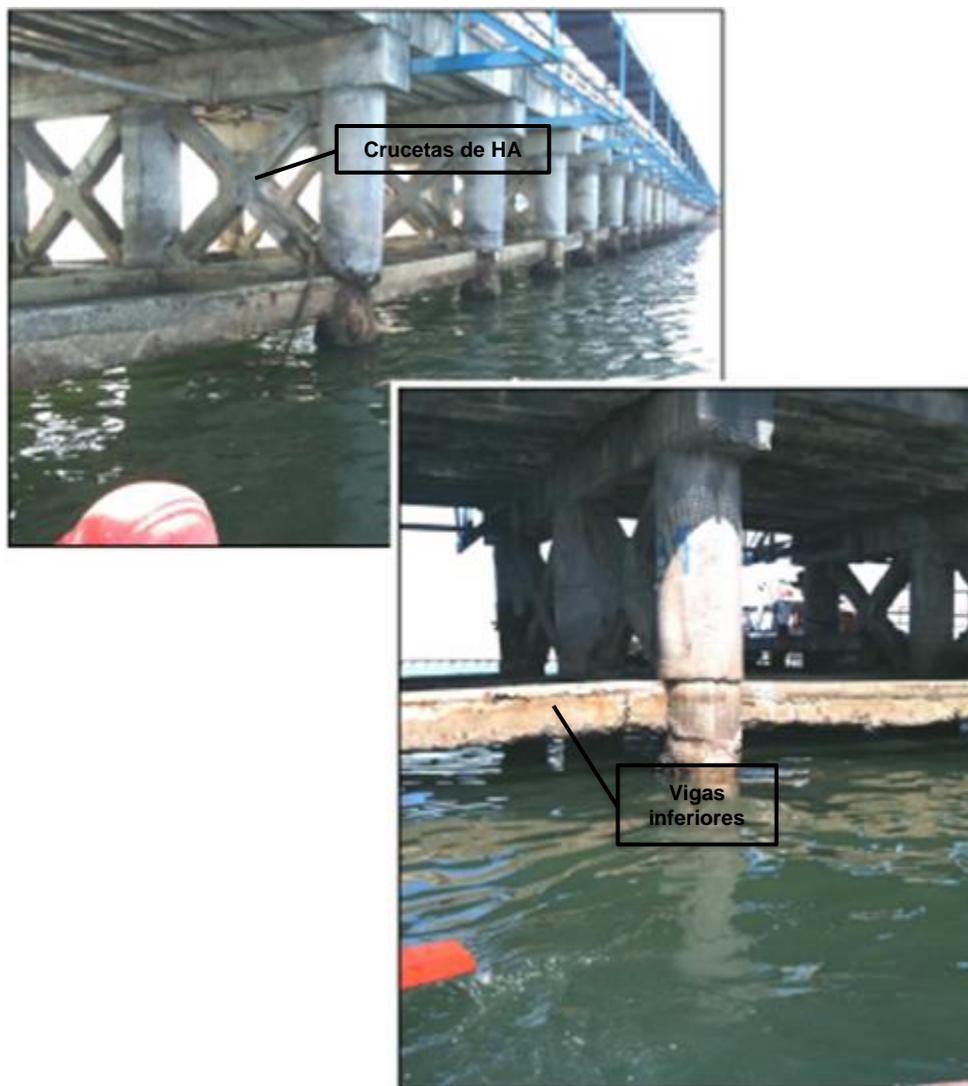


Figura D.5: Fotografía de pilotes Muelle 1.

FUENTE: PUERTO LIRQUÉN.

Algunas de estas vigas, colapsaron producto del choque con la estructura de naves, que se encontraban atracadas durante el terremoto.

En la Figura D.6 y Figura D.7, se aprecia el daño típico ocasionado en las vigas longitudinales y transversales inferiores del Puente de Acceso.

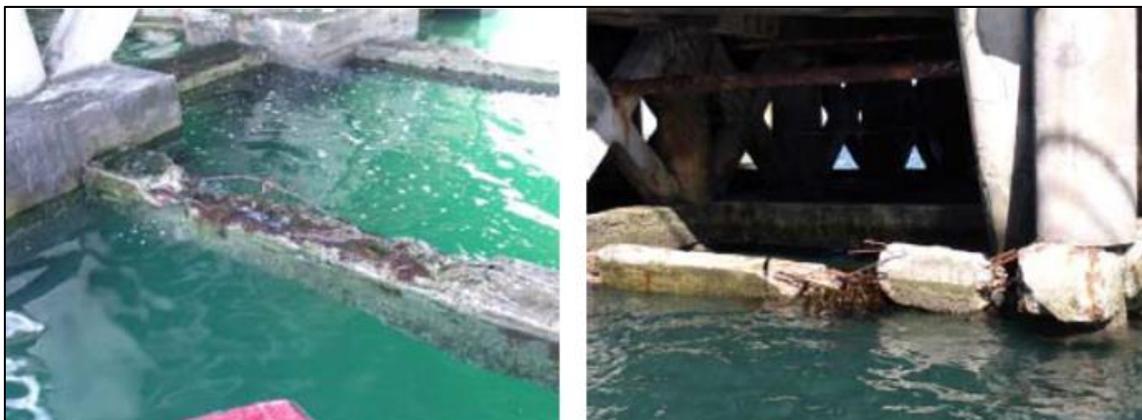


Figura D.6: Daños típicos en vigas longitudinales inferiores, Muelle 1.

FUENTE: PUERTO LIRQUÉN.



Figura D.7: Daños típicos en vigas transversales, Muelle 1.

FUENTE: PUERTO LIRQUÉN.

La Figura D.8 y Figura D.9, muestra el severo daño producido en la conexión de una de las vigas con un pilote inclinado. Además, se observa la armadura expuesta, pérdida de hormigón, un pilote vertical con agrietamiento menor y daño severo en una viga longitudinal.



Figura D.8: Daño en la conexión viga-pilote del Muelle 1.
FUENTE: PUERTO LIRQUÉN.



Figura D.9: Daño en la conexión de uno de los ejes del Muelle 1.
FUENTE: PUERTO LIRQUÉN.

La Figura D.10, corresponde a la zona más cercana al Cabezo del Muelle, aquí se produjo un daño severo en la conexión de la viga con el pilote inclinado. Armadura expuesta y pérdida de hormigón. Pilote desconectado por falla del perfil de acero que conecta al pilote con la viga y un daño severo en la viga longitudinal.



Figura D.10: Daño en la conexión viga-pilote del Muelle 1.

FUENTE: PUERTO LIRQUÉN.

Posterior al terremoto, los pilotes de estas cepas dañadas, siguieron asentándose lentamente por algunos meses, producto de las réplicas y de las cargas normales de trabajo, ya que producto de la falla, la capacidad de carga de los pilotes se vio disminuida al producirse el cizallamiento en la interfaz suelo-pilote. En total se midieron asentamientos de hasta aproximadamente 37cm en las cepas más asentadas (PRDW-AV, 2010).

De acuerdo a un informe técnico, elaborado por PRDW-AV, las solicitaciones sísmicas inducidas por el terremoto del 27 de febrero de 2010, excedieron la capacidad de carga de los pilotes, generando un efecto en cadena iniciado por la falla en la interfaz suelo-pilote, de los pilotes más débiles. Determinándose, que todos los pilotes, que experimentaron asentamientos superiores a 5cm, tuvieron un deterioro en su capacidad de carga, es decir, se encontraron en una condición más débil que su condición previa.

b. MUELLE DE PENCO

La Empresa Portuaria Muelles de Penco S.A., está ubicada en la Bahía de Concepción, Comuna de Penco, en la Región del Bío Bío. Su especialidad es la descarga, ensacado, almacenaje, mezcla de fertilizantes y otros gránulos sólidos. Está constituido por un Puente de Acceso de aproximadamente 1,620m de longitud y un Cabezo cercano a 23.7m de longitud, en el cual se encuentra apoyada una grúa que transporta el material mediante correas transportadoras, el ancho aproximado del Muelle es de 2m.



Figura D.11: Muelle de Penco.

Antecedentes infraestructurales.

Fue construido por la empresa Muelles de Penco a principio de la década de 1970, sirviendo como amarre para los barcos durante las operaciones portuarias.

El muelle tiene un sitio de atraque para naves de 220m de eslora, dos duques de alba, un poste de amarre y cuatro boyas de amarre.

El poste de amarre, está formado por un cabezal de hormigón armado al que concurren 10 pilotes de acero hincados en el fondo marino.

Sobre el cabezal del muelle de 10.48m de ancho por 18.6m de largo, se encuentran:

- Una grúa marca Stothert & Pitt con una capacidad de levante de 10ton.
- Subestación eléctrica de 3.5m de ancho por 8m de largo.
- Tolva estática para la recepción de los productos a granel.

El Puente de Acceso fue diseñado y construido en el año 1970. Soporta una cinta transportadora para gráneles sólidos y una pasarela peatonal. Tiene una longitud aproximada de 1,644m.

A la fecha del sismo, los pilotes de las cepas se encontraban reforzados con una camisa de hormigón armado, de espesor constante de 10cm, que lleva en su interior una armadura longitudinal de 28 barras de 16mm confinadas por estribos de 8mm cada 30cm. La camisa se extiende, en algunos casos, desde 100cm bajo la viga travesaño y hasta 100cm bajo el nivel de fondo marino.

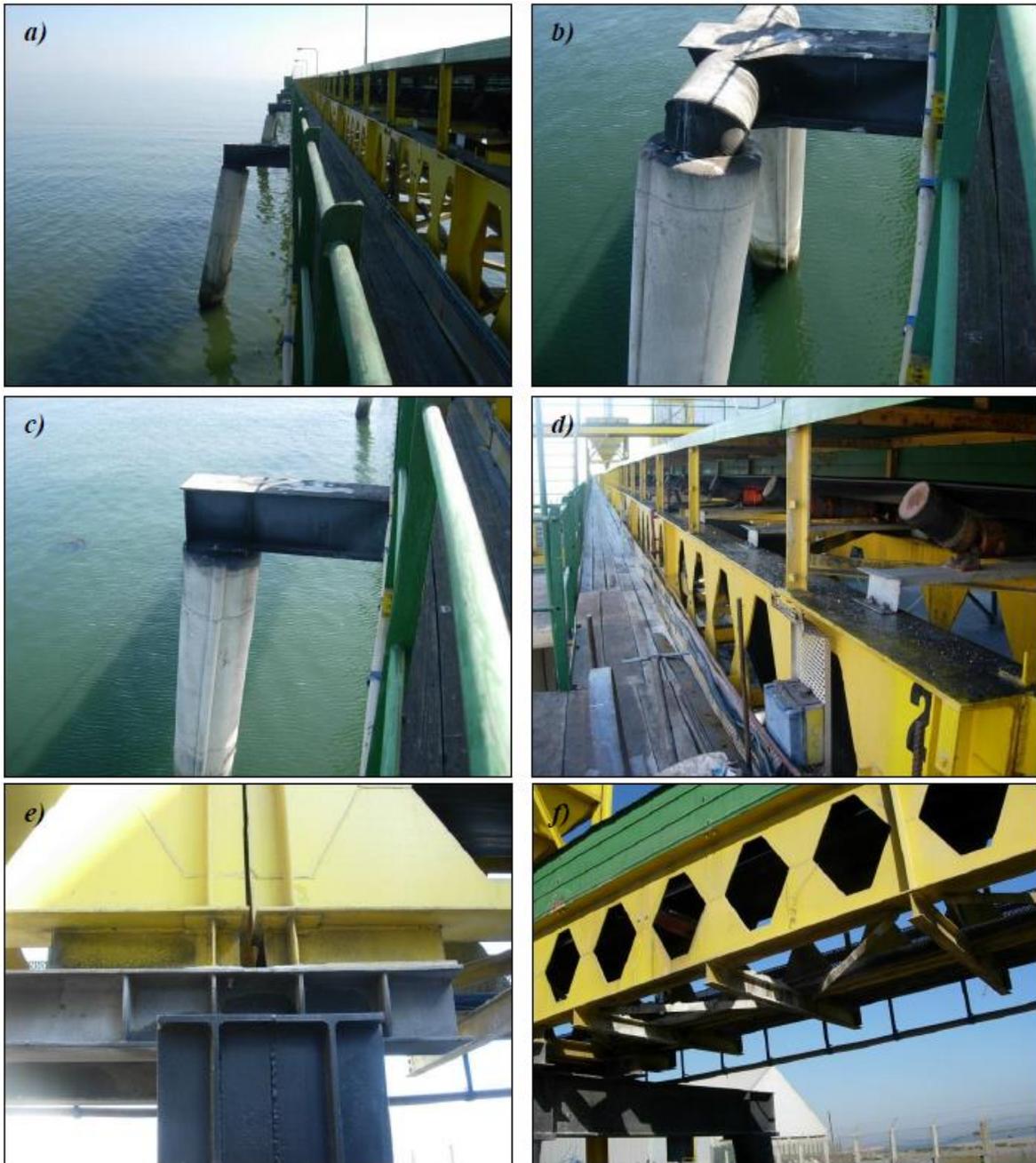


Figura D.12: Fotografías del Puente de Acceso, Muelle Penco.

a) Puente de Acceso, b) Cepa Longitudinal, c) Cepa Transversal d) Correa Transportadora e) Apoyo de viga Longitudinal en Cepas, f) Entramado de Viga Longitudinal.

Los pilotes del cabezo, entre los años 1987 y 2000, presentaban estados de corrosión importantes que redujeron el espesor de los pilotes. Cabe hacer notar que la estructura no poseía un sistema de protección catódica antes y hasta poco después del terremoto del 27F.

Sobre el cabezo se apoya una grúa fija rotatoria, una tolva y la sala eléctrica construida a base de albañilería (ver: Figura D.13).

La estructura del cabezo, posee 4 cepas transversales las que se componen de 5 pilotes de acero de 22"x3/8" y una viga doble T UB 24"x9"x68 que conecta a los pilotes de una misma cepa. El cabezo, está provisto de pilotes inclinados que conforman 4 puntos rígidos, de los cuales, dos actúan en sentido longitudinal y dos en sentido transversal. Estos puntos se componen de dos pilotes inclinados y uno vertical, unidos entre sí mediante un jacket de acero.

Los pilotes están provistos de una camisa de hormigón de 10cm de espesor en una longitud que se desarrolla aproximadamente desde 1m sobre el nivel de marea y hasta el fondo marino.

Sobre las cepas, de forma perpendicular a ellas, se encuentran las vigas longitudinales UB 18"x7.5" distribuidas a una distancia variable entre 0.7m a 1.2m aproximadamente. Sobre estas vigas se apoya el tablero de madera constituido por tablonces de 76mm de espesor. Entre las cepas transversales, se desarrolla un sistema de riostras horizontales que permite el trabajo conjunto de las cepas. Se componen de perfiles cilíndricos de acero de diámetro 10³/₄" y 3/8" de espesor.

Posterior al terremoto del 27F, el cabezo fue reforzado con 6 nuevos pilotes de acero.



Figura D.13: Vista general del cabezo.

FUENTE: BIBLIOTECA DIRECCIÓN NACIONAL DE OBRAS PORTUARIAS.

Daños 27F.

Producto del terremoto del 27F, el terminal de carga de gránulos sufrió diversos daños estructurales. Alrededor de 53 cepas de pilotes del muelle, presentaron socavamiento en sus zapatas, causando un desplazamiento en la funda de hormigón, y perdiendo adherencia entre el hormigón armado y el pilote de acero.

En la siguiente figura, se muestra la situación en que se encontraba el pilote con su zapata libre:

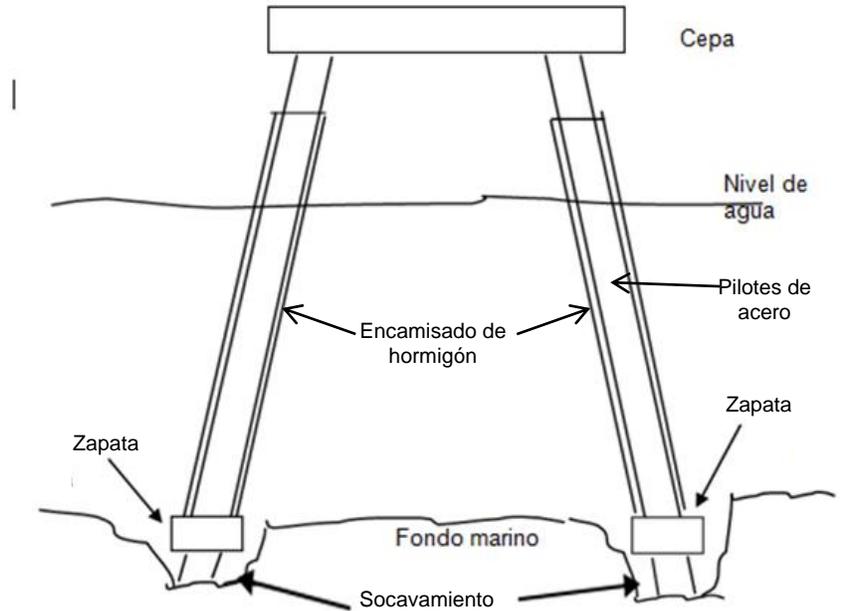


Figura D.14: Representación de la socavación en las zapatas de pilotes.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Las características más comunes de los daños observados en los pilotes del muelle fueron:

- Metal de los pilotes a la vista, producto de la socavación del fondo marino.
- Socavación en zapatas cercana a 1m.
- Zapatas enterradas y escoradas.
- Zapatas agrietadas.

