



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO DE METODOLOGÍAS DE DISEÑO RESILIENTE EN INFRAESTRUCTURA PÚBLICA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DAVID ISRAEL ALEGRÍA MEDINA

PROFESOR GUÍA:

ALEJANDRO POLANCO CARRASCO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

DAVID CAMPUSANO BROWN

ALEJANDRO TIRACHINI HERNANDEZ

SANTIAGO DE CHILE

2021

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO
DE INGENIERO CIVIL**

POR: DAVID ISRAEL ALEGRIA MEDINA

FECHA: ENERO 2021

PROFESOR GUIA: ALEJANDRO POLANCO CARRASCO

**ESTUDIO DE METODOLOGIAS DE DISEÑO RESILIENTE EN
INFRAESTRUCTURA PUBLICA**

El avance en el desarrollo de la infraestructura ha llegado a niveles en que las exigencias de operación continua, ante la ocurrencia de eventos naturales con alto impacto destructivo, se transformaron en una necesidad prácticamente indispensable para poder funcionar sin grandes interrupciones o inhabilitaciones que afecten el normal desarrollo de las actividades cotidianas. Es por esto, que el concepto de la resiliencia frente a desastres se implanta como un factor importante a considerar en los proyectos de infraestructura, pues se relaciona en términos simples a la capacidad de superar o sobreponerse a dichos eventos destructivos. Más aún, si consideramos que Chile es un país que en su historia ha enfrentado múltiples desastres, que lo posicionan en el lugar 27° de países con mayor riesgo de sufrir un desastre de origen natural según el informe de “Riesgo Mundial 2019”.

Por esto, es que se procede a realizar un estudio de la existencia de diferentes métodos y enfoques de diseño resiliente que se han desarrollado en Chile y cómo estos se aplican en proyectos de infraestructura pública. Partiendo por definir el marco teórico que guía este trabajo de investigación en temas del riesgo de desastre, infraestructura pública y la resiliencia, se definen los criterios para la selección de las metodologías. Para luego, recopilar y revisar, por medio de una revisión bibliográfica, aspectos de la resiliencia que se pueden desprender en documentos relacionados al diseño de infraestructura pública. Además, se complementa la investigación de las metodologías de diseño resiliente con la aplicación de una encuesta abierta y entrevistas dirigidas a profesionales de manera que se obtiene un escenario más completo del nivel de conocimiento, prácticas y tendencias.

Entre las principales conclusiones generales que se obtienen del estudio, se incluyen que los criterios de diseño resiliente se aplican a los proyectos de manera implícita, generalmente motivados por requisitos como la continuidad operativa; que la aplicación de estos criterios de diseño resiliente si bien encarecen los costos iniciales de inversión, en general estos se compensan con el ahorro en costos de recuperación, rehabilitación y reconstrucción; que la mayor amenaza considerada de manera transversal en los criterios de diseño resiliente corresponde a la amenaza sísmica; y finalmente, que los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT) y los estudios de zonificación de amenazas naturales son los principales responsables de lograr en gran medida la disminución del Riesgo de Desastres por medio de la disminución de la variable ‘exposición’, la cual es difícil de controlar por medio de criterios de diseño resiliente y que se traducen, por ejemplo, en la obligación de considerar la construcción de estructuras de protección que mitiguen su impacto. Finalmente, con base en las conclusiones, se elaboran y presentan recomendaciones para un desarrollo de las metodologías de diseño resiliente necesarias en Infraestructura Pública.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado con amor a mis padres y de manera muy especial a mis sobrinos Sofía, Vicente, Agustín y Benjamín; porque no hay amor más sincero que el de ellos.

“Muéstrense al mundo tal cual son, no escondan nada de ustedes y no renuncien a sus sueños, la vida no siempre será fácil, pero sepan que siempre podrán contar conmigo si lo necesitan”

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Contexto.....	2
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Metodología.....	5
1.4.1. Revisión Bibliográfica.....	5
1.4.2. Encuesta a profesionales.....	5
1.4.3. Entrevistas a profesionales expertos.....	5
1.4.4. Estudio de la información recopilada.....	5
1.4.5. Análisis de recomendaciones para el desarrollo de diseño resiliente en infraestructura pública.....	6
1.5. Resultados Esperados.....	7
CAPÍTULO 2: MARCO Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	8
2.1. El Riesgo de Desastres.....	8
2.1.1. Desastres: definición y consideraciones.....	8
2.1.2. El Riesgo de Desastres.....	9
2.1.3. Tipos de Riesgos.....	10
2.1.4. Gestión -Integral- del Riesgo de Desastres.....	12
2.2. Infraestructura Pública.....	14
2.2.1. Infraestructura Basal.....	16
2.2.2. Infraestructura de Apoyo Logístico.....	16
2.2.3. Infraestructura de Uso Social.....	17
2.3. Infraestructura Resiliente.....	18
2.3.1. Resiliencia: definición y métrica.....	18
2.3.2. Desarrollo de Infraestructura Climático Resiliente.....	21
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	22
3.1. Revisión Bibliográfica.....	22
3.2. Encuesta a profesionales.....	24
3.3. Entrevistas a profesionales expertos.....	25
3.4. Estudio de la información recopilada.....	26

3.5.	Análisis de Recomendaciones	27
CAPÍTULO 4: DESARROLLO Y RESULTADOS REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA		28
4.1.	Infraestructura Basal.....	28
4.1.1.	Recursos Hídricos	28
4.1.2.	Energía	53
4.1.3.	Telecomunicaciones.....	56
4.2.	Infraestructura de Apoyo Logístico	58
4.2.1.	Vialidad Interurbana	58
4.2.2.	Vialidad Urbana	85
4.2.3.	Puertos	89
4.2.4.	Ferrocarriles.....	98
4.3.	Infraestructura de Uso Social.....	105
4.3.1.	Sobre las Edificaciones estratégicas y requisitos	109
4.3.2.	Sobre Diseño frente al riesgo de Tsunami.....	110
4.3.3.	Sobre Diseño Sísmico de Componentes y Sistemas no Estructurales	112
4.3.4.	Sobre Hospitales	113
CAPÍTULO 5: DESARROLLO Y RESULTADOS ENCUESTA Y ENTREVISTAS A PROFESIONALES.....		116
5.1.	Resultados de las Encuesta a profesionales.....	116
5.2.	Resultados de las Entrevistas a profesionales expertos	128
5.2.1.	Sector Académico.....	129
5.2.2.	Sector Privado	134
5.2.3.	Sector Público	138
CAPÍTULO 6: ESTUDIO DE RESULTADOS.....		139
6.1.	Análisis de la Revisión Bibliográfica	139
6.1.1.	Infraestructura Basal	139
6.1.2.	Infraestructura de Apoyo Logístico	140
6.1.3.	Infraestructura de Uso social.....	142
6.2.	Análisis de las Encuestas a Profesionales	143
6.2.1.	Del Grado de Conocimiento.....	143
6.2.2.	De la identificación de la aplicación de métodos	143
6.2.3.	Influencia de los factores de riesgo	144
6.2.4.	Incidencia de los costos-beneficios de la aplicación de métodos.....	145
6.3.	Análisis de las Entrevistas a Profesionales	146

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES.....	148
7.1. Conclusiones Generales	148
7.2. Conclusiones Infraestructura Basal	149
7.3. Conclusiones Infraestructura de Apoyo Logístico	150
7.4. Conclusiones Infraestructura de Uso Social	151
7.5. Recomendaciones desarrollo de prácticas normativas y regulaciones	152
7.5.1. Mejoras prácticas del proceso de diseño	152
7.5.2. Normativas y de Regulación	152
CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA.....	154
CAPÍTULO 9: ANEXOS	158
Anexo A: Estadísticas de Desastres “Naturales”	158
Anexo B: Formato y Estructuración de la entrevista	161
Anexo C: Caracterización de los entrevistados.....	162
Anexo D: Formato de Encuesta a Profesionales	163

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Diagrama del Riesgo de Desastres.</i>	10
<i>Figura 2. Esquema de procesos de la Gestión Integral del Riesgo de Desastres.</i>	13
<i>Figura 3. Clasificación de la Infraestructura pública.</i>	15
<i>Figura 4. Métrica de Resiliencia propuesta para el rendimiento de un sistema.</i>	20
<i>Figura 5. Desempeño real de un sistema de transmisión eléctrica, terremoto 27-F.</i>	20
<i>Figura 6. Esquema de criterios para la elección de metodologías en estudio (muestra)</i>	23
<i>Figura 7. Esquema de enfoques de la Encuesta a Profesionales.</i>	24
<i>Figura 8. Esquema de enfoques de la Entrevista a expertos.</i>	25
<i>Figura 9. Esquema del proceso de estudio de la información recopilada.</i>	26
<i>Figura 10. Fuentes de Riesgo para elaboración de Planes de Emergencia.</i>	30
<i>Figura 11. Esquema Socavación al pie de pila - Manual de Carreteras.</i>	38
<i>Figura 12. Esquema Socavación local en Estribo o Espigón - Manual de Carreteras.</i>	39
<i>Figura 13. Esquema socavación al pie de Vertederos - Manual de Carreteras.</i>	39
<i>Figura 14. Esquema de socavación al pie de radier - Manual de Carreteras.</i>	40
<i>Figura 15. Esquema de socavación al pie de descargas - Manual de Carreteras.</i>	40
<i>Figura 16. Esquema Socavación General - Manual de Carreteras.</i>	41
<i>Figura 17. Defensa Longitudinal de Enrocado - Manual de Carreteras.</i>	42
<i>Figura 18. Defensa Longitudinal de Gaviones - Manual de Carreteras.</i>	42
<i>Figura 19. Defensa Longitudinal Impermeable - Manual de Carreteras.</i>	42
<i>Figura 20. Bancos para estabilizar el manto de nieve - Manual de Carreteras.</i>	47
<i>Figura 21. Paredes para estabilizar el manto de nieve - Manual de Carreteras.</i>	47
<i>Figura 22. Pilotes para estabilizar el manto de nieve - Manual de Carreteras.</i>	48
<i>Figura 23. Esquema Cerca para soporte del manto de nieve - Manual de Carreteras.</i>	49
<i>Figura 24. Muro para desvío de avalancha - Manual de Carreteras.</i>	50
<i>Figura 25. Cuña para desvío de avalancha - Manual de Carreteras.</i>	50
<i>Figura 26. Muros pequeños de tierra para reducir la velocidad de las avalanchas - Manual de Carreteras.</i>	51
<i>Figura 27. Cobertizo de protección de avalancha - Manual de Carreteras.</i>	52
<i>Figura 28. Fallas de Talud en Corte en suelo - Manual de Carreteras.</i>	60
<i>Figura 29. Protección de talud con malla de alambre - Manual de Carreteras.</i>	62
<i>Figura 30. Taludes en corte altos con escalonamiento - Manual de Carreteras.</i>	63
<i>Figura 31. Falla de terraplén por erosión y deslizamientos locales - Manual de Carreteras.</i>	64
<i>Figura 32. Escalonamiento del terraplén en Ladera - Manual de Carreteras.</i>	65
<i>Figura 33. Muro con geotextil - Manual de Carreteras.</i>	65
<i>Figura 34. Tipologías de muros de contención considerados – Manual de Carreteras.</i>	75
<i>Figura 35. Esquema de longitud mínimas de apoyo - Manual de Carreteras.</i>	79
<i>Figura 36. Sistema de prevención de pérdida de apoyo contra muro espaldar - Manual de Carreteras.</i>	79
<i>Figura 37. Sistema de prevención de pérdida de apoyo contra el muro frontal - Manual de Carreteras.</i>	80
<i>Figura 38. Sistema de prevención de pérdida de apoyo mediante tope de hormigón - Manual de Carreteras.</i>	80
<i>Figura 39. Sistema de prevención de pérdida de apoyo mediante cables en superestructuras contiguas - Manual de Carreteras.</i>	81
<i>Figura 40. Sistema de prevención de pérdida de apoyo mediante cables conectadas al cabezal de la cepa - Manual de Carreteras.</i>	81
<i>Figura 41. Configuración general de topes sísmicos transversales y travesaños - Manual de Carreteras.</i>	82
<i>Figura 42. Tipología básica de estructuras de contención en Obras Marítimas.</i>	92
<i>Figura 43. Algunos modos de fallas por pérdida de estabilidad en taludes.</i>	93
<i>Figura 44. Perfil de la subestructura y superestructura ferroviaria.</i>	99
<i>Figura 45. Categoría de ocupación de Edificios y otras estructuras. (Primera parte)</i>	107
<i>Figura 46. Categoría de ocupación de Edificios y otras estructuras. (Segunda parte)</i>	108

Figura 47. Requisitos aplicables para componentes arquitectónicos, mecánicos y eléctricos, soportes y agregados.	113
Figura 48. Gráfico de sectores de representativos. [Encuesta]	116
Figura 49. Relación de encuestados con los tipos de Infraestructura. [Encuesta]	117
Figura 50. Nivel de conocimiento de encuestados sobre diseño resiliente. [Encuesta]	118
Figura 51. Consideración de la resiliencia como objetivo de proyecto. [Encuesta]	118
Figura 52. Participación de profesionales en evaluación y gestión del riesgo de desastres. [Encuesta]	119
Figura 53. Origen del logro de la resiliencia en Infraestructura. [Encuesta]	119
Figura 54. Orientación de los criterios de diseño resiliente. [Encuesta]	120
Figura 55. Evaluación del nivel de desarrollo de los criterios de diseño resiliente por especialidad. (Parte 1) [Encuesta]	120
Figura 56. Evaluación del nivel de desarrollo de los criterios de diseño resiliente por especialidad. (Parte 2) [Encuesta]	121
Figura 57. Evaluación del nivel de desarrollo de los criterios de diseño resiliente por especialidad. (Parte 3) [Encuesta]	122
Figura 58. Evaluación del nivel de desarrollo de los criterios de diseño resiliente por especialidad. (Parte 4) [Encuesta]	123
Figura 59. Amenazas consideradas en el Diseño. [Encuesta]	123
Figura 60. Alcances de los instrumentos de regulación sobre las amenazas de origen natural. (Parte 1) [Encuesta]	124
Figura 61. Alcances de los instrumentos de regulación sobre las amenazas de origen natural. (Parte 2) [Encuesta]	125
Figura 62. Consideración de los factores de vulnerabilidad y exposición en el diseño. [Encuesta]	126
Figura 63. Nivel de acuerdo con que el diseño resiliente0 encarece los costos de construcción. [Encuesta]	126
Figura 64. Beneficios de mayor impacto por diseño resiliente. [Encuesta]	127
Figura 65. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Académico (1).	129
Figura 66. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Académico (2).	130
Figura 67. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Académico (3).	131
Figura 68. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Académico (4).	132
Figura 69. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Académico (5).	133
Figura 70. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Privado (1).	134
Figura 71. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Privado (2).	135
Figura 72. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Privado (3).	136
Figura 73. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Privado (4).	137
Figura 74. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Público (1).	138
Figura 75. Panorama de Riesgos Globales.	158
Figura 76. Top 10 de los riesgos en términos de probabilidad e impacto.	159
Figura 77. Número de catástrofes de origen natural en el mundo, 1980-2018.	159
Figura 78. Catástrofes de origen natural en aumento - Número de eventos de pérdida relevante por amenaza desagregados, 1980-2019.	160
Figura 79. Formato y estructuración de la Entrevista a expertos.	161
Figura 80. Formato encuesta profesionales (1).	163
Figura 81. Formato encuesta profesionales (2).	164
Figura 82. Formato encuesta profesionales (3).	165
Figura 83. Formato encuesta profesionales (4).	166
Figura 84. Formato encuesta profesionales (5).	167
Figura 85. Formato encuesta profesionales (6).	168
Figura 86. Formato encuesta profesionales (7).	169

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales desastres "naturales" desde 1906.....	2
Tabla 2. Tabla comparativa del riesgo intensivo y extensivo.....	11
Tabla 3. Infraestructuras que se incluyen en la Infraestructura Basal.....	16
Tabla 4. Infraestructuras que se incluyen en Infraestructura de Apoyo Logístico.....	16
Tabla 5. Infraestructuras que se incluyen en Infraestructura de Uso Social.....	17
Tabla 6. Metodología aplicada para el cumplimiento de los objetivos.....	22
Tabla 7. Período de retorno y Riesgo de falla según vida útil.....	34
Tabla 8. Períodos de retorno para diseño.....	34
Tabla 9. Normas para drenaje de la plataforma.....	37
Tabla 10. Espesores mínimos elementos de acero estructural - Manual de Carreteras.....	76
Tabla 11. Definición de Vida útil de Obras portuarias.....	89
Tabla 12. Clasificación de las ondas por su período. (Jhonson et al, 1978).....	90
Tabla 13. Categorización de los entrevistados.....	162

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

El avance en el desarrollo de la infraestructura ha llegado a niveles en que las exigencias de operación continua, ante la ocurrencia de eventos naturales de alto impacto destructivo, se transformaron en una necesidad prácticamente indispensable para poder funcionar sin grandes interrupciones o inhabilitaciones que afecten el normal desarrollo de las actividades cotidianas.

Es por esto, que el concepto de la resiliencia se implanta como un factor importante a considerar en los proyectos de infraestructura, pues se refiere en términos simples a la capacidad de superar o sobreponerse a dichos impactos. Más aún, si se considera que en el último siglo la sustentabilidad (o sostenibilidad) y la preocupación por combatir el cambio climático desde distintas aristas se ha vuelto un tema relevante, se debe notar que lo que se busca con el desarrollo sostenible es evitar el avance o mitigar dicho cambio climático y sus efectos en el medio ambiente; pero cuando esto no ocurre, entra en juego la resiliencia respecto de la capacidad para sobreponerse y/o adaptarse a los impactos que éste mismo genera, asegurando la continuidad en el normal desempeño (Gómez, D. y Gómez, M., 2018).

Ante este escenario, se vuelve relevante conocer el nivel de desarrollo que existe en relación a las metodologías que se han llevado a cabo en diseño de infraestructura resiliente en diferentes contextos y realidades en Chile, país que según el informe de “Riesgo Mundial 2019” desarrollado por la organización humanitaria alemana Bundnis Entwicklung Hilft, se ubica en el lugar 27° de países con mayor riesgo de sufrir un desastre natural de un ranking de 180 países considerados, en base a variables como la ocurrencia de terremotos, tsunamis, ciclones, inundaciones, erupciones, entre otros eventos naturales similares.

En diciembre de 2019, la Cámara Chilena de la Construcción, CChC, por medio de la Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, realizó el seminario “Infraestructura y eventos naturales extremos, ¿Estamos preparados?”, convirtiéndose en la primera instancia formal en que se expusieron las diversas miradas y experiencias de la resiliencia en infraestructura desde el sector privado, público y académico en su conjunto. En este evento, se destaca la participación del Instituto para la Resiliencia ante Desastres, Itrend; el Ministerio de Obras Públicas de Chile, MOP; y el Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres, CIGIDEN, quienes se convierten en el punto inicial para la investigación de esta memoria orientada principalmente hacia el estudio del diseño de las infraestructuras.

1.2. Contexto

En los últimos decenios, el crecimiento demográfico y la ocupación intensiva del territorio en el cual asentarse, ha incrementado considerablemente la exposición de las poblaciones del mundo a las amenazas que representan los fenómenos naturales y la ocurrencia de desastres. Ha sido tal la preocupación y el impacto evidenciado sobre este tipo de eventos y sobre los efectos del cambio climático, que según el más reciente Reporte de Riesgos Globales divulgado por el World Economic Forum (2020), el riesgo de desastres de origen natural se encuentra en el Top Ten de los riesgos considerados para la economía, tanto en términos de probabilidad de ocurrencia como de impacto que generan, incluso se ha evidenciado empíricamente un aumento particular en la cantidad de eventos anuales del tipo meteorológico e hidrológico (ver Anexo A).

De acuerdo con Munich Re (2020), la reaseguradora más grande del mundo, solo entre los años 2009 y 2018 se han generado en promedio pérdidas totales por \$187 billones de dólares anuales, y una fatalidad que asciende a 37.400 víctimas por año en todo el mundo como resultado de los desastres. Sin embargo, si se analiza solo el último año existe una baja considerable en dichas cifras, alcanzando en 2019 pérdidas por \$150 billones de dólares y una cantidad de 9.000 víctimas.

En el caso de Chile, son múltiples los investigadores que concuerdan que ha sido una constante en la historia del país la ocurrencia de eventos naturales que terminan en desastres, donde resalta por su particular geografía compuesta por ríos torrentosos, productos de las pronunciadas quebradas en un limitado terreno entre la prominente cordillera y la costa hacia el océano; una variabilidad climática marcada tanto a lo largo como a lo ancho del país; una localización frente a una zona de subducción y sobre el denominado cordón de fuego del Pacífico, todos escenarios propensos a convertirse en una amenaza potenciadas por las formas de ocupación y uso del territorio. En datos concretos, en los últimos cien años han ocurrido más de 60 eventos naturales cuyos efectos han terminado en desastre, como se muestran en la Tabla 1 (Camus *et al.*, 2017).

Tabla 1. Principales desastres "naturales" desde 1906.

	Cantidad de Eventos	Pérdidas materiales en millones de USD	Fallecidos	Población Afectada
Terremotos y tsunamis	24	69.540	42.026	11.132.251
Inundaciones	19	1.207	1.066	1.342.624
Remociones en Masa	4	10	232	112.811
Erupciones Volcánicas	7	103	110	89.850

Fuente: Adaptado de P. Camus *et al.*, (2016).

Todos estos eventos históricos han dejado como herencia que Chile sea un país destacable por su capacidad para hacer frente a muchos de estos sucesos, recuperarse y superarlos, algo que en términos técnicos, se reconocería como resiliencia.

Con un origen difuso entre el campo de la ecología y la resistencia de materiales, este concepto en la actualidad es aplicable en múltiples disciplinas, y con variados usos y definiciones, aunque todos ellos con elementos comunes que los relacionan sobre la capacidad de un sistema de absorber perturbaciones y reorganizarse mientras cambia, para así mantener su función, estructura, identidad y la capacidad de retroalimentación (CREDEN, 2016).

La resiliencia puede ser construida desde distintos frentes de trabajo y en distintos ámbitos del desarrollo humano, siempre ligado al fomento de políticas públicas asociadas al tema, pues tal como se ve en el segundo capítulo con mayor profundización, tiene una componente relevante relacionada con reducir los efectos negativos de estos eventos de desastre sobre la sociedad. Así también, se revisa más detalladamente el concepto de resiliencia, aunque su estudio solo se centra en aquellos aspectos relacionados al desarrollo de la resiliencia aplicada en el diseño de infraestructura pública como parte de la disciplina de la Ingeniería Civil, considerando aspectos técnicos del nivel de desarrollo resiliente, y relacionándolo a las posibles causas que permitieron o no su avance.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Realizar un estudio de los diferentes métodos y enfoques de diseño resiliente que se han desarrollado en Chile en el sector privado, público y/o académico, y cómo estos se aplican en proyectos de infraestructura pública.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Recopilar métodos y enfoques de diseño resiliente que se apliquen al desarrollo de infraestructura chilena.
- Realizar un diagnóstico del estado en que dichos métodos y enfoques de diseño se aplican en proyectos de infraestructura pública.
- Establecer recomendaciones y/o mejoras para potenciar el desarrollo y aplicación de diseño resiliente en proyectos de infraestructura en Chile.

1.4. Metodología

La metodología del trabajo investigativo y comparativo se divide en las etapas que a continuación se presentan.

1.4.1. Revisión Bibliográfica

Se recopila, revisa y selecciona información bibliográfica relacionada al desarrollo de metodologías de diseño resiliente en infraestructura a nivel nacional, de manera de establecer un primer escenario del nivel de desarrollo existente. Esto se realiza en base a publicaciones de normativas, reglamentos, manuales de diseño, publicaciones académicas, seminarios, o publicaciones de difusión institucionales o empresariales vinculadas a la industria de la construcción.

1.4.2. Encuesta a profesionales

Se realiza un formulario de encuesta abierta dirigido a profesionales cuya experiencia esté ligada a proyectos de infraestructura pública. La finalidad es complementar la información generada en la revisión bibliográfica y permitir la obtención de datos relacionados al nivel de conocimiento de diseño resiliente en el campo de la construcción, la aplicabilidad de métodos y enfoques que se pueden reconocer en la realidad, y la influencia sobre ciertos parámetros de los proyectos que pueden verse afectados.

1.4.3. Entrevistas a profesionales expertos

De igual manera que el punto anterior, las entrevistas tienen la finalidad de complementar la búsqueda bibliográfica y conocer en mayor detalle el estado del arte en Chile sobre la realidad de métodos y enfoques de diseño resiliente en casos específicos de acuerdo con el perfil del entrevistado. Sin embargo, en este caso las entrevistas se realizan de manera estratégica a tres grupos principales; por un lado, profesionales de instituciones académicas, cuyo campo de investigación tenga alguna relación con la Gestión del Riesgo de Desastres y la Resiliencia, y su aplicación en temas de infraestructura pública; por otro, profesionales del sector privado pertenecientes a empresas que hayan realizado o realicen proyectos de infraestructura pública; y finalmente, profesionales ligados al sector público gubernamental que se desempeñe en el desarrollo de proyectos de infraestructura pública.

1.4.4. Estudio de la información recopilada

En base a la información recopilada se procede a realizar un estudio del nivel de desarrollo de las metodologías de diseño resiliente en infraestructura, de modo que se establezcan las principales tendencias que se han llevado a cabo, las interrelaciones entre ellas y cuál ha sido el aporte de éstas para el desarrollo del conocimiento y la aplicación en la resiliencia.

1.4.5. Análisis de recomendaciones para el desarrollo de diseño resiliente en infraestructura pública

Finalmente, establecer recomendaciones y/o mejoras para potenciar el desarrollo de la resiliencia en la infraestructura del país, en aquellos ámbitos que se identifiquen como débiles o poco avanzados.

1.5. Resultados Esperados

- Contar con una descripción de métodos y enfoques de diseño relacionados a la resiliencia en infraestructura pública del país.
- Reconocer el estado en que el diseño resiliente es aplicado en Chile y el impacto que ello ha tenido en el desarrollo de la infraestructura pública.
- Proponer una serie de recomendaciones para potenciar y mejorar el desarrollo del diseño resiliente en el país en base al estudio realizado.

CAPÍTULO 2: MARCO Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. El Riesgo de Desastres

2.1.1. Desastres: definición y consideraciones

Dada la avanzada globalización, y en particular a la instantaneidad en la comunicación mundial que se ha alcanzado en los tiempos actuales, a menudo es común enterarse sobre numerosos eventos de impacto negativo que afectan en mayor o menor grado a una población local, una ciudad, una región o incluso a un país o varios; eventos que son ocasionados por diversos motivos o tener variados orígenes, así como también generar diferentes impactos dependiendo el contexto, y que dadas ciertas características puede ser catalogado como un desastre. Sin embargo, la definición e interpretación de un desastre puede ser subjetiva dependiendo del punto de vista desde donde se evalúa, ya sea para un uso académico e institucional o para un uso cotidiano de las personas, esto sumado al constante cambio que ha sufrido a lo largo del tiempo.

Producto de esta multiplicidad de usos para este término, en este trabajo de investigación se utiliza la definición desarrollada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y su Oficina de Asistencia para Desastres (OFDA), que intenta incorporar los significados que ha tenido y darle un sentido que integra aspectos importantes que serán abordados más adelante. De esta manera, se define a los Desastres como:

“Alteraciones intensas en las dinámicas sociales que afectan a las personas, bienes, servicios o medio ambiente, desencadenadas por un fenómeno natural o por la actividad humana y que podría exceder la capacidad de respuesta de una comunidad o sociedad”

(USAID/OFDA/LAC, 2019)

De esto es relevante resaltar que de acuerdo con esta definición, un desastre corresponde a una “alteración intensa”, lo que hace inferir que existe un umbral específico que debe ser superado para que dicha alteración sea considerada como tal, pero que sin embargo no se especifica concretamente cuál es, pues depende de otros factores que están directamente relacionados con el contexto en que ocurre el evento sobre las dinámicas sociales y con el evento mismo; del mismo modo que ocurre en el planteamiento de la posibilidad de que la alteración “podría exceder la capacidad de respuesta”, dejando abierta la opción para establecer los parámetros que definen dicha capacidad. Estos factores a considerar hacen referencia a la ocurrencia, intensidad y duración de los fenómenos naturales o antrópicos que desencadenan las alteraciones, y por otro lado de las dinámicas sociales descritas por factores sociales, condiciones políticas y estructuras económicas.

Entendido esto, es que se hace inevitablemente necesario hablar sobre un concepto que permite relacionar estos factores y poder determinar cuándo se hablará de desastre o cuál es la probabilidad de que estos ocurran, el Riesgo.

2.1.2. El Riesgo de Desastres

El concepto “Riesgo” tiene dos alcances distintos que pueden ser descritos. Por un lado, en el uso del lenguaje cotidiano o popular, se hace énfasis del concepto como la posibilidad o probabilidad de ocurrencia de un evento, que en general, es no deseado; y por otro lado, en el uso técnico del término, se hace énfasis en las posibles pérdidas que se pueden producir dado un evento. Es por esto que entidades como la ISO en conjunto con la EIC definen al Riesgo como “la combinación de la probabilidad de un evento y sus consecuencias negativas” (ISO/EIC, 2009), concepción que incluso fue adoptada por la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR).

Sin embargo, aunque la definición adopta ambas connotaciones del concepto y que son relevante considerar, es una definición amplia que no identifica claramente los factores que permiten estudiar el riesgo de manera minuciosa en el contexto del riesgo de desastres. Por esto, existe otra definición que aparentemente se acerca a un aspecto técnico pero que igualmente incluye una perspectiva social, planteada por Cardona (2001) citado por Camus *et al.* (2016) que define Riesgo como:

“el potencial de pérdidas que pueden ocurrirle a un sujeto o sistema expuesto, resultado de la convolución de la amenaza y la vulnerabilidad.”

Luego aquí, se introducen dos nuevos conceptos relevantes como factores que generan el riesgo. El primero de ellos hace referencia a la amenaza, que se entiende como un factor externo al sujeto o sistema expuesto, representado por la potencial ocurrencia de un suceso de origen natural o generado por la actividad humana que puede manifestarse en un lugar específico, con una intensidad y una duración determinada; y el segundo, la vulnerabilidad, entendido como un factor interno de un sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde con su disposición intrínseca de ser dañado. (USAID/OFDA/LAC, 2019)

De esta manera, se puede evidenciar que esta definición es más precisa pues la amenaza permite la determinación del aspecto probabilístico del riesgo definido en un comienzo, y la vulnerabilidad se hace cargo de la determinación de las posibles pérdidas que se puedan generar. Más aún, es el mismo autor quién explica la estrecha relación entre ellos por medio de la “convolución” –como concepto matemático– que se refiere a la concomitancia y mutuo condicionamiento, de la amenaza y la vulnerabilidad. Es decir, no se puede ser vulnerable si no existe una condición de amenaza, y no existe condición de amenaza si no se está expuesto y se es vulnerable a la acción potencial que representa dicha amenaza.