Además de importantes daños en superficie:

- Viga H superior escorada 10cm.
- Desplazamiento en la estructura del Puente de Acceso en 20cm.

Daños en el Puente de Acceso.

1) Ruptura en sección transversal de pilotes.

Este tipo de falla se presentó en 13 pilotes de un total de 114 que componen las cepas transversales. Corresponde a una falla por pandeo local (en 10 de los casos) y presentándose, aproximadamente 1m bajo la viga transversal de la cepa (ver: Figura D.15). En los restantes tres casos, la fisura se ubicó en una sección bajo la camisa del pilote (ver: Figura D.16) (PRDW-AV, 2010).

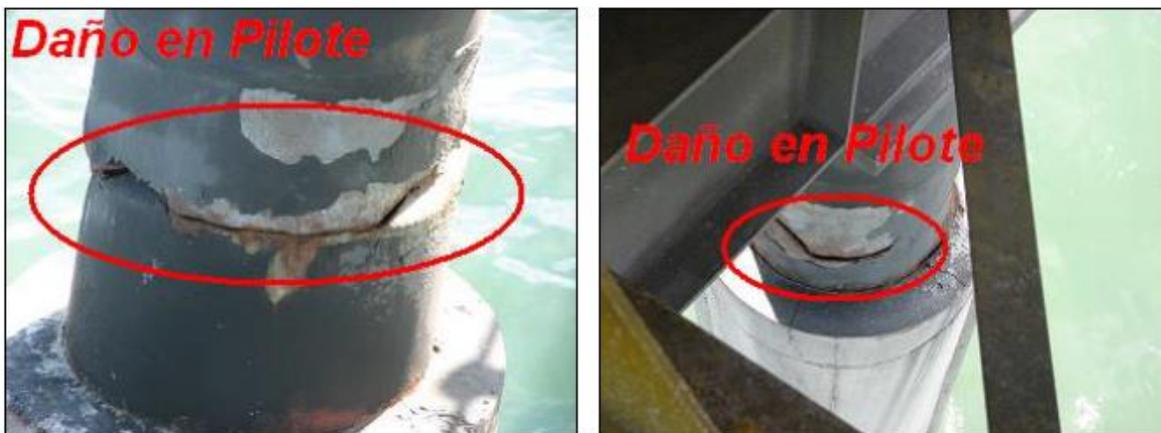


Figura D.15: Pilote con fisura y pandeo local.

FUENTE: MUELLE DE PENCO.



Figura D.16: Pilote con fisura bajo la camisa de hormigón.

FUENTE: MUELLE DE PENCO.

2) Descenso de pilotes.

Este descenso (ver: Figura D.17), se presentó en 3 de las cepas longitudinales (22, 33 y 57) y en dos pilotes de las cepas trasversales (56 y 58). El descenso de mayor magnitud, se registró en una cepa longitudinal (eje 57), donde se midió 25cm. En las cepas restantes, el descenso fue inferior a 15cm (PRDW-AV, 2010).



Figura D.17: Descenso en cepas, Muelle Penco.
FUENTE: MUELLE DE PENCO.

3) Falla en soldadura de las vigas que componen las cepas transversales.

Este daño, correspondió a una torsión del patín de apoyo de la viga castella, el que cedió ante los esfuerzos transversales sobre la viga. Este desplazamiento, se registró sólo sobre la cepa 41 y tuvo un corrimiento lateral de 25cm hacia el oeste (PRDW-AV, 2010).



Figura D.18: Viga castella desplazada en Puente de Acceso.
FUENTE: MUELLE DE PENCO.

En algunas cepas, las diagonales se cortaron, desoldándose las vigas transversales de la súper estructura que las conforman (ver: Figura D.19 y Figura D.20).



Figura D.19: Ejemplo de riostras cortadas en cepas del Puente de Acceso.
FUENTE: MUELLE DE PENCO.



Figura D.20: Viga travesaño desoldada y desplazada en una de las cepas del Puente de Acceso.
FUENTE: MUELLE DE PENCO.

Daños en el Cabezó.

En el cabezó se registraron 4 tipos de daños:

- 1) Ruptura de las camisas de hormigón de los pilotes.



Figura D.21: Camisa de pilotes agrietadas y desprendidas en el cabezó.

FUENTE: MUELLE DE PENCO.

- 2) Pilotes desoldados de la cepa transversal.

Se registraron 4 pilotes con daños en la soldadura de conexión, en las vigas de las cepas transversales, dos de ellos corresponden a pilotes verticales y los restantes dos, corresponden a pilotes inclinados, los cuales registraron daños en la soldadura de conexión entre la plancha de unión viga-pilote (PRDW-AV, 2010).



Figura D.22: Pilotes desoldados y desplazados en el cabezó.

FUENTE: MUELLE DE PENCO.

- 3) Desplazamiento pilote-jacket.

Se produjo un desplazamiento relativo entre el pilote y el jacket. Este desplazamiento fue de aproximadamente 10cm (PRDW-AV, 2010).



Figura D.23: Pilotes desoldados y desplazados del jacket.

FUENTE: MUELLE DE PENCO.

4) Descenso de la plataforma del cabezo.

Se registró un descenso parcial de la plataforma del cabezo (menor a 10cm), lo que causó una inclinación de la grúa (PRDW-AV, 2010).

Adicionalmente se registraron otros tipos de daños, que, si bien no fueron estructurales, debieron ser atendidos para no perjudicar la vida útil de la estructura, como, por ejemplo, el descenso del fondo marino, lo que originó que algunos elementos, denominados fundaciones de las camisas, quedaran sin apoyo.

c. PUERTO DE TALCAHUANO

El Puerto Comercial de Talcahuano, se ubica en el lado oeste de la Bahía de Concepción, comuna de Talcahuano en la Región del Biobío.

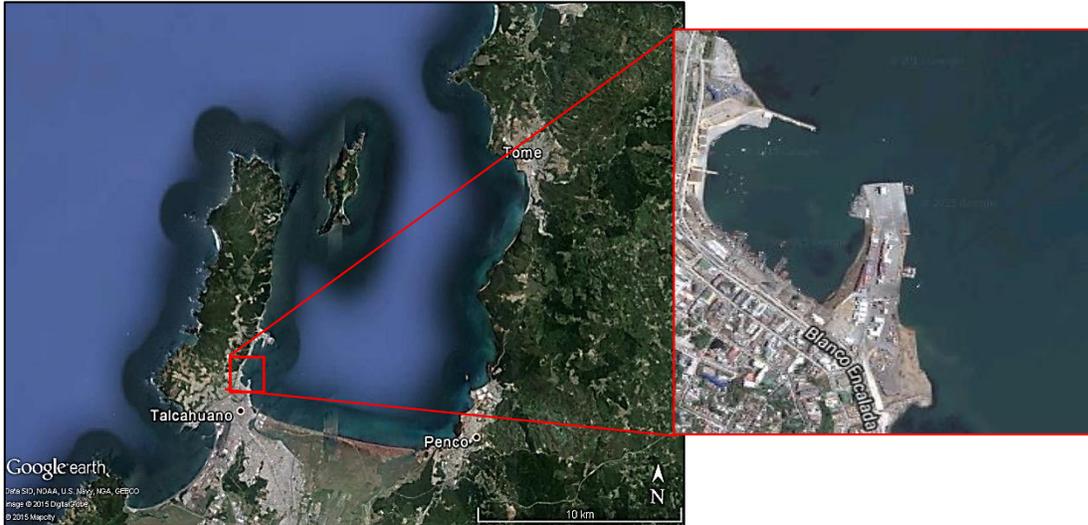


Figura D.24: Puerto de Talcahuano.

Antecedentes infraestructurales.

Conforme los antecedentes recabados, la obra fundamental del sitio 1 estaba conformada por una pared de tablestacas metálicas tipo H, con muros y tirantes de anclaje, ubicado los primeros a aproximadamente 35m del borde de atraque, y los segundos dispuestos con una separación de 1.25m entre sí. Los muros de anclaje, según las especificaciones de construcción, son muros de hormigón armado tipo L (cabe señalar que los planos consultados, de fecha anterior a las especificaciones, establecen que se trataría de un cajón de hormigón armado), calidad de hormigón D, y tirantes de acero de 60mm de diámetro. El espacio de sección rectangular entre las parejas de tablestacas H, fue rellenado desde la superficie de fundación hasta la cota +/- 0.0, con hormigón simple tipo B. Las fichas de hincas del tablestacado, según los antecedentes recopilados, tenían una variación de entre 3m y 10m, de sur a norte del sitio (Calbuco Ingenieros Ltda., 2012).

Su suelo de fundación, corresponde a una arena con presencia de gravas y con un alto potencial de licuación debido a las arenas, arenas limosas o limos, saturados presentes.

Daños 27F.

Producto del terremoto y el posterior tsunami del 27F, el Puerto de Talcahuano quedó totalmente destruido, siendo el puerto más afectado producto de este evento.

El tablestacado sufrió una inclinación hacia el lado mar de alrededor de 5° promedio, generando asentamientos importantes en el relleno del espaldón y falla completa del pavimento posterior. Además del colapso de su muro de contención, el desplazamiento lateral del suelo de relleno y las fracturas terminaron en el colapso total de la losa. Además hubo significativos daños en la zona de los galpones y en las redes de electricidad y de agua ubicadas sobre la losa (Brunet, 2012).

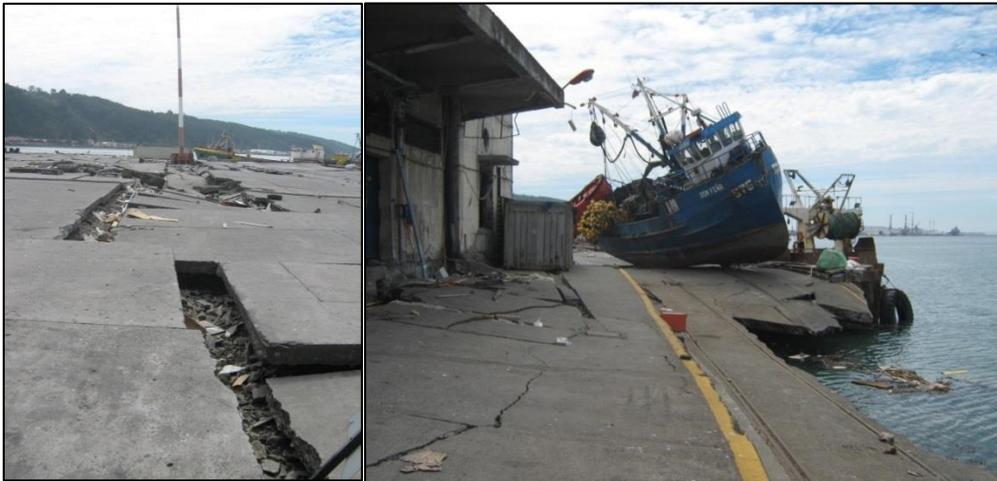


Figura D.25: Daños en Puerto de Talcahuano post 27F.
FUENTE: BIBLIOTECA DIRECCIÓN NACIONAL DE OBRAS PORTUARIAS.

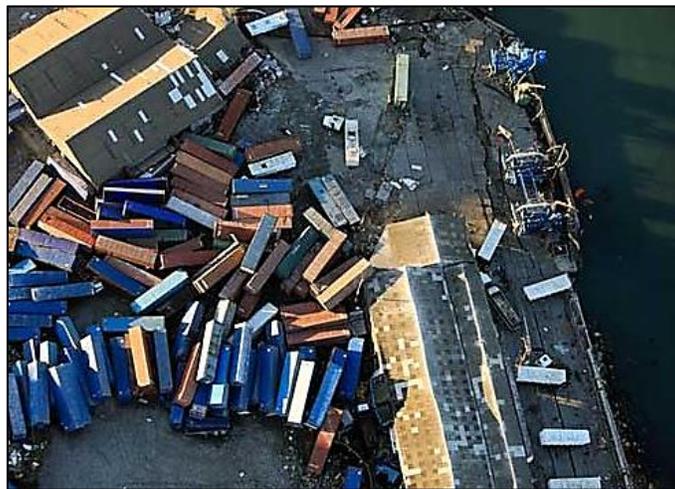


Figura D.26: Vista aérea de daños en Puerto de Talcahuano.
FUENTE: BIBLIOTECA DIRECCIÓN NACIONAL DE OBRAS PORTUARIAS.

ii. BAHÍA DE SAN VICENTE

La Bahía San Vicente, es una pequeña bahía con 17.4km² de superficie, ubicada en la zona centro-sur de Chile (36° 45'S, 73° 10'O). Su volumen se ha estimado en 278x10⁶m³, con profundidades que fluctúan desde los 5m en la cabeza de la bahía a 20m en su parte central y hasta 50m en la boca de la bahía (Ahumada, Patrones de distribución de metales traza (Cr, Ni, Zn, Cu, Cd y Pb) en sedimentos superficiales de Bahía San Vicente, Chile, 1992) (Brito & Figueroa, 1993).

La Bahía, se encuentra orientada al noreste y está delimitada por Punta Tumbes por el norte y Punta Hualpén por el sur (ver: Figura D.27), con una distancia desde la boca hasta la cabeza de 4.3km de longitud. La cabeza está constituida por una playa de 8.2km de longitud. Por sus características de orientación, topografía, tamaño y profundidad, la bahía no presentaría gran influencia de los eventos de surgencia, los cuales se desarrollan en la plataforma continental adyacente a una instancia estimada de 5 millas náuticas de la costa (Ahumada, Rudolph, Madariaga, & Carrasco, 1989).

La Bahía San Vicente, alberga los puertos de San Vicente Terminal Internacional (SVTI), Muelle ENAP, Muelle CAP Huachipato y Muelle Abastible (ver: Figura 5.2).

La velocidad del viento tiene una velocidad media anual de 5m/s, alcanzando sus máximas velocidades en invierno de entre 6-7m/s con direcciones entre S y W en más de un 40% del año (Costasur, 2008).

La marea es de tipo mixto, predominantemente semidiurna, es decir, en un día se presenta la ocurrencia de dos pleamares y dos bajamares, con diferencia de alturas entre ellas (Costasur, 2008).

El oleaje predominante tiene incidencia del SO y O la mayor parte del año (cerca del 84% anual). Las alturas de oleaje en la bahía no superan los 1.5m presentes sólo un 0.71% del año (Proconsa Ingeniería, 2009).

El subsuelo costero y marítimo se compone principalmente de arenas limosas y limos no plásticos muy compactos, con intercalaciones de depósitos de suelos finos plásticos de consistencia media y rígida. Debajo de estos estratos de suelo blando, existe roca arenisca con distintos grados de alteración y fracturamiento (Geofun, 2010).

a. SAN VICENTE TERMINAL INTERNACIONAL (SVTI)

San Vicente Terminal Internacional (SVTI), se localiza en el extremo noreste de la Bahía San Vicente, en la ciudad de Talcahuano, VIII Región del Bío Bío. Sus coordenadas geográficas son: 36° 44' 00" de Latitud Sur y 73° 09' 00" de Longitud Oeste. En la siguiente figura se muestra el emplazamiento general del Puerto:



Figura D.27: Ubicación Puerto San Vicente Terminal Internacional.

Antecedentes infraestructurales.

Frente de Atraque

El frente de atraque consta de un muelle marginal de aproximadamente 605m lineales, con boyas a los extremos de sus sitios alcanzando así 683m de extensión.

El frente de atraque cuenta con un calado máximo de 12.2m, permitiendo albergar naves de hasta 347m de eslora con capacidad de 8000 teus aproximadamente.

Patio de Contenedores y Bodegas

SVTI cuenta con una superficie total de 207,000m² destinados al acopio de contenedores, zona de aforo, zona inspección SAG y andenes de conexión para 450 contenedores refrigerados. El área de acopio tiene una capacidad estática de 26.000 teus y esta subdividida en áreas de stacking y depósito para contenedores vacíos que se consolidan en el terminal.

Bodegas

Cuenta con 5 bodegas de una superficie total de 51.000m² disponibles para el almacenaje de cargas. Estas bodegas cuentan con aleros de hasta 17m de extensión utilizados principalmente para el consolidado en días de lluvia.

Daños 27F.

Producto del terremoto, el pavimento del patio de contenedores sufrió significativos daños, los que fueron estimados en aproximadamente 10 hectáreas. La mayoría de los daños del pavimento y los edificios fueron causados por el hundimiento y el desplazamiento lateral del terreno. Debido a esto, la superestructura del muelle sufrió desplazamientos laterales del orden de 1.5m en el Sitio 1 y 0.5m en los Sitios 2 y 3. Para el Sitio 1, el movimiento del suelo generó un patrón de rotación según las agujas de reloj. Mientras que en el extremo norte del Sitio 1, se registró un desplazamiento de hasta 2m.

En el tablero del Sitio 1, y en las explanadas de los Sitios 1 y 2, se produjo un desplazamiento perpendicular al eje de los tableros del orden de 2m. Mientras que los Sitios de atraque 2 y 3, registraron desplazamientos de aproximadamente 40cm (Berger Abam, 2010).

b. MUELLE ENAP

El Muelle ENAP, está ubicado entre el Puerto de San Vicente (SVTI) y el Muelle CAP Huachipato, como se aprecia en la siguiente figura:

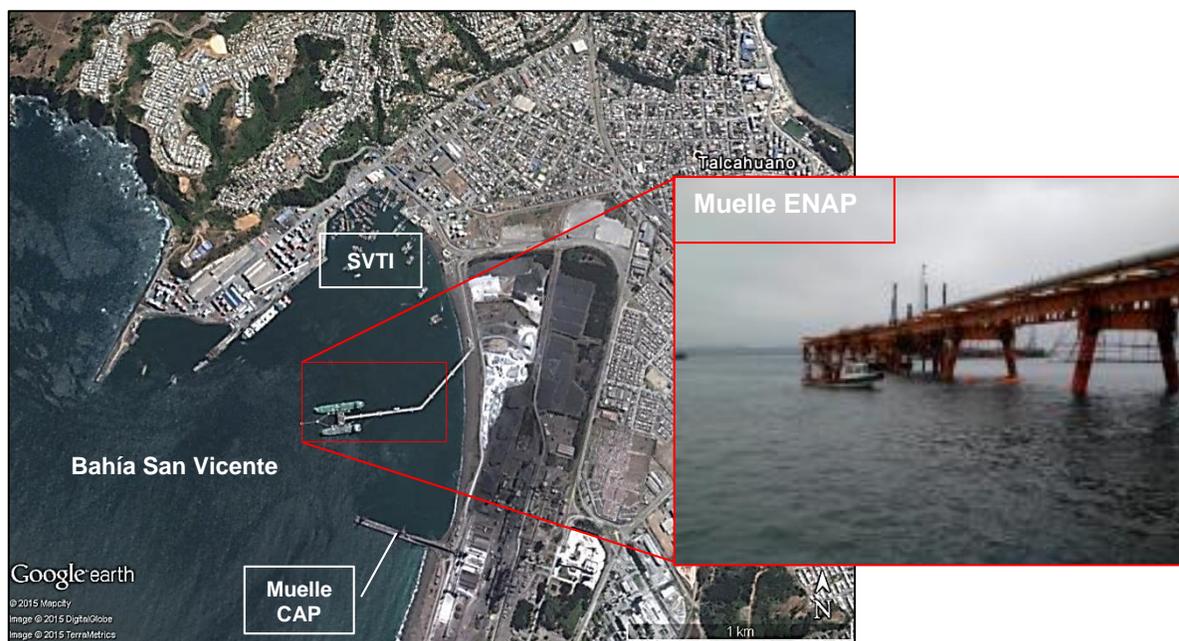


Figura D.28: Ubicación Muelle ENAP.

Antecedentes infraestructurales.

La estructura está compuesta por una serie de marcos arriostrados en el plano vertical y horizontal que permiten el control de las deformaciones debido a las cargas laterales. La plataforma presenta dos niveles, el primero de ellos a una elevación de 14.55m (sobre el nivel del mar), donde se encuentran los apoyos limitadores longitudinales de las tuberías de 10", 16", 20" y 24". El segundo nivel ubicado a 13.54m (sobre el nivel del mar), se caracteriza por sostener un estanque ASME de casi 3 toneladas (Proconsa Ingeniería, 2009).

Cabe mencionar que al momento del evento del 27F, el Muelle ENAP, aún se encontraba en etapa de construcción, la cuales finalizaron recién el año 2011.

Daños 27F.

El Muelle ENAP, no registró mayores daños producto del terremoto y tsunami del 27F, posiblemente por tratarse de una estructura netamente de acero (con gran capacidad de deformación, y por lo tanto de disipación de energía) destinada a la transferencia de petróleo. No obstante, se registraron desplazamientos en las juntas en el sector del Puente de Acceso, donde las vigas se desplazaron alrededor de 15cm hacia el mar, pero sin dañar la estructura. Por lo que sólo fue necesario reemplazar los pernos fallados por corte (ver: Figura D.29).

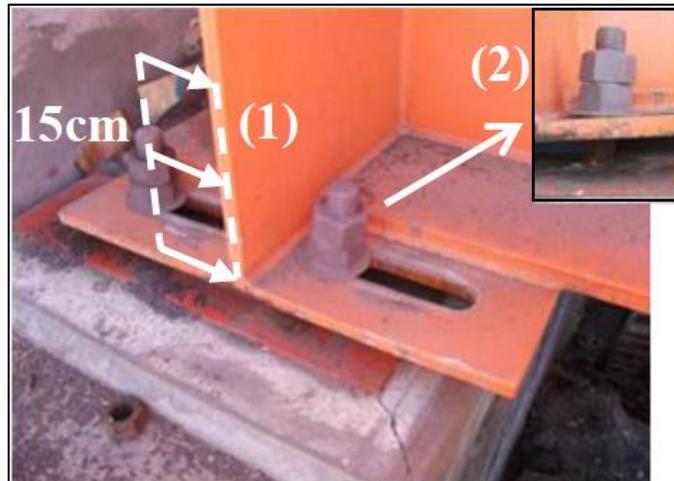


Figura D.29: Muelle ENAP:
(1) Desplazamiento lateral hacia el mar de vigas longitudinales y
(2) fluencia perno.

FUENTE: (Brunet, 2012).

c. MUELLE CAP HUACHIPATO

El Muelle Huachipato o Muelle CAP, está ubicado 14km al noroeste de la ciudad de Concepción. Pertence a la Compañía Siderúrgica Huachipato Holding CAP (Compañía de Acero del Pacífico). El terminal comenzó a ser construido el año 1947, inicialmente con el objeto de desembarcar el equipamiento para la construcción de la planta y en 1950, una vez que empezó a operar la siderúrgica, comenzó la descarga de materias primas y el embarque de productos terminados.



Figura D.30: Ubicación Muelle CAP Huachipato.

Antecedentes infraestructurales.

El Muelle CAP, es un muelle mecanizado que tiene 370m de largo por 27m de ancho. El largo utilizable para atraque de naves en ambos sitios es de 200m. Cuenta con sitios de atraque por ambas bandas. En el lado norte y sur pueden atracar buques de hasta 30.000TRG, con un calado máximo de 11.15m en el sitio norte y 8.5m en el sitio sur.

El Muelle, está estructurado en base a una losa de hormigón armado apoyada sobre vigas longitudinales de perfiles de acero embebidos en hormigón y vigas transversales de hormigón armado que a su vez se apoyan en pilotes de acero revestidos en hormigón hincados en el fondo marino (Propuerto, 2010).

Daños 27F.

El daño estructural más importante, se produjo en los pilotes inclinados del sector del Cabezo del Muelle, los cuales fueron severamente dañados. Estos pilotes inclinados en dirección transversal, en los últimos 96m del Muelle (hacia el cabezo), se cortaron en su conexión con la losa de hormigón armado, en la cual se encontraban embebidos (ver: Figura D.31). No obstante, ninguno de los pilotes inclinados, ya sean longitudinales o verticales, registró daños estructurales (Propuerto, 2010). Además, se registró un agrietamiento,

fisuras y un leve desplazamiento en la losa de hormigón armado del sector del Puente de Acceso (ver: Figura D.32).



Figura D.31: Falla por corte en unión viga-pilote.
FUENTE: MUELLE CAP HUACHIPATO.



Figura D.32: Grieta en la losa del muelle (sector del puente de acceso).
FUENTE: MUELLE CAP HUACHIPATO.

También, se registraron otros daños no estructurales en las instalaciones de Altos Hornos. Al momento de ocurrir el terremoto, la grúa TD1 (ver: Figura D.33) no estaba operando, por lo que se encontraba en la zona de garaje, con la pluma en posición vertical. Producto del movimiento sísmico, la grúa se descarriló registrando daños en todos los bogies encargados de trasladarla (ver: Figura D.34). Este daño, puso en riesgo toda la estructura (TD1) pudiendo colapsar debido a la inestabilidad de los bogies, por lo que la grúa TD1, debió ser estabilizada provisoriamente mediante una barra de acero (ver: Figura D.35b) (Brunet, 2012) (Propuerto, 2010).



Figura D.33: TD1

FUENTE: COMPAÑÍA SIDERÚRGICA HUACHIPATO.



Figura D.34: Bogies descarrilados.
 FUENTE: COMPAÑÍA SIDERÚRGICA HUACHIPATO.

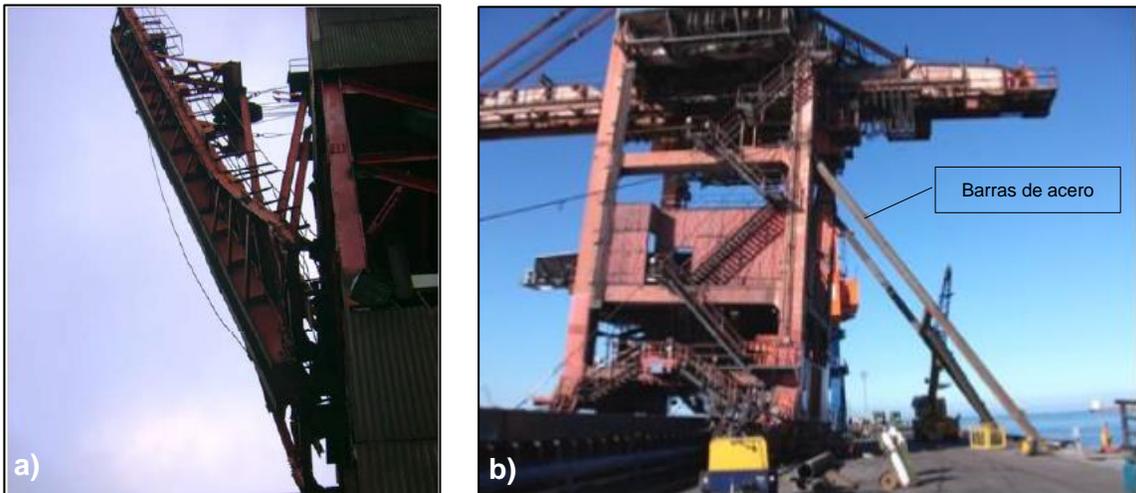


Figura D.35: a) Pluma de carga principal; b) Grúa inclinada y estabilizada con barras de acero.
 FUENTE: COMPAÑÍA SIDERÚRGICA HUACHIPATO.

Algunos de los otros daños registrados fueron:

- Daños en alimentación eléctrica de las grúas, además de las líneas auxiliares de iluminación.
- Daños en ductos de soda cáustica y redes de agua industrial, incendio y potable.
- Daños de salas de control del equipamiento eléctrico de los equipos del muelle.
- Daños en vías de traslación de grúas y vías de ferrocarril.

iii. BAHÍA DE CORONEL

La Bahía de Coronel, se encuentra en la zona noreste del golfo de Arauco, 30km al sur del centro de Concepción. Alberga al Puerto de Coronel y a la Empresa Portuaria Cabo Froward. La bahía se orienta hacia el O, y debido a la presencia de la Isla Santa María por el O y Punta Lavapié por el SO, se encuentra al abrigo del oleaje del 3er cuadrante que predomina la mayor parte del año. Mientras que la presencia de Punta Puchoco por el N, le proporciona algo de abrigo respecto del oleaje incidente desde el 4to cuadrante (ver: Figura D.36).



Figura D.36: Ubicación Bahía de Coronel.

Los vientos reinantes son los de dirección S y SSO, y se presentan un 70% del tiempo. Afectan indistintamente a todos los sitios de atraque de los puertos de la Bahía de Coronel, pero que debido a su baja intensidad (velocidad promedio de 16 nudos), no afectan a las operaciones portuarias (Puerto de Coronel, 2008).

Para los vientos dominantes del N y NO, la Bahía de Coronel, cuenta con protección natural de parte de los cerros ubicados en el sector norte en Punta Puchoco, los cuales protegen a los muelles de la Bahía, en especial a los de la empresa portuaria Cabo Froward ubicados al norte de ésta.

El régimen de mareas en Coronel, es el característico de las costas abiertas del litoral central del país, es decir, se trata de una oscilación mareal semi-diurna con desigualdad

diurna. Este régimen se caracteriza por presentar dos pleamares y dos bajamares de diferente amplitud en un día (Puerto de Coronel, 2008).

Por las características del patrón de vientos del Pacífico Sur, en este litoral el oleaje reinante en aguas profundas corresponde a la dirección general SO, en tanto que el dominante también tiene dirección general SO. El oleaje producto de los temporales de invierno en el Pacífico Sur suele presentarse con periodos pico menores. En cambio, el oleaje incidente desde el NO, o 4to cuadrante, suele tener periodos más largos (PRDW-AV, 2008).

El subsuelo marino, está compuesto principalmente de fango blando en la superficie y arenas limosas y limos arenosos bajo los primeros 30m. Recién bajo éstos, se registra roca sedimentaria, conformada por areniscas y limolitas blandas (González & Verdugo, 2012).

a. PORTUARIA CABO FROWARD

La empresa portuaria Cabo Froward se dedica a la exportación e importación de graneles sólidos, tales como: astillas para la industria del papel, clinker para la elaboración de cemento, carbón para la industria regional y para la generación de energía eléctrica, entre otros.

Cabo Froward cuenta con 3 muelles especializados, llamados Puchoco, Chollín y Jureles, como se presenta en la siguiente figura:

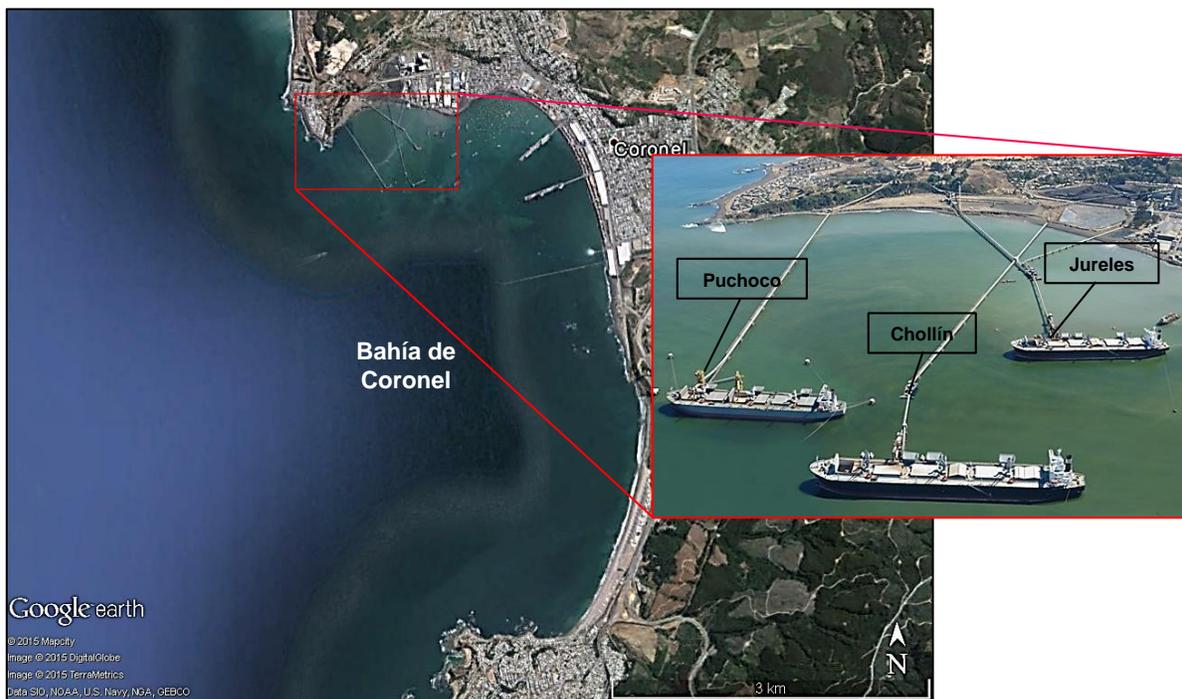


Figura D.37: Ubicación Empresa Portuaria Cabo Froward.