Así, recientes autores ligados a la gestión del riesgo han introducido un tercer factor diferenciado a considerar para la modelación del riesgo que complementa a la vulnerabilidad pero que se considera integrado en este. En la evaluación del riesgo se utiliza el concepto de exposición para explicar la condición del riesgo desde un punto de vista de ubicación con respecto a la amenaza y que genera el escenario de susceptibilidad. Este factor, se vuelve relevante pues además de aportar este componente geográfico permite la incorporación del pronóstico del impacto económico expresado en pérdidas

monetarias que, entre algunos fines, contribuye al diseño de políticas públicas con diferentes alcances o para el uso de modelos de afectación de escala global (USAID/OFDA/LAC, 2019).

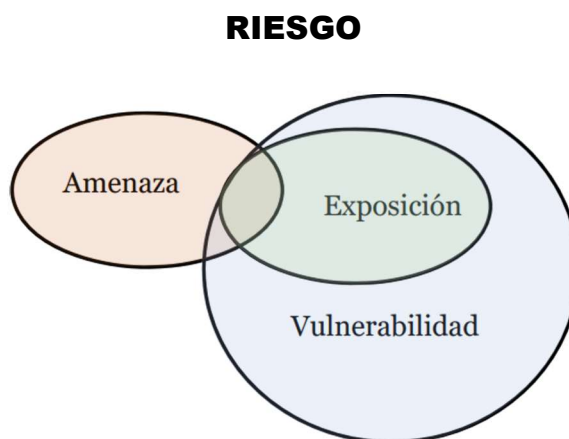


Figura 1. Diagrama del Riesgo de Desastres.

Fuente: Berganza, R. (2019) CRRD, USAID.

En conclusión, se puede resumir en términos simples que el riesgo de desastres es la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado, en que confluyen variables como la amenaza, la vulnerabilidad y la exposición.

2.1.3. Tipos de Riesgos

En lineamiento con el objetivo de este trabajo de investigación, los riesgos se pueden clasificar en dos categorías principales, de acuerdo con las definiciones desarrolladas por la UNISDR (2016) en la implementación de la terminología relacionada con la Reducción del Riesgo de Desastres en el Marco de Sendai, y adoptadas por la Asamblea General de la ONU en 2017.

- El *Riesgo intensivo* es el “riesgo de alta intensidad relacionado a desastres de media o baja frecuencia, asociado principalmente con grandes amenazas”. Este tipo de riesgo suele ser característico de las grandes ciudades o zonas densamente pobladas que no solo están expuestas a amenazas intensas, sino que también presentan altos niveles de vulnerabilidad a dichas amenazas.
- El *Riesgo extensivo* es el “riesgo de baja intensidad relacionado a eventos peligrosos o desastres de alta frecuencia, asociados principalmente, aunque no de manera exclusiva, con amenazas muy localizadas”. En este caso, este tipo de riesgo suele referirse a eventos dispersos de bajo impacto, pero que de manera acumulativa puede generar grandes daños en el tiempo, y que a menudo se ve agudizado por la pobreza, la urbanización y la degradación ambiental.

Tabla 2. Tabla comparativa del riesgo intensivo y extensivo.

Característica	Riesgo Intensivo	Riesgo Extensivo
Intensidad	↑	↓
Frecuencia	↓	↑
Amenazas	de gran alcance	a nivel local
Población Afectada	↑	↓

Fuente: Elaboración Propia.

Además de esta categorización, es relevante mencionar una aclaración respecto de un mal uso del concepto cuando se habla de ‘riesgo natural’ o ‘desastre natural’, al intentar clasificarlos por su origen.

En el año 2011, la Declaración de Chengdu indicó: “no existe lo que se conoce como ‘desastres naturales’”. Los riesgos o desastres no aparecen por la sola presencia del fenómeno natural y por lo tanto no son naturales, sino más bien pueden ser desencadenados por ellos, tal como menciona la definición de desastre dada en el apartado 2.1.1. y como explica Lavell (2000) citado por Camus *et al.* (2016): dichas alteraciones físicas, que aparentan ser naturales, en realidad nacen en la interacción de las actividades humanas con los procesos propios de la naturaleza, y por esta razón una manera más correcta de referirse a ellos es denominarlos riesgos o desastres socionaturales.

Por ejemplo, una erupción volcánica no es más que un fenómeno natural y no un desastre, y a la vez no representa un riesgo solo hasta el momento en que se considera el aspecto de la intervención humana en ese proceso -asentamientos de población cercana, deforestación, cambios de uso de suelo, construcción de infraestructura aledaña o alguna otra intervención-, convirtiéndose así el fenómeno natural en la amenaza, y el humano y su actividad en el factor vulnerable expuesto a dicha amenaza. Así, es fácil notar que dentro de los factores que generan el riesgo de desastres, la vulnerabilidad depende casi directamente de las decisiones que se tomen en cuanto al desarrollo de las actividades humana y por lo tanto de su susceptibilidad, luego, la magnitud del riesgo se puede alterar de manera que disminuya; esto es posible por medio de la gestión del riesgo de desastres.

2.1.4. Gestión -Integral- del Riesgo de Desastres

El riesgo de sufrir un desastre, como ya se ha mencionado anteriormente, es sin duda un evento que no se desea pues genera una alteración en la sociedad, que puede provocar en concreto, daños materiales de miles de millones de dólares o peor aún y más importante, la pérdida de cientos de vidas humanas.

Según Barrenechea (s.f.) describe la Gestión del Riesgo de Desastres o Gestión Integral del Riesgo de Desastres como:

“Un instrumento para lograr la reducción del riesgo de desastres, por medio de la disminución de la vulnerabilidad, en base a acuerdos sociales que surgen como resultado del análisis de riesgo. Se basa en procesos orientados a formular planes y ejecutar acciones de manera consciente, concertada y planificada, entre los órganos y los entes del Estado y los particulares, para prevenir o evitar, mitigar o reducir el riesgo en una localidad o en una región, atendiendo a sus realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales y económicas (Lozano, 2011)” (p. 3).

Por lo tanto, teniendo en cuenta esta interacción multisectorial requerida por estos procesos dentro de una sociedad y ya de manera más explícita, dentro de una nación, entonces se puede advertir que una gestión integral del riesgo de desastres se vuelve casi indispensable para lograr una gestión del desarrollo que sea sostenible (USAID/OFDA/LAC, 2019).

Finalmente, dentro de la Gestión del Riesgo de Desastres se puede reconocer alguno de los procesos relevantes que involucra de acuerdo con sus objetivos particulares y la ubicación temporal de cada uno basado en lo que se conoce como el ciclo del desastre.

- *La Evaluación del Riesgo de Desastres:* en este se ubican todas las acciones referentes a la realización de estudios, diagnósticos, construcción de escenarios u otro, de los riesgos de desastres que se puedan identificar.

- *La Reducción del Riesgo de Desastres:* se puede dar en dos tipos de gestión:
 - a. *Gestión Correctiva:* acciones que se preocupan de la reducción de los riesgos de desastres que existen en el presente. Se relaciona frecuentemente con el concepto de mitigación.
 - b. *Gestión Prospectiva:* acciones dirigidas a evitar la construcción de nuevos riesgos que puedan causar un desastre o impedir que se incrementen riesgos existentes. En común se asocia al concepto de prevención.

- **La Gestión Compensatoria:** enfocada en el escenario que no se pueda reducir la totalidad del riesgo (riesgo residual) y una vez que este se desencadena inevitablemente. Su finalidad es la de transferir y/o facilitar la recuperación mediante algunos mecanismos. Se divide en dos:
 - a. **Gestión Reactiva:** orientada a una preparación, organización y ejecución de planes de respuesta ante una emergencia o desastre y la recuperación posterior. Se relaciona e incluye etapas de preparación, alerta, respuesta, rehabilitación y reconstrucción.
 - b. **Transferencia del riesgo:** desde una perspectiva financiera, se realiza mediante los sistemas de seguros (o reaseguros), fondos de contingencia, financiamiento de emergencia o sistemas de seguridad social.

En resumen, se presenta el siguiente esquema que muestra los componentes de los procesos expuestos de la Gestión Integral del Riesgo de Desastres.

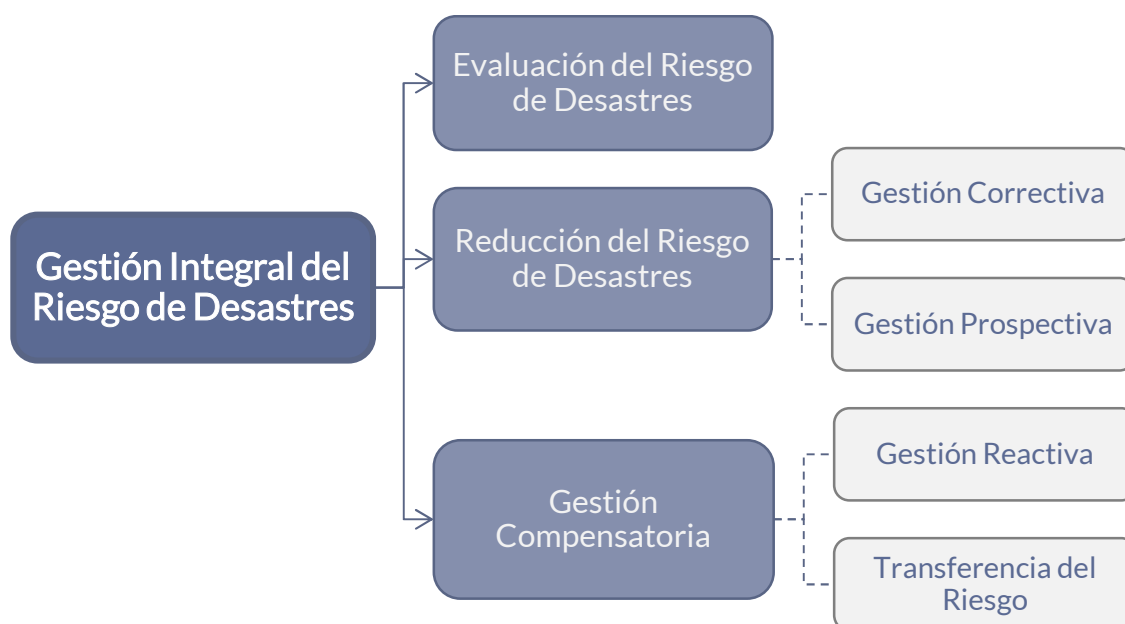


Figura 2. Esquema de procesos de la Gestión Integral del Riesgo de Desastres.
 Fuente: Elaboración propia basado en CRRD, USAID (2019).

De esta manera, cada uno de estos procesos de la Gestión Integral del Riesgo de Desastres puede aportar a la construcción y aumento de la resiliencia en distintos aspectos, y en particular de relevancia para este trabajo, la resiliencia en infraestructura.

2.2. Infraestructura Pública

En los apartados anteriores se evidenció la raíz de la importancia de considerar la gestión del riesgo de desastres como una de las estrategias relevantes para el desarrollo de un país, cuyo objetivo es reducir el riesgo de desastres o bien mitigar los impactos que estos generan teniendo en cuenta las pérdidas que estos pueden llegar a generar, tanto en vidas humanas como en términos materiales. En este contexto, existe un factor en común que tiene injerencia directa sobre estos dos efectos, pues las personas desarrollan sus actividades gracias a la infraestructura disponible, y si se considera su vulnerabilidad frente a las amenazas naturales, entonces aparecen el riesgo del daño o pérdida de vidas y/o a la vez, de la infraestructura como tal.

El Consejo de Políticas de Infraestructura (CPI, 2019) declara que “uno de los factores claves para el desarrollo de los países es su dotación de infraestructura. La infraestructura física es la base sobre la cual los seres humanos realizan la mayor parte de sus actividades [...]”; por lo que toma un rol importante en el camino para lograr una mayor competitividad económica de un país. En este contexto, destaca que es muy común que se haga la diferencia entre lo que se puede considerar como infraestructura ‘productiva’ e infraestructura ‘social’ -entendiendo esta última como aquellas instalaciones sobre las que se brindan servicios públicos a los habitantes como transporte público, escuelas, hospitales, cárceles, etc.- y que en esta comparativa se suele dar mayor énfasis e importancia a la primera desde un punto de vista de rentabilidad social de mejorar la productividad, sin embargo, plantea que esta idea no es del todo razonable pues de igual manera la infraestructura ‘social’ mejora la productividad del conjunto de la ciudadanía y que por lo tanto, su rentabilidad social no debiera ser necesariamente inferior que el desarrollo de la ampliación de un puerto o el mejoramiento de un camino por ejemplo.

En este mismo sentido, la Cámara Chilena de la Construcción (CChC) considera que la inversión en infraestructura es importante para lograr un desarrollo sostenible y se han planteado la tarea de ayudar a la discusión en el estudio de estimar los avances, requerimientos y déficit en áreas de la infraestructura consideradas esenciales. Para esto ha publicado hasta la fecha dos informes de título “Infraestructura Crítica para el Desarrollo” (CChC, 2016/2018), y en él ha categorizado las infraestructuras públicas en tres ejes estratégicos, que estaría dado desde un punto de vista más funcional que sectorial como se mencionaba en el párrafo anterior; así se puede encontrar entonces los ejes de infraestructura basal, infraestructura de apoyo logístico e infraestructura de uso social. Esta misma categorización es la que se utiliza como base de ordenamiento para el estudio que en este informe se realiza en base a las metodologías de diseño resiliente que son aplicables para cada una, donde a la vez cada uno de estos ejes estratégicos involucra un listado de tipologías de infraestructuras que se detallan en el esquema de la figura mostrado a continuación, sin embargo, no necesariamente implica que cada uno de ellos sea estudiado en el presente informe o presenten cada uno una metodología de diseño resiliente.

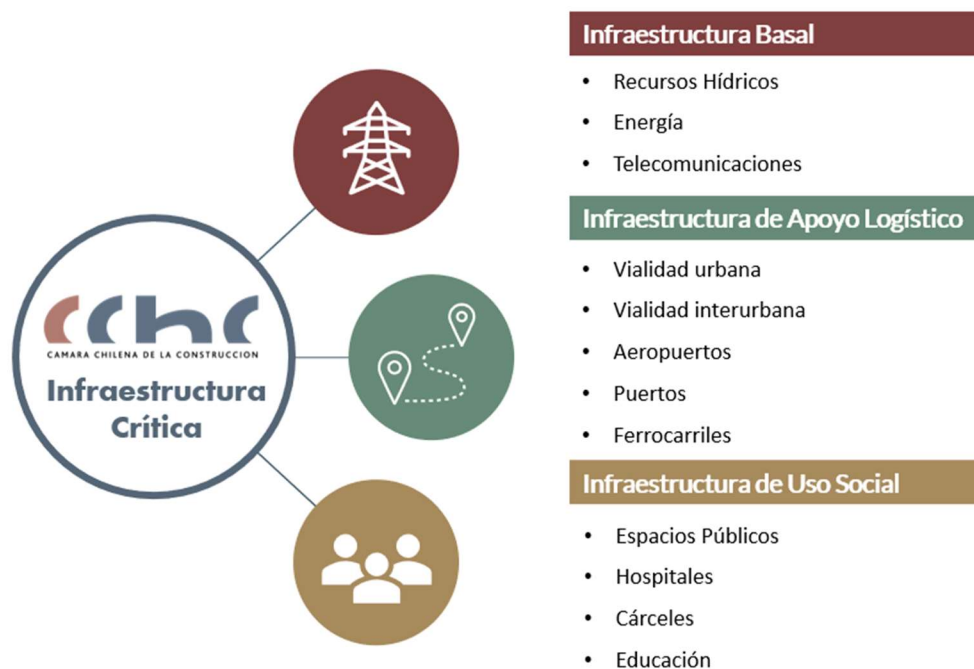


Figura 3. Clasificación de la Infraestructura pública.

Fuente: Elaboración propia basada en informe Infraestructura crítica para el desarrollo, CChC (2018).

Es necesario aclarar que solo se toma como referencia de estos informes la categorización que se hace de las infraestructuras, pues respecto a todo lo demás expuesto, principalmente aquello asociado a temas de proyecciones o estimaciones de inversión que se plantean, se debe tener en cuenta que independiente del aporte que pueda realizar la CChC a temas de desarrollo de infraestructura, no se puede ignorar el hecho de que esta institución es un gremio que representa a las empresas del sector, y por lo tanto su visión en temas de estimación de las necesidades de infraestructura suelen ser exageradas (Engel, 2016) y bien podrían estar sesgadas o presentar conflictos de interés que traten de motivar una mayor inversión en infraestructura aun cuando esta no sea la solución óptima, sumado a que dicha información no es del todo relevante para esta investigación. Sin embargo, no se desconoce el hecho de que aunque existen diferencias de visiones respecto a las estimaciones de inversión, la necesidad de invertir en infraestructura en algunos sectores claramente existe.

2.2.1. Infraestructura Basal

Dentro de este eje estratégico se consideran tres sectores claves: Recursos Hídricos, Energía y Telecomunicaciones. En cada una de ellas es posible identificar particularmente la tipología de infraestructuras que incluyen y que permite el ordenamiento de la información recopilada en este trabajo de investigación.

Tabla 3. Infraestructuras que se incluyen en la Infraestructura Basal.

Infraestructura Basal
Recursos Hídricos
Servicios Sanitarios
Drenaje Aguas Lluvias
Defensas Fluviales
Control Aluvional
Energía
Red de generación, transmisión y distribución de Electricidad
Telecomunicaciones
Accesos Banda Ancha Fija y Móvil
Redes de Telecomunicación

Fuente: Elaboración Propia.

2.2.2. Infraestructura de Apoyo Logístico

Dentro de este eje estratégico se consideran cuatro sectores claves: Vialidad Interurbana, Puertos y Ferrocarriles. En alguna de ellas es posible identificar particularmente la tipología de infraestructuras que incluyen y que permite el ordenamiento de la información recopilada en este trabajo de investigación.

Tabla 4. Infraestructuras que se incluyen en Infraestructura de Apoyo Logístico.

Infraestructura de Apoyo Logístico
Vialidad Interurbana
Carreteras y Caminos
Túneles
Puentes
Vialidad Urbana
Vías vehiculares, ciclovías y peatonales
Puertos
Ferrocarriles

Fuente: Elaboración Propia.

2.2.3. Infraestructura de Uso Social

Dentro de este eje estratégico se consideran cuatro sectores claves: Espacios públicos, Hospitales, Cárceles y Educación.

Tabla 5. Infraestructuras que se incluyen en Infraestructura de Uso Social.

Infraestructura de Uso Social
Hospitales
Cárceles
Educación
Espacios públicos Museos, Bibliotecas y Afines
Otros Afines

Fuente: Elaboración Propia.

2.3. Infraestructura Resiliente

2.3.1. Resiliencia: definición y métrica

Como se mencionaba previamente en la introducción de este documento, el concepto de resiliencia se utiliza en múltiples disciplinas, pero siempre guardando una relación estrecha entre sus definiciones. Para este trabajo, una apropiada definición corresponde a la adoptada por la Comisión Nacional para la Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural en Chile (CREDEN, 2016), quien define la Resiliencia como:

“La capacidad de un sistema, persona, comunidad o país expuestos a una amenaza de origen natural, para anticiparse, resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, para lograr la preservación, restauración y mejoramiento de sus estructuras, funciones básicas e identidad”.

En base a esto, la mención a una capacidad sugiere la existencia de una manera de poder medir la resiliencia como una función que depende de algunas variables. Ayyub (2014) propone un modelo cuya métrica de medición está basada en múltiples autores que menciona en su estudio, donde la medición de la resiliencia se basa en el tamaño de la degradación esperada en la calidad -o desempeño- de una infraestructura, por medio de la cuantificación de cuatro parámetros principales: *robustness*, *redundancy*, *resourcefulness and rapidity* [robustez, redundancia, ingenio y rapidez].

Las cuatro R's -como son llamadas por sus nombres en inglés- hacen referencia a las siguientes características:

- *Robustez*: capacidad del sistema y sus elementos para soportar choques externos sin una pérdida significativa del rendimiento.
- *Redundancia*: medida en que el sistema y otros elementos satisfacen y mantienen los requerimientos funcionales en caso de perturbación.
- *Ingenio*: capacidad de diagnosticar y priorizar problemas e iniciar soluciones identificando y monitoreando todos los recursos, incluida la información económica, técnica y social.
- *Rapidez*: capacidad para recuperarse y contener las pérdidas, y evitar interrupciones futuras.

Así, propone la representación esquemática de la Resiliencia donde se muestra la curva de desempeño del sistema o la calidad de la infraestructura (Q) con efecto de envejecimiento -definido en términos de su fuerza menos el correspondiente efecto de carga que actúa sobre él como variables aleatorias-, y la ocurrencia de un incidente con probabilidad (λ) según un proceso de Poisson en un lapso de tiempo. Entre el tiempo t_i y t_f ocurre un evento de falla, cuya duración es ΔT_f . El evento de falla es seguido por un evento de recuperación que dura hasta t_r y cuya duración es ΔT_r . La interrupción total (D) tiene una duración de $\Delta T_d = \Delta T_f + \Delta T_r$. En la figura, se proponen tres formas de falla en la curva de desempeño (f) y seis formas de recuperación (r), que definen varios tipos de cambios del rendimiento del sistema en el tiempo. Finalmente, el modelo propone que el valor de la resiliencia es:

$$\text{Resiliencia } (R_e) = \frac{T_i + F \cdot \Delta T_f + R \cdot \Delta T_r}{T_i + \Delta T_f + \Delta T_r} ,$$

donde para cualquier evento de falla (f), el correspondiente *perfil de falla* F es medido como:

$$\text{Falla } (F) = \frac{\int_{t_i}^{t_f} f dt}{\int_{t_i}^{t_f} Q dt} .$$

Y de manera similar, para cualquier evento de recuperación (r), el correspondiente *perfil de recuperación* R es medido como:

$$\text{Recuperación } (R) = \frac{\int_{t_f}^{t_r} r dt}{\int_{t_f}^{t_r} Q dt} .$$

Así, el valor del perfil de falla (F) puede ser considerado como una medida de la robustez y la redundancia del sistema; mientras que el valor del perfil de recuperación (R) puede ser considerado como una medida del ingenio y la rapidez.

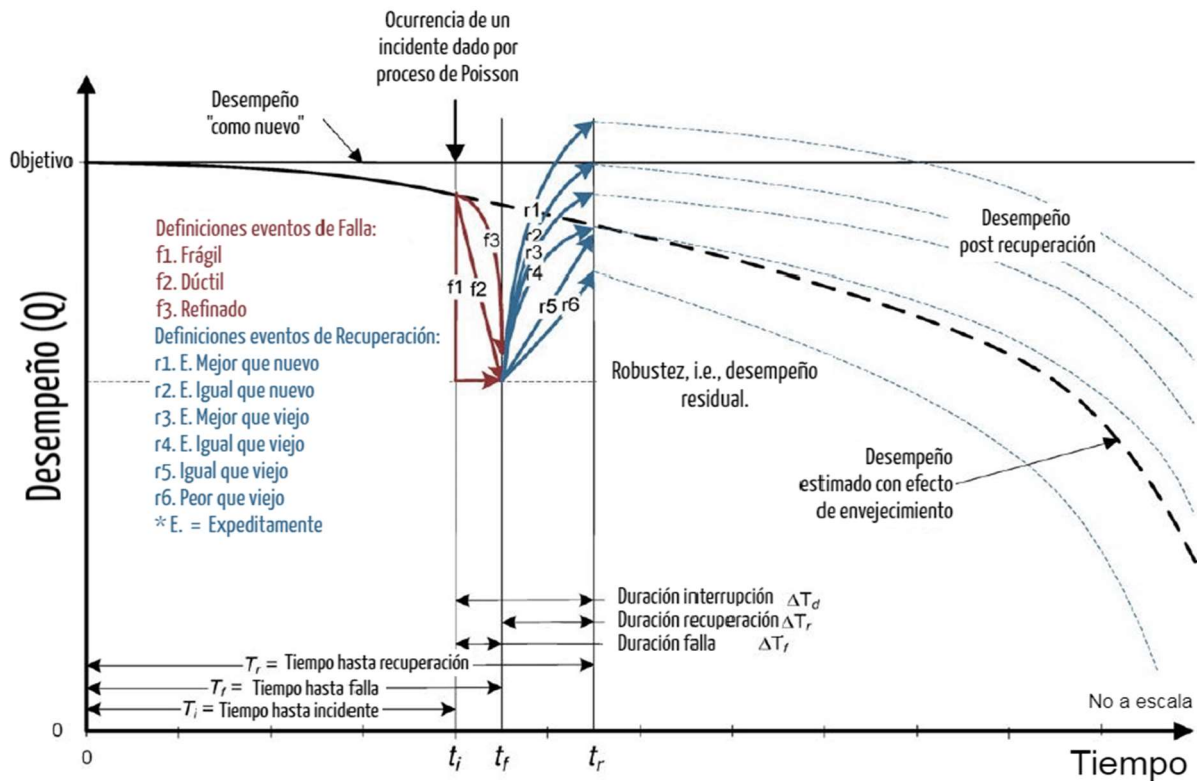


Figura 4. Métrica de Resiliencia propuesta para el rendimiento de un sistema.
 Fuente: Adaptado de Ayyub, B. (2014).

Esta representación esquemática de lo que representaría la resiliencia de un sistema, se puede contrastar con un gráfico del desempeño real del sistema de distribución eléctrica luego del terremoto del 27-F que presenta De la Llera, J. *et al.* (2017) en su artículo sobre Infraestructura Resiliente; en él se puede ver claramente la caída de la curva de desempeño al momento que ocurre el evento de irrupción, y el posterior proceso de recuperación en los días siguientes.

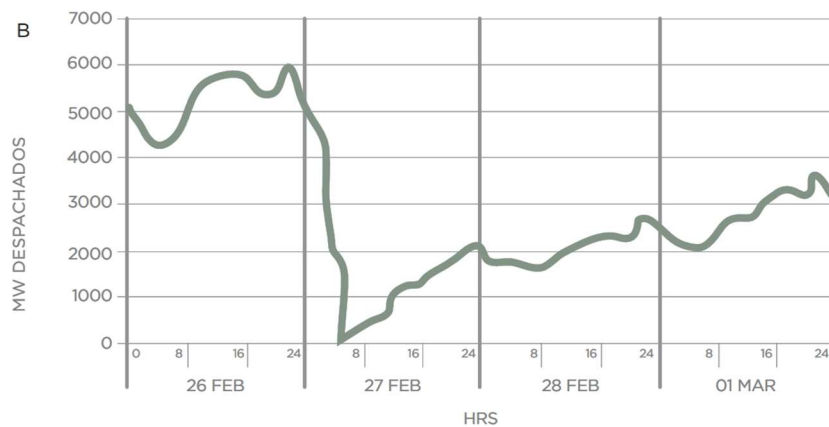


Figura 5. Desempeño real de un sistema de transmisión eléctrica, terremoto 27-F.
 Fuente: De la Llera, J. *et al.* (2017).

2.3.2. Desarrollo de Infraestructura Climático Resiliente

Con todas las consideraciones e información dada hasta el momento, se hace mucho más simple notar la estrecha relación que existe entre la gestión integral del riesgo de desastres y el desarrollo de la resiliencia en la infraestructura. Evidentemente todos aquellos procesos asociados a la reducción del riesgo de desastres, dados a través de la gestión correctiva y prospectiva, tienen directa influencia en la capacidad para mejorar la resiliencia de las infraestructuras ante amenazas naturales que potencialmente puedan generar un desastre, por medio de metodologías aplicadas en el diseño. En ese mismo sentido lo expresa CREDEN (2016), que declara como objetivo irrenunciable de la sociedad, “alcanzar un muy alto estándar de resiliencia frente a las distintas amenazas naturales, esto es, lograr desde el diseño y la preparación la máxima efectividad en la respuesta inmediata y recuperación integral del sistema a un nivel de desempeño igual o superior al existente previo al desastre.”

La EUFIWACC¹ (2016) plantea dos categorías de cambios a considerar para lograr el desarrollo de este tipo de infraestructura y que son relevantes mencionar:

- *Medidas de adaptación estructural*: se refiere todas aquellas medidas estructurales e ingenieriles que pueden incluir modificaciones al diseño o especificaciones de los activos físicos e infraestructura en pro del desarrollo climático resiliente. O bien la adopción de alternativas o mejoras tecnológicas.
- *Medidas de adaptación de la gestión (o no estructurales)*: son todas las medidas asociadas a gestión y/o políticas públicas en pos del desarrollo resiliente, por ejemplo: mejora en el monitoreo o programas de respuesta ante amenazas, capacidad de construcción, estrategias de desarrollo o evaluación del riesgo, soluciones financieras, etc.

Ahora bien, el sentido de diseño resiliente adoptado en este trabajo tiene relación con aquellas medidas que se asocian directamente sobre la disciplina de la Ingeniería Civil, cuyo rol principal recae específicamente sobre las medidas de adaptación estructural.

¹ European Financing Institution Working Group on Adaptation to Climate Change

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

Si bien en la introducción ya se expuso las etapas de la metodología utilizada en este trabajo de título junto a una breve descripción de ellas, en este capítulo se pretende profundizar en el alcance que cada una de ellas tiene, insertas en el marco y los fundamentos teóricos expuestos en el capítulo previo.

Así también, se expone la relación que existe entre cada herramienta de la metodología con los objetivos específicos planteados y que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6. Metodología aplicada para el cumplimiento de los objetivos.

Objetivos Específicos	Herramienta de la Metodología
<ul style="list-style-type: none">• Describir metodologías de diseño resiliente que se apliquen al desarrollo de infraestructura chilena.	<ul style="list-style-type: none">• Revisión Bibliográfica
<ul style="list-style-type: none">• Realizar un diagnóstico del estado en que dichas metodologías se aplican en el desarrollo de infraestructura resiliente.	<ul style="list-style-type: none">• Entrevistas• Estudio de la información recopilada
<ul style="list-style-type: none">• Establecer recomendaciones y/o mejoras para potenciar el diseño de proyectos de infraestructura resiliente en Chile.	<ul style="list-style-type: none">• Estudio de la información recopilada• Análisis de recomendaciones

Fuente: Elaboración Propia.

3.1. Revisión Bibliográfica

La revisión bibliográfica se realiza en base a publicaciones disponibles relacionadas al desarrollo de metodologías de diseño resiliente. Sin embargo, como quedó demostrado en el capítulo anterior, el desarrollo de la resiliencia abarca un escenario amplio que se integra dentro de la gestión del riesgo de desastres, y que involucra aristas extensas en los tipos de riesgos o las amenazas que se puedan considerar. En este sentido, se hace necesario mencionar que para efectos de esta investigación, la muestra a estudiar no pretende ser representativa ni completa, dado lo extenso y reciente del campo de estudio, pero si será estratégica en base a los criterios que a continuación se exponen.