Antecedentes infraestructurales.

Muelle Puchoco

Es un terminal mecanizado consistente en una cinta transportadora de gráneles, a través de un puente de 880m de largo y 3m de ancho, 4 postes de amarre, 3 duques de alba y 1 boya de amarre. Está construido sobre pilotes de acero hincados en el fondo marino. El Puente de Acceso posee pilotaje cada 6m en su parte inicial, y desde los 350m está conformado por 7 galerías estructurales de 50m de largo instaladas sobre el Puente. Sobre su estructura, se encuentra una cinta transportadora unidireccional de 42" de ancho con una capacidad de 600ton/hora, la cual termina en el cargador de barcos.

En su parte final, el Muelle Puchoco posee una plataforma de hormigón armado, que constituye el Cabezo del Muelle, a un costado, está instalada la torre cargadora de barcos, diseñada para atender los requerimientos de naves mercantes de gran tamaño (Cabo Froward, 2012).

Puchoco, permite el atraque de naves de hasta 250m de eslora y 100,000ton de desplazamiento, con limitaciones de calado máximo de 12.6m.

Muelle Chollín

El Muelle Chollín, se construyó entre los años 2009 y 2010. Es el muelle de mayor capacidad de la Portuaria Cabo Froward, y está en funcionamiento desde el año 2011. Posee una mayor capacidad de servicio, principalmente en recepción y transferencia de carbón, para lo cual cuenta con: 3 tolvas de 40ton de capacidad cada una, palas de 18m³ y un sistema de cintas transportadoras con una capacidad nominal de descarga de 1,200ton/hr.

La estructura de atraque, está conformada por dos estructuras independientes conectadas entre sí por los enrejados que soportan las cintas transportadoras y los pasillos peatonales de mantenimiento. Cada una de ellas se diseñó para resistir las cargas de atraque y soportar las cargas de las tolvas para descarga de carbón. Para soportar las cargas de atraque y las provenientes de la tolva, cuenta con pilotes inclinados y verticales respectivamente (PRDW-AV, 2010).

El Muelle Chollín, posee un sitio de atraque para naves de 260m de eslora máxima y un calado máximo de 14.5m.

Muelle Jureles

El Terminal mecanizado consiste en una cinta transportadora de gráneles, a través de un Puente de 770m de largo y 4.4m de ancho, 4 duques de alba y 3 boyas de amarre. Su Puente de Acceso, está soportado por pilotes de acero, hincados en el fondo marino, el que posee dos tramos diferenciados por estar en un eje diferente de avance, terminando en cuadratura con el centro del sitio de atraque. El primer tramo tiene un ancho de 4.47m en toda su extensión, y posee una correa transportadora reversible en su parte superior central y amplios pasillos a ambos lados de ella. La longitud de este tramo es en total de aproximadamente 500m. En la parte final de este tramo existe una amplia zona, que previamente era utilizada como cabezo de carguío de naves. El segundo tramo del muelle, continúa desde este sector hasta conectarse con los sistemas de transferencia de carga

del sitio de atraque, que atiende naves mercantes de gran tamaño, teniendo también correas transportadoras reversibles en todo su recorrido (GHD, 2011).

Permite el atraque de naves hasta 230m de eslora y 100,000ton de desplazamiento, con limitaciones de calado máximo de 11.88m.

Daños 27F.

Los muelles, al tratarse de estructuras mayoritariamente de acero con gran capacidad de deformación, y por lo tanto de disipación de energía, no presentaron mayores daños infraestructurales. Sin embargo, sus tres muelles (Jureles, Chollín y Puchoco) registraron desplazamiento e inclinación en algunos de sus sistemas de fundación, como se aprecia en la Figura D.38.

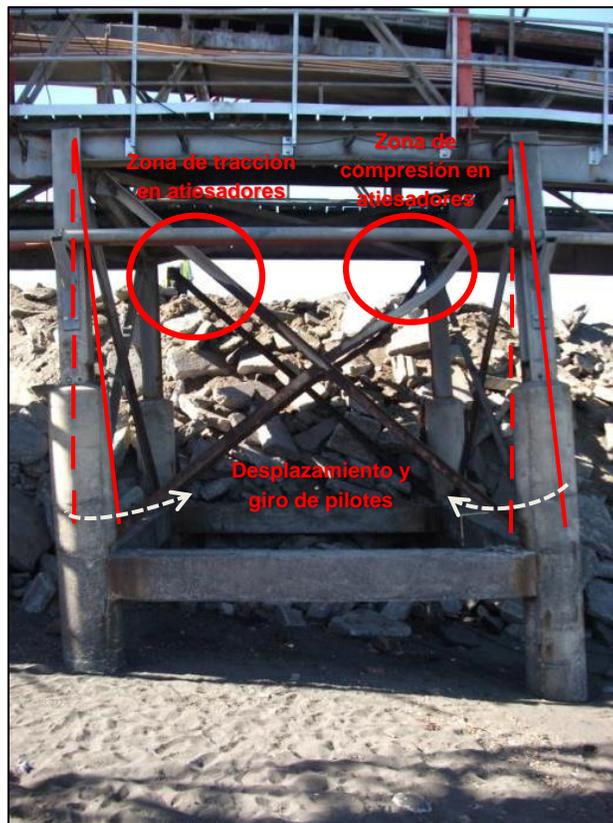


Figura D.38: Inclinación en sistema de fundación del Muelle Jureles por desplazamiento lateral del suelo.

FUENTE: MODIFICADO DE (Brunet, 2012).

b. PUERTO DE CORONEL

El Puerto de Coronel, se ubica 25km al SO de la ciudad de Concepción, específicamente en el sector norte de la Bahía de Coronel. El Puerto cuenta con tres muelles de penetración: Muelle Norte, Muelle Sur y Muelle Granelero, los cuales suman 2,000m lineales de frente de atraque y cuyos calados van desde 11 hasta 15m. Estos muelles permiten atender a nueve naves simultáneamente.



Figura D.39: Ubicación Puerto de Coronel.

Antecedentes infraestructurales.

Puerto de Coronel dispone de tres muelles de penetración: Muelle Norte, Muelle Sur y Muelle Granelero, los cuales suman 2.000m lineales de frentes de atraque y cuyos calados van desde los 11m hasta los 15m. Las estructuras de los muelles, están compuestas por losas de hormigón armado sobre vigas de acero soportadas por pilotes de acero hincados al fondo marino. Estos muelles permiten atender a 9 naves simultáneamente.

El Muelle Norte, especializado en carga general y granel, se construyó entre los años 1995 y 1996, su proyección en ese entonces, fue un Puente de Acceso de 336m de longitud con un ancho de 10m y un cabezal de atraque de 170m de largo con 30m de ancho, que conformaban dos sitios de atraque. Entre los años 2000 y 2004, se ejecutaron nuevas ampliaciones, quedando actualmente con 4 sitios de atraque que reciben naves de entre 167m y 206m de eslora y con calados entre 11.4m y 12.98m. Su estructura está compuesta por una losa de hormigón armado, apoyada sobre vigas de acero, longitudinales y transversales, soldadas a pilotes tubulares de acero, verticales e inclinados, con diámetros entre 24 y 31” hincados al fondo marino (PRDW-AV, 2010).

El Muelle Sur, especializado en carga contenerizada, se construyó entre los años 2006 y 2007. Su estructura consta de una losa de hormigón armado apoyada sobre pilotes de acero. Su puente de acceso, posee 225m de longitud y 10m de ancho, mientras que la zona del cabezo tiene 400m de longitud y 36m de ancho. Posee dos sitios de atraque que suman

800m lineales, pudiendo albergar hasta dos naves con calados de hasta 12.6m. El sector del Cabezo cuenta con un sistema de aislación sísmica, sobre las plataformas piramidales formadas por 4 pilotes inclinados (Puerto de Coronel, 2008), como se aprecia en la siguiente figura:



Figura D.40: Ubicación de aisladores sísmicos del M. Coronel Sur.

FUENTE: PUERTO DE CORONEL.

El Muelle Granelero, es de tipo mecanizado con correas transportadoras, especializado en descarga y transferencia de gráneles secos, y descarga de carbón para la termoeléctrica Santa María. Tiene una longitud de 1200m y consta de un sitio de atraque, que recibe naves con calado de hasta 15m. A la fecha del terremoto del 27 de febrero de 2010, aún se encontraba en etapa de construcción.

Además, Puerto de Coronel cuenta con una superficie total de 86ha, dispuesta en:

- Bodegas.
- Patios de Acopio.
- Áreas de consolidación/desconsolidación.
- Maestranza.
- Antepuerto.
- Accesos.
- Vías de circulación.
- Oficinas y
- Otros.

Daños 27F.

Producto del terremoto se produjo una falla en el terreno, generada por la presencia de suelos blandos de baja resistencia. La licuación del suelo, produjo grietas y asentamientos en pavimentos y explanadas de acopio, además del giro y desplazamiento, hacia el lado del mar, de algunos pilotes de los muelles Norte y Sur (González & Verdugo, 2012), (Brunet, 2012).

En el Muelle Coronel Norte, los pilotes del estribo se desplazaron, chocando la viga de hormigón con la viga metálica. Además, los pilotes, entre los ejes 2 a 4 (sector Puente de Acceso), se inclinaron haciendo girar el ala inferior de la viga transversal, provocando que los atiesadores del lado del mar se pandearan. También, la dupla de pilotes inclinados del eje 5 lado sur se desprendió de su apoyo, desplazándose alrededor de un metro hacia el mar y quedando sin apoyo en este punto. Así mismo, uno de los pilotes, de la dupla de pilotes inclinados del eje 8, se desprendió de su apoyo y quedó desplazado alrededor de 2.5m hacia el mar, quedando sin apoyo este punto. Mientras que el daño más común presentado, fueron los pilotes desoldados a lo largo de los muelles Norte y Sur de Coronel (PRDW-AV, 2010).

En la Figura D.41, se muestran las grietas generadas en el pavimento de la zona de acopio aledaña al Muelle Coronel Norte, las cuales alcanzaron aberturas de hasta 50cm. Además, se estima que el desplazamiento horizontal en esta área fue de aproximadamente 1.2m hacia el lado del mar (González & Verdugo, 2012).

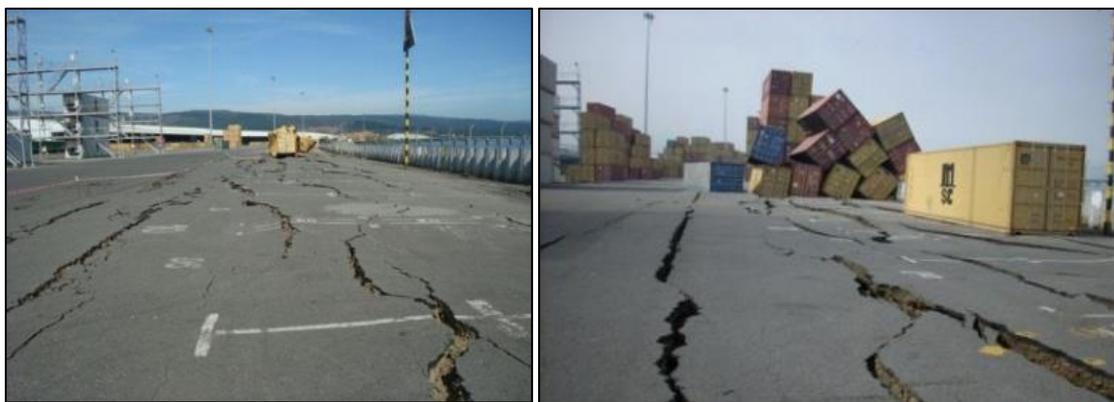


Figura D.41: Grietas en el pavimento de zona de acopio.

FUENTE: PUERTO DE CORONEL.

La mayor parte del daño se concentró en el sector del Puente de Acceso y el Cabezo del Muelle Coronel Norte. Donde, de los 139 pilotes verticales del muelle, seis fallaron en los primeros 40 metros del Puente de Acceso, y sólo un pilote falló en la zona del Cabezo (a aproximadamente 423m de la línea de costa). Además, de los 169 pilotes inclinados del Muelle, nueve fallaron en los primeros 88m (en el sector del Puente de Acceso) y 45 en los últimos 160m (sector del Cabezo) (ver: Figura D.42a) (PRDW-AV, 2010).

En el Muelle Coronel Sur, sólo se registraron daños menores en sus pilotes (ver: Figura D.42b) pese a que no se encontraban fundados en roca (González & Verdugo, 2012). El daño pudo haber sido menor, debido al tipo de conexión entre la losa y los pilotes, los cuales fueron embebidos a la losa mediante enfierradura y luego hormigonados (ver: Figura D.42c), produciendo que su unión fuese más rígida y resistente en comparación al Muelle Norte, en el cual sus pilotes se encontraban unidos a la losa mediante soldadura.



Figura D.42: Conexión viga-pilote en muelles Coronel Norte y Sur.

- a) Fallo típico de corte en los pilotes del cabezo del M. Norte. b) Desprendimiento de material en unión viga-pilote del M. Sur. c) Hormigonado en la unión de la losa y pilote del M. Sur.

FUENTE: PUERTO DE CORONEL.

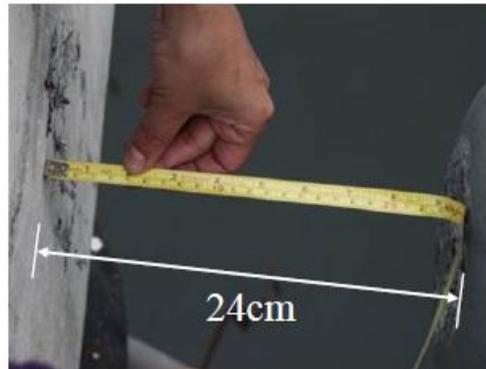
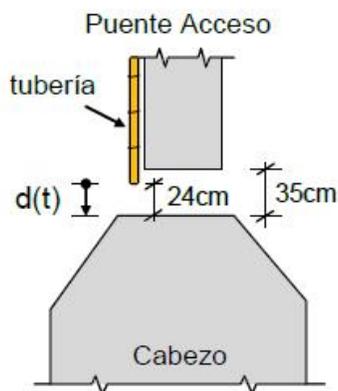


Figura D.43: Desplazamiento relativo medido entre el Cabezo aislado sísmicamente y el Puente de Acceso no aislado del Muelle Coronel Sur.

FUENTE: (Brunet, 2012).

Además de los daños estructurales, el movimiento sísmico produjo la caída de containers, los cuales estaban apilados en hasta 5 unidades, como se aprecia en la Figura D.44. La zona más afectada por el desplome de contenedores, fue la misma donde se habían registrado múltiples grietas en el pavimento, producto del asentamiento e inclinación del terreno (González & Verdugo, 2012), causando que los containers cayeran en dirección hacia el mar, superando el muro de tablestacado, como se aprecia en la Figura D.45.



Figura D.44: Desplome de pilas de containers en sector de acopio, Puerto Coronel.

FUENTE: PUERTO DE CORONEL.

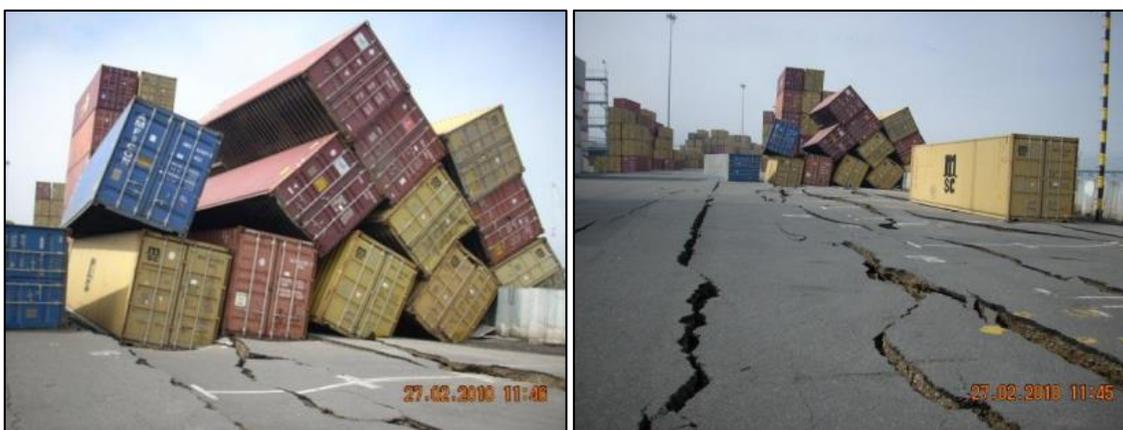


Figura D.45: Asentamiento y fisuras en el terreno de la zona de acopio de contenedores.

FUENTE: PUERTO DE CORONEL.

También, en algunas zonas de los patios de acopio, se produjeron agujeros en el pavimento, de hasta 3m de diámetro y hasta 2.5m de profundidad (ver: Figura D.46). Así mismo, producto del desplazamiento del terreno, se desconectaron algunas tuberías de desagüe existentes bajo el pavimento de las zonas de acopio. Cabe mencionar, que además de los agujeros formados durante el terremoto del 27F, se siguieron produciendo otros agujeros, inducidos posiblemente por las réplicas posteriores al evento sísmico (PRDW-AV, 2010), (González & Verdugo, 2012).



Figura D.46: Agujeros en el pavimento de la zona de acopio.

FUENTE: PUERTO DE CORONEL.

ANEXO E. FENÓMENO DE LICUACIÓN

I. LICUACIÓN DE SUELOS

El fenómeno de licuación de suelos saturados, corresponde a un aumento de la presión de poros del suelo debido a un sismo (o movimientos cíclicos), de tal magnitud que se anula la presión efectiva, y el suelo pierde completamente la resistencia al corte, comportándose como un líquido. En efecto, la resistencia al corte de un suelo no cohesivo, se puede expresar como:

$$\tau = (\sigma' - \Delta u) \operatorname{tg} \phi$$

donde:

τ	=	resistencia al corte del suelo
σ'	=	presión efectiva inicial
Δu	=	incremento de presión de poros
ϕ	=	ángulo de fricción interna del suelo

De la expresión anterior, se concluye que, si el incremento de presión de poros iguala la presión efectiva inicial del suelo, entonces la resistencia al corte se anula y se produce el fenómeno de licuación total del suelo.

De la misma expresión también se concluye que para que se produzca el fenómeno de licuación del suelo, necesariamente este debe estar saturado y debe ser capaz de aumentar la presión de poros debido a sollicitaciones cíclicas. El mecanismo debido al cual aumenta la presión de poros, tiene que ver con la compactación del suelo por movimientos cíclicos y/o vibratorios. Las numerosas investigaciones realizadas en muchas universidades sobre el fenómeno de licuación, indican que cuando ocurre un sismo en un suelo poco denso tiende a alcanzar un estado más compacto disminuyendo el índice de huecos. Si los huecos del suelo están llenos de agua, se produce una expulsión de dicha agua; como esta expulsión de agua no es instantánea, entonces ocurre que aumenta la presión de poros, alcanzándose en el caso extremo la licuación total del suelo.

De acuerdo con lo anterior, para que un suelo se licúe tienen que cumplirse simultáneamente las siguientes condiciones:

- Suelo saturado.
- Suelo suelto y susceptible de compactarse con sollicitaciones cíclicas.
- Sollicitación cíclica que compacte el suelo.

Según se indica en la normativa europea (Eurocódigo 8), se puede excluir el peligro de licuefacción para los terrenos arenosos saturados que se encuentran a una profundidad mayor a 15 m o cuando A_g (aceleración máxima asociada al sismo) sea menor que 0.15 g, y al mismo tiempo el terreno cumpla con algunas de las siguientes condiciones:

- Contenido de arcilla superior al 20%, con IP (índice de plasticidad) > 10 ,
- Contenido de limo superior al 10% y resistencia $N_{1,60} > 20$,
- Fracción fina desatendible y resistencia $N_{1,60} > 25$.

Por otra parte, la norma francesa agrega que los terrenos susceptibles a la licuefacción son terrenos arenosos y limosos con las siguientes propiedades:

- grado de saturación $S_r = 100\%$,
- coeficiente de uniformidad $U_c = D_{60}/D_{10} < 15$,
- diámetro al 50% de gránulos $0.05 < D_{50} < 1.5$ mm.

O terrenos arenosos con fracción arcillosa caracterizada por:

- Diámetro al 15% de gránulos $D_{15} > 0,05$ mm,
- Límite líquido $LL < 35\%$,
- Contenido de agua natural $W > 0,9 WL$,

Punto representativo sobre la carta de plasticidad de Casagrande por debajo de la línea A, con $IP < 10.95$, $LL < 35\%$.

ii. DESPLAZAMIENTO LATERAL.

Conocido por en inglés, como '*lateral spreading*', es el movimiento lateral finito del suelo en pendiente suave o escarpada, causado por la licuefacción de terrenos adyacentes inducida por un sismo de gran magnitud. Este desplazamiento lateral es común en las costas, donde los suelos sueltos y arenosos saturados se encuentran comúnmente en aguas poco profundas. Las estructuras soportadas sobre cimientos a poca profundidad son más susceptibles al daño por '*lateral spreading*'. Este desplazamiento lateral, se produce por la generación de presión de poros en el suelo, como resultado de la agitación del sismo, reduciendo la rigidez y resistencia del suelo.

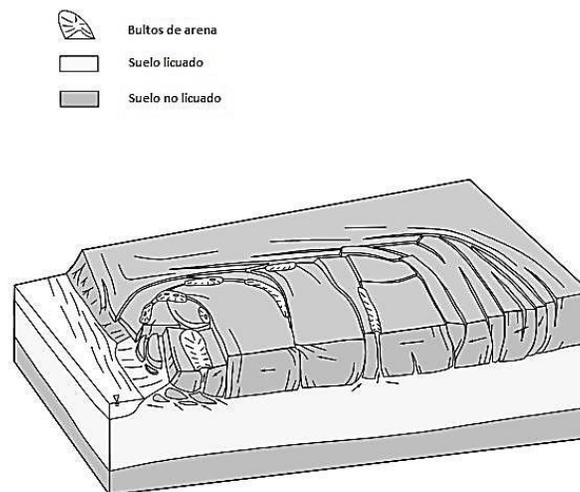


Figura E.1: Representación esquemática del desplazamiento lateral resultante de la licuefacción de suelo en un terremoto (Varnes, 1978).

Este tipo de falla se origina producto del sismo de gran magnitud, el cual “al sacudir la tierra” genera un reacomodo de material, causando que la licuación de arenas saturadas fuera un efecto casi inevitable. Junto a esto, si el terreno posee pendiente, tenderá a deslizarse hacia abajo, lo que se conoce como ‘*lateral spreading*’. Esta masa de suelo, al deslizarse genera una fuerza de empuje sobre el sistema de fundación, llegando a causar importantes daños estructurales comprometiendo la estabilidad del sistema.

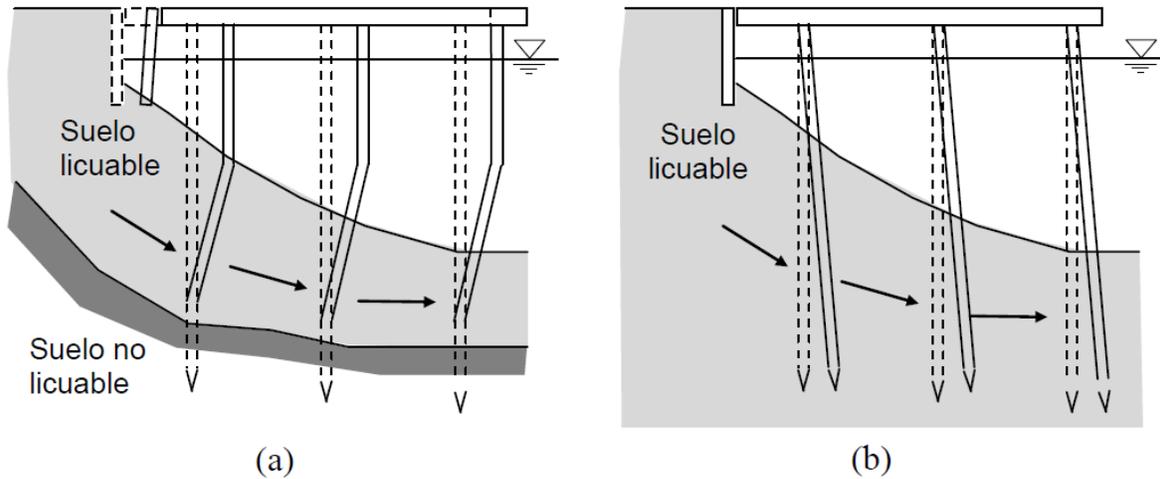


Figura E.2: Efecto del desplazamiento lateral sobre pilotes.

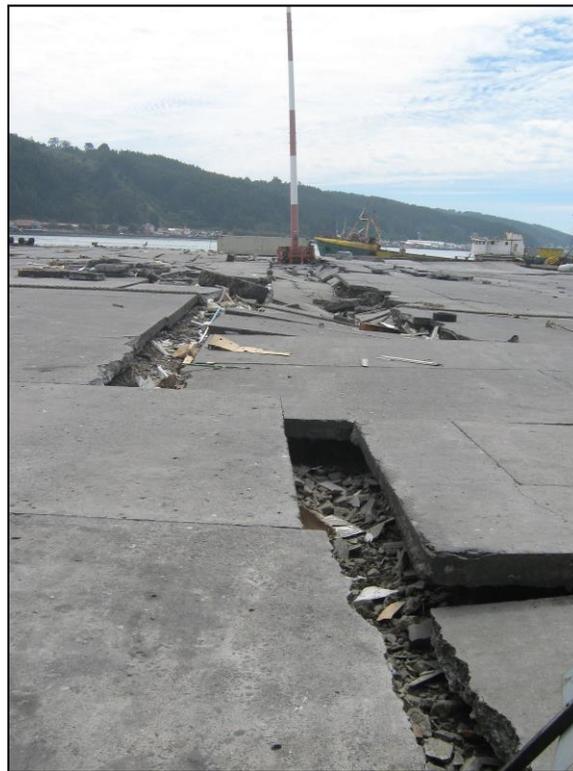


Figura E.3: Licuación y desplazamiento lateral de explanada en Puerto de Talcahuano

ANEXO F. MATRICES DE RIESGO

Tabla F.1: Matriz de riesgo BHP.

NIVEL DE IMPACTO	TIPOS DE IMPACTO					FINANCIERO
	SAÚDE Y SEGURIDAD	MEDIO AMBIENTE	COMUNIDAD	REPUTACIÓN	LEGAL	
1	Inconvenientes o síntomas subjetivos de bajo nivel y corto plazo. No requiere tratamiento médico.	Impactos de bajo nivel sobre el territorio, biodiversidad, servicios ecosistémicos, recursos acuáticos o atmósfera.	Impactos moderados sobre la salud, seguridad y/o protección de la comunidad (<100 habitantes) o infracciones a los derechos humanos; inconvenientes para la vida de las personas (<6 meses); daño extensivo sobre menos de 50 casas o infraestructura comunitaria; daño menor reversible sobre estructuras/objetos/lugares de significancia cultural regional.	Preocupación pública restringida a reclamos locales. Interés de bajo nivel para la vida de las personas (<2 semanas); disturbios de bajo nivel o daños menores a casas aisladas o estructuras/objetos/lugares de significancia cultural regional.	Problemas legales de baja importancia.	Perdidas menores que US\$250,000 (acciones de BHP Billiton)
2	Incapacidad o objetivo para reversible, enfermedad o médico de heridas o enfermedad.	Impactos menores (<3 meses) sobre el territorio, biodiversidad, servicios ecosistémicos, recursos acuáticos o atmósfera.	Impactos menores sobre la salud, seguridad y/o protección de la comunidad (<100 habitantes) o infracciones a los derechos humanos; inconvenientes para la vida de las personas (<6 meses); daño extensivo sobre menos de 50 casas o infraestructura comunitaria; daño menor reversible sobre estructuras/objetos/lugares de significancia cultural regional.	Atención pública o mediática local y/o alta preocupación por parte de las autoridades locales. Interés de bajo nivel para la vida de las personas (<2 semanas); disturbios de bajo nivel o daños menores a casas aisladas o estructuras/objetos/lugares de significancia cultural regional.	Problemas legales menores y desacuerdos con compromisos.	Perdidas mayores a US\$250,000 y menores que US\$2 millones (acciones de BHP Billiton)
3	Incapacidad permanente > 30% del cuerpo, afectando a una o más personas. Restricción o días perdidos debido a heridas o enfermedad.	Impactos moderados (>1 año) sobre el territorio, biodiversidad, servicios ecosistémicos, recursos acuáticos o atmósfera.	Impactos moderados sobre la salud, seguridad y/o protección de la comunidad (>100 habitantes) o infracciones a los derechos humanos; las personas (>50 habitantes); daño extensivo sobre más de 50 casas; daño moderadamente reversible sobre estructuras/objetos/lugares de significancia cultural regional.	Atención mediática a nivel regional y/o alta preocupación por parte de las autoridades locales. Interés de bajo nivel para la vida de las personas (<2 semanas); disturbios de bajo nivel o daños menores a casas aisladas o estructuras/objetos/lugares de significancia cultural regional.	Incumplimientos de regulación. Falta de datos exploratorios válidos.	Perdidas mayores a US\$2.5 millones y menores que US\$20 millones (acciones de BHP Billiton)
4	Una fatigabilidad, incapacidad permanente > 30% del cuerpo, afectando a una o más personas.	Impactos mayores (<5 años) sobre el territorio, biodiversidad, servicios ecosistémicos, recursos acuáticos o atmósfera.	Impactos serios sobre la salud, seguridad y/o protección de la comunidad (>100 habitantes) o infracciones a los derechos humanos; múltiples alegatos sobre violaciones a los derechos humanos, afectaciones extensas sobre la vida de las personas (>50 habitantes); daño extensivo sobre más de 50 casas; daño moderadamente irreversible sobre estructuras/objetos/lugares de significancia cultural nacional.	Atención mediática adversa a nivel nacional. Público en general y ONG's interesados en parte de los reguladores sin expresiones materiales. Campañas estructuradas de empleados, ONG's y comunidades teniendo un impacto mayor en la reputación del negocio e inversiones.	Litigios civiles de importancia.	Perdidas mayores a US\$25 millones y menores que US\$250 millones (acciones de BHP Billiton)
5	2 a 20 fatalidades, incapacidad permanente > 30% del cuerpo, afectando a más de 10 personas.	Impactos serios o extensos (>20 años) sobre el territorio, biodiversidad, servicios ecosistémicos, recursos acuáticos o atmósfera.	Impactos serios sobre la salud, seguridad y/o protección de la comunidad (>100 habitantes) o infracciones a los derechos humanos; violaciones extensas sobre la vida de las personas (>200 habitantes); daño extensivo sobre más de 200 casas o infraestructura comunitaria o estructuras/objetos/lugares de significancia cultural nacional.	Serios efectos de atención negativa en medios nacionales e internacionales. Público en general y ONG's interesados en parte de los reguladores (<3 meses). Campañas estructuradas de empleados, ONG's y comunidades teniendo un impacto mayor en la reputación del negocio y activos.	Procesos por incumplimientos criminales resultando en penas de cárcel para empleados o agentes, o detenciones en litigios civiles.	Perdidas mayores a US\$500 millones y menores que US\$1,000 millones (acciones de BHP Billiton)
6	>20 fatalidades, incapacidad permanente > 30% del cuerpo, afectando a más de 100 personas.	Impactos severos (>20 años) sobre el territorio, biodiversidad, servicios ecosistémicos, recursos acuáticos o atmósfera.	Impactos extensivos sobre la salud, seguridad y/o protección de la comunidad (>200 habitantes) o violaciones a los derechos humanos; violaciones extensas sobre la vida de las personas (>1000 habitantes); daño extensivo sobre más de 1000 casas o infraestructura comunitaria o estructuras/objetos/lugares de significancia global.	Evento crítico o publicación de información altamente confidencial resultando efectos mediatizados mayores a 6 meses a nivel internacional, de reguladores, ONG's y comunidades. Durante los procesos de indemnización, Nacionalización de se generan daños para la reputación de la compañía.	Retrasos en las patentes de operación, cierre foroso de una operación, competencia, anticorrupción, ley de comercio internacional o incumplimientos de regulaciones de ONG's y indemnización. Nacionalización de una operación por algún gobierno.	Perdidas mayores a US\$1,000 millones y menores que US\$2,500 millones (acciones de BHP Billiton)
7	>50 fatalidades, incapacidad permanente > 30% del cuerpo, afectando a más de 500 personas.	Impactos severos permanentes sobre el territorio, biodiversidad, servicios ecosistémicos, recursos acuáticos o atmósfera.	Impactos severos y masivos sobre la salud, seguridad y/o protección de la comunidad (>1000 habitantes) o violaciones a los derechos humanos; destrucción total de más de 1000 casas o infraestructura comunitaria, o estructuras/objetos/lugares de múltiples estructuras/objetos/lugares de significancia global.	Evento crítico o publicación de información altamente confidencial resultando efectos mediatizados mayores a 6 meses a nivel internacional, de regulación gubernamental, campañas de ONG's y comunidades. Durante los procesos de indemnización, Nacionalización de se generan daños para la reputación de la compañía.	Barcarrota, cierre/nacionalización de operaciones en múltiples sitios.	Perdidas mayores o iguales a US\$2,500 millones (acciones de BHP Billiton)

Tabla F.2: Matriz de riesgos ENAP.