El primer criterio de elección tiene relación con aquellas metodologías de diseño que se aplican sobre infraestructura pública que entre en algunas de las categorías definidas en el capítulo anterior, apartado 2.2.

El segundo criterio de elección tiene relación con aquellas metodologías de diseño resiliente que se relacionan a medidas adoptadas frente a los riesgos del tipo intensivo y

que están asociados a las principales amenazas naturales que ocurren en Chile, de acuerdo con la Tabla 1 del apartado 1.2., cuyo impacto es más significativo en escala que recae sobre las infraestructuras, y no de manera tan particular como si se tratara de riesgos extensivos. Estas amenazas incluyen los terremotos, tsunamis, inundaciones, erupciones volcánicas y remociones en masa.

El tercer criterio por aclarar es que la elección de los casos se hace en base a aquellas medidas de adaptación estructural mencionadas dentro del desarrollo de infraestructura climático resiliente. Partiendo primeramente por la base de metodologías a nivel normativo que existe al respecto de ciertas infraestructuras, y luego exponiendo metodologías, que de la búsqueda bibliográfica se pudieran haber obtenido de la información públicamente disponible.

A modo de resumen, se presenta en el siguiente esquema los criterios considerados para la elección de la muestra de estudio en la revisión bibliográfica.

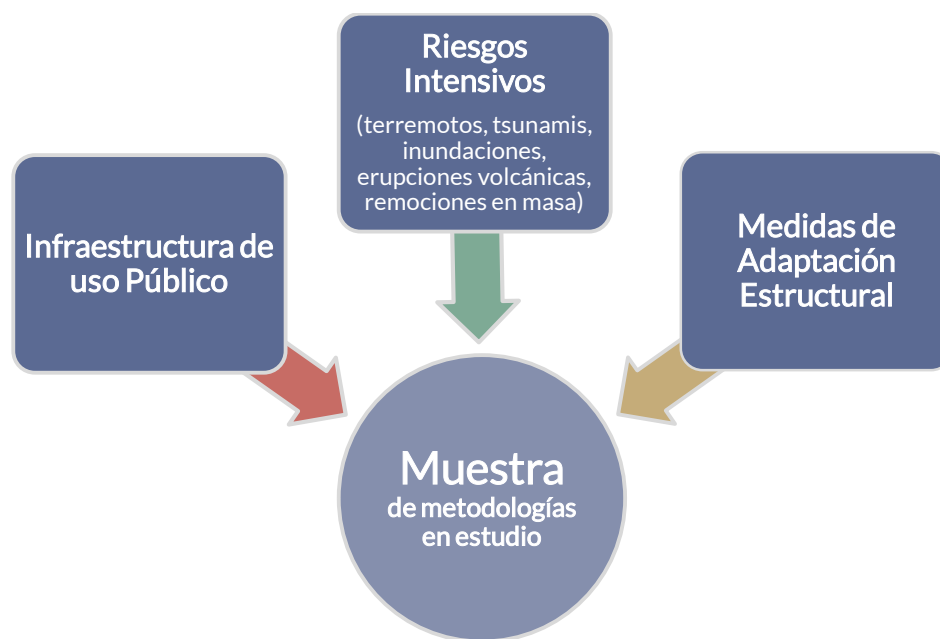


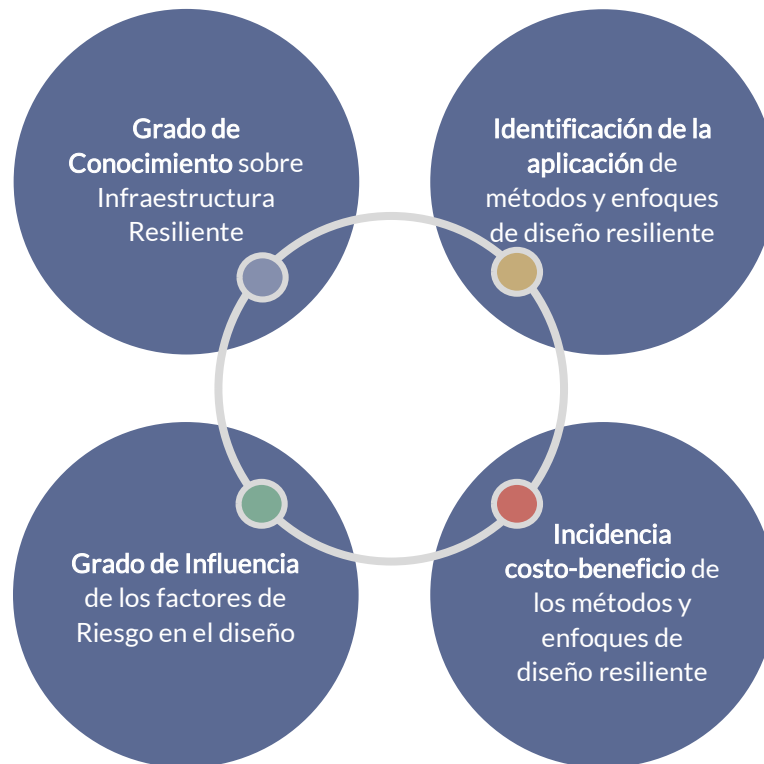
Figura 6. Esquema de criterios para la elección de metodologías en estudio (muestra)
Fuente: Elaboración Propia.

3.2. Encuesta a profesionales

La encuesta está dirigida principalmente a profesionales de la construcción cuyo desempeño se encuentra inserto en el diseño o desarrollo de la ingeniería y/o construcción de proyectos de infraestructura pública, la que se aplica mediante un formulario online que se difunde de manera abierta entre los grupos de interés, donde es posible posteriormente recopilar los datos en planilla para su posterior procesamiento y análisis.

El objetivo principal es levantar información respecto del nivel de conocimiento que se tiene respecto de métodos y enfoques de diseño resiliente y la aplicabilidad y prácticas habituales que existen en el campo. Con esto es posible obtener información relevante para el estudio de las fortalezas y debilidades que se podrían evidenciar en el diseño resiliente de las distintas infraestructuras, así como para el planteamiento y complemento de las potenciales recomendaciones que de este estudio se pueden generar.

La encuesta está estructurada en base a cuatro pilares fundamentales a los que apunta el levantamiento de la información y que se muestran en el siguiente diagrama.



*Figura 7. Esquema de enfoques de la Encuesta a Profesionales.
Fuente: Elaboración propia.*

3.3. Entrevistas a profesionales expertos

Estas entrevistas se clasifican de acuerdo a tres grupos principales, cuyo origen permitirá que el estudio se complemente con distintas miradas desde los sectores respectivos. El primer grupo lo integran profesionales de instituciones académicas, cuyo campo de investigación tenga alguna relación con la Gestión del Riesgo de Desastres y la Resiliencia, y su aplicación en temas de infraestructura pública; el segundo grupo corresponde a profesionales del sector privado de empresas que hayan realizado o realicen proyectos de infraestructura pública; y finalmente, el último grupo lo componen profesionales ligados al sector público gubernamental que se desempeñe en el desarrollo de proyectos de infraestructura pública.

La manera en que se aplican corresponde a una metodología de entrevista semiestructurada, en que la principal característica de esta aplicación es que, por un lado, permite obtener información estratégica para el desarrollo de este estudio y a la vez deja abierta la opción para el entrevistado de responder libremente sobre el tema sobre el cual se aborda en la entrevista. La entrevista se desarrolla en base a los enfoques que se muestran en el esquema de abajo en que se desea recopilar la información, de manera que los detalles respecto de la pauta de preguntas y estructura se puede encontrar en el Anexo B de este informe.

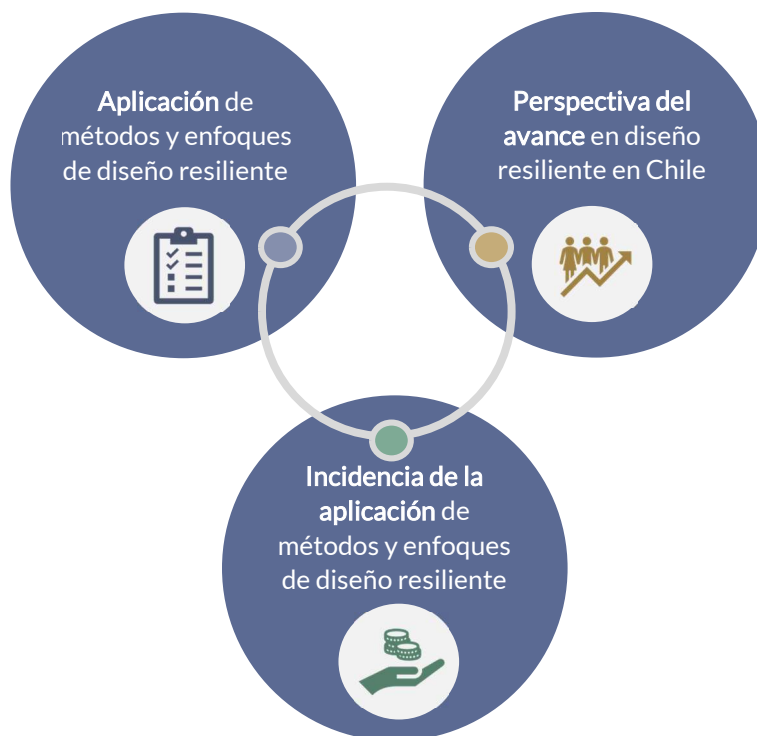


Figura 8. Esquema de enfoques de la Entrevista a expertos.
Fuente: Elaboración propia.

Esta herramienta utilizada se refiere como entrevista a profesionales expertos, dado que está dirigida a profesionales elegidos de manera estratégica de acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior y que además tienen -o afirman tener- un nivel de conocimiento mayor respecto a la resiliencia como concepto aplicado a temas de infraestructura, y que por lo tanto, su visión y experiencia puede ser mayormente enriquecedora respecto de la obtención de información sobre los métodos, enfoques y criterios de diseño que se apliquen en sus áreas de desempeño, que finalmente permiten complementar y contrastar la información recopilada en las otras herramientas aplicada.

3.4. Estudio de la información recopilada

El estudio de la información se desagrega por amenaza de origen natural estudiada y se verá para cada una, el alcance sobre la tipología de infraestructura pública que abarca, de acuerdo con la clasificación planteada anteriormente en el apartado 2.3.

El estudio parte con la base de la revisión bibliográfica relacionadas a normativas vigentes de diseño en Chile, ya que éstas definen requisitos mínimos para la generación de metodologías de diseño resiliente que se pudieran aplicar frente a los distintos tipos de amenazas naturales. Para luego, dar paso a la exposición de las metodologías de aplicación de diseño resiliente identificadas, evaluando las consideraciones que realizan, los datos de entrada que considera para la generación del diseño, las limitaciones, entre otros.

Finalmente, la aplicación de estas metodologías expuestas se puede comparar y complementar, con la información levantada por las entrevistas. De aquí, se puede definir cuestiones como la aplicabilidad real de las metodologías en general, la relación costo-beneficio de tener estas consideraciones de diseño resiliente en los proyectos, el grado de difusión del conocimiento de la resiliencia en proyectos de infraestructura, y de los incentivos o problemas que motivan o no a la aplicación de estas.



Figura 9. Esquema del proceso de estudio de la información recopilada.
Fuente: Elaboración Propia

3.5. Análisis de Recomendaciones

Luego de tener el levantamiento completo del estudio de la información recolectada, se logra tener una visión del escenario actual en cuanto a metodologías de diseño resiliente en los últimos años, identificando el grado de avance y aplicación, de manera que del análisis se pueden generar recomendaciones en aquellas áreas que se encuentren débiles en cuanto a la gestión del riesgo de las amenazas de origen natural y la resiliencia asociada.

CAPÍTULO 4: DESARROLLO Y RESULTADOS REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1. Infraestructura Basal

4.1.1. Recursos Hídricos

4.1.1.1. Sobre Servicios Sanitarios

En el contexto nacional, la legislación ha dejado en mano de las empresas privadas la responsabilidad de proveer los servicios de agua potable y saneamiento en gran parte de las zonas urbanas del país por medio de concesiones, que son fiscalizada por medio de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) y reguladas por normativas asociadas a la operación y el servicio². Teniendo en consideración esto, es que es relevante mencionar que el acceso a la información respecto de las metodologías de diseño, y más aún las de carácter resiliente, de los sistemas o redes de servicios sanitarios es prácticamente nula, pues las empresas no ponen a disposición pública esta información. Sin embargo, si es posible prever aspectos del diseño asociado a las exigencias que establecen los reglamentos sectoriales que se aplican sobre este tipo de infraestructura.

En este sentido, existe normativa en relación con el sector de la red pública de distribución de agua potable definida por la norma chilena NCh 691 “Agua Potable – Conducción, Regulación y Distribución”; y la referida a los sistemas de recolección de aguas servidas definidas por la norma chilena NCh 1105 “Alcantarillado de Aguas Residuales – Cálculo y Diseño de redes”.

Respecto de la primera, se abarcan temas de diseño asociado principalmente a parámetros propios del sistema de red, como el estudio estadístico de consumo, caudales de diseño, consideraciones para la conducción y la distribución del agua potable, presiones de servicio, materiales, trazado, entre otros. En esto, la conducción se divide en dos partes principales; la conducción primaria que se encuentra entre la fuente de abastecimiento y elementos de regulación (incluyéndolos), y la conducción secundaria, que está entre los elementos de regulación y la red de distribución. Algunos aspectos relevantes con respecto a diseño resiliente que se pueden rescatar dicen relación con:

➤ *Regulación y almacenamiento.*

Los elementos de regulación, que dividen la conducción en sus dos partes, lo conforman los estanques de regulación, cuya función es compensar entre la producción máxima diaria y el consumo máximo diario además de disponer de reserva para casos de emergencia tales como incendios, ruptura de tuberías, cortes de energía. En este contexto, se debe considerar el diseño para obtener un volumen de reserva que debe ser determinado por la autoridad competente, en función de la vulnerabilidad del

² Decreto N° 1.199, 2005, del Ministerio de Obras Públicas. Reglamento de las Concesiones Sanitarias de Producción y Distribución de Agua Potable y de Recolección y Disposición de Aguas Servidas y de las Normas sobre calidad de atención a los usuarios de estos servicios.

sistema, aunque establece un volumen mínimo a considerar equivalente a 2 horas de consumo en el día de máximo consumo previsto.

➤ *El diseño y dimensionamiento de la red de distribución.*

En este caso, el área servida por la red de distribución debe estar dividida en cuarteles, que corresponden a sectores de la red de distribución en que puede suspenderse temporalmente el suministro de agua potable, sin afectar el suministro general.

➤ *Los materiales de las tuberías.*

Todos los materiales de las tuberías deben cumplir con las normas chilenas que le son aplicables o, en su ausencia, con las especificaciones técnicas de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, siendo su elección la más adecuada según la calidad del agua y del terreno, la demanda de la red y diámetros comerciales.

Para la segunda normativa, sobre aguas residuales y alcantarillado, la norma establece las condiciones generales en relación al diseño y cálculo de una red de alcantarillado de aguas residuales, cuya finalidad esencial es el saneamiento ambiental, recolectando y evacuando apropiadamente las aguas residuales. Se definen temas asociados al diseño de cálculos hidráulicos relativo a los estudios estadísticos de consumo, coeficientes de recuperación, caudales de diseño, capacidad de tuberías, la consideración de cámaras y chimeneas de inspección, empalmes, entre otros. En el caso de esta norma no se encuentran aspectos relevantes sobre el diseño resiliente frente a alguna amenaza natural, más que:

➤ *Materiales.*

Los materiales de las tuberías deben cumplir con las normas chilenas aplicables al proyecto.

➤ *Refuerzos*

Se debe considerar en el diseño, refuerzos estructurales en las tuberías, machones de anclaje y otras obras adecuadas que aseguren la estabilidad y funcionamiento del sistema de alcantarillado cuando corresponda.

Adicionalmente a estas normas, existe una tercera norma relevante para este trabajo de investigación que tiene relación con la presentación y contenidos de los proyectos de sistema de agua potable y alcantarillado (NCh 1104, 1998), y en él se describen aspectos que podrían considerarse relevantes para el diseño resiliente. Su alcance aplica a los proyectos de instalaciones de los sistemas de agua potable y de alcantarillado, a las ampliaciones y extensiones de sistemas existentes, sin incluir las instalaciones domiciliarias. Entre aquellos puntos que se pueden destacar son:

- Se considera un estudio preliminar del proyecto en que se recopila y analiza los datos y antecedentes necesarios para el estudio y bases de cálculo del proyecto. Entre los aspectos a considerar se encuentran: Información del lugar que incluye ubicación, clima, características fisiográficas, hidrográficas, geológicas, actividad sísmica, vías de comunicación, fuentes de energía, entre otros; catastros de vivienda, para estimar la magnitud de las obras; catastro general de la infraestructura del sistema de agua potable y sobre las características y estado de todos los elementos existentes de la red;

consideración de la capacidad de estanque de regulación; catastro general de la infraestructura de alcantarillado existente y el estado y características de todos los elementos; estudio de la población, del consumo de agua potable y de la proyección de cobertura y caudales; análisis de cantidad y calidad de agua; y planteamiento de alternativas de solución.

- En una etapa de anteproyecto, existe una profundización de los estudios de terreno necesarios, en que se incluyen levantamientos topográficos completos, características de permeabilidad del subsuelo y fluctuación de la napa, estudio de la mecánica de suelos y su agresividad, entre otros.
- Con lo anterior, es posible dar paso a la etapa de diseño definitivo del proyecto, con la memoria de cálculo y el procesamiento de todos los datos recopilados para la solución óptima propuesta.

Pasando por otra arista, luego del terremoto del 2010 que afectó a gran parte del área de las sanitarias, dejó en evidencia la poca preparación del sector público y privado para hacer frente a desastres. Ante esto, desde la SISS se llevó a cabo una iniciativa que buscaba hacer frente esto, y se generó una guía metodológica para la elaboración de planes de emergencia (SISS, 2011) con el cual deben contar las empresas sanitarias. En esta guía, se describen aspectos a considerar tanto en una fase previa a la ocurrencia de un desastre como en una fase posterior. Así, se puede considerar relevante para el diseño o los criterios del diseño para una fase previa a la ocurrencia de un desastre, las siguientes medidas:

- *Descripción del contexto e identificación de Fuentes de Riesgo.* Se espera identificar y caracterizar, a nivel de localidad de la infraestructura y procesos de negocios las vulnerabilidades según las fuentes de riesgo. Estas pueden ser de dos tipos: Naturales o Antrópicas. Cada una se desglosa e incluye fuentes de riesgo según su tipo, tal como muestra el siguiente esquema adaptado del documento:

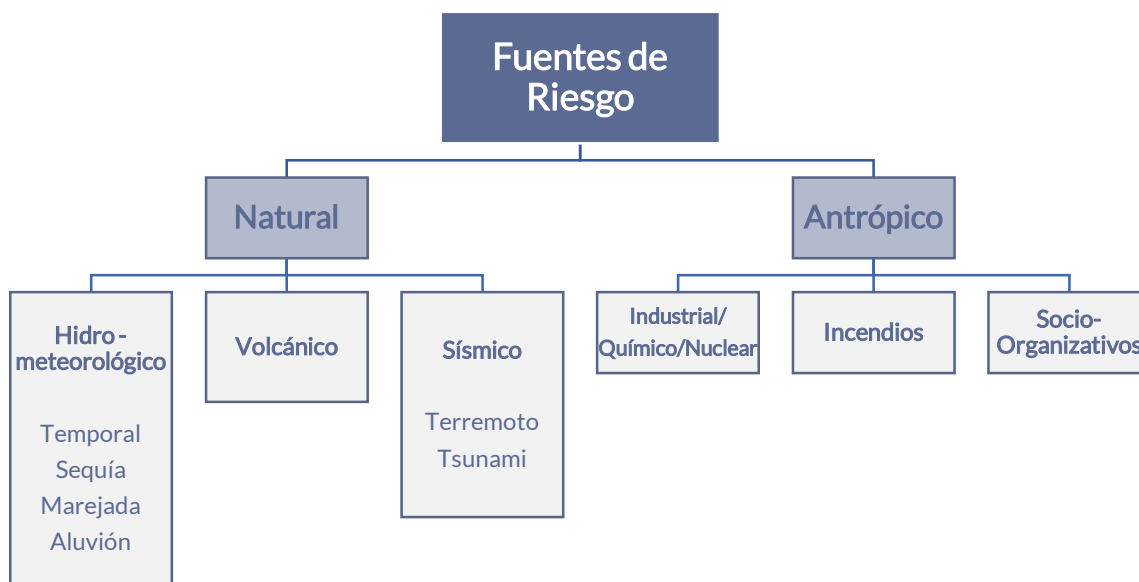


Figura 10. Fuentes de Riesgo para elaboración de Planes de Emergencia.
Fuente: SISS, (2011).

- *Priorización de Riesgos.* Clasificar los riesgos identificados de acuerdo con su aceptabilidad.
- *Tratamiento.* Se definen estrategias de respuesta para los eventos de alto riesgo con el fin de: tomar medidas para disminuir la frecuencia de eventos y su impacto. Así como también cuantificar las ventajas y desventajas en términos de costos y beneficios. En este se consideran al menos cuatro opciones para el tratamiento de los riesgos:
 1. *Eliminación:* tomar medidas para cambiar las condiciones físicas y condiciones operacionales de manera de eliminar el riesgo.
 2. *Mitigación:* realizar actividades para disminuir la probabilidad de que un evento ocurra, minimizar el impacto si es que se produce, y preparar la respuesta eficaz a la emergencia.
 3. *Transferencia:* se externaliza las funciones o responsabilidades para que otra empresa se haga cargo de parte o la totalidad del riesgo.
 4. *Aceptación:* se asume la responsabilidad de la ocurrencia del evento. No se toman medidas, pero la organización se ocupa del evento de riesgo una vez ocurrido.

El resultado esperado del tratamiento del riesgo es lograr que las medidas se alineen hacia una mejora en la infraestructura; capacitación de las personas de las empresas, usuarios y clientes; desarrollo de simulacros y ejercicios para evaluar el desempeño del plan; mecanismos de vigilancia para el monitoreo de los eventos; y otras medidas que se puedan tomar en particular.

4.1.1.2. Obras Hidráulicas en Infraestructura vial

Otro tipo de infraestructura pública de recurso hídrico que se revisa en términos normativos, pero que no está asociado a infraestructura a cargo de entidades privadas, son las obras hidráulicas relacionadas a la infraestructura vial. Estas infraestructuras, están abordadas de manera detallada por las disposiciones presentadas en el Manual de Carreteras, Volumen 3 – Instrucciones y Criterios de Diseño, MC-V3 (2020), aunque cabe destacar que el desarrollo de las metodologías de diseño resiliente que se describen en dicho manual están insertas de manera que son entendidas como estructuras complementarias a la infraestructura vial principal que permiten mitigar los impactos que se podrían provocar en ellas por acción del agua ³. Sin embargo, esto no quita que las mismas disposiciones puedan ser aplicadas en otros contextos que no estén asociados a la protección de infraestructura vial -interurbana- que tiene por alcance el MC, pues también puede ser aplicable para infraestructura vial urbana u otro.

Concretamente, en el manual se destina un capítulo completo al diseño de obras de drenaje, saneamiento, mecánica e hidráulica fluvial, en que se revisan diversos métodos para el diseño de las obras asociado a temas hídricos.

En este contexto, se presentan métodos de estimación como primer paso para la obtención de los antecedentes necesarios que ayudarán a definir el diseño de las obras hidráulicas. Partiendo por temas de **Hidrología**, se exponen metodologías y criterios para estimar los caudales de diseño de las obras de drenaje transversal de la carretera (alcantarillas y puentes) y de las obras de drenaje superficial y subsuperficial de la faja del camino; entendiendo que los caudales de diseño están dados por el análisis de las magnitudes y frecuencias de las crecidas registradas, haciendo ver, por lo tanto, que la información histórica se vuelve relevante para predecir los eventos futuros que pudieran ocurrir.

Son seis los procedimientos presentados para la estimación de caudales de diseño, y cada uno de ellos posee características inherentes que son de relevancia para la selección del método adecuado a utilizar, de acuerdo con el contexto o los datos disponibles para el análisis, y por eso, sin perjuicio de que pueden ser a la vez complementarios en su uso. Estos métodos de estimación son:

1. Análisis de observaciones en el punto de interés.
2. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia de lluvias.
3. Método Racional.
4. Métodos DGA.
5. Hidrogramas Unitarios.
6. Análisis regional de crecidas.

Sin entrar en detalles en cada uno, se pueden mencionar aspectos relevantes de ellos. Por ejemplo, los métodos 1 y 6 implican el uso de registros fluviométricos y por tanto son

³ Más detalles sobre el Manual de Carreteras, Volumen 3 – Instrucciones y Criterios de Diseño, se ven en la sección 4.1.2.1. Vialidad Interurbana

adecuados para usar en aquellos cursos de aguas permanentes que tienen registros históricos; los métodos 2, 3 y 4 son métodos empíricos representativos de las situaciones similares a las usadas en su desarrollo y deben por lo tanto, ser aplicados utilizando el buen criterio y experiencia del proyectista; y los métodos 3, 4 y 5 utilizan información pluviométrica para estimar crecidas, por lo que corresponden a métodos indirectos que permiten abordar aquellos casos en los cuales no se poseen registros de los caudales observados.

En general, los procedimientos presentados permiten estimar caudales causados fundamentalmente por lluvias y no incluyen escurrimientos provenientes de deshielos o cuencas cubiertas de nieve, a raíz de que se consideran problemas menos frecuentes y de una mayor dificultad, que requiere ser tratados por especialistas.

Otro parámetro relevante en los estudios hidrológicos es la determinación de los **períodos de retorno** de la crecidas y períodos de verificación para el diseño, en que se hace necesario considerar la relación que existe entre la probabilidad de excedencia de un evento, la vida útil de la estructura y el riesgo de falla aceptable (que considera factores económicos, sociales, ambientales, técnicos u otros dados por cada proyecto), sumado a que normalmente se utiliza la llamada serie anual de datos hidrológicos para determinar la magnitud de la crecida de diseño constituida por la elección de la información observada o simulada del mayor evento ocurrido cada año. El Volumen 2 del Manual de Carreteras (2020) explica con más detalle en que consiste el calculo consistente en determinar esta variable de diseño.

Un evento de una magnitud dada tiene un periodo de retorno de n años, si este evento, en promedio, es igualado o superado una vez cada n años. Es importante tener presente que la noción de período de retorno y su inverso, la probabilidad de excedencia, es un valor medio, vale decir, el suceso con periodo de retorno de n años será excedido en promedio una vez cada n años si la serie se repite un número grande de veces. Así entonces, si tomamos un ejemplo en concreto, la probabilidad de excedencia en un año cualquiera, para un evento con periodo de retorno de 10 años es 0,1 y, en consecuencia, la probabilidad que el suceso no sea excedido es 0,9. Al considerar la independencia entre lo que ocurre en un año con lo que sucede en el siguiente, se puede establecer que la probabilidad que este mismo suceso no sea excedido en una serie de 10 años es 0,9 elevado a 10, o sea, 0,35. Quiere decir entonces que la probabilidad de excedencia de un suceso de período de retorno de 10 años en el transcurso de 10 años es 0,65, lo que implica que es bastante probable que dicha magnitud sea sobrepasada una o más veces en el período.

Si se extiende lo explicado anteriormente a un número cualquiera de años, se puede establecer la probabilidad que la variable sea mayor que un cierto valor asociado a un periodo de retorno en el transcurso de una vida útil de n años, que se denomina riesgo de falla calculado por la siguiente expresión:

$$r = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (\text{ec. 3.702.2.1, MC-V3, 2020})$$

Algunos valores tabulados de aplicar esta fórmula se presentan en la tabla extraída del documento a continuación.

Tabla 7. Período de retorno y Riesgo de falla según vida útil.

Riesgo (r, %)	Vida útil (n, años)			
	10	20	25	50
50	15	29	37	73
25	35	70	87	174
10	95	190	238	475
5	195	390	488	975
1	995	1.990	2.488	4.977

Fuente: Adaptada de Tabla 3.702.2.A, MC-V3, Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

Para entender la tabla se puede mencionar, por ejemplo, que si se considera aceptable tener un riesgo de 0,05 para una obra de vida útil de 50 años, entonces la crecida de diseño para esta estructura debe estar asociada a un periodo de retorno de 975 años.

Luego, considerando esta definición, también se determina en el Manual de Carreteras, vol.3, que de acuerdo al tipo de obra se deben emplear períodos de retorno mínimos, que deben ser verificados para ciertos períodos de verificación -que siguen la misma lógica de los períodos de retorno- aceptando la posibilidad de alturas de agua superiores a las de diseño para estos periodos de verificación. Aun así, para aquellas obras de grandes dimensiones, cuya eventual falla ante eventos extraordinarios, pueda involucrar el colapso de la infraestructura de la vía, poniendo en peligro la seguridad de los usuarios y/o que puedan causar daños considerables en las zonas aledañas, el proyectista debe considerar para el diseño, al menos, los periodos de retorno de verificación. Estos parámetros mínimos a emplear se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 8. Períodos de retorno para diseño.

Tipo de Obra	Tipo de Ruta	Período de Retorno (T, años)		Vida Útil Supuesta (n, años)	Riesgo de Falla (%)	
		Diseño	Verificación		Diseño	Verificación
Puentes y Viaductos	Carreteras	200	300	50	22	15
	Caminos	100	150	50	40	28
Alcantarillas (S>1,75 m ²) o H terrap. ≥10 m y Estructuras Enterradas	Carreteras	100	150	50	40	28
	Caminos	50	100	30	45	26
Alcantarillas (S<1,75 m ²)	Carreteras	50	100	50	64	40
	Caminos	25	50	30	71	45
Drenaje de la Plataforma	Carreteras	10	25	10	65	34
	Caminos	5	10	5	67	41
Defensa de las Riberas	Carreteras	100	-	20	18	-
	Caminos	100	-	20	18	-

S= Sección útil de la alcantarilla

Fuente: Adaptada de Tabla 3.702.2.B, MC-V3, Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

4.1.1.3. Sobre Drenaje en Obras Viales

De acuerdo con el Manual de Carreteras el drenaje en una carretera busca eliminar el exceso de agua superficial sobre la franja del camino, restituir la red de drenaje natural, la cual puede verse afectada por el trazado y evitar que el agua subterránea pueda comprometer la estabilidad de la base, de los terraplenes y cortes del camino. Para cumplir esto se requiere:

- Estimar la magnitud y frecuencia de escurrimiento producido por las tormentas.
- Conocer el drenaje superficial natural del terreno y restituir aquellos drenajes interceptados por el camino.
- Determinar las características del flujo de agua subterránea.
- Estudiar el efecto que la carretera tiene sobre los canales y cursos de agua existentes, cuyo trazado deba ser modificado.

El manual considera distintos tipos de drenaje y que se clasifican según su funcionalidad.

Los drenajes transversales de la carretera se logran mediante alcantarillas, cuya función es “proporcionar un medio para que el agua superficial, que escurre por cauces naturales o artificiales de moderada importancia, en forma permanente o eventual, pueda atravesar bajo la plataforma de la carretera, sin causar daños a ésta, riesgos al tránsito, o a la propiedad adyacente. Además, debe ser capaz de resistir las cargas propias del tránsito de la carretera, el peso de la tierra sobre ella, cargas durante la construcción, y otras cargas que son parte de los requisitos del tipo estructural” (3.703., MC-V3, 2020).

Por otro lado, los drenajes de la plataforma se conforman por las cunetas, canales longitudinales y bajadas de agua, y el dimensionamiento de la red de recolección de aguas lluvias con sus distintos elementos. El objetivo de estas obras es mantener las pistas de tránsito libres de inundación para las condiciones de diseño estimadas, considerando las obras necesarias para recoger y eliminar las aguas que se acumulan en la plataforma de la carretera, las que pueden provenir de aguas lluvias que caen directamente sobre la franja de la carretera o aguas superficiales que provienen de áreas vecinas fuera de la franja, que son interceptadas y llegan al camino, como aguas superficiales que llegan a la carretera en los cruces de caminos.

Dentro de los antecedentes que se estudian para el diseño de las obras de drenaje transversal se encuentran:

- *Características topográficas del lugar.* Se estudia la topografía del lugar de emplazamiento por medio de un levantamiento taquimétrico considerando el perfil longitudinal del cauce en al menos 30 m aguas arriba y aguas abajo del punto de ubicación de la obra, con perfiles transversales cada 50 o 10 m, dependiendo de las singularidades.

- *Estudio de la Hoya Hidrográfica.* Se describe la forma exacta de la hoya hidrográfica (área de aguas superficiales) que se drenará para establecer los efectos de una potencial crecida.
- *Características del cauce.* Incluye todas las características físicas y por lo tanto, en especial las referidas a la alineación del cauce o canal, tipo de terreno, vegetación, sedimentos, entre otros.
- *Datos de crecidas.* El estudio se realiza en base a las metodologías expuestas anteriormente sobre Hidrología siempre que se cuente con los datos mínimos indispensables para ello. Si no es así, se reduce a analizar las marcas de crecidas que pudieran existir, contrastando con información que la gente local pudiera dar.
- *Otras estructuras existentes.* La presencia de otras estructuras y su comportamiento aguas arriba o aguas abajo pueden ser importantes para el diseño. No solo porque su presencia puede afectar a la obra en diseño, sino que puede servir para analizar su funcionamiento durante las crecidas y observar fenómenos de erosión, abrasión, corrosión, acumulación de sedimentos u otros efectos que debieran ser tomados en cuenta en el diseño del nuevo proyecto.

Otros aspectos que son relevantes para el diseño de estas estructuras son su ubicación, alineación y pendiente, pues estos parámetros influyen en el comportamiento hidráulico, y a su vez en la determinación del control del régimen hidráulico de escurrimiento, ya sea que presente control de entrada o control de salida. En este sentido, permite saber cuál puede ser el potencial comportamiento ante crecidas y considerar, de acuerdo con la metodología de diseño, si existe necesidad de anclar la alcantarilla, dada la generación de vórtices y remolinos que socavan y erosionan el relleno del terraplén.

En cuanto al diseño del **drenaje de la plataforma**, la frecuencia de diseño y la tolerancia a las inundaciones o desbordes dependen de la importancia del camino y de los riesgos y costos que ellos implican. Así, el manual define de manera concreta estos criterios y límites de tolerancias a las inundaciones, expresadas en la tabla 9.

Teniendo en cuenta la mayor parte de estos factores, entonces se da paso a dimensionar las obras de drenaje de la plataforma, considerando las dimensiones geométricas cuya relación de diseño está asociada a la capacidad hidráulica necesaria que fue determinada anteriormente. Dentro de las obras se encuentran las cunetas, canales longitudinales y bajadas de agua (para taludes de corte y terraplén) como medidas superficiales, y los colectores de aguas lluvias como sistemas de conducto o colector subterráneos en los casos que las obras superficiales no sean capaces de resistir el caudal de diseño estimado o la necesidad de desaguar. Estos se componen de los sumideros que pueden ubicarse en los laterales en las soleras, sumideros horizontales con rejilla o bien, sumideros mixtos.

Tabla 9. Normas para drenaje de la plataforma.

Características de la Carretera	Límites de inundación de aguas superficiales (Basados en un tiempo de concentración de 10 minutos)	Frecuencia de la lluvia de diseño según el tipo de carretera
Vías de circulación normales		
Bermas dispuestas a nivel de calzada.	Hasta el Borde más bajo de la calzada.	
Bermas transitables con solera.	Hasta 1,50 m de la calzada; pero el agua no sobrepasará la berma del lado más bajo de los peraltes.	Autopistas o previstas como tales 25 años
Mediana hundida.	Borde de la calzada.	
Mediana elevada con soleras.	Hasta un ancho de 3 m de la plataforma sin que el agua llegue a desbordar la solera de la mediana.	Autorrutas y Primarios 10 años
Rampas.	Hasta un ancho de 3 m de la plataforma sin que el agua llegue a desbordar la solera o borde de la cuneta del lado más bajo de un peralte.	Caminos 5 años
Ramales y otros empalmes de importancia similar.	Igual que a) y b) consignados más arriba.	
Puntos bajos de calzada y secciones bajo nivel de terreno.	Hasta un ancho de 1,50 m de la calzada independientemente del tipo de berma.	Autopistas: 50 años Autorrutas y Primarios: 25 años Caminos: 10 años

Fuente: Adaptada de Tabla 3.704.102.A, MC-V3, Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

4.1.1.4. Sobre Defensas Fluviales

Además de aspectos asociados a las cuencas o crecidas de cauce relacionado al aspecto de drenaje, existen otros fenómenos que se pueden dar sobre las estructuras de uso vial producto de las crecidas y que el Manual de Carreteras considera para el diseño. Estos son, en primera instancia, la mecánica e hidráulica fluvial, centrado principalmente al estudio y descripción de los procesos de transporte de sedimentos, así como los fenómenos de erosión y sedimentación de suelos a nivel de las cuencas, dando paso a la consideración en el diseño de los métodos de cálculo para la variación temporal de la forma y geometría de los cauces naturales y de la morfología de sus valles. Los métodos y criterios descritos permiten estimar:

- *Socavación local al pie de pilas*, que afecta en una zona restringida del lecho producto de la presencia de las pilas en la corriente del cauce. Considera factores de forma, esviate de pilas rectangulares, dispersión granulométrica, factor de grupo de pilas, afloramiento de la base de fundación, tamaño del sedimento.
- *Socavación en estribos de puentes y espigones*, dado principalmente por el estrechamiento del flujo en el cauce, que genera una aceleración en este al pasar por la estructura y se desacelera aguas abajo, produciéndose la socavación en el estrechamiento. Considera factores como ángulo de esviate, factor de forma, profundidad del flujo, influencia de la dispersión granulométrica de arenas no-uniformes, intensidad del flujo.
- *Socavación de otras obras hidráulicas* tales como: obras vertedoras (presas o barreras vertedoras), radiers y ductos de descarga.

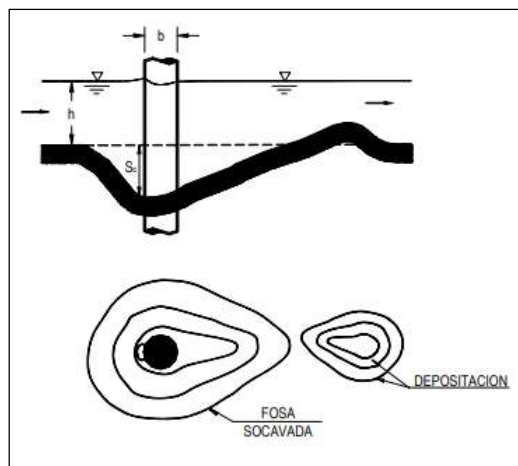


Figura 11. Esquema Socavación al pie de pila - Manual de Carreteras.
Fuente: Extraído de Figura 3.707.403.A, MC-V3, Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

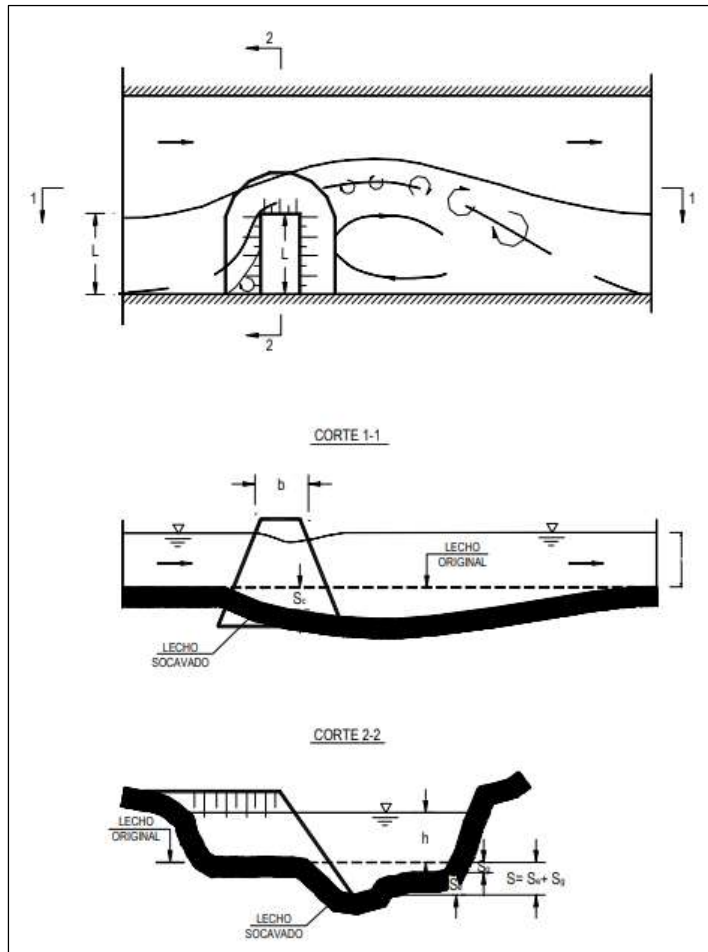


Figura 12. Esquema Socavación local en Estribo o Espigón - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Figura 3.707.403.A, MC-V3, Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

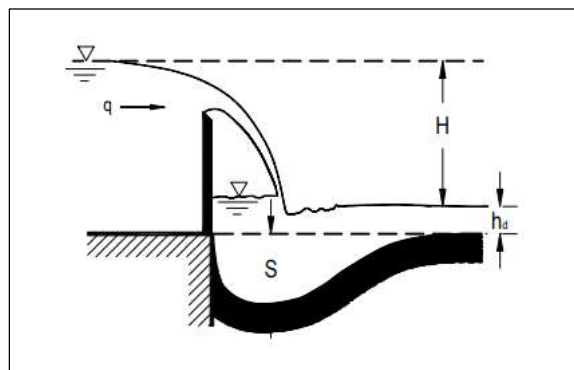


Figura 13. Esquema socavación al pie de Vertederos - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Figura 3.707.404.A, MC-V3, Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

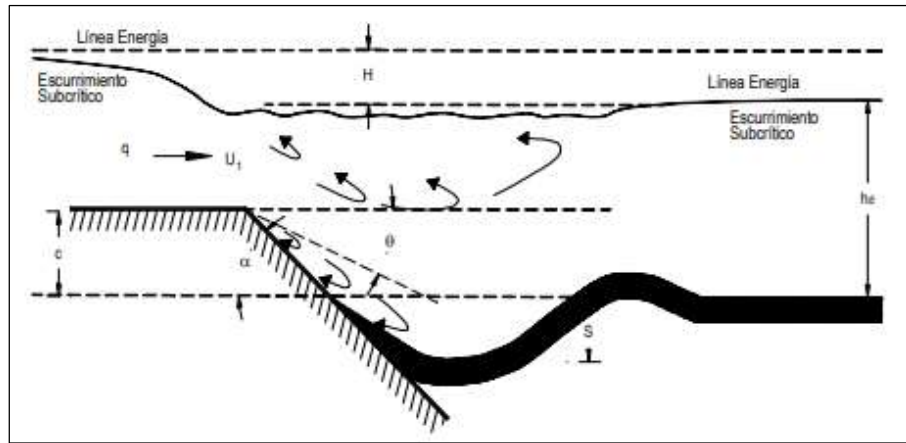


Figura 14. Esquema de socavación al pie de radier - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Figura 3.707.404.C, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

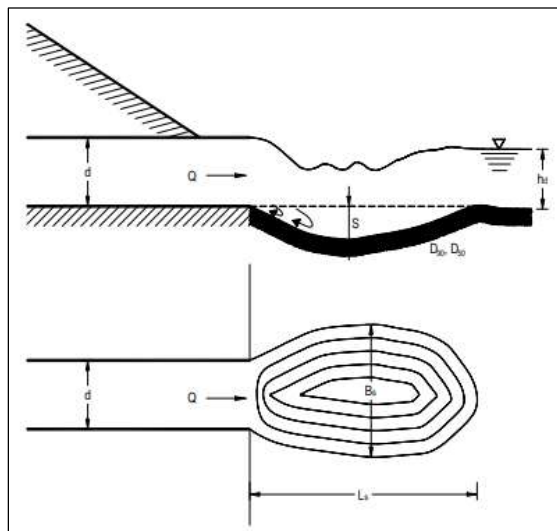


Figura 15. Esquema de socavación al pie de descargas - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Figura 3.707.404.D, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

- **Socavación generalizada del cauce.** Relevante cuando se produce por causas naturales del cauce, ya sea por angostamiento o por un mayor caudal en una crecida y que provoca una disminución generalizada del fondo del lecho. La condición más desfavorable de socavación general constituye un factor muchas veces determinante del diseño de las fundaciones de obras implantadas en el cauce o de estructuras o elementos que atraviesan bajo éste y que no pueden quedar expuestos a la acción directa de la corriente como tuberías, oleoductos, gasoductos, mineroductos o poliductos.

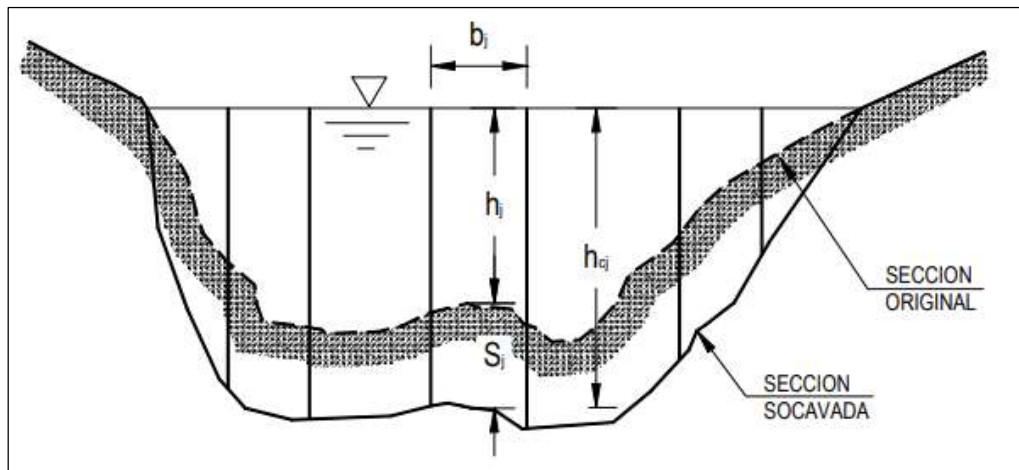


Figura 16. Esquema Socavación General - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Figura 3.707.405.A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

Al poder estimar los efectos que se podrían provocar producto de la socavación, se puede evaluar la necesidad de requerir obras de defensa fluvial, las que se definen como “toda obra destinada a dirigir o regularizar la corriente en un cauce con el fin de proteger estructuras implantadas en él, o bien defender sus riberas y planicies adyacentes donde existan asentamientos humanos, terrenos agrícolas e instalaciones industriales o de otro tipo que pudiesen ser dañadas por el agua” (3.708.1, MC-V3, 2020).

En términos específicos, las obras de defensas fluviales son aquellas destinadas a satisfacer alguno de los siguientes objetivos:

- Mantener una cierta capacidad de conducción de agua de un cauce.
- Proteger estructuras, instalaciones, terrenos agrícolas, o poblados que puedan ser afectados por el escurrimiento.
- Desviar las aguas de un cauce para diversos usos.
- Modificar la hidrología natural de la cuenca, de modo de limitar el gasto máximo para un cierto período de retorno.

Entre las obras de defensa fluvial que se plantean en el manual, se puede encontrar las siguientes:

a. Defensas Longitudinales y transversales de riberas.

Las defensas longitudinales son utilizadas tanto para prevenir inundaciones de terrenos aledaños al cauce, como para evitar la erosión y dar estabilidad a las riberas sometidas al ataque de la corriente. Encontramos defensas de enrocado, gaviones, impermeable (revestimiento de hormigón o tablaestacas). Algunos ejemplos se muestran en las siguientes figuras.

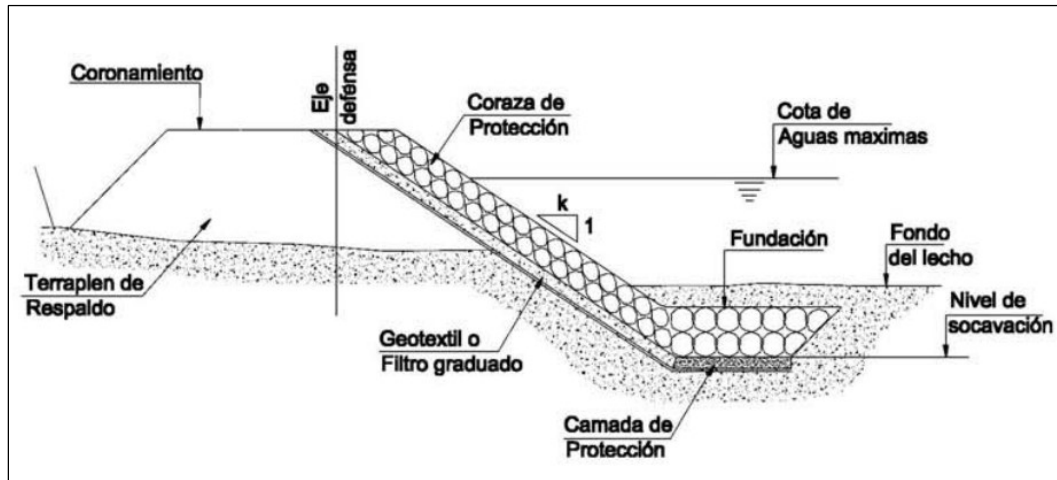


Figura 17. Defensa Longitudinal de Enrocado - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Lámina 3.708.101 (1) A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

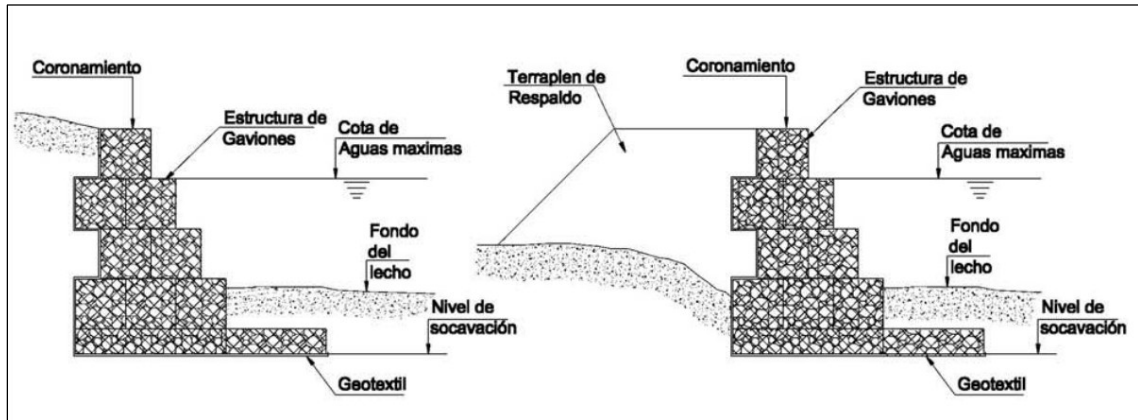


Figura 18. Defensa Longitudinal de Gaviones - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Lámina 3.708.101 (1) A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

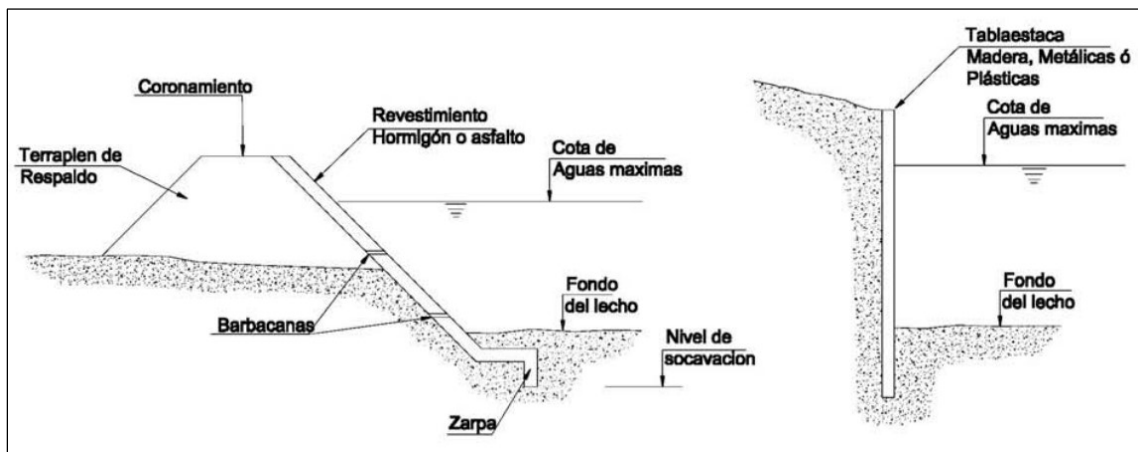


Figura 19. Defensa Longitudinal Impermeable - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Lámina 3.708.101 (1) A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

Por otro lado, las defensas transversales, también llamadas espigones, son estructuras emergentes desde las orillas hacia el interior de la corriente, cuyo objetivo es proteger de la erosión los bordes o riberas del cauce alejando el escurrimiento principal de las orillas y recuperando terrenos por sedimentación del cauce en las zonas comprendidas entre las obras.

b. Protecciones de Cepas y Estribos de Puentes.

En el caso de las cepas, el principal factor a considerar para su protección es la socavación local. Se consideran algunas de las siguientes alternativas para minimizar los efectos:

- Ubicar la base de la fundación de las cepas bajo los niveles de socavación máxima, dejando un margen de seguridad apropiado.
- Ubicar la base de las cepas bajo los niveles de socavación general, diseñando una capa de protección contra los efectos de socavación local y/o un muro guardarradier aguas debajo de las cepas.
- Apoyar las cepas sobre pilotes hincados bajo los niveles de socavación máxima, dejando margen a la posibilidad que el extremo superior de estos pilotes quede eventualmente expuesto por socavación local.
- Construir cepas como una hilera de pilotes o columnas, hincándolas a profundidades suficientes compatibles con la socavación máxima y la capacidad de soporte del terreno.

En todo caso, el manual señala que el diseño hidráulico óptimo de un puente nuevo no debería considerar protecciones ya que sus fundaciones deberían estar diseñadas para enfrentar las socavaciones.

En el caso de los estribos, se hace necesario en ocasiones construir obras de protección que minimicen los efectos erosivos y de socavación en los accesos de los puentes. Entre las obras de protección se encuentran:

- Revestimientos de cauces y taludes conformados por enrocados, gaviones, revestimientos rígidos o flexibles de hormigón, entre otros, que se usan para prevenir erosión de las orillas de los taludes o del lecho en las cercanías de los estribos de un puente.
- Muros guía que consisten en obras paralelas a la corriente, construidas para encauzar el río de manera de mejorar las condiciones de aproximación de la corriente hacia el puente.
- Espigones destinados a proteger localmente bordes o riberas.

c. Protecciones Locales de otras obras.

En esta clasificación entran una gran variedad de obras e instalaciones que por su ubicación en cauces o cercanos a ellos, requieren de algún tipo de protección. Dado esto, es que para estos casos es necesario un análisis específico de la obra y los efectos

de los cuales es susceptible de ser afectado, buscando la solución que sea la más adecuada.

d. Obras de retención de sedimentos en cauces.

Debido a la conformación geomorfológica de Chile, la mayoría de los ríos y cauces presentan una gran pendiente, que varía en menor grado a medida que se avanza hacia el mar. Esto mirado desde un punto de vista mecánico fluvial, deriva en que los ríos y los esteros presentan generalmente un régimen torrencial en zonas altas y medias, con una gran capacidad de arrastre de sedimentos, por lo que muchas veces se hace necesario controlar ese arrastre para evitar la depositación en zonas de menores pendientes, lo que puede ocasionar pérdida en la capacidad de conducción o migración lateral del cauce hacia zonas no deseadas. Existen al menos dos alternativas como solución, una de ellas consiste en retener los sedimentos con obras tipo pozas o piscinas decantadoras que se construyen directamente sobre el cauce; en general, requieren de espacio suficiente para retener gran parte de los sólidos generados en la crecida y de mantención periódica para asegurar la capacidad de retención disponible cuando ocurra el evento para el cual son diseñadas. La segunda solución, trata de la construcción de obras que permitan disminuir la pendiente del cauce, reduciendo así la capacidad de arrastre del flujo; y consisten en muros transversales que cierran total o parcialmente el cauce, escalonándolo en la dirección longitudinal, con lo que se logra reducir la pendiente media y minimizar el transporte de sedimentos para una condición de caudal de diseño preestablecida. En general, se emplea en sectores con espacios reducidos o donde la pendiente del lecho es muy alta.

4.1.1.5. Sobre Control Aluvional y protección de avalanchas de nieve

El Manual de Carreteras estipula que cuando las carreteras se diseñan en áreas donde la ocurrencia de precipitación sólida es conocida o presumida, el peligro de avalanchas debe evaluarse y, eventualmente, diseñarse protecciones. Para este caso, aplica de igual manera que para las obras hidráulicas, pues las medidas aquí detalladas pueden ser aplicadas de igual manera para medidas de control aluvional.

Se dispone información para comprender el proceso de formación de la nieve y su comportamiento como fenómeno físico, incluyendo aspectos de meteorología de montaña que explican la relación entre la circulación general de las masas de aire y la ocurrencia de precipitación, y en particular, la precipitación sólida, responsable de la formación de la cubierta de nieve, las formas de los depósitos de nieve y las formas de erosión, transporte y depositación (o redistribución) eólica, haciendo énfasis en la importancia de ésta última como la forma de depositación más significativa de nieve durante los temporales, y por lo mismo, el tipo de depositación más asociado a las avalanchas. Sumado a este entendimiento del proceso de formación, se expone información asociada a la medición de la precipitación sólida, como elemento esencial en el análisis de riesgo de avalanchas.

Posteriormente, se expone sobre los procesos asociados a la evolución del manto de nieve en el tiempo y bajo ciertas condiciones climáticas dadas por la variabilidad regional. Características que cambian según la latitud y la cota de depositación del manto, dado por parámetros como cota mínima de precipitación nival, acumulaciones máximas y densidades esperadas. Para luego, dar paso a aspectos de mediciones del manto de nieve, y estudio de la estabilidad y mecanismos de inicio de avalanchas.

De manera detallada, se aborda temas sobre la zonificación del peligro y del riesgo de avalanchas, describiendo los alcances y metodologías empleadas en la zonificación regional, local y microzonificación de áreas de peligro y riesgo de avalanchas; la recurrencia de las avalanchas, que es de particular interés pues de ella depende en gran medida la decisión respecto al tipo de protección de avalanchas; la dinámica del movimiento y sus modelos de ecuaciones que la describen, para determinar parámetros como velocidades, distancias de corrida en las zonas de depositación y espesores máximos probables de la nieve acumulada por la depositación de avalanchas, determinación de las zonas de las sendas de avalanchas; y finalmente los efectos y presiones de las avalanchas, donde se exponen metodologías de cálculo para evaluar presiones de impacto sobre una superficie, pérdidas de energía debidas a un obstáculo, efectos de empuje y levante, entre otras.

Luego de una caracterización bastante completa del fenómeno natural, se procede a describir alternativas de diseño sobre el control de avalanchas, protecciones activas y pasivas, y aspectos como señalización y rescate de víctimas, aunque esta última no tiene relación con temas de diseño de la carretera, pero sí de procedimiento de respuesta a un desastre.

En cuanto a la descripción de las alternativas de diseño sobre control y protección de avalanchas, se establecen ciertas consideraciones y elementos relevantes, los cuales son:

- Se sugiere que la mejor forma de protección es aquella que evita totalmente el peligro de avalanchas, como ubicar las estructuras fuera del alcance de las avalanchas, o bien ubicarlas de manera subterránea.
- El plan de control debe considerar una identificación de las sendas de avalanchas y de los sitios afectados; definición y construcción de estructuras de apoyo (como estaciones meteorológicas o redes de observación de nieve), en sitios libres del peligro de avalanchas, y ubicación y construcción de estructuras permanentes en sitios libres del peligro de avalanchas o en sitios protegidos de ésta.
- Los métodos de protección de avalanchas, activos y pasivos, en general se resumen en:
 - a. *No hacer nada.*
Es una alternativa posible y que a menudo se abusa de ella; sin embargo, es una alternativa peligrosa. Es justificable cuando la recurrencia de avalanchas es de un periodo superior a 10 años.
 - b. *Reubicación de tramos de la carretera.*
Un método muy relacionado a la redundancia de la red de caminos, en que es posible construir desvíos temporales alrededor del frente de la zona de depositación de la avalancha, para ser usados durante los días con peligro de avalanchas.
 - c. *Controles Activos.*
Asociados a proteger a los usuarios de las carreteras de las avalanchas, se considera un cierre temporal de estas durante las tormentas de nieve y algunos días después de la ocurrencia de ellas. También se considera una reducción del tiempo de cierre temporal induciendo artificialmente una avalancha, aplicada durante o después de la tormenta de nieve. Sin embargo, en ocasiones aumenta el tiempo de la faena de despeje de la nieve, debido a que a menudo con la inducción artificial se descarga más nieve que la que normalmente caería con una avalancha.
 - d. *Controles Pasivos.*
Considera la construcción de diversos tipos de estructuras, generalmente costosas, por lo que se justifican solamente donde es necesario mantener la carretera permanentemente abierta, o bien, reducir el tiempo de cierre temporal. Algunas de estas obras son:
 - d.1. Estructuras simples para estabilizar el manto de nieve:
 - Bancos: son terrazas excavadas en terreno natural de manera tal que se aprovecha el material excavado para ampliar terrazas más allá de la línea natural de la pendiente.
 - Paredes: Con un propósito similar a los bancos, estos buscan producir un cambio de pendiente. Se construyen preferentemente en terrenos rocosos donde no se puede excavar un banco.