ENAP				
NIVEL DE IMPACTO	TIPOS DE IMPACTO			
	PERSONAS	ACTIVOS	AMBIENTE	REPUTACIÓN
1	Lesión menor	Daño leve (US\$16,000 o menos). Sin interrupción operacional.	Efecto leve (dentro de la valla, sin exceso límite permisible)	Impacto leve (conocimiento público)
2	Incidente con pérdida de tiempo	Daño menor (entre US\$16,000 y 160,000). Breve interrupción operacional.	Efecto menor o localizado (contención temporal)	Impacto limitado (medios locales públicos)
3	Lesiones individuales o poco graves	Daño localizado (entre US\$160,000 y 1,600,000). Detención de partes.	Efecto moderado (pérdida medio ambiental recuperable)	Impacto considerable (medios regionales/estatales /públicos)
4	Fatalidades individuales o pocas (<5). Numerosas lesiones.	Daño mayor (hasta US\$1,600,000). Pérdidas parciales de operación.	Efecto mayor (daños severos resultantes en efectos permanentes/exceso)	Impacto nacional (cobertura mediática adversa extensiva)
5	Fatalidades múltiples (5 o más). Numerosas lesiones.	Daño extensivo (sobre US\$1,600,000). Pérdidas sustanciales de operación.	Efecto masivo (efectos crónicos generalizados/exceso constante límite permisible)	Impacto internacional, cobertura mediática adversa.

Tabla F.3: Matriz de riesgos SERNAGEOMIN.

SERNAGEOMIN			
NIVEL DE IMPACTO	TIPOS DE IMPACTO		
	PERSONAS	MEDIO AMBIENTE	ACTIV.ECONÓMICAS
DESPRECIABLE	No requiere tratamiento médico	Ausencia	Ausencia
BAJO	Discapacidad reversible o heridas que requieren hospitalización	< 10 ha	Familiar (<10 ha)
MODERADO	Discapacidad irreversible moderada (<50%) de 1 o más personas	10 - 100 ha	Local (10 - 100 ha)
ALTO	Muerte de una persona. Discapacidad irreversible severa (>50%) de 1 a 50 personas	> 100 ha	Regional (>100 ha)
CATASTRÓFICO	Múltiples fatalidades ó discapacidad irreversible severa (>50%) a más de 50 personas		

i. MATRIZ INFRAESTRUCTURA VS DAÑO, OCTAVA REGIÓN.

Las siguientes matrices muestran un desglose de la infraestructura portuaria de los puertos analizados de la octava región en el orden de Zona de Acopio, Puente de Acceso y Cabezo para la mayoría de los muelles. Además de los puertos de San Vicente Terminal Internacional y Puerto de Talcahuano, los cuales cuentan con una infraestructura diferente a los demás, categorizándose como: Espigón y Muelle Marginal.

Los tipos de daños se categorizaron en 8 tipos, que son:

- Daño 1: Pilotes cortados en unión viga-pilote.
- Daño 2: Pilotes desplazados e/o inclinados.
- Daño 3: Daños en vigas (pérdida de recubrimiento y/o desplazadas).
- Daño 4: Grietas y fisuras (en explanadas y/o pilotes).
- Daño 5: Otros daños estructurales (defensas, bitas, daños en líneas vitales, etc.).
- Daño 6: Otros daños no estructurales (maquinaria, equipamiento, boyas, contenedores, etc.).
- Daño 7: Licuación.
- Daño 8: Desplazamiento lateral.

Las tipologías estructurales por cada sector fueron categorizadas de la siguiente manera:

- ZA1: Espacios marítimos. Corresponde a las áreas de relleno de las obras marítimas.
- ZA2: Espacios terrestres. Corresponde a las zonas primarias del puerto comercial en tierra.
- PA1: Supraestructura losa de HA sobre pilotes de acero con encamisado.
- PA2: Supraestructura de acero sobre pilotes de acero con encamisado.
- PA3: Supraestructura losa de HA sobre pilotes de acero sin encamisado
- PA4: Supraestructura de acero sobre pilotes de acero sin encamisado.
- PA5: Supraestructura losa de HA sobre pilotes de hormigón armado.
- PA6: Supraestructura losa de HA con pilotes embebidos de hormigón armado.
- PA7: Supraestructura losa de HA sobre pilotes de acero sin encamisado y con aislamiento sísmico.
- MC1: Muro de contención con tablestacado y con losa de HA.
- MC2: Muro de contención en talud con losa de HA y sitios de atraque piloteados.
- MC3: Muro de contención mediante cajones gravitacionales.

Tabla F.4: Matriz infraestructura vs daños, parte 1.

CÓDIGO	NOMBRE	AÑO	ESTRUCTURA	ZONA DE ACOPIO								Ponderación daño en ZA	Nivel de daño cualitativo	COMENTARIO	
				DAÑO 1	DAÑO 2	DAÑO 3	DAÑO 4	DAÑO 5	DAÑO 6	DAÑO 7	DAÑO 8				
Lir1-70	LIRQUEN ESTE	1970	ZA1				2	2	2	2	2	1	1.8	Menor	
Lir2-95	LIRQUEN OESTE	1995	ZA1				2	2	2	2	2	1	1.8	Menor	
Pen70	PENCO	1970	ZA2				1	1	2	2	1	1	1.2	Menor	
TalB5	TALCAHUANO*	1935	ZA1				5	5	5	5	5	4	4.8	Severo	
Svt74	SVTI	1974	ZA1				2	2	2	1	2	1	1.6	Menor	
Enap09	ENAP	2009	ZA2				1	1	1	2	1	1	1.2	Menor	Al tratarse de un puerto petrolero, no cuenta con zonas de explanada adyacentes a la costa. El petróleo es trasladado tierra adentro mediante tuberías.
Hua50	HUACHIPATO	1950	ZA2				2	2	2	3	1	1	1.8	Menor	
Puch91	PUCHOCO	1991	ZA2				1	1	1	1	2	1	1.2	Menor	
Chol11	CHOLLÍN	2011	ZA2				1	1	1	1	1	1	1	Despreciable	
Jur42	JURELES	1942	ZA2				1	1	1	1	2	1	1.2	Menor	
CorN96	CORONEL NORTE	1996	ZA1				3	2	2	3	3	3	2.8	Moderado	
CorS07	CORONEL SUR	2007	ZA1				3	2	2	3	3	3	2.8	Moderado	
CorG10	CORONEL GRANELERO	2010													Al momento del evento del 27F, se encontraba en etapa de construcción. Además, su zona de explanada es compartida con los muelles norte y sur de la misma empresa portuaria.

Tabla F.5: Matriz infraestructura vs daños, parte 2.

CÓDIGO	ESTRUCTURA	PUENTE DE ACCESO								Ponderación daño en PA	Nivel de daño cualitativo	COMENTARIOS
		DAÑO 1	DAÑO 2	DAÑO 3	DAÑO 4	DAÑO 5	DAÑO 6	DAÑO 7	DAÑO 8			
Lir1-70	PA5	4	3	4	4	3	2	4	3	3.38	Serio	
Lir2-95	PA6	2	2	3	2	3	2	3	3	2.50	Moderado	
Pen70	PA1	3	3	3	4	2	3	4	3	3.13	Serio	
Tal35	-											No posee puente de acceso, ya que se trata de una estructura del tipo muelle marginal y espigón mediante tablestacado.
Svt174	-											Al igual que Talcahuano, no cuenta con puente de acceso, debido que es un puerto con muelle de atraque marginal realizado mediante tablestacado.
Enap09	PA4	0	1	2	0	1	1	1	2	1.00	Despreciable	
Hua50	PA6	3	3	3	4	3	3	3	3	3.13	Serio	
Puch91	PA2	2	2	1	1	0	0	2	2	1.25	Menor	
Chol11	PA4	0	0	0	0	0	0	2	2	0.50	Despreciable	
Jur42	PA2	1	2	1	1	0	1	2	2	1.25	Menor	
CorN96	PA1	4	4	4	2	3	2	4	4	3.38	Serio	
CorS07	PA6	0	3	3	1	1	2	4	4	2.25	Moderado	

Tabla F.6: Matriz infraestructura vs daños, parte 3.

CÓDIGO	ESTRUCTURA	CABEZO								Ponderación de daño en Cabezo	Nivel de daño cualitativo	COMENTARIOS
		DAÑO 1	DAÑO 2	DAÑO 3	DAÑO 4	DAÑO 5	DAÑO 6	DAÑO 7	DAÑO 8			
Lir1-70	PA5	3	5	5	5	4	3	4	5	4.25	Severo	
Lir2-95	PA5	3	4	4	4	4	3	4	4	3.75	Serío	
Pen70	PA2	3	4	4	3	3	4	4	4	3.63	Serío	
Tal35	-											Por las mismas razones expuestas en puente de acceso, es que no cuentan con Cabezo.
Svt74	-											Por las mismas razones expuestas en puente de acceso, es que no cuentan con Cabezo.
Enap09	PA4	0	1	1	0	1	1	2	2	1.00	Despreciable	
Hua50	PA6	4	4	3	3	3	4	4	4	3.63	Serío	
Puch91	PA3	2	1	1	0	1	2	2	1	1.25	Menor	
Chol11	PA3	0	1	0	0	1	0	1	1	0.50	Despreciable	
Jur42	PA3	2	1	0	0	1	2	2	1	1.13	Menor	
CorN96	PA1	3	3	2	1	1	3	3	3	2.38	Moderado	
CorS07	PA7	2	2	1	1	1	2	3	2	1.75	Menor	

Tabla F.7: Matriz infraestructura vs daños, parte 4.

CÓDIGO	ESPIGÓN								Ponderación de daño en espigón	Nivel de daño cualitativo	COMENTARIOS	
	ESTRUCTURA	DAÑO 1	DAÑO 2	DAÑO 3	DAÑO 4	DAÑO 5	DAÑO 6	DAÑO 7				DAÑO 8
Lir1-70	-											
Lir2-95	-											
Pen70	-											
Tab5	MC3	-	-	-	5	5	5	5	5	4.60	Severo	Los muros de contención del sector espigón, fueron hechos mediante cajones gravitacionales. Es el único puerto que cuenta con espigón (salvo ASMAR, que es puerto militar).
Svt174	-											
Enap09	-											
Hua50	-											
Puch91	-											
Chol11	-											
Jur42	-											
CorN96	-											
CorS07	-											

Tabla F.8: Matriz infraestructura vs daños, parte 5.

CÓDIGO	MUELLE MARGINAL								Ponderación de daño en Muelle Marginal	Nivel de daño cualitativo	COMENTARIOS		
	ESTRUCTURA	DAÑO 1	DAÑO 2	DAÑO 3	DAÑO 4	DAÑO 5	DAÑO 6	DAÑO 7				DAÑO 8	
Lir1-70	-												
Lir2-95	-												
Pen70	-												
Tal35	MC1	-	-	-	5	5	5	5	5	3	4.60	Severo	El muelle marginal, corresponde a la zona interior de la dársena destinada a naves pesqueras menores. Sus muros de contención fueron hechos mediante tablestacado.
Swi74	MC2	-	4	4	4	3	3	3	3	5	3.86	Serío	Es un malecón de tipo marginal, construido en terrenos ganados al mar, en donde se ubican los sitios de atraque 1, 2 y 3. Algunos sectores de estos se encuentran reforzados mediante pilotes. Actualmente se encuentra en construcción la ampliación, Sitio 4.
Enap09	-												
Hua50	-												
Puch91	-												
Chol11	-												
Jur42	-												
CorN96	-												
CorS07	-												

Tabla F.9: Costos asociados a las reparaciones de los puertos de la octava región producto del evento del 27F.

RESUMEN										
Muelle	Puente acceso		Cabezo 1		Cabezo 2		Total Infra (US\$)	TOTAL (US\$)		
	(US\$)	(US\$/ml)	(US\$)	(US\$/m ²)	(US\$)	(US\$/m ²)				
1 Lirquen 1	4.840.713	19.718	5.273.796	3.416	5.770.629	1.154	15.885.138	22.759.168		
2 Lirquen 2	6.626.164	12.942	14.539.511	1.649	0	0	21.225.675	29.391.976		
3 Penco	5.582.288	3.216	625.477	3.011	0	0	6.207.765	10.505.945		
4 Talcahuano	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	30.000.000		
5 Asmar	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	240.000.000		
6 San Vicente	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	59.963.085	59.963.085		
7 ENAP	9.282.973	10.028	5.060.774	2.109	0	0	14.343.747	28.657.381		
8 Huachipato	0	0	25.959.962	3.550	8.465.094	3.273	34.425.057	50.476.727		
9 Puchoco	7.659.604	8.907	2.414.547	12.073	0	0	10.074.351	16.073.656		
10 Jureles	8.543.842	12.382	5.179.323	12.073	0	0	13.723.165	19.614.875		
11 Chollin	4.615.806	4.310	1.049.977	2.654	0	0	5.665.783	8.297.182		
2 Lo Rojas	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	no aplica	Demolición	Demolición		
3 Coronel Norte	1.474.833	10.136	19.085.452	1.383	0	0	20.560.285	30.459.260		
14 Coronel Sur	3.201.349	14.197	20.715.741	1.391	0	0	23.917.090	35.741.643		

El total infra indica sólo la parte estructural del puente acceso más cabezo. No incluye IVA, ni contingencias, ni costos generales, ni utilidades. Tampoco postes de amarre, dolphins, bitas ni defensas

El TOTAL incluye iva, contingencias, ingeniería, postes de amarre, dolphins, bitas y defensas. Pero sólo indica la obra marítima

ii. MATRIZ TIPOLOGÍA INFRAESTRUCTURA VS DAÑO PUERTO DE IQUIQUE.

Para definir los niveles de daño infraestructurales, se utilizó el mismo procedimiento usado en los puertos de la 8va región, pero con algunas modificaciones en los tipos de daños y las características infraestructurales del puerto. De este modo, los tipos de daños categorizados fueron:

- D1 Fisuras y grietas (en explanadas o muros de contención)
- D2 Inclinación (de pilotes o muros de contención)
- D3 Desalineamientos (en vigas, muros de contención o explanadas)
- D4 Desprendimiento de material
- D5 Licuación (asentamientos)
- D6 Desplazamiento (laterales o verticales)
- D7 Otros daños estructurales (defensas, bitas, daños en líneas vitales, etc.)
- D8 Otros daños no estructurales (maquinaria, equipamiento, boyas, contenedores, etc.)

Los niveles cualitativos de daño:

- 1 Despreciable
- 2 Menor
- 3 Moderado
- 4 Serio
- 5 Severo

Mientras que las características estructurales, fueron incluidas como comentarios en la matriz. Además del detalle redactado en el documento.

a. ESCENARIO ABRIL DE 2014.

La estructura del Molo de Unión, corresponde al Puente de Acceso entre la ex Isla Serrano y el continente. Consta de una losa de hormigón armado dispuesta sobre dique en talud con prisma de enrocados y defensa costera de protección de enrocados, posee aproximadamente 500m de longitud. Zona que sufrió daños menores a despreciables.

La Zona de Acopio, corresponde a todas las explanadas sobre la ex Isla Serrano. Su estructura consta de un pavimento de asfalto y adocretos sobre relleno natural (material rocoso de ex Isla Serrano). En esta zona no se registraron daños estructurales. Sólo algunos daños menores en equipamiento.