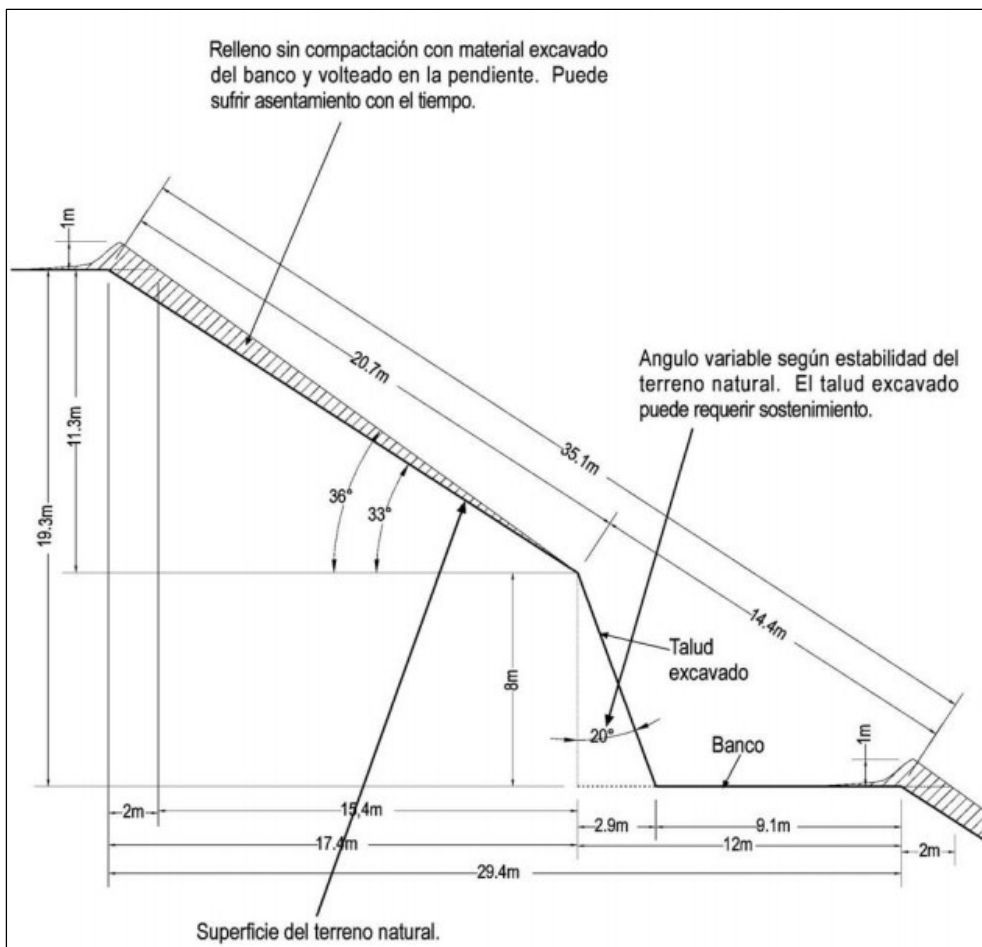


Figura 20. Bancos para estabilizar el manto de nieve - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Lámina 3.916.201.A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

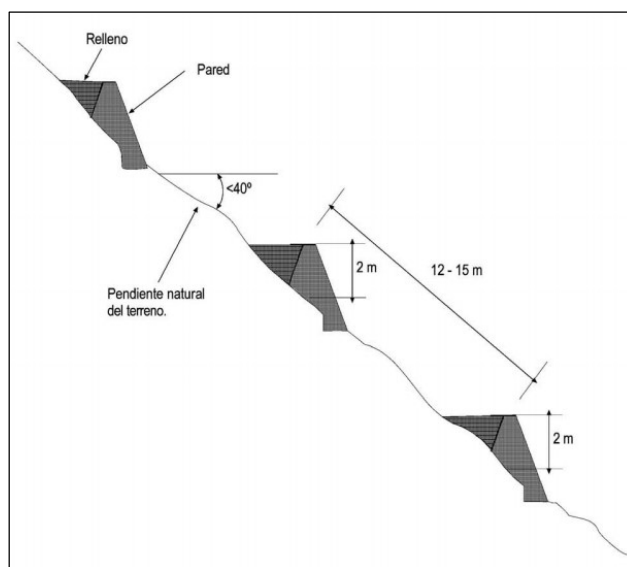


Figura 21. Paredes para estabilizar el manto de nieve - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Lámina 3.916.202.A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

- Pilotes: corresponden a postes o elementos metálicos que se clavan verticalmente en la pendiente con el objeto de anclar el manto de nieve. La altura de los pilotes sobre el terreno debe ser a lo menos igual a la máxima altura de nieve esperada para un cierto periodo de retorno (normalmente entre 30 a 100 años). Evidentemente, esto es posible solo donde el terreno de fundación sea suelo. Aspectos como la separación entre pilotes dependen de la inclinación del suelo y la profundidad del manto de nieve. Existen casos ocasionales de pilotes altos, de hasta 5 m, poco enterrados pero amarrados entre sí en sus extremos superiores por cables de acero de manera de formar líneas paralelas a la mayor pendiente y líneas transversales, donde los extremos de los cables en línea se anclan en roca; la resistencia de la estructura en estos casos se transfiere esencialmente al anclaje aguas arriba de los cables, por lo que la roca debe ser de buena calidad geotécnica y un anclaje adecuado para las presiones que provoca el manto de nieve inclinado.

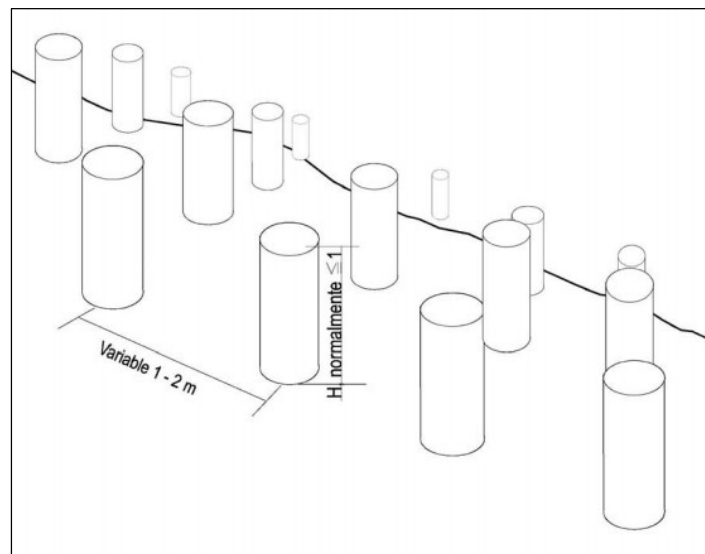


Figura 22. Pilotes para estabilizar el manto de nieve - Manual de Carreteras.
Fuente: Extraído de Lámina 3.916.203.A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

d.2. Estructuras para soportar y estabilizar el manto de nieve:

Corresponde principalmente a tres tipos básicos de estructuras: las cercas, los rastrillos y las redes. Son las estructuras más eficientes y probablemente las más empleadas, los materiales empleados son variados: madera tratada, acero, hormigón y recientemente de aluminio.

Para estas estructuras, en el diseño de las fundaciones se emplea un factor de seguridad de 2; para los soportes y vigas un factor de 1,5 para el soporte de cargas; y para los largueros, que pueden ser fácilmente reemplazados, es aceptable un factor relativamente bajo, del orden de 1,2 a 1,3. Otras consideraciones de diseño dicen relación con los esfuerzos admisibles, en ocasiones reducidos al 70%, las cargas a considerar, inclinación, etc.

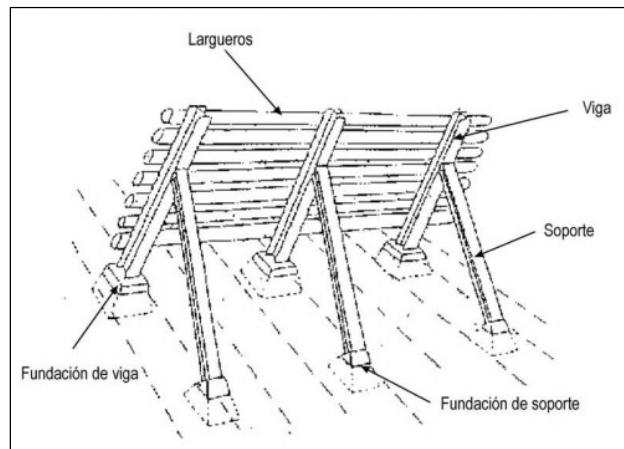


Figura 23. Esquema Cerca para soporte del manto de nieve - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Lámina 3.916.301.A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

d.4. Estructuras para desviar y/o canalizar avalanchas

Corresponden a masivos muros o cuñas de tierra, roca o concreto, colocados en zonas de tránsito o de depositación de las sendas de avalanchas, de manera desviar el flujo de áreas o estructuras que se desean proteger. Sin embargo, cuando las condiciones del terreno lo permiten, solamente con zanjas excavadas en suelos o en rocas pueden ser suficientes para desviar las avalanchas.

El diseño de estas estructuras debe considerar adecuadamente las características geotécnicas de los materiales constitutivos, aceleraciones sísmicas y efectos de eventuales presiones de agua, de manera de asegurar la estabilidad de las obras.

Hay que tener especial cuidado que no deben desviarse avalanchas de manera tal que se cree peligro en áreas donde no lo tienen y requieren protección, y menos de manera inadvertida.

Las cuñas se emplean para proteger estructuras relativamente pequeñas, como torres de líneas de alta tensión, casas pequeñas y similares. Por otro lado, los muros de tierra se emplean para proteger estructuras mayores como una población o una industria, desviando totalmente (o gran parte) de la avalancha. Su estabilidad debe ser calculada para resistir el impacto provocado por la desviación de la avalancha, y cuya presión de impacto depende de la inclinación de la superficie impactada con respecto a la dirección del flujo, transmitido a la fuerza de fricción que debe resistir la base del muro de tierra ya sea que hará frente al impacto o que respalda a la estructura de hormigón, gaviones u otro.

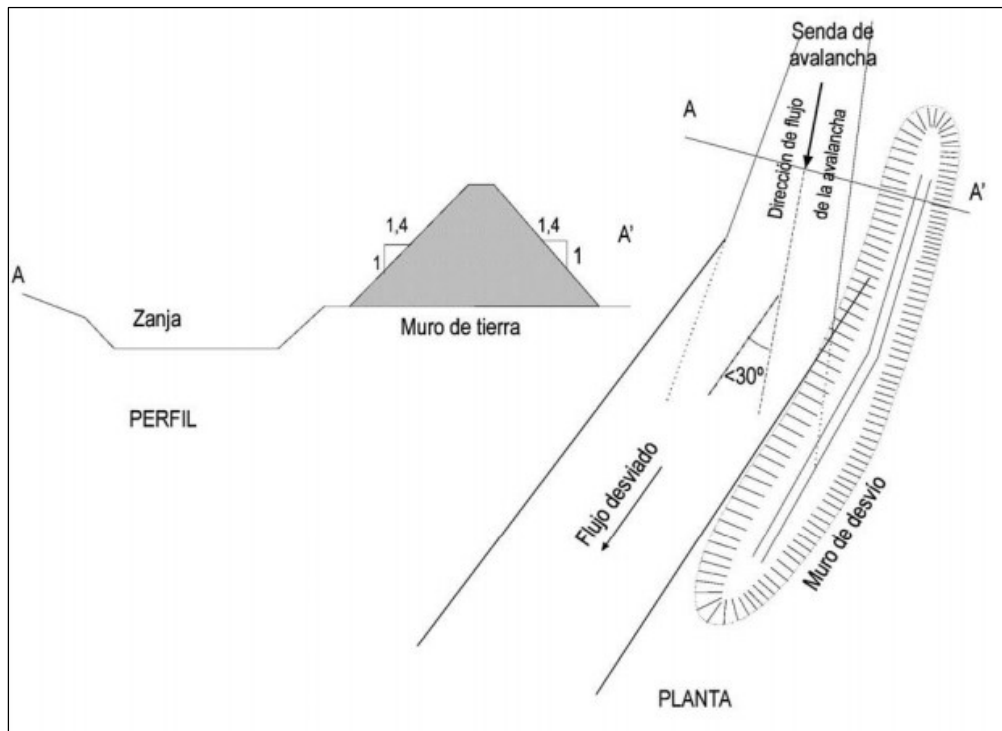


Figura 24. Muro para desvío de avalancha - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Lámina 3.916.401.A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

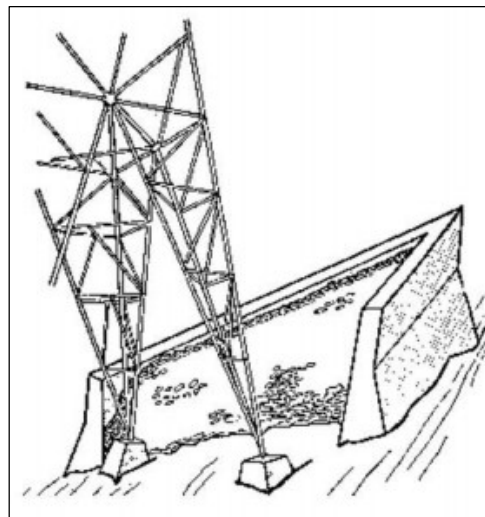


Figura 25. Cuña para desvío de avalancha - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Lámina 3.916.401.A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

d.5. Estructura para detener avalanchas

Corresponden principalmente a muros construidos de diversos materiales, pero habitualmente de tierra, la que se obtiene de un foso excavado inmediatamente aguas arriba del muro y que sirve para ampliar la capacidad de contención de la avalancha a detener y mejorar la altura del talud aguas arriba del muro. En esta se produce la depositación de la avalancha inmediatamente aguas arriba del muro, de manera que el espacio requerido debe ser suficiente como para contener todo el volumen de una avalancha, o de más de una avalancha si esto ocurre habitualmente en la senda. Se deben tener consideraciones de altura de las estructuras y esfuerzos sobre ella, considerando los posibles volúmenes de remoción y evaluación de las presiones de impacto.

d.6. Estructuras para reducir la velocidad de avalanchas

Dentro de estas estructuras se pueden encontrar montículos de tierra o de enrocado, muros de tierra de pequeña longitud y trípodos de hormigón u otros materiales, pero anclados adecuadamente al terreno y diseñados para soportar las presiones de impacto de las avalanchas.

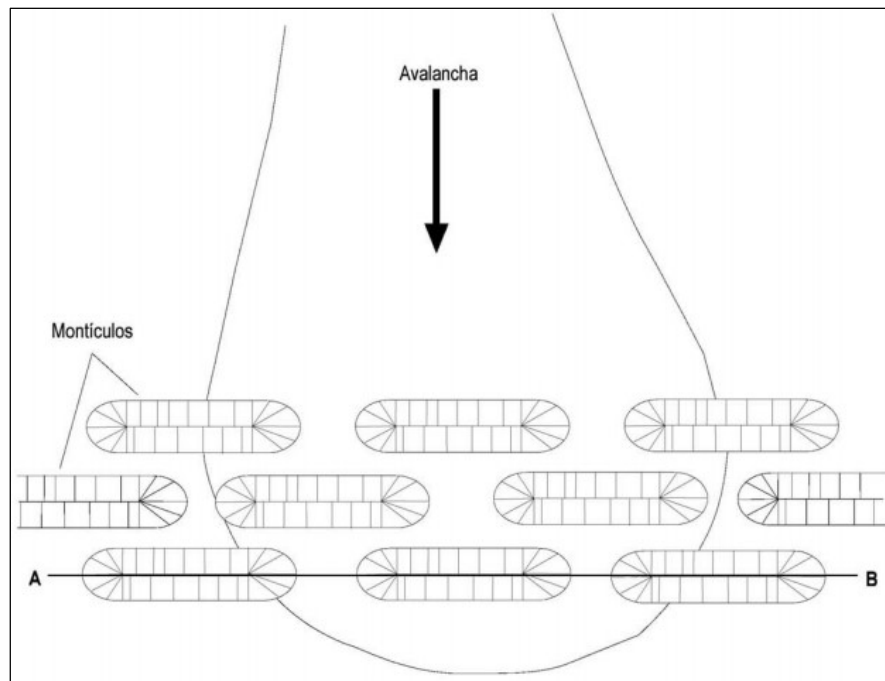


Figura 26. Muros pequeños de tierra para reducir la velocidad de las avalanchas - Manual de Carreteras.

Fuente: Extraído de Lámina 3.916.601.B, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

d.7. Cobertizos

Son estructuras que se construyen en las laderas y que permiten que las avalanchas corran por sobre la estructura, por ejemplo, una carretera. Por ello los cobertizos tienen una pared continua hacia el talud, para evitar la caída de suelos o rocas desde el talud, y solamente pilotes hacia el valle. El techo del cobertizo está constituido por las vigas (o losas) y generalmente se construye con cierta inclinación.

La apertura de esta estructura hacia el valle permite el ingreso de nieve al interior de estos productos del viento durante las tormentas. Esta acumulación de nieve al interior suele ser difícil despejar, por lo que se requiere dejar ventanas absolutamente libres donde la maquinaria pueda botar la nieve o bien, cerrar el lado del valle, al menos parcialmente, con una densidad de cierre del orden del 80% que previene la mayor parte de las grandes acumulaciones.

Estas estructuras no se instalan en las zonas de depositación de avalanchas, pues quedarían totalmente cubiertas de nieve, y en ese caso es recomendable un túnel o túnel falso. Se construyen en zona de transición, donde se espera que sobrepasen totalmente los cobertizos. En términos de diseño estructural se consideran aspectos como las cargas dinámicas y estáticas sobre los cobertizos, como presión de impacto, efecto de succión de las avalanchas que saltan sobre el borde de un cobertizo o posibles depósitos de nieve de avalanchas sobre la estructura.

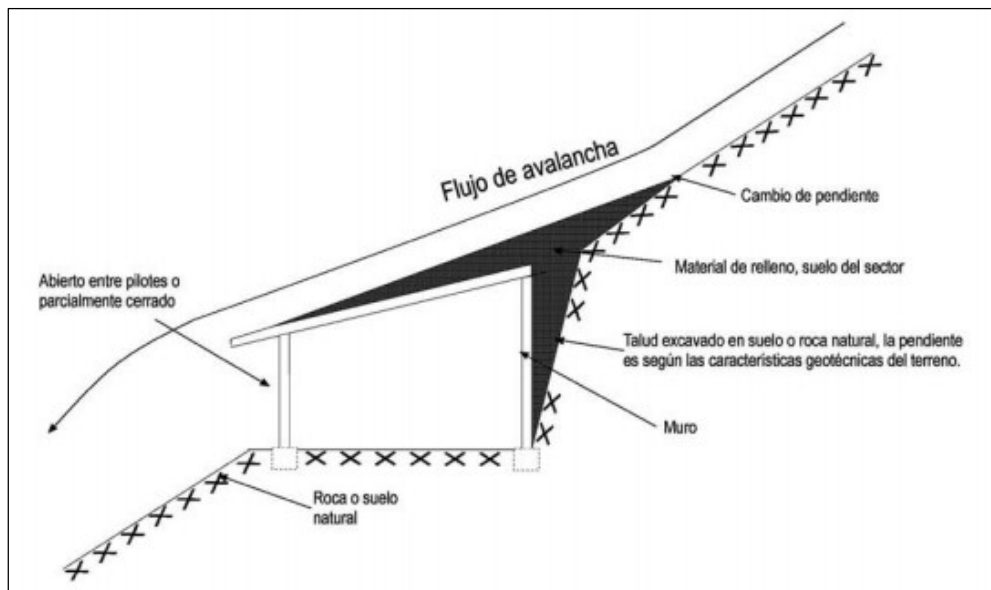


Figura 27. Cobertizo de protección de avalancha - Manual de Carreteras.
Fuente: Extraído de Lámina 3.916.701.A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

d.8. Túneles de protección y refugio

Túneles excavados en roca o en suelos, o falsos túneles, construidos como zanjas a cielo abierto que son luego techadas y cubiertas con suelo o detritos que fueron descritos en el apartado de túneles.

4.1.2. Energía

El sector estratégico de la energía es otra de las áreas de infraestructura basal que se encuentra en manos de empresas privadas que obtienen las concesiones para la entrega del servicio y que se divide en tres áreas principales: de generación, transmisión y distribución de la electricidad.

La ley principal que las regula corresponde a la Ley DFL 4 de la Ley General de Servicios Eléctricos, en que se detallan todos los aspectos legales, de reglamentos y normativos, de las concesiones y la explotación del servicio. Sumado a esto, junto a la creación del Ministerio de Energía a fines del año 2009, también nace un importante organismo público para el sector eléctrico, la Comisión Nacional de Energía (CNE). De acuerdo al decreto de Ley N°2.224, de 1978, modificada por la Ley N°20.402, de 2010, esta comisión es un organismo técnico encargado de analizar precios, tarifas y normas técnicas a las que deben ceñirse las empresas de producción, generación, transporte y distribución de energía, con el objeto de disponer de un servicio suficiente, seguro y de calidad, compatible con la operación más económica. Sus funciones son:

1. Analizar técnicamente la estructura y nivel de los precios y tarifas de bienes y servicios energéticos, en los casos y forma que establece la ley.
2. Fijar las normas técnicas y de calidad indispensables para el funcionamiento y la operación de las instalaciones energéticas, en los casos que señala la ley.
3. Monitorear y proyectar el funcionamiento actual y esperado del sector energético, y proponer al Ministerio de Energía las normas legales y reglamentarias que se requieran, en las materias de su competencia.
4. Asesorar al Gobierno, por intermedio del Ministerio de Energía, en todas aquellas materias vinculadas al sector energético para su mejor desarrollo.

En este contexto, se procede a describir aquellos requerimientos de las normativas técnicas publicadas por la CNE, y aquellas no oficiales publicadas por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles cuya única uso es para garantizar el normal desarrollo del sector eléctrico en sus facultades de fiscalizador. La mayoría de estos documentos disponibles tienen relación con normativas legales sobre requisitos de las instalaciones y temas asociados a los equipos, conexiones, calidad del servicio visto desde un punto de vista eléctrico, capacidad de las instalaciones y otros alcances que no son parte de lo que en este trabajo de investigación. Solo uno de ellos publicado por la CNE, tiene relación con algunas exigencias sobre el diseño de instalaciones de transmisión (Anexo técnico, CNE, 2020) del cual es posible rescatar algunos puntos relevantes.

➤ *Exigencias Sísmicas*

- Requisitos sísmicos para instalaciones de alta tensión.
De acuerdo a los antecedentes de verificación del diseño sísmico que se describen en el documento, considerando condiciones propias de la instalación de que se trate, incluyendo fundación, estructura de soporte y equipo de alta tensión.

El diseño de las estructuras de soporte deberá considerar que deben mantener el comportamiento sísmico propio del equipo al cual soportan, verificando que la estructura de soporte no genere amplificaciones a las solicitaciones sísmicas del equipo. Esto por medio de pruebas en mesa vibratoria junto con el equipo al cual soportan, análisis dinámicos y estáticos.

Para el análisis estático se debe verificar requisitos sobre las frecuencias naturales, vale decir, la primera frecuencia de la estructura de soporte debe ser cuatro veces mayor a la frecuencia natural del equipo soportado con un mínimo de 15 Hz; y un mínimo de 30 Hz si es que no se conoce la frecuencia natural del equipo.

Se describen además otras exigencias respecto del comportamiento sísmico de las instalaciones en subestaciones y equipos eléctricos sobre las estructuras de soporte.

- Requisitos sísmicos específicos para líneas de transmisión.
Las solicitaciones a considerar están dadas por las características propias de su funcionalidad descritas en el documento. Sin embargo, se debe considerar el caso especial de cuando se instalen equipos eléctricos sobre las estructuras de líneas de transmisión, considerando la solicitación sísmica como parte de las solicitaciones de diseño de dichas estructuras.
- Esfuerzos simultáneos con el sismo y holguras de conexiones.
La verificación sísmica de las instalaciones de alta tensión se deben considerar solicitaciones simultáneas con el sismo, tales como fuerzas en terminales, fuerzas generadas por corrientes de cortocircuito, fuerzas operacionales, peso propio, presión interna, entre otras. Así como también la fuerza del viento considerada en la verificación sísmica de equipos instalados en altura y en equipos que presenten gran superficie al viento.

➤ *Exigencias de Diseño Civil*

- El diseño de la estructura y fundaciones deberán resistir las solicitaciones mecánicas, térmicas, operacionales, meteorológicas, ambientales y eléctricas.
- Las estructuras pueden ser reticuladas de acero, monopostes de acero, postes de hormigón, autosoportadas, atirantadas y, en general, de cualquier material y configuración que sean los adecuados para el propósito funcional requerido.
- En el caso particular de diseño de estructuras de líneas de transmisión atirantadas, se deberá señalar cuál es su condición de estabilidad y resistencia con 1 tirante cortado; lo que debe concordar con los trabajos estructurales a realizar para el reemplazo de tirantes.
- Los materiales de las estructuras deben ser adecuados para las condiciones meteorológicas y ambientales del lugar de emplazamiento, el propósito funcional y para soportar adecuadamente los esfuerzos a los que serán sometidos. Sumado a esto, se mencionan normas que deben cumplir en específico.
- Las solicitaciones que se deben considerar en particular ciertas estructuras, en particular, las de viento máximo, hielo máximo, viento con hielo, desequilibrio por hielo y torsión por hielo para estructuras altas de subestación o estructuras de línea; las propias del equipo que se soporta, incluyendo la solicitación sísmica y la influencia de las masas de fundación y del suelo sobre ella, para estructuras bajas de subestación.

- Las instalaciones de transmisión deben considerar fundaciones adecuadas para el tipo de terreno en que se emplacen. Considerando solicitaciones y combinaciones de compresión, tracción, corte, volcamiento uniaxial y biaxial que actúan sobre ellas.
 - De la Mecánica de Suelos debe realizarse un estudio que permite determinar; los riesgos geológicos del lugar, como derrumbes, deslizamientos de laderas, fallas geológicas, avalanchas, rodados, avenidas de agua, entre otras, y la recomendación de obras de mitigación y/o precautorias; la clasificación sísmica del suelo según NCh 2369 para salas, casas u otras edificaciones de subestaciones; determinación de las características geotécnicas; ubicación de napa freática, entre otros.
- *Exigencias Generales para la construcción de Subestaciones*
- Las subestaciones deben ser construidas sobre una plataforma o terreno que considere los efectos de escurrimiento de agua y los elementos para la evacuación.
- *Líneas de Transmisión aéreas*
- Para el diseño de una línea de transmisión aérea, y con el objeto preservar la integridad de ésta, se deberán considerar, al menos, las condiciones climáticas de la zona donde se emplazará la instalación, en cuanto a temperatura, viento máximo, viento con hielo, nivel cerámico, hielo máximo, condiciones geográficas y meteorológicas.
 - La definición del trazado de la línea debe considerar al menos los aspectos mencionados en las exigencias del diseño civil, en los estudios de mecánica de suelos.

4.1.3. Telecomunicaciones

Prácticamente toda la infraestructura de telecomunicaciones se encuentra a cargo de empresas privadas de servicio de telecomunicación que disponen de las concesiones para el desarrollo del rubro y que se encuentran reguladas por medio de la Ley N° 18.168 – Ley General de Telecomunicaciones (1982).

De igual manera como ocurre con las dos secciones anteriores, la información disponible sobre los criterios utilizados para el desarrollo y diseño de la infraestructura necesaria para entregar los servicios es prácticamente nula. Por lo que a continuación se presentan aspectos generales en que se pueden evaluar algunas consideraciones de la resiliencia de algunas tipologías de infraestructuras de telecomunicación.

4.1.3.1. Sobre las Torres de telecomunicación

A modo general, las telecomunicaciones se pueden dar por medios alámbricos o inalámbricos. Existen múltiples formas de establecer las comunicaciones, y en especial la de banda ancha móvil requiere de infraestructura como las torres de soporte de telecomunicación, las cuales sirven para la instalación de las antenas y sistemas radiantes de transmisión de telecomunicaciones. En este contexto, la instalación de estas torres de soporte se encuentra regulada por medio de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, que establece criterios para su distribución en áreas urbanas, y evitar territorios saturados de estas estructuras, de manera que la regulación obliga a las empresas a compartir estas estructuras siempre que su capacidad estructural declarada lo permita.

De esta manera, el artículo 116 bis (F) de la LGUC (Decreto 458, 1976) declara que toda torre de soporte de más de doce metros de altura instalada por concesionarios requiere permiso de instalación de la Dirección de Obras Municipales respectiva, en que se deben incluir, entre otros antecedentes, el proyecto de cálculo estructural de la torre, incluyendo sus fundaciones, respectiva memoria de cálculo y planos de estructura, que señale su capacidad de soporte de antenas y sistemas radiantes de transmisión de telecomunicaciones, elaborado por un profesional competente. Y de acuerdo con lo que se mencionada anteriormente, el proyecto debe acreditar que la capacidad de soporte estructural permite la colocación de antenas y sistemas radiantes de a lo menos, otro concesionario en las mismas condiciones si la infraestructura es menor de 30 metros, o de tres cuando se trate de estructuras de más de 30 metros.

4.1.3.2. Sobre las Telecomunicaciones en general

Por otro lado, desde un punto de vista de requisitos de operación, la ley general de telecomunicaciones establece que el Ministerio (*de Transporte y Telecomunicaciones*), por medio de la Subsecretaría de Telecomunicaciones (SUBTEL), debe desarrollar un plan de resguardo de la infraestructura crítica de telecomunicaciones del país, con el objeto de asegurar la continuidad de las comunicaciones en situaciones de emergencia resultante de

fenómenos de la naturaleza, fallas eléctricas generalizadas u otras situaciones de catástrofe. En que aquella infraestructura crítica la compone las redes y sistemas de telecomunicaciones cuya interrupción, destrucción, corte o fallo generaría serio impacto en la seguridad de la población afectada, siendo la SUBTEL el organismo responsable de declararlas como tal mediante resolución fundada y de acuerdo al procedimiento establecido en el reglamento, así como también se establecer las medidas de resguardo que deberían adoptar los concesionarios.

4.1.3.3. Sobre el Acceso a Internet

Un estudio realizado como consultoría especializada de NIC Labs (2018) para levantar información sobre la resiliencia de la infraestructura de la internet en Chile, deja entrever aspectos relevantes de este tipo de servicio y del que se pueden extraer varios puntos interesantes.

Declara que el desarrollo de la infraestructura de internet es una red resiliente por diseño, dada la existencia de caminos alternativos disponibles que permiten estar preparados para corregir fallas parciales y para continuar en operación; y que en la mayoría de los países esto ocurre de manera natural al aumentar las coberturas de los servicios para cubrir sus territorios; sin embargo en Chile, producto de su particular geografía, no siempre se cuenta con trazados alternativos. Un ejemplo concreto son las carreteras principales de conexión vial, que están estructuradas como una sola autopista central que conecta las principales ciudades, la Ruta 5, y que de ella emanan una serie de caminos secundarios y terciarios que conectan el resto de las ciudades y pueblos. De la misma manera, la infraestructura de internet se distribuye por el territorio nacional con una columna central de fibra óptica paralela a la Ruta 5, y que en ocasiones hace uso de la infraestructura vial, como los puentes, para cruzar los obstáculos naturales; que luego se ramifica hacia las ciudades y pueblos del interior.

Otro aspecto del desarrollo de las redes es la manera en que se distribuye por el territorio, en el sentido que los proyectos de cobertura se centran en las grandes ciudades con infraestructura de calidad para las comunicaciones, pero de menor grado para el resto de las ciudades o localidades periféricas o alejadas. Esto tiene relación con los tipos de comunicación que se utilizan en las troncales de internet, que son los enlaces que interconectan torres de transmisión y equipos de interconexión, en que existen alternativas inalámbricas como la transmisión por microondas terrestres o satelitales, y alámbricas como la fibra óptica o la conexión ADSL, que hace uso de la misma red de telefonía fija. De estas alternativas, se presenta como conexión de buena calidad aquellas realizadas por medio de fibra óptica, dado que permite obtener altas velocidades y baja susceptibilidad de interferencia externa, a diferencia de las otras alternativas.

4.2. Infraestructura de Apoyo Logístico

4.2.1. Vialidad Interurbana

El desarrollo y diseño de la infraestructura vial interurbana está principalmente a cargo del Ministerio de Obras Públicas por medio de la Dirección de Vialidad quien, por medio de procesos de licitación o concesión a empresas, ejecuta los proyectos de inversión para el diseño, construcción, remodelación y/u operación de las obras viales a lo largo de Chile. Para mantener un estándar de diseño de las obras y unificar aspectos técnicos asociados a los criterios, procedimientos, especificaciones y metodologías que implica un proyecto vial es que se dispone de un Manual de Carreteras (MC), en relación con las diversas fases que conforman el ciclo de vida de un proyecto de camino o carretera, constituyendo 9 volúmenes en total.

Para efectos de este trabajo investigativo, el estudio se centra en las disposiciones del Volumen 3 del MC, sobre Instrucciones y Criterios de Diseño, abarcando varios tipos de infraestructura que se desarrollan en vialidad, entre las que se incluyen el diseño de infraestructura de la obra vial (taludes de terraplén y corte, elementos de contención), superestructura de la obra vial (plataforma y pavimentos), túneles, protección contra avalanchas de nieve y puentes.

Un punto importante a considerar, antes de describir aspectos relacionados al diseño resiliente, es que los contenidos del MC en relación a aspectos técnicos y metodologías de diseño en general, están basadas en las normas AASHTO, pero que han sido complementadas con modelaciones y extrapolación de resultados para la realidad del país, sumado a consideración de prácticas frecuentes que se han aplicado en Chile, aprobadas por la Dirección de Vialidad y que han tenido éxito en su aplicación.

4.2.1.1. Sobre la Infraestructura de Obras viales, carreteras y caminos

De acuerdo con la clasificación dada por el MC, el alcance de las obras viales corresponde a caminos y carreteras, cuyas definiciones generales son las siguientes:

- El término “Carretera” alude a las Autopistas, Autorrutas y Primarias, cuyas vías poseen características de diseño altas, adecuadas para acomodar importantes volúmenes de tránsito de paso circulando a velocidades elevadas.
- El término “Caminos” alude a Colectores, Locales y de Desarrollo, cuyas vías poseen características geométricas medias a mínimas, adecuadas para acomodar volúmenes moderados y bajos de tránsito donde la velocidad es una consideración secundaria.

En el diseño general de las obras viales, se deben considerar factores que controlaran el diseño estructural en diversos aspectos. Entre estos encontramos: factores funcionales, relacionado al servicio para el cual la carretera o camino debe ser diseñada; factores físicos, sobre las condiciones impuestas por la naturaleza que pueden ser de relieve, hidrografía, geología y clima de la zona; factores de costos y factores humanos y ambientales. Aunque el manual no determina los criterios y la ponderación de cada uno

de estos factores, en la práctica, afirma que se rigen en general, por aspectos relacionados a un equilibrio óptimo entre seguridad deseable, calidad del servicio y rentabilidad social del proyecto.

El diseño de la infraestructura vial, parte con el trazado y el diseño geométrico de la vía como base para el resto del proceso de diseño, que depende de factores como la velocidad de diseño, aspectos de visibilidad, movimientos de tierra, alineamientos rectos y curvas, inclinación y pendientes, entre otros. Una vez definido esto, el primer aspecto relevante a considerar en temas de resiliencia frente a amenazas de origen natural corresponde al diseño de la sección transversal, más específicamente, al diseño de los taludes de terraplén y de corte que es parte de la infraestructura del camino.

Los taludes en general (terraplén o de corte) están expuestos a diversos agentes erosivos naturales, de los cuales el más activo y frecuente es el agua. Para esto existen algunos elementos a considerar en el diseño destinados a controlar y encauzar el flujo de las aguas para evitar daños:

- Las Soleras: son elementos de dimensión vertical. En zonas urbanas o suburbanas tienen funcionalidades como embellecimiento, demarcación de la vía y canalización de los vehículos; pero que en zonas rurales, su funcionalidad se reduce básicamente a evitar la caída del agua por los taludes.
- Fosos: canales laterales que discurren sensiblemente paralelos al pie de los terraplenes y que los preservan de las aguas que escurren superficialmente hacia ellos, desde la carretera o desde el terreno adyacente.
- Contrafosos: canales que se disponen por sobre la cota de coronamiento del corte, con el fin de evitar la llegada de agua a los taludes de corte de una carretera, provenientes de superficies adyacentes que vierten hacia ella.

Todos los dimensionamientos de estos elementos se realizan basado en los mismos resultados obtenidos de las estimaciones hidrológicas realizadas para las obras hidráulicas de infraestructura vial presentadas en la sección 4.1.1.1 sobre Recursos Hídricos.

Otro aspecto relevante a considerar en las infraestructuras de taludes, están relacionado a la estabilidad de estos. Por un lado, para la **estabilidad de los taludes de corte** se consideran ciertas tipologías de deslizamiento que se deben tener en cuenta para establecer las medidas de protección necesarias. Estas son:

- Desprendimientos:
En estos casos, tanto los desprendimientos de roca como de suelo, la masa se mueve rápidamente a través del aire en caída libre. En el manual se afirma que la mecánica de rocas actualmente no es lo suficientemente desarrollada en cuanto a teorías cuantitativas, para permitir aplicaciones prácticas en el diseño, por lo que esta deficiencia es suplida en general por la experiencia del especialista. Dada esta dificultad de prever la existencia de planos o superficies débiles, se hace necesario colocar mallas u otro tipo de protección cuando se ha expuesto la superficie de corte.
- Deslizamientos:

En el caso de los deslizamientos, el movimiento de masa es el resultado de una falla por corte que se produce a lo largo de una o varias superficies, usualmente dada en suelos que presentan material con comportamiento elástico o semielástico. Se caracterizan distintos tipos de deslizamientos: aquellos que la masa móvil no sufre grandes deformaciones, y por otro lado, aquellos en que la masa móvil se deforma en varias unidades menores, también llamado falla traslacional. Otra clasificación relevante, depende de la amplitud de la falla; una falla de frente amplio o falla concoidal. Estos se presentan en la siguiente figura. Para este caso si se han desarrollado teorías cuantitativas que permiten establecer la estabilidad del talud por diseño y por lo tanto se presentan metodologías de cálculo para estimar la resistencia requerida en base a parámetros de suelo, lo que sugiere una buena caracterización de éste.

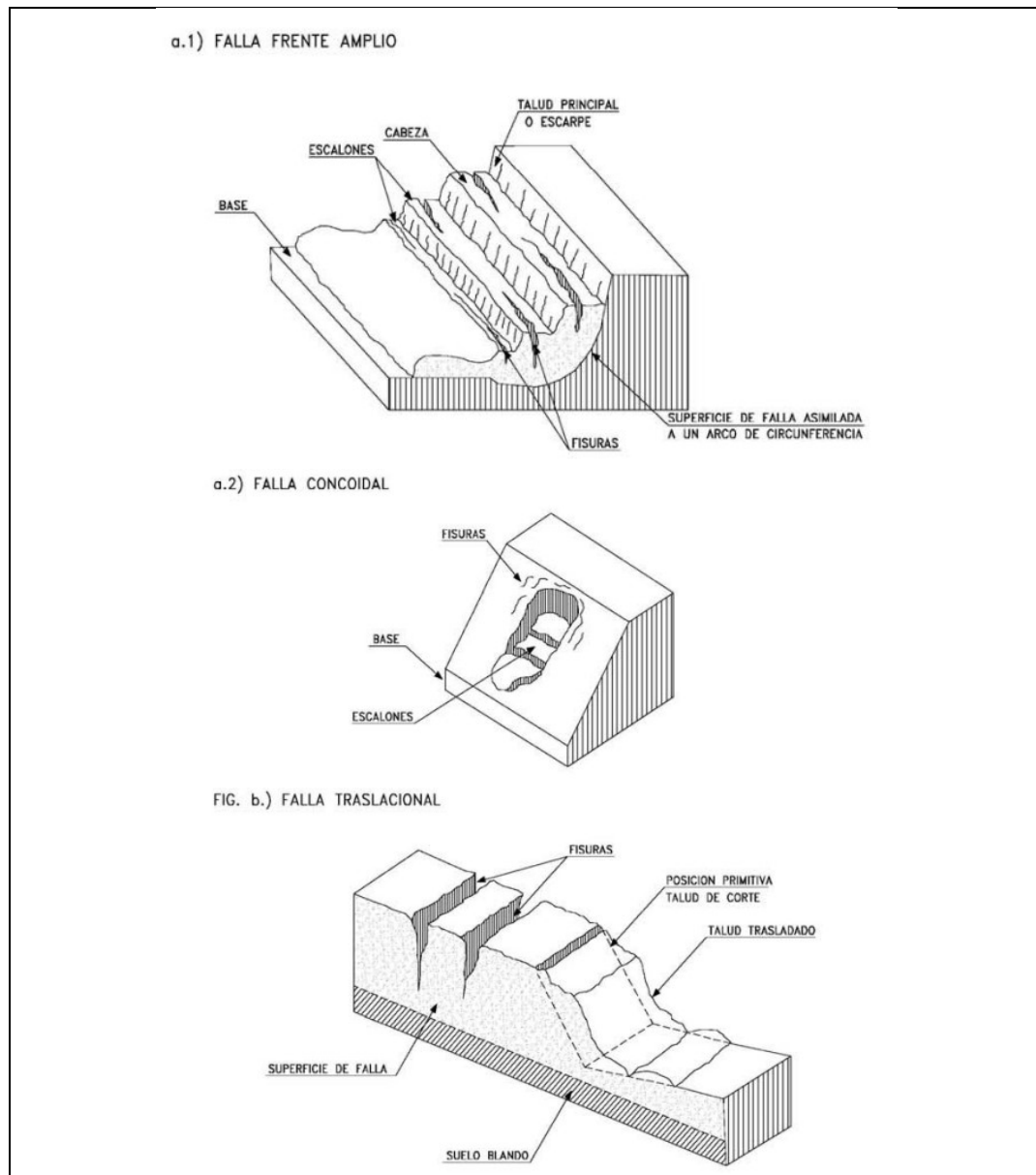


Figura 28. Fallas de Talud en Corte en suelo - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Lámina 3.602.302.A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

➤ Flujos (seco y húmedo)

Este fenómeno se caracteriza por la masa en movimiento del suelo que tiene la apariencia de un líquido viscoso, y el flujo puede ser seco o húmedo.

El flujo seco es común en arenas uniformes y limos de textura uniforme, y también se presenta en roca fragmentada. Si bien no es difícil de reconocer, si resulta prácticamente imposible de predecir en forma anticipada. Una posible solución que se describe plantea que es suficiente una capa cohesiva relativamente delgada para estabilizar el talud o aplicar hormigón proyectado.

El flujo húmedo ocurre en suelos del tipo arenas finas y limos normalmente, y se presenta por el exceso de agua que hace perder su estabilidad interna. Comúnmente se debe a lluvias de gran intensidad y/o duración, o derrames concentrados de agua y presente en sectores donde la capa vegetal ha sido removida del suelo. La solución planteada como medida de protección incluye estabilizar el talud con capa de suelo vegetal, productos asfálticos o materiales de cemento. Además, es importante sellar las posibles grietas y evitar el derrame de agua sobre el talud considerando la construcción de contrafosos. La colocación de un muro al pie del talud puede evitar que la corriente de agua lo erosione y active el flujo.

➤ Erosión en taludes

Presente principalmente en suelos finos, predominantemente limosos y arenosos, en que el agua juega un papel relevante. Cuando los taludes son erosionados normalmente se activan flujos y deslizamientos locales. Las soluciones pasan por proteger el talud y diseñar cunetas revestidas u otro elemento de protección del pie del talud, así como la construcción de un muro al pie evita la erosión cuando eventualmente la cuneta sea obstruida y se active un flujo o deslizamiento del talud.

Ejemplos de elementos de protección de los taludes en cortes ante estos fenómenos descritos se presentan en las siguientes figuras, en que se puede ver en la primera imagen, la protección del talud con malla de alambre, pero que también puede ser con hormigón proyectado o con capa de barro vegetal y malla; para la segunda imagen, se muestra una solución para un talud de gran altura, de manera escalonada tratados con imprimación u otro tipo de recubrimiento, con presencia de cunetas de hormigón en los bancos y adecuada bajadas de agua, requisitos necesarios pues la construcción de este tipo en zonas lluviosas es más bien perjudicial que beneficioso.

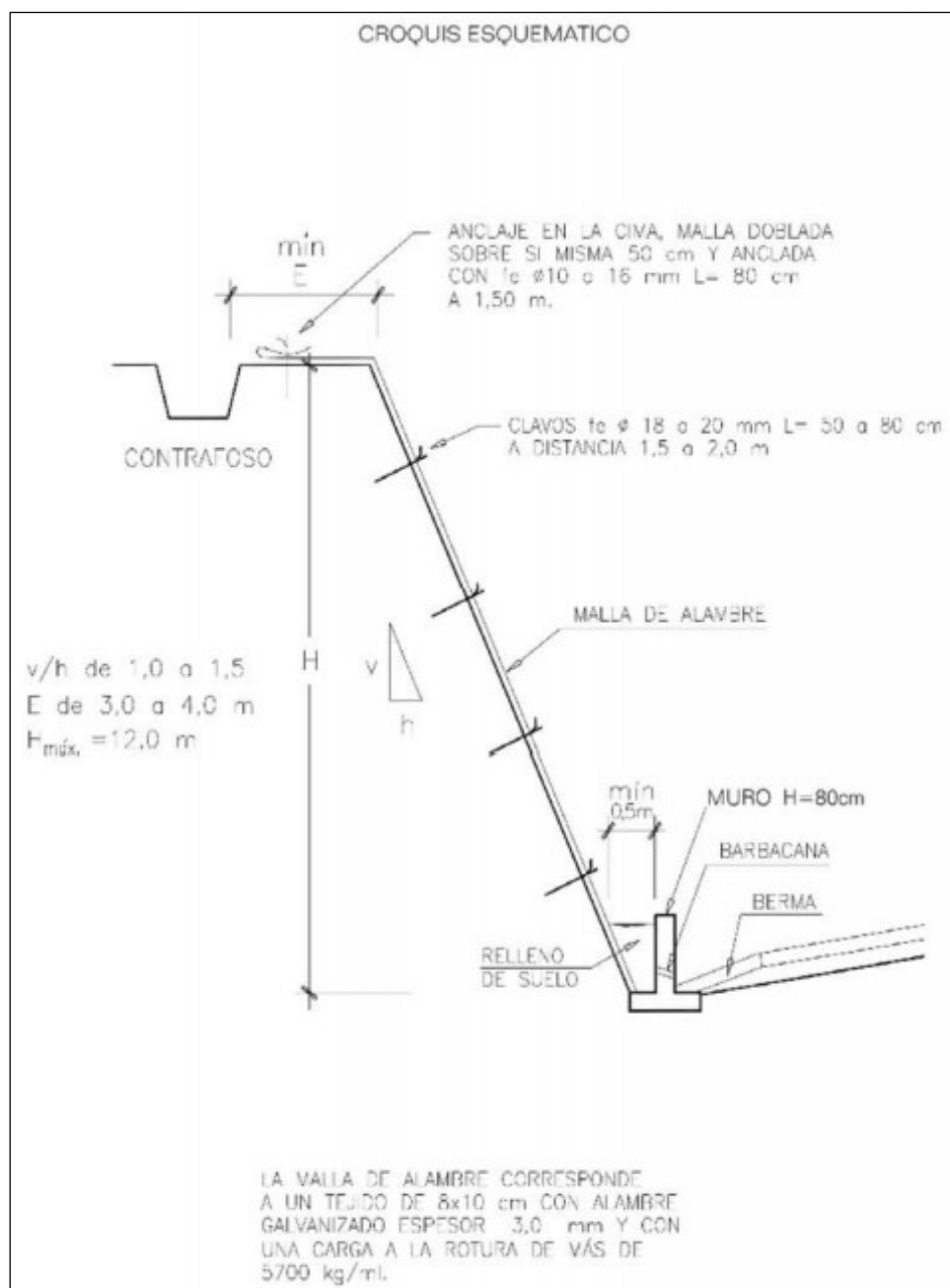


Figura 29. Protección de talud con malla de alambre - Manual de Carreteras.
Fuente: Extraído de Lámina 3.602.305.A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

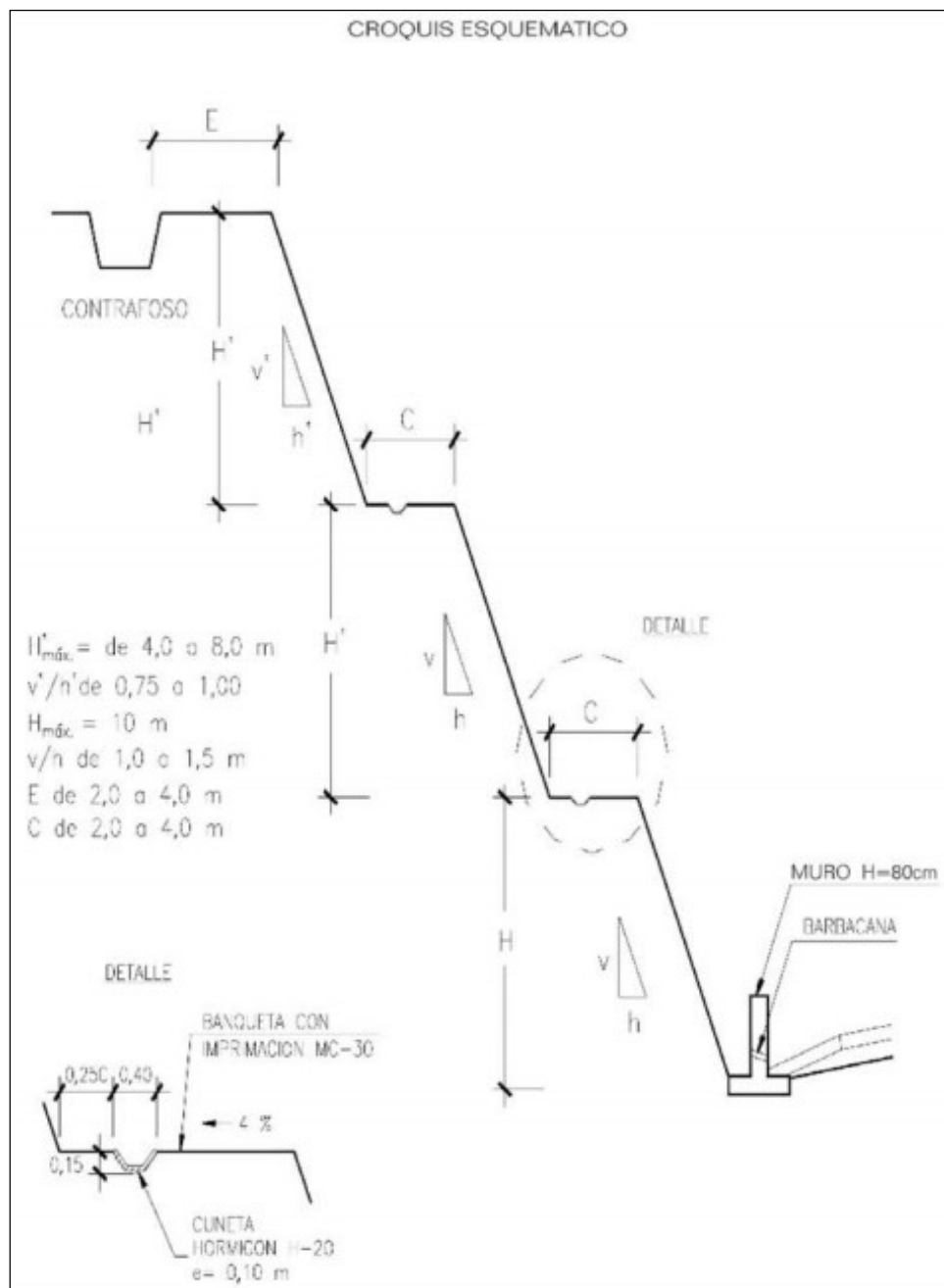


Figura 30. Taludes en corte altos con escalonamiento - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Lámina 3.602.305.E, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

La **estabilidad en terraplenes** es otro aspecto importante y que considera ciertos aspectos para la resiliencia de la infraestructura vial frente a las amenazas de origen natural que en este trabajo de investigación se consideran. Los principales problemas a los que se ve afectado un terraplén en términos de estabilidad corresponden a:

➤ *Erosión y deslizamientos locales*

La causa principal de este fenómeno, al igual que en los taludes en corte, es la acción del agua superficial, que se infiltra en el material de relleno y produce efectos como:

- Disminución de la resistencia del suelo por efecto del agua
- Aumento de peso de la masa de suelo
- Generación de presión hidrostática y fuerzas de flujo
- Debilitamiento de la superficie resistente al corte por socavación

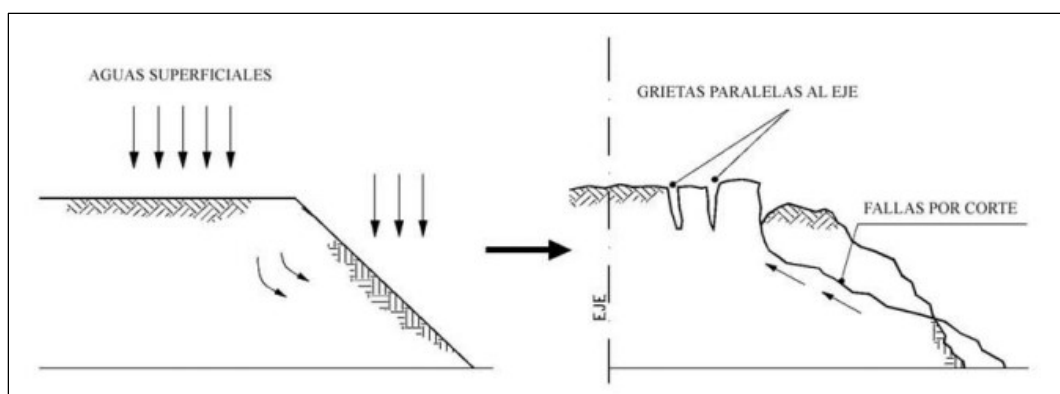


Figura 31. Falla de terraplén por erosión y deslizamientos locales - Manual de Carreteras.

Fuente: Extraído de Lámina 3.602.305.E, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

La solución para este efecto pasa por la protección del talud y bermas con materiales relativamente impermeables y cohesivos (suelos vegetales), y teniendo la precaución en considerar una adecuada canalización de las aguas superficiales con la construcción de cunetas revestidas, soleras y bajada de aguas debidamente impermeabilizadas.

➤ *Corrimiento en Laderas*

La construcción de terraplenes sobre planos inclinados es un problema asociado a que durante la construcción del terraplén se produce un debilitamiento en el plano de contacto entre el suelo natural y el terraplén, agravado por la acción del agua, pues se bloquea el drenaje natural del cerro. Dentro de las soluciones para este problema se presentan: para laderas con pendientes mayores al 20%, así como para ensanches de terraplenes existentes, se debe realizar un escalonamiento previo en la base sobre la que se apoyará el terraplén, tal como lo muestra la figura a continuación. Un caso alternativo, para el ensanche del terraplén en una ladera inclinada o cuando exista limitaciones del ancho basal, se plantea la construcción de muros de geotextiles y de tipo jaula (gaviones).

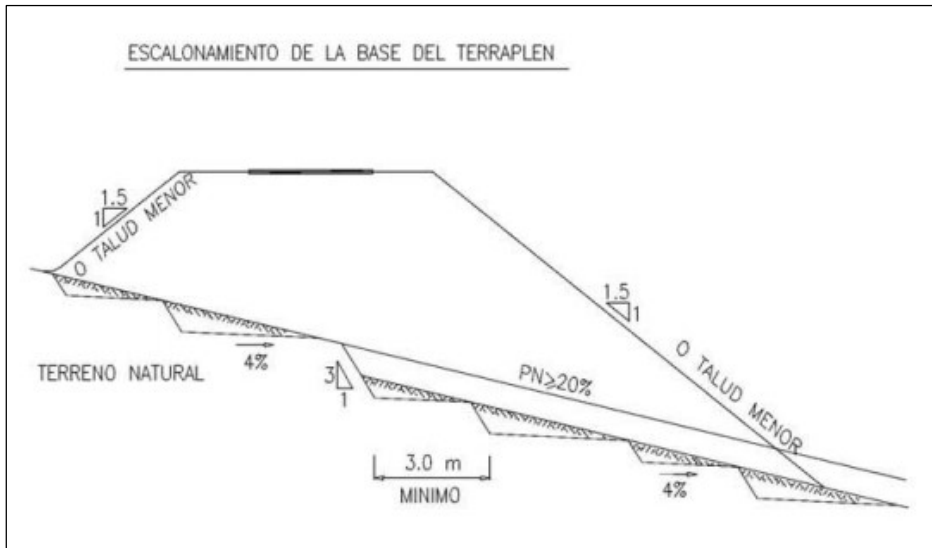


Figura 32. Escalonamiento del terraplén en Ladera - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Lámina 3.602.402.A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

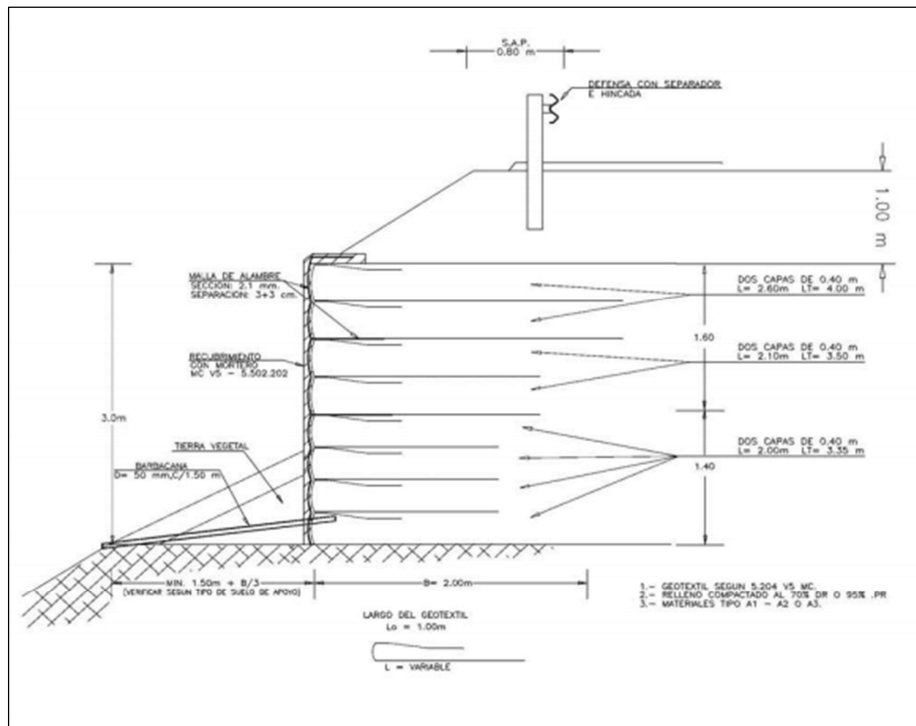


Figura 33. Muro con geotextil - Manual de Carreteras.
 Fuente: Extraído de Lámina 3.602.402.B, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

➤ *Densificación de los rellenos*

No se considera relevante este fenómeno para este trabajo de investigación pues los efectos que puede provocar no representan una amenaza de consideración. Se relaciona la compactación de la masa de suelo, aún después que el proceso mecánico de compactación termina en la construcción, lo que se traduce en una deformación superficial de la rasante del camino que pueden ser asentamientos diferenciales o agrietamientos. En el caso de las densificaciones en forma gradual (no diferencial), la deformación no induce problemas en la capa de rodadura, y en el caso de asentamientos diferenciales se plante tenerlos presentes y programar mantenimientos en caso de que sea necesario.

➤ *Asentamiento por consolidación*

Es otro fenómeno que no se considera relevante, pues trata sobre el aumento de las presiones efectivas por la colocación del terraplén en las capas de rodaduras subyacentes del suelo, que, si es de carácter compresible, genera una disminución de volumen con expulsión de agua de los poros producto de la sobrepresión. En general, es un fenómeno que es posible cuantificar.

➤ *Flujo plástico y/o falla por corte*

Este fenómeno si es de importancia pues puede generar una remoción en masa del terraplén y por ende afectar la superestructura conformada por el camino. Es característico de suelos blandos o de baja consistencia y se presenta como una deformación continua, derivada de un esfuerzo de corte constante. Esta forma de falla ocurre por una concentración de esfuerzos en un punto del suelo de fundación de un terraplén que alcanza el valor del esfuerzo máximo de resistencia de corte del suelo. Se manifiesta como hundimiento del terraplén acompañado de solevantamiento del terreno adyacente. Es necesario realizar el cálculo de estabilidad de manera precisa para establecer las dimensiones del terraplén, tal que no se genere este fenómeno.