Tabla F.10: Infraestructura vs Daño Puerto de Iquique, evento 1° abril de 2014.

NIVEL DE DAÑO/SECTOR DEL PUERTO		Daño 1	Daño 2	Daño 3	Daño 4	Daño 5	Daño 6	Daño 7	Daño 8	Ponderación de daño	Nivel cualitativo de daño
MOLO DE UNIÓN		1	1	1	2	2	1	1	1	1.3	Menor
ZONA DE ACOPIO		2	1	1	1	1	1	2	3	1.5	Menor
ESPIGÓN		3	1	2	2	2	1	1	2	1.8	Menor
MOLO DE ABRIGO	Muro rompeolas	2	2	2	3	3	3	2*	2*	2.4	Moderado
	Cabezal	5	**	**	2	2	3			1.5	Menor
	Muro norte	5	5	5	3	4	4			3.3	Serio
	Muro frente de atraque	4	4	4	2	3	4			2.6	Moderado
	Puente de acceso	3	1	3	1	2	1			1.4	Menor
	Explanadas	4	**	4	2	3	1			2.0	Menor

* Los daños 7 y 8 en el sector del Molo de Abrigo (EPI), fueron evaluados como un todo, debido a que se tratan de licuación y desplazamiento lateral, ponderándose los efectos observados por este tipo de fenómenos en toda la estructura del Molo.

** Los daños 2 y 3 en el Cabezal y daño 2 en Explanadas del Molo de Abrigo, fueron dejados en blanco debido que son tipos de daños que no aplican a estos sectores de la infraestructura.

El Espigón, corresponde a la zona administrada por ITI, contempla los sitios de atraque 3 y 4, uno con refuerzo antisísmico y el otro con aislación sísmica respectivamente. Su estructura consta de bloques de concreto sobre prisma de enrocados. El sitio 3 (costado poniente del espigón) fue reforzado sísmicamente en 2011 mediante cables de anclaje. El sitio 4 (costado oriente) se compone de una plataforma de hormigón armado apoyada sobre pilotes metálicos tubulares. Se amplió su extremo en 69m hacia el norte. El terremoto del 1° abril de 2015, no produjo daños significativos. El Sitio 3 registró daños menores, mientras que el Sitio 4 no tuvo daños.

El Molo de Abrigo, correspondiente a EPI, posee los sitios de atraque 1 y 2. Está compuesto por una base de enrocado dispuesto en talud, como soporte para los frentes de atraque constituidos por muelles de tipo gravitacional (bloques de concreto montados de 20ton app.). Complementado por una explanada, compuesta por un relleno compactado con una carpeta de adcretos sobre una base de arena. Fue el sector del puerto que sufrió más daños, por lo que fue necesaria su categorización para identificar y exponer de mejor manera los daños producto del terremoto.

b. ESCENARIO 1.

La siguiente matriz de daños, desglosa el daño infraestructural del Puerto de Iquique, suponiendo un escenario en que se produzca un evento sísmico (>8.5Mw) interplaca, y que su hipocentro se ubique entre el norte y norweste del Puerto de Iquique, y a no más de 70km de distancia (Similar a lo acontecido en Bahía de Talcahuano el 27F).

Tabla F.11: Infraestructura vs Daño Puerto de Iquique, Escenario 1.

NIVEL DE DAÑO/SECTOR DEL PUERTO		Daño 1	Daño 2	Daño 3	Daño 4	Daño 5	Daño 6	Daño 7	Daño 8	Ponderación de daño	Nivel cualitativo de daño
MOLO DE UNIÓN		3	2	1	3	3	1	3	3	2.4	Moderado
ZONA DE ACOPIO		3	1	1	2	2	1	3	3	2.0	Menor
ESPIGÓN		4	3	4	4	3	2	4	5	3.6	Serio
MOLO DE ABRIGO	Muro rompeolas	5	5	4	5	4	4	4*	5*	4.5	Severo
	Cabezal	5			5	3	4			3.3	Serio
	Muro norte	5	5	5	4	4	4			4.5	Severo
	Muro frente de atraque	4	4	4	3	3	4			3.9	Serio
	Puente de acceso	4	3	3	2	3	3			3.4	Serio
	Explanadas	4		4	3	3	3			3.7	Serio

* Los daños 7 y 8 en el sector del Molo de Abrigo (EPI), fueron evaluados como un todo, debido a que se tratan de licuación y desplazamiento lateral, ponderándose los efectos observados por este tipo de fenómenos en toda la estructura del Molo.

** Los daños 2 y 3 en el Cabezal y daño 2 en Explanadas del Molo de Abrigo, fueron dejados en blanco debido que son tipos de daños que no aplican a estos sectores de la infraestructura.

c. ESCENARIO 2.

La siguiente matriz de daños, desglosa el daño infraestructural del Puerto de Iquique, suponiendo un escenario en que se produzca un evento sísmico (>8.5Mw) interplaca, y que su hipocentro se ubique entre el sur y surweste del Puerto de Iquique, y alrededor de 150km de distancia (similar a lo acontecido en Bahía de Coronel el 27F).

Tabla F.12: Infraestructura vs Daño Puerto de Iquique, Escenario 2.

NIVEL DE DAÑO/SECTOR DEL PUERTO		Daño 1	Daño 2	Daño 3	Daño 4	Daño 5	Daño 6	Daño 7	Daño 8	Ponderación de daño	Nivel cualitativo de daño
MOLO DE UNIÓN		2	1	1	2	2	2	1	2	1.6	Menor
ZONA DE ACOPIO		2	1	1	2	2	2	3	4	2.1	Moderado
ESPIGÓN		2	2	2	2	2	2	2	2	2.0	Menor
MOLO DE ABRIGO	Muro rompeolas	2	2	1	3	3	3	3	2	2.4	Moderado
	Cabezal	1			3	3	3			1.9	Menor
	Muro norte	1	1	2	3	3	3			2.3	Moderado
	Muro frente de atraque	1	1	2	2	2	2			1.9	Menor
	Puente de acceso	1	1	2	2	2	2			1.9	Menor
	Explanadas	1		3	3	3	3			2.3	Moderado

* Los daños 7 y 8 en el sector del Molo de Abrigo (EPI), fueron evaluados como un todo, debido a que se tratan de licuación y desplazamiento lateral, ponderándose los efectos observados por este tipo de fenómenos en toda la estructura del Molo.

** Los daños 2 y 3 en el Cabezal y daño 2 en Explanadas del Molo de Abrigo, fueron dejados en blanco debido que son tipos de daños que no aplican a estos sectores de la infraestructura.

BIBLIOGRAFÍA

- Ahumada, R. (1992). *Patrones de distribución de metales traza (Cr, Ni, Zn, Cu, Cd y Pb) en sedimentos superficiales de Bahía San Vicente, Chile*. Valparaíso: Revista de Biología Marina.
- Ahumada, R., Rudolph, A., Madariaga, S., & Carrasco, F. (1989). *Descripción de las condiciones oceanográficas de la Bahía San Vicente y antecedentes sobre los efectos de la contaminación*. Biología Pesquera (Chile).
- Alexander, D. (1993). *Natural Disasters*. New York: Chapman and Hall.
- Álvarez Rubio, S. (2001). *El Efecto Local sobre el Movimiento Sísmico del Suelo: Fenomenología y Resultados Recientes*. E.U.I.T. Industrial, Univ. Politécnica de Madrid.
- An, C., Sepúlveda, I., & Liu, P. (2014). *Tsunami source and its validation of the 2014 Iquique, Chile, earthquake*. doi:10.1002/2014GL060567: Geophysical Research Letters.
- API. (2000). (American Petroleum Institute). *Recommended Practice for Planning , Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - Working Stress Design*. API Recommended Practice 2A-WSD (RP 2A-WSD). Twenty-First Edition, December 2000. Provided by IHS under license with API.
- AQUA. (16 de Enero de 2014). *Maersk y el paro portuario: "Las consecuencias comerciales pueden ser muy grandes para Chile"*. Recuperado el 18 de Marzo de 2014, de Aqua Acuicultura + Pesca: <http://goo.gl/o56CUv>
- Astroza, M., & Astroza, R. (2008). Comparación de los daños producidos por terremotos chilenos con diferente fuente sismogénica. Santiago, Chile: XXXIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural.
- Astroza, M., & Schmidt, A. (2004). *Capacidad de deformación de muros de albañilería confinada para distintos niveles de desempeño*. Revista de Ingeniería Sísmica.
- ATC-13. (1985). *Applied Technology Council. Earthquake Damage Evaluation Data for California*. Redwood City, CA: ATC-13, (FEMA).
- Atwater, B. S., Musumi-Rokkaku, S., Satake, K., Tsuji, Y., Ueda, K., & Yamaguchi, D. (2005). *The orphan tsunami of 1700; Japanese clues to a parent earthquake in North America*. Seattle: U.S. Geological Survey Professional Paper 1707, published in association with University of Washington Press.
- Barrientos, S. (2010). *Informe Técnico Actualizado 27 mayo 2010. Terremoto Cauquenes 27 febrero 2010*. Santiago: Servicio Sismológico. Universidad de Chile.
- Barrientos, S. (2014). *Informe Técnico Terremoto de Iquique, Mw=8.2, 1 de abril de 2014*. Santiago: Centro Sismológico Nacional.
- Béjar-Pizarro, M., Carrizo, D., Socquet, A., Armijo, R., Barrientos, S., Bondoux, F., y otros. (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.
- Béjar-Pizarro, M., Socquet, A., Armijo, R., Carrizo, D., Genrich, J., & Simons, M. (2013). *Andean structural control on interseismic coupling in the North Chile subduction zone*. Nature Geoscience.
- Bello Gutiérrez, B., Cruz Álvarez, N. M., Álvarez Saez, M., Chao Rojas, F., & García Gómez, V. (2004). Medicina de Desastres. En B. Bello Gutiérrez, N. Cruz Álvarez, M. Álvarez Saez, F. Chao Rojas, & V. García Gómez, *Capítulo 3. Ciclo de desastres y factores que*

- intervienen en ellos. Evaluación de riesgo en la comunidad* (págs. 29-37). La Habana: Ciencias Médicas.
- Benton International Latin America. (2012). *bilait.co*. Recuperado el junio de 2015, de <http://www.bilait.co/continuidad/>
- Berger Abam. (2010). *Informe de Daños Producto del Terremoto del 27 de Febrero de 2010*. Concepción.
- Bío-Bío. (2 de Abril de 2014). *Las hipótesis de los expertos tras el terremoto 8.2 grados: ¿Fue o no el gran sismo esperado?* Obtenido de Sitio web de radio Bío-Bío Chile: <http://goo.gl/nMoyMe>
- Blockley, D. (1996). *Process re-engineering for safety. Risk Management in civil, mechanical, and structural engineering*. Londres: Thomas Telford.
- British Standard. (1991). Civil Engineering and Building Structures Standards Policy Committee.
- Brito, F., & Figueroa, D. (1993). *Estudio de la circulación de las aguas de la bahía de San Vicente para la estimación del tiempo de residencia*. Concepción: Onceavo Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Editorial Anibal Pinto.
- Brunet, J. (Julio de 2012). Comportamiento Sísmico de Estructuras de Puerto. *Tesis de Magister PUC*. Santiago, Chile.
- Burgos, L., Catalán, P., & Cienfuegos, R. (2011). Análisis espectral aplicado a los resultados de un modelo numérico del tsunami del 27 de febrero de 2010. XX Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.
- Cabo Froward. (2012). *Informe técnico infraestructura Muelle Puchoco*.
- Calbuco Ingenieros Ltda. (2012). *Análisis de Estabilidad Sitio 1, Puerto de Talcahuano*. Concepción.
- Cardona, O. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Escola Tècnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals i Ports, Barcelona.
- Cardona, O. (In Work-Conference on Vulnerability in Disaster Theory and Practice. Wageningen, Disaster Studies of Wageningen University and Research Center de 2001). *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión*. Obtenido de http://www.desenredando.org/public/articulos/2003/rmhcvr/rmhcvr_may-08-2003.pdf
- Cardona, O., & Barbat, A. (2000). *"El Riesgo Sísmico de Estructuras" en Estructuras Sometidas a Acciones Dinámicas*. Barcelona: CIMNE.
- Cardona, O., & Hurtado, J. (1995). *Seismic Urban Vulnerability Assessment in Terms of Energy Absortion Capacity and Demand*. Nice, France: EERI, Fifth International Conference on Seismic Zonation.
- CEM. (2008). *(Coastal Engineering Manual)*. US Army Corps of Engineers. CEM. No. EM 1110-2-1100.
- CEPAL. (Marzo de 2010). *Terremoto en Chile. Una primera mirada al 10 de marzo de 2010*. Recuperado el 22 de Marzo de 2014, de Unidad de Evaluación de Desastres de la CEPAL: <http://goo.gl/CptWmV>
- CGM. (2015). *Pontificia Universidad Católica*. Recuperado el Agosto de 2015, de Curso Geografía del Mar: http://www7.uc.cl/sw_educ/geo_mar/html/h71.html
- Chlieh, M., Perfettini, H., Tavera, H., Avouac, J. P., Remy, D., Nocquet, J. M., y otros. (2011). *Interseismic coupling and seismic potential along the Central Andes subduction zone*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978-2012).
- Comte, D., & Pardo, M. (1991). *Reappraisal of Great Historical Earthquakes in the Northern Chile and Southern Peru Seismic Gaps*. Natural Hazards, pp. Vol 4: 23 - 44.

- COPRI. (2013). *Chile Earthquake and Tsunami of 2010. Performance of Coastal Infrastructure*. COPRI Chile Earthquake Investigation Team. ASCE (American Society of Civil Engineers). Editado por Billy L. Edge.
- Costasur. (2008). *Estudio Oceanográfico*. Concepción.
- CSN. (2010). *Centro Sismológico Nacional, Universidad de Chile*. Obtenido de Sismicidad y terremotos en Chile: www.sismologia.cl
- CSN. (27 de Febrero de 2010). *Servicio Sismológico Universidad de Chile. Departamento de Geofísica*. Obtenido de Informe de sismo sensible: <http://goo.gl/CDkdR9>
- CSN. (2013). *Centro Sismológico Nacional. Sismicidad y Terremotos en Chile*.
- CSN. (2014). (Centro Sismológico Nacional). *Informe Técnico Terremoto de Iquique, Mw=8.2*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Informe preparado por Sergio Barrientos.
- CSN. (4 de Abril de 2014). *Centro Sismológico Nacional*. Obtenido de Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile: <http://www.sismologia.cl/>
- Dalrymple, R. A., & Kriebel, D. L. (2005). *Lessons in Engineering from the Tsunami in Thailand*. BRIDGE-WASHINGTON-NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING.
- Dash, S. R., Govindaraju, L., & Bhattacharya, S. (2009). *A case study of damages of the Kandla Port and Customs Office tower supported on a mat-pile foundation in liquefied soils under the 2001 Bhuj earthquake*. Journal of Soil Dynamics & Earthquake Engineering.
- Dash, S., Monda, G., Rai, D., Jain, S., & Kaushik, H. (2008). *Performance of Structures in the Andaman and Nicobar Islands (India) during the December 2004 Great Sumatra Earthquake and Indian Ocean Tsunami*. Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Kanpur, Kanpur 208016, India.
- Delgado, J. (2011). *Efectos Geotécnicos de los terremotos*. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 19(3), 276-288.
- Disaster Recovery Institute International Business. (1988). *DRI International*. Recuperado el Julio de 2015, de <https://www.drii.org/certification/professionalprac.php>
- EPI. (2014). *Informe técnico*.
- Fedotov, S. A. (1965). *Regularities in the distribution of strong earthquakes in Kamchatka, the Kuril Islands and Northeast Japan*. Nauk: Tr. Inst. Fiz. Zemli Akad.
- Fritz, H. M., Petroff, C. M., Catalán, P. A., Cienfuegos, R., Winckler, P., Kalligeris, N., y otros. (2011). Field Survey of the 27 February 2010 Chile Tsunami. *Pure and Applied Geophysics*, 168(11), 1989-2010.
- GEER. (2010). (Geo-Engineering Extreme Events Reconnaissance). *Geo-engineering Reconnaissance of the 2010 Maule, Chile Earthquake*. Informe de la NSF patrocinado por una Asociación de Equipo de GEER, editado por Jonathan D. Bray y David Frost. GEER Association Report No. GEER-022, Versión 2: 25 de Mayo de 2010.
- Geofun. (2010). *Informe Geotécnico*. Concepción.
- Geovenor. (2007). *Informe Geotécnico, Proyecto Ampliación Muelle Lirquén Oeste*. Concepción.
- GHD. (2011). *Ingeniería de detalles nuevos duques de alba Muelle Jureles*.
- GHD. (2012). *Protección Terrenos de Muelles de Penco, Sector Silos*. Concepción.
- Goldfinger, C., Nelson, C. H., Morey, A. E., Johnson, J. E., Patton, J., Karabanov, E., y otros. (2012). *Turbidite event history: Methods and implications for Holocene paleoseismicity of the Cascadia subduction zone*. Obtenido de US Department of the Interior, US Geological Survey: http://www.wou.edu/las/phisci/taylor/g473/Goldfinger_etal_2011_excerpt_reading.pdf
- González, J., & Verdugo, R. (2012). Efectos del Terremoto del 27F en el Subsuelo del Puerto de Coronel. Department of Civil Engineering, University of Chile, Santiago, Chile.