➤ *Asentamiento dinámico y licuefacción*

Este fenómeno es muy característico ante la ocurrencia de sismos en suelos que poseen baja cohesión y densidad menor que la máxima, aunque también se puede ocasionar al ser sometidos a sollicitaciones dinámicas como vibraciones, impactos u otros. Lo que sucede, es que el suelo tiende a densificarse disminuyendo su volumen. Si estos suelos además se encuentran saturados, tienen baja permeabilidad o condiciones de borde que restringen su drenaje, la tendencia a la densificación se traduce en un incremento de presión de poros, la que puede crecer hasta un valor cercano a la presión de confinamiento, llegando a anular a la presión efectiva o de contacto entre granos, perdiendo total o parcialmente la capacidad de soporte durante unos minutos para luego recuperarla.

El aumento de presión en la fase fluida, debido a que el suelo no alcanza a drenar durante el corto tiempo que dura la carga dinámica de un sismo, puede llevar al suelo, transitoriamente, al estado de licuefacción con el consiguiente asentamiento y/o giro de las estructuras apoyadas en él. Si el suelo no se encuentra saturado, el asentamiento también se produce, pero es de magnitud menor y sin gran pérdida de

la capacidad de soporte. Existen diversos procedimientos para determinar el riesgo de licuefacción de un suelo, los que ordenados en un orden creciente de precisión se encuentran procedimientos:

- Basados en la geomorfología
- Basados en la granulometría
- Basados en la estratigrafía.
- Métodos racionales basados en sondajes y modelos de laboratorio: método Japonés y NYSDOT.

Además, por un lado, la combinación de los métodos racionales complementados con un gráfico de “Cambio de volumen”, permite estimar la consolidación por sismos, y por otro, el método NYSDOT permite estudiar adicionalmente la estabilidad sísmica de un terraplén fundado sobre terrenos con potencial de licuefacción.

➤ *Cimentación de terraplenes en suelos inestables.*

Producto del diseño del trazado de una obra vial se exige muchas veces cruzas depósitos lacustres, terrenos coluviales o suelos orgánicos que presentan características que los hace susceptibles a sufrir fuertes hundimientos o bien de fluir plásticamente. Ante esto se presentan variadas soluciones ingenieriles que han logrado solucionar este problema de cimentar terraplenes sobre suelos blandos o sueltos, ya sea basados en teorías o experiencias prácticas que han tenido éxito. Entre éstas se encuentran:

- Mejoramiento del suelo de cimentación. Dado por tres métodos principales que corresponden a: (1) Construcción por etapas, cuyo objetivo es provocar un cierto grado de consolidación, de tal manera que los hundimientos posteriores sean menores o se produzcan a largo plazo. También se puede acelerar el proceso construyendo un terraplén de mayor altura que la del proyecto, conocido como precarga, aunque de igual manera la desventaja de este método sigue siendo el tiempo de espera antes de proseguir con la construcción de la vía. (2) Estabilización por electrósmosis, que con la aplicación del potencial eléctrico se genera un incremento del factor de seguridad del talud, produce una reacción que forma compuestos de propiedades cementantes, y si se aplica una distribución no uniforme del potencial se crean fuerzas de tensión en el agua de los poros del suelo que aumenta la presión efectiva entre las partículas. (3) Mejoramiento por medio de geotextil, que tienen la propiedad de desarrollar resistencia a la tracción, actuando adicionalmente como separador de interfaz, evitando la infiltración de suelo fino.
- Mejoramiento del comportamiento del terraplén. Se puede lograr por medio de: (1) Utilización de materiales livianos extraídos de empréstitos cercanos al proyecto, para la conformación del cuerpo del terraplén, pues para una misma altura, los esfuerzos normales y cortantes serán menores y por lo tanto, disminuir la magnitud del hundimiento. (2) Construcción de una plataforma de alivio que proporcione una base flotante a los terraplenes construidos sobre

terrenos excesivamente blandos, en que se pueda presentar flujos de material, en base a lechos de troncos o gavillas de ramas y turbas secas comprimidas; siendo aplicable solo en vías de comunicación provisional o caminos secundarios. (3) Cimentación por pilotes, restringiendo el movimiento del flujo lateral de material y aumentando la resistencia al esfuerzo de corte, por efecto de la consolidación producida por introducir los pilotes. (4) Bermas laterales y frontales, que ejercen un confinamiento al material blando y redistribuyendo los esfuerzos cortantes. (5) Drenes verticales de arena para acelerar el proceso de consolidación.

- Reemplazo del suelo de cimentación. (1) Método de excavación, que puede ser un reemplazo parcial o total dependiendo del espesor de la capa a reemplazar. (2) Desplazamiento por medio de chiflones, en que se construye el terraplén sobre el material blando y se inyecta agua por medio de chiflones para remover el suelo bajo el terraplén. (3) Desplazamiento con explosivos, que aumenta instantáneamente la presión neutra reduciendo la resistencia del suelo blando favoreciendo su desplazamiento por la sobrecarga del terraplén.

Finalmente, existen casos en que la ejecución de las obras de tierra no es suficiente para conferir a los taludes (sea de corte o terraplén) la inclinación deseable o necesaria, o casos en que se desea proteger los terraplenes de la acción de inundaciones o avenidas. Para esto es necesario considerar en el diseño estructuras de sostenimiento de tierras, entre las que se incluyen muros gravitacionales, gaviones, tablestaca, muros de tierra mecánicamente estabilizados, anclajes, entre otros. Algunas ya fueron mencionadas en la sección sobre defensas fluviales y otras se dejan a criterio del proyectista.

4.2.1.2. Sobre la plataforma y superestructura de Obras viales, carreteras y caminos

La plataforma está conformada por el espacio destinado a las pistas de circulación, los sistemas de drenaje superficial y los elementos adyacentes de seguridad, como bermas y otros. Bajo la plataforma se encuentra la superestructura de la carretera o camino, que la conforma el pavimento con todas sus capas estructurales, que dependen del tipo de pavimento a utilizar en el proyecto; de esta manera, se encuentran los pavimentos flexibles y los pavimentos rígidos. En cuanto el primero se trata de capas de mezclas asfálticas apoyadas sobre capas de suelos seleccionados, con y sin tratar (subbase, base y capa de rodadura asfáltica), o apoyados directamente sobre la subrasante; y el segundo trata sobre losas de hormigón apoyados sobre una base.

En cuanto a la revisión de aspectos asociados a la resiliencia del diseño de los pavimentos, el MC se centra más bien en aspectos del comportamiento del pavimento y la capacidad de soportar las cargas que impone el tránsito, además de temas asociados a la serviciabilidad y medidas para hacer frente al deterioro propio que no tienen relación con la ocurrencia o afectación de eventos naturales de gran magnitud, más que resistir los efectos del medioambiente representado principalmente por el agua superficial proveniente de la lluvia o los efectos de la temperatura que pudiera generar problemas en

los pavimentos rígidos por temas de contracción o dilatación de las losas. Teniendo esto en consideración, los aspectos relevantes como metodologías de diseño resiliente en pavimento se puede mencionar:

➤ *Drenaje de la plataforma.*

El sistema de drenaje superficial, el cual ya fue estudiado y presentado en la sección 4.1.1.1. de Recursos Hídricos desde un punto de vista hídrico y tolerancias de inundación, es relevante en su consideración para la integridad del pavimento y el resguardo de su conservación para mantener estándares de serviciabilidad apropiados durante su periodo de vida. La infiltración de agua en el pavimento puede provocar efectos de deterioro de la superestructura para los cuales no están diseñados o efectos de deterioro prematuro de acuerdo al ciclo de vida útil de diseño; o bien desencadenar efectos secundarios como los deslizamientos de tierra en taludes, que ya fue visto anteriormente.

En particular el, la conveniencia de drenar el agua fuera de la estructura del pavimento ha sido un factor que siempre se ha considerado de manera preponderante en el diseño de un camino. El drenaje superficial, los subdrenes y drenes de pavimentos, también llamados drenajes estructurales, son sistemas que sólo evacúan en agua libre, a la vez que el agua atrapada por la capilaridad no puede ser drenada. En este sentido, la construcción de pavimentos fuertes con el objetivo de resistir efectos de humedad no es una solución segura, pues como se mencionaba, existen efectos potencialmente destructivos causados por el agua atrapada dentro de una estructura. De esta manera, las tendencias actuales demuestran la necesidad no solo de excluir al máximo el agua de la estructura, sino que también de dotarla de sistemas que la evacuen con rapidez.

➤ *Confiabilidad del diseño.*

El problema de poder considerar la multiplicidad de variables que pueden intervenir en el buen diseño de un camino es algo que se debe tener presente y asumir, pues los modelos no son completamente ajustados a la realidad y estos pueden presentar cierta incertidumbre, la cual se suele absorber por medio del uso de factores de seguridad, comúnmente basados en la experiencia y buen juicio del proyectista, sin embargo, esto puede llevar en ocasiones a sobre o subdimensionar los diseños. Para evitar o disminuir ese posible efecto no deseado de utilizar factores de seguridad un poco subjetivos, se plantea la aplicación del cálculo de la confiabilidad del diseño basado en la variabilidad estadística de los parámetros que intervienen en él.

De acuerdo con la AASHTO, la confiabilidad es la probabilidad que la estructura de un pavimento se comporte de acuerdo a lo esperado durante el período de diseño y bajo las condiciones ambientales prevalecientes en el lugar. De esta manera, el nivel de confianza adecuado a seleccionar depende del tipo de proyecto y de los riesgos aceptables según sea el caso, lo que vuelve relevante la clasificación de ciertos rangos de confiabilidad de acuerdo a la importancia del proyecto.

4.2.1.3. Sobre Túneles

De acuerdo con el Manual de Carreteras en el capítulo 3.800, las obras de túneles han tenido un importante desarrollo en el país, y su ejecución ha permitido realizar soluciones viales modernas y eficientes, demandando un avance en el conocimiento y aplicación de la mecánica de rocas y suelos, y de la geología aplicada a la ingeniería.

En consideración, las obras subterráneas, al igual que las excavaciones, fundaciones y otras obras de tierra, se diferencian de los diseños estructurales por producirse en formaciones geológicas, caracterizadas por su heterogeneidad y anisotropía, haciendo necesario recordar que los modelos geológicos supuestos nunca superarán la realidad propia del terreno en el cuál se emplazará el proyecto, evidenciando que toda la inversión realizada en prospecciones están más que justificadas pues permite disminuir la incertidumbre del terreno a intervenir, disminuyendo a la vez los costos posteriores durante la construcción producto de una deficiente caracterización.

Dado que el diseño de túneles es más bien un proceso muy particular, especial, diferente y único a cargo de un especialista, el manual menciona aspectos básicos sobre el diseño, orientado a lo que se considera primario en una obra de diseño subterránea.

De acuerdo con el documento, se considera que toda excavación vial cerrada, ya sea excavada directamente en roca y/o suelo o excavada como trinchera y luego cubierta, corresponde a la denominación genérica de “túnel”. La longitud se mide desde el inicio al fin de la estructura cubierta lo cual hace que se incluyan, en la longitud, los denominados túneles falsos.

Los túneles pueden ser clasificados según su ubicación como rurales o urbanos; o de acuerdo con sus características constructivas como túneles en roca, túneles en suelo, túneles falsos, trincheras cubiertas (de sección rectangular con hormigón armado, construidos en suelo y luego tapados) y cobertizos.

Luego, en esta primera parte, si se consideran los aspectos de diseño resiliente de este trabajo de investigación, se destaca la funcionalidad de los túneles falsos, los cuales son construidos en hormigón armado y cubiertos posteriormente de suelo que sirve de amortiguador al impacto de bloques o deslizamientos que eventualmente se produzcan en el corte de acceso al área tanto lateral como frontalmente y de esta manera proteger a los vehículos.

También se destacan los cobertizos, que corresponden a estructuras de hormigón armado en zonas montañosas, cuya finalidad es proteger a los vehículos de avalanchas de nieve y/o desprendimiento de bloque de rocas ⁴.

En etapa de ingeniería básica, se considera una investigación topográfica y geológica general del lugar de emplazamiento del túnel, permitiendo establecer el comportamiento macroestructural del área y definiendo áreas de riesgo como avalanchas, deslizamientos, sendas volcánicas y otros. De esta manera, se puede determinar la necesidad de requerir

⁴ Estos se ven más en detalle en riesgo y protección de avalanchas de nieve.

un estudio más profundo, llegando a una investigación geológica de detalle que también considera un estudio respecto a los riesgos potenciales particulares de la zona.

Este análisis de riesgos de origen naturales plantea la consideración de al menos los siguientes eventos:

- *Inundaciones.*
Se debe definir la posibilidad de inundaciones provenientes desde el exterior que pudieran afectar las áreas de acceso y/o portales. Estas inundaciones pueden darse por crecidas de cauces naturales, avalanchas, represamientos u otros.
- *Deslizamientos o remociones en masa.*
Se incluye el análisis de deslizamientos, desprendimientos, reptaciones, flujos de detritos y flujos de barro ocurridos en las cercanías del proyecto, los que deben quedar indicados en los planos ad-hoc. Se debe considerar las características y análisis de posibilidades de recurrencia ya sea para el mismo sitio o zonas cercanas.
- *Aludes o avalanchas de nieve.*
Se deben definir todas las situaciones de avalanchas pasadas, su extensión, procedencia y capacidad de ocurrencia en el mismo sitio o áreas cercanas.
- *Volcanismo.*
Se debe indicar la distribución de los centros volcánicos cercanos a la obra en casos que éstos se encuentren en un radio aproximado menor a 50 km de ella, aspectos de periodicidad de la actividad de los centros volcánicos y posibilidad de impacto en el área de proyecto (lluvia de ceniza, corrientes de lava, lahares, sismicidad relacionada, etc.).
- *Sismicidad.*
Se debe proporcionar un plano base en el que se indique la localización de sismos ocurridos en un radio mínimo de 100 km del área del proyecto del túnel, profundidad y magnitud de cada evento sísmico registrado.

En los aspectos relacionado al diseño estructural de túneles, las clasificaciones geomecánicas surgieron de la necesidad de parametrizar observaciones y datos empíricos, de forma integrada, para evaluar preliminarmente el sostenimiento de túneles. Estas son un método de uso generalizado en el proyecto y construcción de túneles, y gracias a ellas, es posible un mejor conocimiento e interpretación de los datos geológicos y geotécnicos en el diseño y que permiten evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, estimando parámetros geotécnicos de diseño y tipo de sostenimiento.

Las clasificaciones presentadas en el manual corresponden a: (1) Clasificación Geomecánica RMR, desarrollada a partir de la observación de cuarenta y cinco túneles, (2) Sistema Q, desarrollada inicialmente a partir de doscientos casos de excavaciones subterráneas y actualizada en 1993 con el respaldo de 1.050 casos, (3) Correlaciones entre los índices RMR y Q. Todos estos, permiten definir a grandes rasgos y de manera preliminar los métodos de construcción, los tiempos involucrados y los soportes requeridos.

Es relevante mencionar también, que en el capítulo sobre puentes y estructuras afines, se plantea una metodología de cálculo para una estructura subterránea tipo marco o cajón que eventualmente podría tratarse de un túnel, y cuyo análisis está relacionado al aspecto sísmico de soporte establecido bajo un modelo cinemático.

4.2.1.4. Sobre Puentes y estructuras afines

El Manual de Carreteras entrega guías en términos de procedimientos y recomendaciones para el diseño y cálculo estructural de los puentes carreteros en Chile. Al igual que para el diseño de pavimentos, los criterios de diseño se basan de manera principal en la norma AASHTO, particularmente en los siguientes documentos:

- AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges, 17th Edition (2002) o posteriores.
- AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th Edition (2012) o posteriores.

De igual manera, considera elementos particulares para el diseño a nivel local, adaptándola y extrapolando a la realidad nacional en aquellos aspectos que la norma norteamericana no se ajusta de buena manera o simplemente que no tiene alcance. Existen dos temas particularmente que el manual de carreteras abarca en específico para el caso Chile, relacionado a aspectos geotécnicos y de diseño sísmico.

De acuerdo con lo mencionado en el manual, las disposiciones y recomendaciones relativas al desarrollo de los estudios de puentes tradicionales, viaductos, pasos desnivelados, pasarelas y obras afines que se incluyen, son aplicables, en general, a la gran mayoría de los puentes y estructuras que se requieren en el país. Sin embargo, de igual manera se debe tener en cuenta que siempre existirán problemas estructurales complejos que pueden superar los alcances del manual y por lo tanto, se debe recurrir al criterio del proyectista y de los especialistas. Además, es importante mencionar que existe cierta tipología de puentes que quedan fuera de este documento normativo por considerarse especiales, tales como puentes colgantes o atirantados, puentes de arcos metálicos o de hormigón, o puentes con tramos con luces mayores a 70 m, razón por la que el desarrollo de este tipo de proyectos estará sujeto a las bases de diseño establecidos en términos de referencias especiales o propuestas por el proyectista, que deben ser debidamente aprobadas por la Dirección de Vialidad.

De acuerdo con la clasificación por objetivo de los tipos de puentes dada en el MC, sus disposiciones recaen sobre las siguientes estructuras:

- Puentes rurales o urbanos
- Viaductos
- Pasos desnivelados
- Puentes peatonales o pasarela
- Puentes Ferroviarios
- Puentes Militares

- Puentes Provisorios

En los puentes es posible distinguir cuatro partes bien definidas que es necesario dejar en claro, la superestructura, la infraestructura, los accesos y las obras de defensa.

Primero, la superestructura es aquella parte que permite la continuidad del camino con su calzada y bermas, sobre un río u otra vía. Esta soporta el paso de las cargas móviles y las transmite a la infraestructura a través de los sistemas de apoyo, y puede estar conformada por uno o más tramos dependiendo de la cantidad de apoyos. Particularmente la conforman las siguientes partes: el tablero, constituido por la superficie de rodadura, aceras y barandas; el sistema estructural del tablero; el sistema de vigas del tablero; Sistemas de apoyo, anclajes antisísmicos, juntas de expansión y barandas.

Por su parte, la infraestructura es aquella en que se apoya la superestructura y a través de la cual se transmiten las cargas al terreno de fundación. La constituye los estribos, que son los soportes extremos, y las cepas o pilas, que son los apoyos intermedios en puentes con superestructuras de más de un tramo.

Los accesos están constituidos por obras de terraplén de acceso, estructura de pavimento, bases, bermas y losas de acceso.

Y las obras de defensas fluviales que ya han sido revisadas antes y la constituyen los enrocados, gaviones, bajadas de agua en terraplenes de acceso, elemento de contención de tierras y otros.

Como parte del proceso del desarrollo de estos proyectos, la ingeniería básica de un puente comprende entre otras cosas, el estudio de terreno, laboratorio y gabinete respecto a elementos que sientan las bases del diseño. Los principales aspectos que se considera en esta etapa son:

➤ *Aspectos de hidrología, drenaje e hidráulica fluvial para puentes*

En este apartado, se consideran las mismas metodologías de estudio descritas en el capítulo de “Drenaje, Saneamiento y Mecánica e Hidráulica fluvial” que son directamente aplicables al diseño y que ya fue descrito en la sección 4.1.1.1 de Recursos Hídricos; donde se ven temas como: cálculo de caudales solicitantes, modelos de precipitación-escorrentía, asociados a los periodos de retorno expuestos, según la importancia y tipo de obra; procedimientos y técnicas hidráulicas, para la consideración de los tipos de escurrimiento y cálculos de ejes hidráulicos; estudios topográficos para el diseño hidráulico, para definir los elementos que podrían verse afectado por el cauce y el nivel de aguas máximas; métodos de cálculo hidráulico fluvial, mecánico fluvial y de la socavación; diseño de obras de defensas fluviales.

➤ *Aspectos Geotécnicos*

Se sugiere una caracterización bastante completa del suelo en que se emplazará el puente, por medio de diversos estudios y consideraciones realizadas por un especialista en Geotecnia. Esto considera estudios de antecedentes existentes, estudio en terreno por medio de reconocimiento y ensayos en sitio, ensayos de laboratorio de

acuerdo con ciertos criterios sugeridos, y finalmente, estudios geotécnicos especiales si se requiere en obras como cortes o terraplenes.

Una buena exploración y caracterización del suelo, a pesar de una gran inversión inicial, puede ahorrar costos por medio de la disminución de la incertidumbre para quien va a diseñar los aspectos estructurales del puente. Ante esto, algunas medidas que se sugieren tomar contemplan el número de prospecciones recomendables a realizar de acuerdo con la longitud del puente, así como los ensayos que se debiera considerar tanto de laboratorio como en el sitio. Establece además, los contenidos mínimos que debiera tener el informe geotécnico que contiene los antecedentes necesarios para el proyecto estructural de la obra (3.1002.402, MC-V3, 2020).

Luego, siguiendo hacia una etapa más avanzada y considerando aspectos del diseño estructural de la ingeniería de detalle de los puentes, se comienzan a identificar aspectos relevantes que juegan un rol importante en la resiliencia de un puente frente a los efectos de una amenaza de origen natural. Entre estos se puede mencionar los siguientes criterios:

➤ *Revancha.*

Respecto a la revancha, que corresponde a la distancia mínima que existe entre el fondo de la viga o nivel inferior de la superestructura y el nivel de aguas máximas, indica que debe ser de al menos de 1,0 m para un periodo de retorno de diseño de 200 años; y como mínimo 0,30 m para el periodo de retorno de verificación de 300 años.

➤ *Cargas.*

Sobre las cargas que se deben considerar en el diseño y que se encuentran en relación con amenazas de origen natural son: cargas sísmicas, cargas de viento, presiones hidrodinámicas e hidrostáticas de corrientes fluviales, empuje de tierras, fuerzas térmicas, sub presión y presiones de materiales arrastrados en aluviones.

➤ *Fundaciones.*

Deben considerarse los requisitos generales del reconocimiento geotécnico para el estudio de las fundaciones de los puentes y obras anexas, mencionados anteriormente. En estos se distinguen dos tipos de fundaciones, superficiales o directas y las profundas. La selección del tipo de fundación dependerá de diversos factores que se mencionan, aunque comúnmente, las fundaciones directas son aplicables a situaciones en las que el suelo competente o el nivel de socavación esperada se encuentra, por lo general, a una profundidad bajo la superficie del terreno no mayor a 1 o 2 veces el lado menor de la fundación y donde existan condiciones difíciles de agotar la napa. Por otro lado, cuando esto no ocurra y el suelo competente o nivel de socavación esperado se encuentre profundo, se debería recurrir a las fundaciones profundas tales como pilotes o pilas de fundación.

Dentro del análisis del diseño de las fundaciones, se hace énfasis en aspecto como la posibilidad de la presencia de suelos licuables, y que se debe tener especial consideración de este fenómeno realizando una evaluación de la potencial licuación considerando los criterios que se indican en la norma AASHTO LRFD y LRFD Guidelines for seismic Design of Highway Bridges. En el caso de **puentes, viaductos y otras obras definidas como de importancia estratégica**, o que su falla

implique la pérdida prolongada de conectividad, debe ejecutarse el diagnóstico de potencial de licuefacción por los métodos Japones y NYSDOT.

➤ *Muros de Contención.*

Las metodologías de diseño asociado a los muros de contención que se han desarrollado en Chile han tenido una respuesta satisfactoria ante las solicitaciones sísmicas. En esta categoría entran los muros cantilever de hormigón armado y muros gravitacionales, que son abordados por el manual de carreteras, y por otro lado, los muros anclados, muros de tierra mecánicamente estabilizados (TEM) y muros de módulos prefabricados que deben contar con bases de diseño aprobadas por la Dirección de Vialidad, sin perjuicio de que cumplan con las disposiciones de la norma AASHTO. Sin embargo, dada la alta sismicidad del país, en el caso de los muros TEM se ha limitado su empleo a muros de contención o muros de alas de estribos, tanto de pasos desnivelados como de puentes.

Los parámetros de diseño de estas estructuras consideran factores de seguridad mayores a 1.5, tanto al deslizamiento como al volcamiento, en el caso de empuje estático; y 1.1 al deslizamiento, 1.15 al volcamiento, en el caso de empuje sísmico en general.

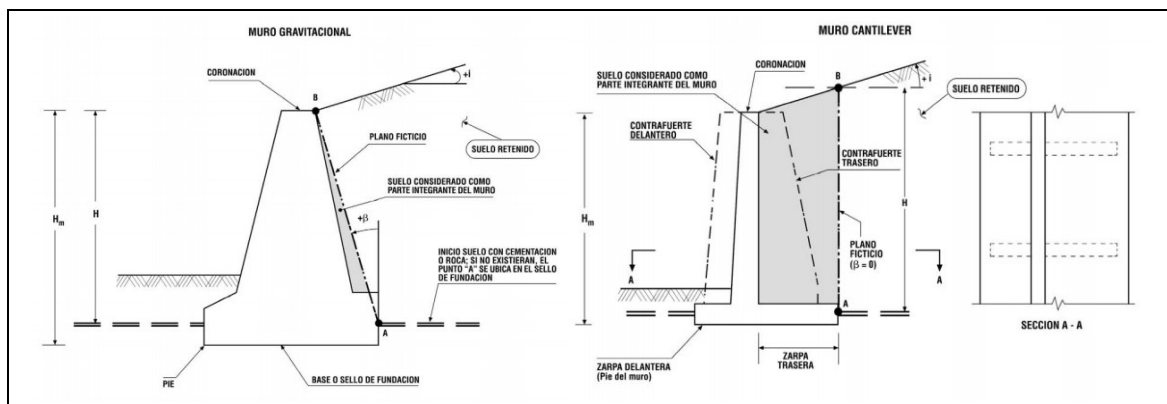


Figura 34. Tipologías de muros de contención considerados – Manual de Carreteras.

Fuente: Extraído de Lámina 3.1003.401 (1) A, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

➤ *Hormigón armado y Hormigón pretensado*

Respecto al uso de los materiales empleados en la confección de hormigón armado se detalla que den cumplir con las disposiciones de las normas chilenas. Y en cuanto a las disposiciones y criterios de diseño, deben seguirse aquellas mencionadas en la sección 8 y 9 de la norma AASHTO, siendo respetadas en su totalidad en los diseños desarrollados en Chile y considerando las modificaciones o complementos del manual. Aspectos relevantes que se modifican luego del terremoto ocurrido en febrero de 2010, es el uso obligatorio de diafragmas en los extremos de las vigas T y vigas cajón, a menos que se usen otros métodos para resistir las fuerzas laterales y para mantener la sección geométrica del tablero. Los diafragmas se pueden omitir solo en el caso que un detallado análisis estructural demuestre un adecuado comportamiento de la estructura, y sujeto a la exigencia que pueda hacer la Dirección de Vialidad en este aspecto.

También existe una modificación en el manual, respecto de las tracciones máximas para vigas pretensadas, donde especifica que la tracción máxima calculada para el hormigón no deberá superar 50% de la especificada por la AASHTO, tanto en condición de servicio como en transferencia.

➤ *Acero Estructural*

Respecto al uso de acero de vigas y elementos soportantes de las cargas principales sometidos a esfuerzos de tensión, deben tener propiedades suplementarias de impacto. Estos requerimientos adicionales hacen referencia a las propiedades de tenacidad y resiliencia del material que permiten que sea sometido a ciclos de carga, absorbiendo y regresando energía sin deformaciones permanentes.

En cuanto a espesores mínimos del metal, se especifican espesores específicos para Chile que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 10. *Espesores mínimos elementos de acero estructural - Manual de Carreteras.*

Elemento	Puentes y Viaductos (mm)	Pasarelas Peatonales (mm)
Alma, alas de vigas tipo IN en vigas principales	12	10
Platabandas de refuerzo de vigas tipo IN en vigas principales	10	8
Atiesadores de carga	10	8
Atiesadores de rigidez	8	5
Arriostramientos	8	5
Conectores de corte tipo C	5	5
Resto de elementos principales	5	5
Elementos secundarios	4	3

Fuente: Adaptado de artículo 3.1003.802, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

Existen además, consideraciones específicas respecto de la transmisión de las cargas de la losa a las vigas de acero continuas, tanto en momentos positivos o negativos de la viga. En zonas de momento positivo el diseño debe considerarse como sección compuesta, y en zonas de momento negativo las barras de refuerzo paralelas a la viga de acero y dentro del ancho efectivo deben considerarse para calcular las propiedades de la sección compuesta. Las barras de refuerzo deben anclarse apropiadamente en la región de momento positivo y para transferir las fuerzas de las barras a la viga de acero deben incluirse conectores de corte, de los cuales solo se permiten los del tipo canal o espárragos (Stud).

➤ *Apoyos elastoméricos*

La utilización de estos elementos se debe regir por las disposiciones de la sección 14 de la norma AASHTO, con algunas consideraciones de aplicación especiales para Chile. La deformación lateral para la condición sísmica, más 50% de la deformación por temperatura, no debe superar el 100% de la altura del neopreno de la placa de apoyo. Otros valores para deformación máxima serán aprobados por la Dirección de Vialidad. También se establece que todas las placas de apoyo deben ser ancladas a la infraestructura y a la viga respectiva.

Dentro de este desarrollo de la ingeniería de detalle, se da paso a una sección dedicada exclusivamente el diseño sísmico del puente, desarrollada y actualizada de acuerdo con desempeño de los puentes en el último gran terremoto que afectó a Chile en febrero de 2010.

Se expone en este capítulo especial, al igual que para el resto del manual, sobre las recomendaciones de diseño sísmico de puentes, viaductos, pasos desnivelados y pasarelas peatonales, con tramos con luces libres no mayores a 70 m y no contempla tipologías especiales como puentes en arco, atirantados, colgantes, etc.

Los movimientos sísmicos y las fuerzas sísmicas indicadas en esta especificación están basadas en una probabilidad de no excedencia de 90% durante la vida útil de un puente o pasarela, estimada en 50 años, lo que es equivalente a un periodo de retorno medio de 475 años.

Las especificaciones, aplicadas en conjunto con las normas de diseño específicas de cada material, están orientadas a lograr estructuras que:

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

Existe además una categorización del peligro sísmico en el país de acuerdo al manual de carreteras, en el cual se definen cuatro Categorías de Comportamiento Sísmico (CCS) en base a la aceleración efectiva máxima del suelo A_0 del lugar y a un coeficiente de importancia del puente (CI), en que la aceleración efectiva máxima se determina a partir del mapa de zonificación sísmica, que es igual al considerado por la norma NCh 433 – Diseño Sísmico de Edificios, y el coeficiente de importancia es calificado por la Dirección de Vialidad.

Los métodos de análisis y de diseño que se presentan en el MC consideran el ambiente sísmogénico esencialmente subductivo propio de la placa de Nazca, que abarca a Chile de Arica a la latitud de la Península de Taitao. Sin embargo, se cubre también los casos de

sismicidad cortical de carácter superficial que se presenta al sur de la Península de Taitao y en otras zonas del país.