- Grüntal, G., & De León, J. V. (1998). Escala Macrosísmica Europea. Comisión Sismológica Europea, Sucomisión de Ingeniería Sísmica, Grupo de Trabajo sobre Escalas Macrosísmicas.
- Iida, K. (1963). *Magnitude, energy and generation mechanisms of tsunamis and a catalogue of earthquakes associated with tsunamis*. International Union of Geodesy and Geophysics Monograph. Vol. 24, pp. 7-17.
- Inamura, A. (1949). *Tsunamis in the Pacific Ocean*. Tsunamis in the Pacific Ocean.
- Ingham, J., Wotherspoon, L., Hogan, L., & Bilel, R. (2010). *Damage to concrete structures from the 2010 Darfield (Canterbury, NZ) Earthquake*. Dept. of Civil and Environmental Engineering, The University of Auckland, New Zealand.
- ITIC. (2010). (International Tsunami Information Center). *27 February 2010, MW 8.8, Off Central Chile*. Recuperado el 15 de Marzo de 2014, de <http://goo.gl/ezTWPE>
- JICA. (1986). *Interim report for study on the development plan of the ports of Valparaiso and San Antonio in the republic of Chile*. Santiago: Japan International Cooperation Agency.
- Joint Technical Committee. (2004). *Risk Management*. Australia/New Zealand: OB-007, R. M. AS/NZS 4360:2004.
- JRC. (2010). (Joint Research Center). *Tsunami Chile 27 February 2010, Part 3: Estimation of Coastal Inundation*. (European Commission, Ed.) Recuperado el 13 de Marzo de 2014, de <http://goo.gl/WIYaXd>
- Kagan, Y. Y., & Jackson, D. D. (1991). *Seismic Gap Hypothesis: Ten Years After*. Journal of Geophysical Research.
- Kausel, E., & Campos, J. (1992). *The Ms=8 tensional earthquake of 9 December 1950 of northern Chile and its relation to the seismic potential of the region*. Physics of the Earth and Planetary Interiors, pp. Vol. 72, 220 - 235.
- Kawaguchi, T., Itoh, S., & Takeuchi, H. (1995). *Case studies of tsunami countermeasure considering coastal environment*. Springer Netherlands.
- Kelleher, J., Sykes, L. R., & Oliver, J. (1973). *Possible criteria for predicting earthquake location and their applications to major plate boundaries of the Pacific and Caribbean*. J. Geophysic.
- Kennedy, R. P., & Ravindra, M. K. (1984). *Seismic Fragilities for Nuclear Power Plant Risk Studies*. Nuclear Engineering and Design, 79: 47-68.
- Kennedy, R., Cornell, C., Campbell, R., Kaplan, S., & Perla, H. (1980). *Probabilistic Seismic Safety Study of an Existing Nuclear Power Plant*. Nuclear Engineering and Design, Vol. 59: 315-338.
- Kircher, C., Nassar, A., Kustu, O., & Holmes, W. (1997). *Earthquake Spectra*. Earthquake Engineering Research Institute.
- Lekkas, E., Andreadakis, E., Alexoudi, V., Kapourani, E., & Kostaki, I. (2012). *The Mw=9.0 Tohoku Japan Earthquake (March 11, 2011) Tsunami Impact on Structures and Infrastructure*. National and Kapodistrian University of Athens, Greece.
- Levin, B. W., & Nosov, M. A. (2009). *Physics of tsunamis*. Springer.
- Lira Orrego, J. (1933). *Anales Instituto de Ingenieros de Chile*. Obtenido de <http://www.anales-ii.ing.uchile.cl/index.php/AICH/index>
- Madariaga, R. (1998). *Sismicidad de Chile*. Física de la Tierra.
- Mahoney, M., Francis, M., & Kennard, D. (2008). *Performance of the Kawaihae Harbor Port Facility Resulting from the October 2006 Earthquake*. Proceedings of the Solutions to Coastal Disasters Congress 2008, 312(October 2006). American Society of Civil Engineers, Reston, Va.
- Maruyama, K., Tanaka, Y., & Hosoda, A. (2012). *DAMAGE OF BRIDGE STRUCTURES BY HUGE TSUNAMI AND EVALUATION OF TSUNAMI FORCE ON BRIDGES*.

- Maskrey, A. (1994). *Comunidad y desastres en América Latina: estrategias de intervención*. LA RED/Facultad Latinoamericana en Ciencias Sociales, Centro de Prevención de Desastres Naturales, Colombia.
- Matsumoto, T., & Suzuki, Y. (1983). *Design and Construction of Ohfunato Tsunami Protection Breakwater*. Tokio: Terra Scientific Publishing Company.
- McCann, W. R., Nishenko, S. P., Sykes, L. R., & Krause, J. (1979). *Seismic gaps and plate tectonics: seismic potential for major boundaries*. In *Earthquake Prediction and Seismicity Patterns*. Birkhäuser Basel.
- McGuire, K. (8 de Abril de 2004). *Tectonics of South America: Chile Triple Junction*. Obtenido de <http://www.nsm.buffalo.edu/>: <http://goo.gl/zixcPm>
- MetEd. (2015). *Meteorology Education and Training*. Recuperado el enero de 2016, de UCAR Community Programs: <https://www.meted.ucar.edu/>
- Ministry of Transport of Japan. (1999). *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*. The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan.
- MOP. (Mayo de 2005). *Sistema portuario de Chile*. Obtenido de Dirección Nacional de Obras Portuarias. Gobierno de Chile: <http://goo.gl/q4lwl4>
- MOP. (Noviembre de 2009). *Infraestructura Portuaria y Costera, Chile 2020*. Recuperado el 15 de Marzo de 2014, de Dirección de Obras Portuarias. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile: <http://goo.gl/lixOls>
- Moreno, R., & Bairán, J. (2010). *Curvas de fragilidad para evaluar el daño sísmico en edificios de concreto armado con losas reticulares*. Barcelona, España: Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V., Vol. 25, N° 4, pp. 61-71, 2010.
- Murty, T. (1977). *Seismic sea waves, tsunamis*. Canadian Department of Fisheries and the Environment.
- Patel, C. (2005). *Catastrophe modeling: a new approach to managing risk*. (Vol. 25). P. Grossi, & H. Kunreuther (Eds.). Springer.
- Patel, C. (2005). *Catastrophe modelling: a new approach to managing risk*. (Vol. 25) P. Grossi, & H. Kunreuther (Eds.) Springer.
- PIANC. (2001). *Seismic Guidelines for Ports*. Editado por Stuart D. Werner. American Society of Civil Engineers. Ports Committee.
- Pliefke, T., Sperbeck, S. T., Urban, M., Peil, U., & Budelmann, H. (2007). *A standardized methodology for managing disaster risk—An attempt to remove ambiguity*. Ghent, Belgium: Proceedings of the 5 th IPW.
- PNUD. (2012). Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. *Análisis de Riesgos de Desastres en Chile*.
- PRDW-AV. (2008). *Muelle de descarga de carbón Puerto de Coronel*.
- PRDW-AV. (2010). *Proyecto de reparación operativa Muelle Norte*.
- PRDW-AV. (2010). *Proyecto de Reparación Sitios 3 y 4, Muelle Lirquén Este*. Concepción.
- PRDW-AV. (2010). *Proyecto Dragado Muelle Lirquén Oeste*. Concepción.
- PRDW-AV. (2010). *Reparación de los Pilotes del Puente de Acceso, Muelle Penco*. Santiago.
- PRDW-AV. (2010). *Reparación Muelle Chollín por terremoto del 27 de febrero de 2010*.
- Proconsa Ingeniería. (2009). *Proyecto Terminal Marítimo ENAP, Bahía San Vicente*. Concepción.
- Propuerto. (2010). *Reconexión de Pilotes Inclinados Transversales Muelle CAP Huachipato*. Concepción.
- Puerto de Coronel. (2008). *Ingeniería conceptual, básica y de detalle del Muelle de descarga de carbón*. Concepción.
- Puerto de Coronel. (2008). *Muelle Porta Contenedores, Ampliación Cabezo Sitio 7*.

- Puertos del Estado. (2005). *ROM 0.5-05 (Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias)*.
- Ramirez, P., & Vivallos, J. (22-26 de Noviembre de 2009). *Microzonificación sísmica de la ciudad de Concepción - Chile*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile. Obtenido de sernageomin: <http://goo.gl/dbp8mJ>
- Reyes, M. (2013). "A Proposal of Tsunami Risk Assessment Method for Iquique City, Chile". *A Master Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master in Disaster Management*. Tokio, Japón.
- Rodriguez, J. A., & Prieto, V. (21 de Abril de 2012). *Historia y evolución de los puertos en la Edad Moderna*. Recuperado el 21 de Marzo de 2014, de Repositorio Universidad de Cantabria: <http://goo.gl/dV8pey>
- Ruegg, J. C., Rudloff, A., Vigny, C., Madariaga, R., De Chabaliér, J. B., Campos, J., y otros. (2009). *Interseismic strain accumulation measured by GPS in the seismic gap between Constitución and Concepción in Chile*. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 2009, vol. 175, no 1, p. 78-85.
- Ruiz, S., & Madariaga, R. (2012). *Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile*. Obtenido de Sismogénesis, proceso de ruptura y réplicas del mega terremoto del Maule 2010: <http://www.dgf.uchile.cl/~sruiz/Papers/books/13-30.pdf>
- Ruiz, S., Metois, M., Grandin, R., Rivera, E., Leon, S., Cararo, S., y otros. (2015). *Los Terremotos de Iquique 2014*. XI Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica ACHISINA.
- Saatcioglu, M., & Ghobarah, A. &. (2006). *Effects of the december 26, 2004 Sumatra earthquake and tsunami on physical infrastructure*. ISET Journal of Earthquake Technology. Paper No. 457, Vol. 42, No. 4, December 2005, pp. 79-94.
- Savage, M. (2002). *Business Continuity Planning. Work Study*.
- SERNAGEOMIN. (Febrero de 2008). *Servicio Nacional de Geología y Minería*. Obtenido de sernageomin: <http://www.sernageomin.cl/pdf/material/MANUALDEEVALUACIONRIESGOSFMAP.pdf>
- Sladen, J. A., D'hollander, R. D., & Krahn, J. (1985). *The liquefaction of sands, a collapse surface approach*. *Canadian Geotechnical Journal*.
- Smith, K. (1992). *Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disasters*. New York, London: Routledge.
- Soloviev, S. (1970). *Recurrence of tsunamis in the Pacific*. Honolulu: Adams W. M. (ed.), Tsunamis in the Pacific Ocean, East West Center Press.
- Soloviev, V. (1978). *Tsunamis, in The assessment and mitigation of earthquake risk*. Paris: UNESCO.
- Stein, R. (2003). *Earthquake conversations*. *Scientific American*.
- SVS. (2013). (*Superintendencia de Valores y Seguros*). *Terremoto 2010. Análisis e Impacto del 27-F en el Mercado Asegurador*. Recuperado el 16 de Marzo de 2014, de <http://goo.gl/YS2XGR>
- Takino, Y. (2012). *Method of port-BCP for natural disaster in Japan and Future Implementation for Chile*. JICA - MOP Chile.
- Thorensen, C. A. (2003). *Port Designer's Handbook: Recommendations and Guidelines*. Academic & Technical, Bristol.
- Thoresen, C. A. (2003). *Port designer's handbook: recommendations and guidelines*. *Thomas Telford*.
- Thywissen, K. (2006). *Components of Risk. A Comparative Glossary*.
- Togashi, H. (1981). *Study on Tsunami Run-up and Countermeasure*. Sendai, Japón: Universidad de Tohoku.

- Tomlinson, M., & Woodward, J. (2008). *Pile Design and Construction Practice*. London: 5th Edition. Taylor & Francis Group.
- UNISDR. (2012). Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción de Riesgos de Desastres. *Análisis de Riesgos de Desastres en Chile*.
- Vigny, C., Socquet, A., Campos, J., Carrizo, D., Ruegg, J. C., Métois, M., y otros. (Mayo de 2010). The Maule Mw8.8 earthquake monitored by continuous and survey mode GPS in Giant earthquakes and their tsunamis. *American Geophysical Union Chapman Conference, Abstract (pp. 51-52)*.
- Wiegel, R. (1970). *Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Yeh, H., Robertson, I., & Preuss, J. (2005). *Development of design guidelines for structures that serve as tsunami vertical evacuation sites*. Washington State Department of Natural Resources, Division of Geology and Earth Resources.

GLOSARIO.

Amenaza	Un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que pueden ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.
Amenaza Natural	Un proceso o fenómeno natural que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales.
Desastre	Una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad que ocasiona una gran cantidad de muertes al igual que pérdidas e impactos materiales, económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante el uso de sus propios recursos.
Evaluación de Riesgo	Una metodología para determinar la naturaleza y el grado de riesgo a través del análisis de posibles amenazas y la evaluación de las condiciones existentes de vulnerabilidad que conjuntamente podrían dañar potencialmente a la población, la propiedad, los servicios y los medios de sustento expuestos, al igual que el entorno del cual dependen.
Grado de Exposición	La población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales.
Gestión del Riesgo	El enfoque y la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales.
Gestión del Riesgo de Desastres	El proceso sistemático de utilizar directrices administrativas, organizaciones, destrezas y capacidades operativas para ejecutar políticas y fortalecer las capacidades de afrontamiento, con el fin de reducir el impacto adverso de las amenazas naturales y la posibilidad de que ocurra un desastre.
Instalaciones Vitales	Las estructuras físicas, instalaciones técnicas y sistemas principales que son social, económica u operativamente esenciales para el funcionamiento de una sociedad o comunidad, tanto en circunstancias habituales como extremas durante una emergencia.
Medidas Estructurales y no Estructurales	Medidas estructurales: Cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas. Medidas no estructurales: Cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, la capacitación y la educación.
Mitigación	La disminución o la limitación de los impactos adversos de las amenazas y los desastres afines.

Preparación	El conocimiento y las capacidades que desarrollan los gobiernos, los profesionales, las organizaciones de respuesta y recuperación, las comunidades y las personas para prever, responder, y recuperarse de forma efectiva de los impactos de los eventos o las condiciones probables, inminentes o actuales que se relacionan con una amenaza.
Prevención	La evasión absoluta de los impactos adversos de las amenazas y de los desastres conexos.
Recuperación	La restauración y el mejoramiento, cuando sea necesario, de los planteles, instalaciones, medios de sustento y condiciones de vida de las comunidades afectadas por los desastres, lo que incluye esfuerzos para reducir los factores del riesgo de desastres.
Reducción del Riesgo de Desastres	El concepto y la práctica de reducir el riesgo de desastres mediante esfuerzos sistemáticos dirigidos al análisis y a la gestión de los factores causales de los desastres, lo que incluye la reducción del grado de exposición a las amenazas, la disminución de la vulnerabilidad de la población y la propiedad, una gestión sensata de los suelos y del medio ambiente, y el mejoramiento de la preparación ante los eventos adversos.
Reforzamiento	El refuerzo o la modernización de las estructuras existentes para lograr una mayor resistencia y resiliencia a los efectos dañinos de las amenazas.
Respuesta	El suministro de servicios de emergencia y de asistencia pública durante o inmediatamente después de la ocurrencia de un desastre, con el propósito de salvar vidas, reducir los impactos a la salud, velar por la seguridad pública y satisfacer las necesidades básicas de subsistencia de la población afectada.
Resiliencia	La capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas.
Riesgo	La combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas.
Riesgo Aceptable	El nivel de las pérdidas potenciales que una sociedad o comunidad consideran aceptable, según sus condiciones sociales, económicas, políticas, culturales, técnicas y ambientales existentes.
Riesgo de Desastres	Las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, y que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro.
Vulnerabilidad	Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.