Un aspecto especial, el cual da tratamiento las disposiciones del MC, está relacionado a la alta probabilidad de ocurrencia simultánea de eventos sísmicos extremos con socavación extrema, debido al carácter de torrente de los ríos en gran parte de Chile. La socavación extrema, si bien es un evento de baja probabilidad de ocurrencia durante la vida útil del puente, una vez ocurrida, ella será conservada por el río, pues no se recupera el nivel de empotramiento original, de tal suerte que cuando ocurra el sismo extremo existe una alta probabilidad de encontrar el puente socavado. Por este motivo esta característica será siempre condicionalmente del diseño sísmico y la evaluación de la socavación para esta condición será crítica. Se define así, el Peligro de Socavación Sísmica (PSS) para el diseño sísmico, que está asociado al nivel de socavación remanente después de ocurrida la socavación máxima (calculada por los métodos indicados en el apartado sobre hidrología, drenaje e hidráulica fluvial para un período de retorno de 25 años), y se expresa como % de ésta última.

Dada la incertidumbre de la ocurrencia de un evento sísmico de importancia en la vida de un puente, es imposible determinar si el sismo se producirá al inicio o al final de la vida útil de la estructura. Ante esto, en aquellos puentes de 2 o más vanos cuyas cepas se encuentren dentro de la sección hidráulica y cuya socavación total sea mayor o igual a 3 [m], se debe hacer un análisis de sensibilidad de la estructura verificando dos situaciones, al inicio de la vida útil con nivel de socavación cero y al final de la vida útil con un nivel de socavación determinada por el Peligro de Socavación Sísmica PSS. Sin embargo, aun cuando se considere la colocación de una protección frente a la socavación, este se considera como un elemento secundario que no disminuye la profundidad de socavación de diseño, por lo tanto, la estructura, y específicamente las fundaciones, deben ser diseñadas considerando el efecto de la socavación.

De acuerdo con el CCS que se la haya asignado al puente, se dan diferentes criterios de diseño que se deben considerar para distintos elementos o consideraciones del diseño.

Para la determinación de cargas sísmicas a ser utilizadas en el análisis elástico de los efectos sísmicos se presentan cinco métodos:

- Método del Coeficiente Sísmico.
- Método del Coeficiente Sísmico Modificado por la respuesta Estructural
- Método Modal Espectral.
- Método Modal Espectral con Estudio de Riesgo Sísmico.
- Método de Análisis Lineal o no-Lineal en el Tiempo.

Los dos primeros consideran coeficientes de respuesta sísmica y el tercero, un análisis modal espectral basado en un espectro de aceleración de diseño. Los últimos dos son métodos más rigurosos de análisis que podrán ser requeridos por la Dirección de Vialidad para puentes que consideren estructuras críticas o de geometría compleja o próximas a fallas geológicas activas superficiales.

Es importante mencionar que los tres primeros métodos se refieren al análisis sísmico de la estructura de puentes tradicionales y estructuras afines, constituida por la

superestructura e infraestructura, sin incluir los estribos, los cuales se consideran para estos efectos, sólo como apoyos. Los métodos de análisis consideran que la superestructura es libre de vibrar sísmicamente sobre los apoyos elastoméricos o similares de los estribos, sin restricciones significativas para los desplazamientos horizontales, considerando las juntas de expansión adecuadas. Luego, los estribos tienen sus propios requerimientos de diseño, que consideran las fuerzas de incremento sísmico de los empujes de tierra, las fuerzas inducidas por los efectos inerciales de los muros y en particular, el mecanismo de transferencia de las fuerzas sísmicas de la superestructura.

Se establecen criterios de diseño también para elementos como:

- Sistemas de prevención de pérdida de apoyo dependiendo de las características estructurales del puente, definición de una Longitud mínima de apoyo mínimo de los extremos de todas las vigas cuya función es prevenir o evitar que la superestructura pierda el apoyo sobre los cabezales de la infraestructura cuando el sistema de apoyo se destruye; consideración de elementos para la prevención de pérdida de apoyo en la dirección longitudinal, cuya función es prevenir los desplazamientos relativos entre la superestructura y la infraestructura, en la situación que se exceda la longitud de apoyo, cuando el sistema de apoyo se destruye.

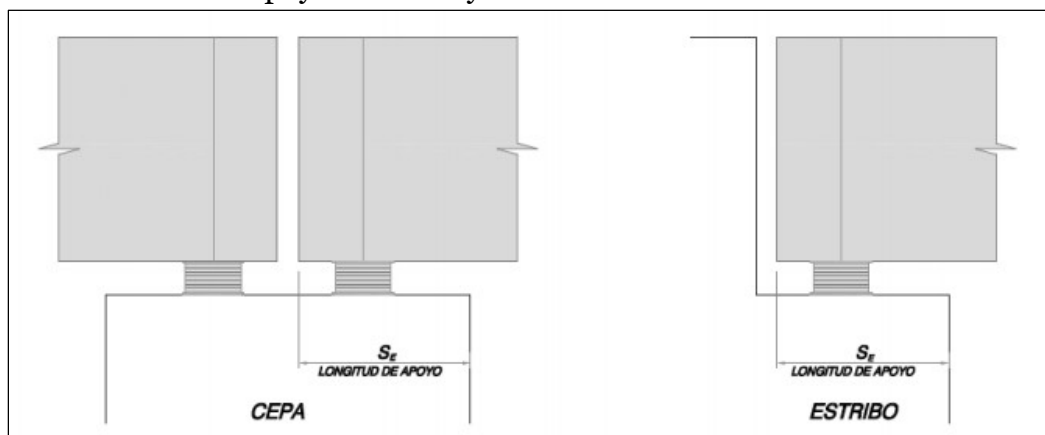


Figura 35. Esquema de longitud mínimas de apoyo - Manual de Carreteras.
Fuente: Extraído de Figura 5.2-1, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

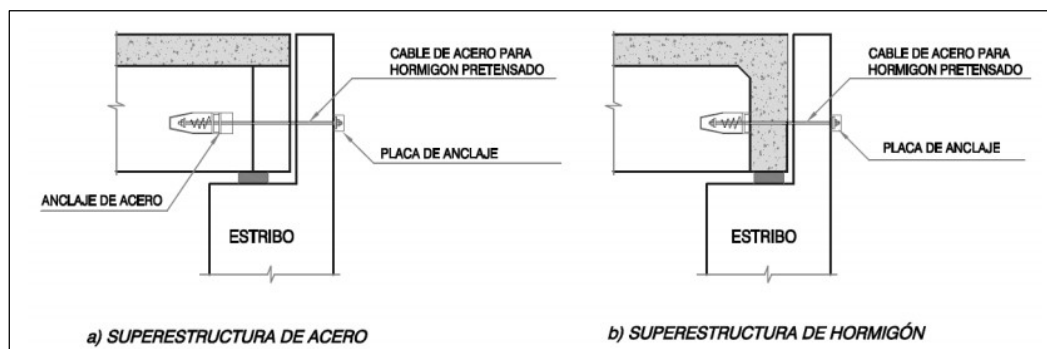


Figura 36. Sistema de prevención de pérdida de apoyo contra muro espaldar - Manual de Carreteras.

Fuente: Extraído de Figura 5.3-3, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

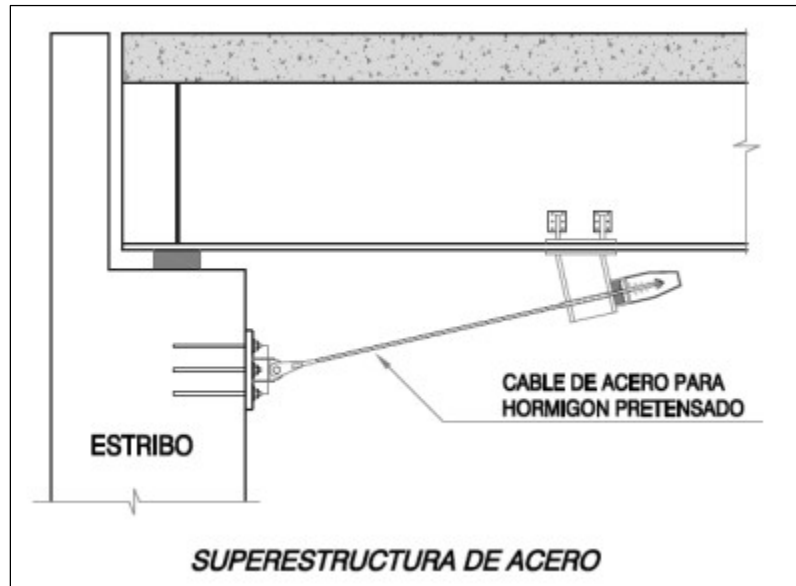


Figura 37. Sistema de prevención de pérdida de apoyo contra el muro frontal - Manual de Carreteras.

Fuente: Extraído de Figura 5.3-4, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

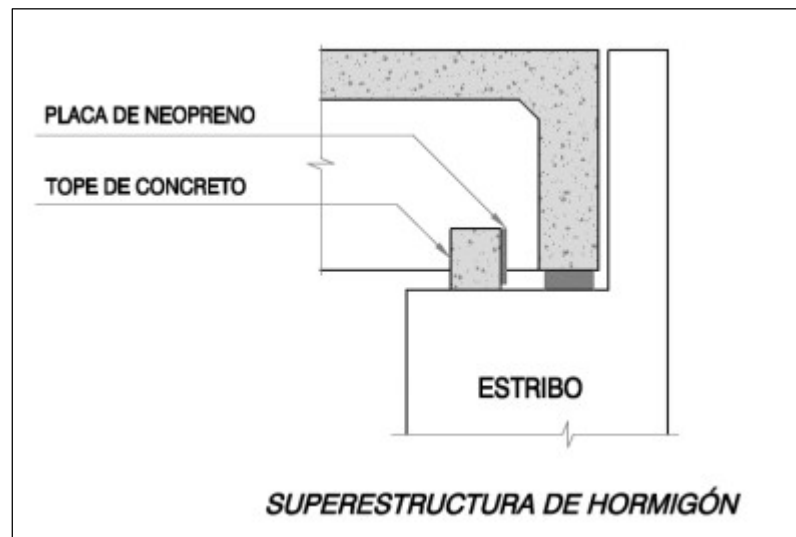


Figura 38. Sistema de prevención de pérdida de apoyo mediante tope de hormigón - Manual de Carreteras.

Fuente: Extraído de Figura 5.3-5, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

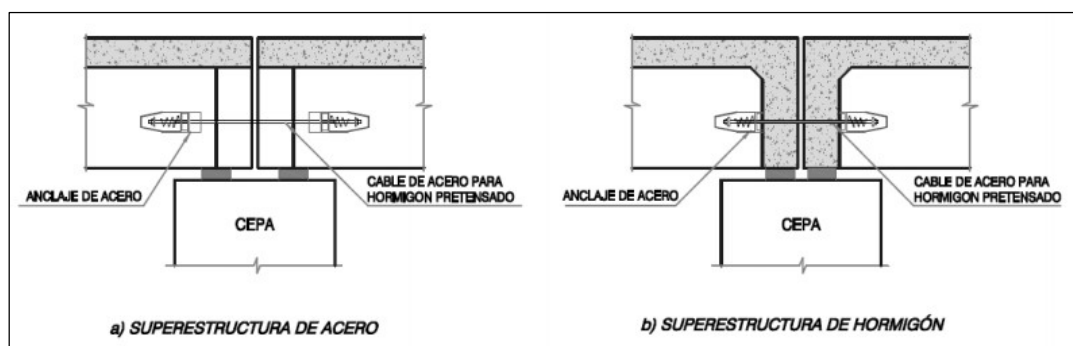


Figura 39. Sistema de prevención de pérdida de apoyo mediante cables en superestructuras contiguas - Manual de Carreteras.

Fuente: Extraído de Figura 5.3-6, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

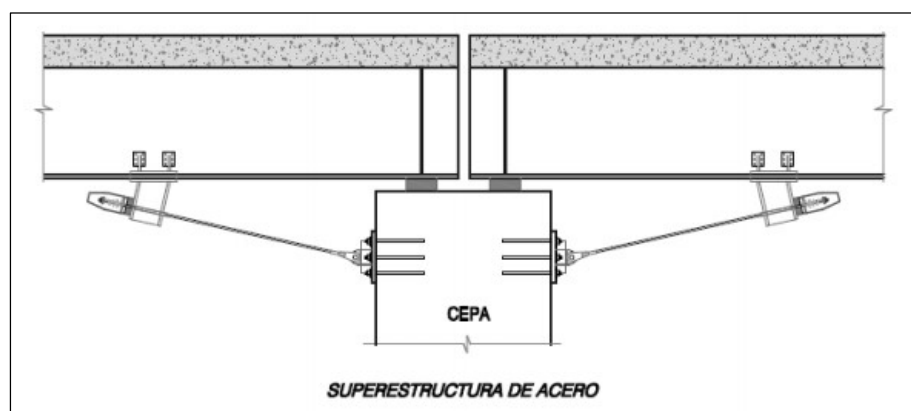


Figura 40. Sistema de prevención de pérdida de apoyo mediante cables conectados al cabezal de la cepa - Manual de Carreteras.

Fuente: Extraído de Figura 5.3-6, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

- Barras de anclaje vertical antisísmicas; si bien era una práctica anterior al terremoto del 2010, se reforzó la obligatoriedad de estos elementos dadas las aceleraciones verticales que se registraron en ese evento que en algunos casos se verificó razones entre aceleración vertical v/s la horizontal en torno a 0.8. Y por lo tanto, se puede considerar que esta componente vertical puede contribuir a la pérdida de apoyo de la superestructura cuando se combina con la componente horizontal. Y por lo tanto su función es restringir el movimiento vertical del tablero y evitar la tracción en el sistema de apoyo.
- Consideración obligatoria de vigas travesaño extremos y central (sobre estribos y cepas), y su interacción con los topes sísmicos, independientemente de la ubicación o zona sísmica del puente y del tipo de viga.
- Topes transversales (extremos e intermedios), que restrinjan el desplazamiento transversal excesivo de la superestructura sobre las mesas de apoyo o cuando el

sistema de apoyo se destruye. Deben considerar un neopreno lateral de bajo espesor, para amortiguar el impacto sobre ellos, y en el caso de los topes intermedios deben formar una llave de corte con los travesaños, para que un probable impacto sobre ellos, debido al sismo, dañe el travesaño y no las vigas.

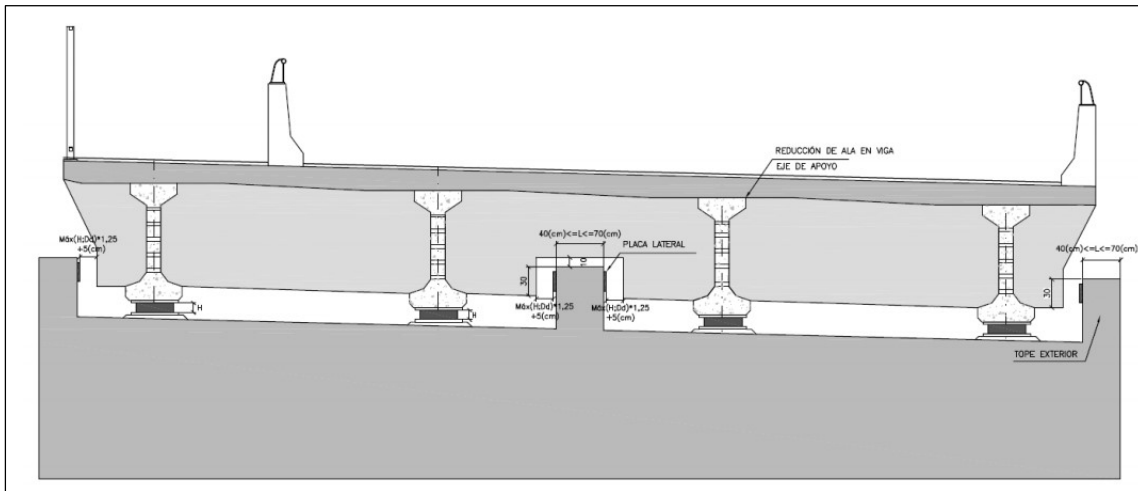


Figura 41. Configuración general de topes sísmicos transversales y travesaños - Manual de Carreteras.

Fuente: Extraído de Figura 5.4-1, MC-V3. Dirección de Vialidad, MOP. (2020).

- Juntas Sísmicas, que deben considerar un espaciamiento mínimo tal que garanticen desplazamientos sísmicos completos de los apoyos elastoméricos considerados en el diseño.
- Aisladores Sísmicos, en que se pueden considerar:
 - a. Aisladores sísmicos elastoméricos, siempre y cuando no sea en puentes ubicados en suelos de mala calidad o potencialmente licuables; puentes con infraestructura flexible que posea periodo fundamental alto (valor mayor a 1.0 [s] considerando apoyos fijos como conexión entre cepas); o en puentes ubicados en suelo blando que tenga periodo fundamental alto. Esto por fenómenos de amplificación de la respuesta y deformaciones o por posibles resonancias entre periodos para el último caso.
 - b. Otro tipo de dispositivos “antisísmicos” como aisladores de péndulo de fricción, amortiguadores hidráulicos, aparatos de conexión rígida del tipo STU. Todos con el cumplimiento de la certificación correspondiente y aprobación de la Dirección de Vialidad.

Existe también una consideración especial por aquellos **puentes que están ubicados cerca de mar**, en que en algunos casos los puentes serán claves para la evacuación de la población. Por lo que corresponde a la Dirección de Vialidad definir las estrategias y políticas claras en la clasificación e importancia de las rutas donde se emplazarán los

puentes, de tal manera que se definan aquellos puentes que deben mantener su operación después de ocurrido un Tsunami.

Para esto, se deberán presentar estudios de los posibles efectos debido a un Tsunami, considerando antecedentes históricos del lugar y se deberá generar una carta de inundación por tsunami si no existe. En este estudio, es importante evaluar efectos del tsunami en el diseño de la estructura, como la posible flotación del tablero y posibles empujes laterales sobre la estructura debido a las cargas hidrostáticas e hidrodinámicas. Válido tanto para puentes como pasarelas.

Por otro lado, y en cuanto a las **pasarelas peatonales**, se destaca el buen comportamiento de aquellas pasarelas hiperestáticas (donde existe conexión rígida entre la columna y la viga) continuas ejecutadas in-situ, durante el terremoto de 2010. Pero, por otro lado, se remarca el mal comportamiento de una gran cantidad de pasarelas simplemente apoyadas que presentaron desplazamientos relativos excesivos entre tramo principal y rampas. Por lo cual, se determina que el tramo principal debe estar conectado a las rampas, con el fin de que proporcionar mutuo arriostamiento ante un evento sísmico de importancia. También se deben considerar aspectos como largo mínimo de la mesa de apoyo, juntas de dilatación, topes sísmicos y barras antisísmicas.

En el caso de pasarelas diseñadas con vigas prefabricadas simplemente apoyadas, deben lograr continuidad entre las vigas sobre las columnas por medio de losetas de continuidad y otra solución que genere el mismo comportamiento estructural. Además de lograr continuidad entre las rampas y el tramo principal.

4.2.1.5. Aumento de la Resiliencia de red vial Ruta 5 por redundancia de Puentes

Una práctica estratégica de redundancia en el diseño de las rutas viales principales en el país tiene relación con la construcción de puentes independientes para cada calzada. Un trabajo de investigación se abocó por realizar un análisis de la resiliencia estratégica de los puentes en la ruta 5, entre Caldera y Pargua (de Solminihac, 2017). En este estudio se revisó la situación actual de la red de puentes en la ruta 5, evidenciando que en ocasiones para un mismo obstáculo la ruta dispone de dos puentes independientes para cada dirección, de manera que ante la ocurrencia de un evento natural si uno de estos se ve dañado, aún existe la posibilidad de utilizar el otro. Así, se disminuye el riesgo de que la ruta se vea cortada e imposibilite el tránsito de vehículos por la principal arteria nacional. Pero también se encuentran con otro caso en que existen rutas que tienen múltiples vías pero pasan por un solo puente, de manera que una falla o colapso de uno de estos luego de ocurrido un evento que no permita la circulación sobre él, puede generar un gran impacto al tener que utilizar vías alternativas. Para medir la resiliencia de los puentes en estos casos, desde un punto de vista de redes viales y “nodos”, se mide por el tiempo y la distancia que representan las rutas alternativas que existen dado el desvío por el corte de un puente.

El estudio dio cuenta de una situación importante respecto a la configuración de la red vial en Chile. Dadas las características territoriales y geográficas del país, la red vial está

constituida en una forma de espina de pescado, la cual consiste en una ruta estructurante longitudinal (Ruta 5) que une una serie de caminos secundarios transversales. Esta conformación de la red vial nacional hace que la Ruta 5 tome un rol protagónico en la conectividad del país. Así, un eventual corte o falla funcional en algún punto de esta ruta, como un puente, puede generar falta de conectividad y aislamiento de ciertas zonas del territorio nacional, así como también puede generar un significativo aumento de la distancia de viaje para cruzar el cauce, sumado a una menor velocidad de tránsito en las rutas alternativas debido al menor estándar de sus caminos asociados, lo que genera mayores tiempos y costos de viaje.

El estudio concluye al evaluar la resiliencia de los puentes desde el punto de vista estratégico a nivel de red que actualmente existe una baja redundancia de puentes específicos de la ruta 5. Por lo que establece que se debe poner atención y sugiere tomar medidas para evitar que en un eventual impacto sobre alguno de estos puentes, se generen problemas de conectividad.

4.2.2. Vialidad Urbana

El diseño de la vialidad urbana, parte de la base que establecen los instrumentos de planificación territorial, como los planes reguladores comunales. Por lo que, de alguna manera, el trazado de las obras viales se encuentra definida en mayor parte por los criterios que allí se aprueben.

El desarrollo de la infraestructura de vialidad urbana está a cargo del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU, y su alcance considera la clasificación de las vías estipuladas según la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, OGUC⁵, que divide tres principales grupos: las vías de tránsito vehicular, ciclovías y las vías de tránsito peatonal. Dentro del primer grupo se encuentran las vías expresas, troncales, colectoras, de servicio y locales; mientras que en las segundas se clasifican en pasajes en general y pasajes en pendiente elevada. Para cada una existen criterios que las definen, los más generales son:

Vías de Tránsito vehicular:

- “Vía expresa”. Su rol principal es establecer las relaciones intercomunales entre las diferentes áreas urbanas a nivel regional. Permite desplazamientos a grandes distancias (>8 km) a una velocidad de diseño entre 80 y 100 km/h.
- “Vía troncal”. Permite establecer la conexión entre las diferentes zonas urbanas de una intercomuna con un desplazamiento a grandes distancias (>6 km) a velocidad de diseño entre 50 y 80 km/h.
- “Vía colectora”. Corredor de distribución entre la residencia y los centros de empleo y servicios, y de repartición y/o captación hacia o desde la trama vial de nivel inferior. Desplazamientos a distancia media (>3 km) y velocidad de diseño entre 40 y 50 km/h.
- “Vía de servicio”. Vía central de centros y subcentros urbanos que permiten la accesibilidad a los servicios y comercio emplazado en sus márgenes. Desplazamientos de distancia media (>1 km) y velocidad de diseño entre 30 y 40 km/h.
- “Vía local”. Establece relaciones entre las vías troncales, colectoras y de servicios y de acceso a la vivienda. Desplazamiento a distancias cortas y velocidad de diseño entre 20 y 30 km/h.

Ciclovías:

- Deben formar parte de la calzada de una vía, con excepción de cuando se requiere conectar ciclovías permitiendo ubicarse en la mediana o bandejón, o como parte de la acera sin afectar la vereda. Dependiendo de su ubicación respecto de la vía vehicular debe cumplir ciertos requisitos de diseño y demarcación para la seguridad.

⁵ Más detalles de otros alcances de la OGUC, ver apartado 4.1.3. Infraestructura de Uso Social.

Vías de Tránsito Peatonal:

- “Pasajes en General”. Destinados a la circulación de peatones y al tránsito eventual de vehículos. Para ser considerado como pasaje debe tener un ancho no inferior a 8 metros ni superior a 11 metros entre líneas oficiales, además de otras características.
- “Pasajes en pendiente elevada”. Vías de uso exclusivo para circulación peatonal ubicadas en terrenos con pendiente promedio superior a 20%. Debe tener un ancho entre líneas oficiales no menor a 4 m y una faja pavimentada de ancho no menor a 1,2 m dispuesta como escala, rampa o combinación de ambas.

Teniendo esto en consideración, se dispone de un documento normativo para el diseño de pavimentos, cuyo nombre es “Código de normas y especificaciones técnicas de obras de pavimentación” (2018), en que se establecen ciertos criterios diseños. De los aspectos relevante a mencionar respecto de un diseño resiliente de la infraestructura vial urbana se incluye:

➤ Mecánica de Suelos

Se establece la importancia de realizar un adecuado estudio del suelo sobre el cual se emplazará el proyecto vial, dado que es el elemento que recibirá las cargas dinámicas del tránsito que se transmiten por medio del sistema de pavimento, el que, al igual como se considera en el Manual de Carreteras, puede ser de pavimento flexible o rígido.

De esta manera se describen los estudios y fenómenos del suelo que se deben considerar para el diseño adecuado del pavimento, entre lo que se incluye: estudio de la granulometría del suelo, permeabilidad, capacidad de soporte, consolidación, compactación del suelo.

En aquellos casos que el suelo de fundación para el pavimento no tenga las condiciones adecuadas de acuerdo con los criterios de clasificación permitidos, se establecen algunas medidas de mejoramiento del suelo, de manera muy similar al MC:

- Reemplazo de material: se retira mediante excavación el suelo de mala calidad hasta la cota que sea definida por el especialista de suelos, y debe rellenarse con el material competente para las solicitaciones estimadas de diseño. Una vez colocada la capa estructural de relleno, esta debe ser compactada hasta obtener una densidad mayor o igual al 95% de la entregada por el ensayo Proctor Modificado (NCh 1534/2) o al 80% de la densidad relativa (NCh 1726).
- Estabilización del suelo: Se consideran variadas metodologías para la estabilización del suelo, y que dependen del tipo de suelo, duración del proceso y costo asociado.
- Geotextiles: Al igual que lo descrito en el MC, se recomienda la utilización de geotextil para el mejoramiento de la capacidad del suelo, pues ayuda a desarrollar esfuerzo a la tracción.

➤ Diseño Estructural de Pavimentos

De la misma manera que ocurre en el Manual de Carreteras, el diseño de los pavimentos considera aspectos más bien relacionados a diseñar la estructura para resistir las cargas propias del tránsito y la consideración del deterioro inherente al que están expuestos por el uso, aunque también dado por el efecto del clima. En este sentido, tanto para pavimentos flexibles como rígidos, se consideran los efectos del agua y el drenaje de las escorrentías como un factor relevante para integridad del pavimento, que se describen más adelante; y en particular para pavimentos rígidos, la consideración de los efectos de la temperatura que induce en la losa cambios en su volumen, y que se aborda por medio de medidas como la consideración de espaciamientos y las juntas que permitan la deformación disminuyendo las tensiones internas.

Otro punto relevante que también se repite en el diseño de pavimentos tiene relación con la confiabilidad del diseño realizado, pues dada la dificultad de considerar las múltiples variables que intervienen en la estructura o la variabilidad de los datos utilizados como el tránsito estimado, genera que exista una incertidumbre en cuanto al desempeño de la estructura durante su vida útil considerada en el diseño. De esta manera se establecen metodologías para estimar la confiabilidad del diseño y asegurar que efectivamente el pavimento durará el tiempo para el cuál fue diseñado, o para las condiciones de mantenimiento requerido, y esto último, más bien asociado a los pavimentos en túneles, en que actividades de conservación de manera regular y poco espaciadas en el tiempo debieran evitarse. Por esto, es que se definen rangos de confiabilidad de las vías dependiendo de su clasificación y nivel de importancia.

➤ Drenaje de la plataforma de Pavimento

De igual manera que para pavimentos de infraestructura vial interurbana, los criterios de diseño para el drenaje del agua de la estructura vial son relevante y se manejan de manera similar. Para el caso de la infraestructura de drenaje de aguas lluvias existe una mayor variedad de obras que se pueden considerar para el diseño y la canalización de las aguas que son necesarias retirar de la plataforma de pavimento. Para que la funcionalidad de estas obras sea de utilidad, se deben considerar medidas de diseño generales como disponer pendientes transversales adecuadas en calzadas y aceras, considerar pendientes longitudinales que permitan un escurrimiento fácil e impedir apozamientos, y proveer sistemas adecuados de captación, almacenamiento, infiltración, canalización y de conducción de aguas. Entre las obras de drenaje superficial se puede encontrar:

- Sumideros laterales, horizontales o mixtos.
Permiten la captación y conducción del escurrimiento superficial.
- Cámaras de inspección.
Receptáculo bajo en nivel del suelo, que permite el acceso a los ductos y canalizaciones para su revisión y limpieza.

- Pozos Absorbentes
Excavación en forma de tronco-cónica situada a cierta profundidad bajo la rasante relleno con piedras bolones. Permite captar las aguas de la calle que se filtran conduciéndolas por sumideros.
- Obras de Infiltración como estanques, zanjas y pozos.
Captan el flujo superficial y facilitan su infiltración en el suelo.
- Obras de Almacenamiento como lagunas o estanques de retención.
Disminuyen el caudal máximo hacia aguas abajo, por medio de retención temporal y almacenamiento controlado.
- Obras de Canalización.
Pueden ser de corriente abierta o cerrada, y su función es canalizar al agua.
- Red de Aguas Lluvias
La red secundaria de un sistema de aguas lluvias está formada por diversos elementos para la captación, retención, almacenamiento, conducción y entrega de las aguas generadas en la urbanización. Los elementos de conducción normalmente reciben el nombre de colectores y pueden ser superficiales o subterráneos. En caso de los colectores subterráneos están conformados por tuberías y cámaras que reciben el agua desde los sumideros y la conducen hacia un punto de entrega; y los colectores superficiales pueden ser cauces naturales que consideren su conservación o mejoramiento para la conducción.

4.2.3. Puertos

En el caso de los puertos, existen al menos 10 puertos que son administrados por empresas portuarias de carácter público, creadas a partir de Empresa Portuaria de Chile bajo la promulgación de la Ley N°19.542 en 1997, relacionados a los principales puertos del país y bajo el alero del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones (MTT). Sin embargo, el desarrollo de las obras portuarias sigue a cargo del Ministerio de Obras Públicas (MOP) por medio de la Dirección de Obras Portuarias (MOP).

De esta manera, el MOP dispone de una Guía de Diseño, Construcción, Operación y Conservación de Obras Marítimas y Costeras, en que se establecen algunos criterios de diseño respecto de algunas amenazas naturales del cual son objeto de estudio.

➤ Sobre Vida útil

El documento establece que para establecer la vida útil en obras marítimas lo más adecuado es regirse por lo planteado las normas de Japón, basadas en la normativa ISO 2394:1998. De manera que para determinar la vida útil debe considerarse los objetivos de las instalaciones, condiciones de uso del entorno y otras instalaciones, y los efectos de la vida útil en la aplicación de medidas para la comprobación del rendimiento y selección del material, considerando los efectos ambientales. A continuación, se muestra la tabla de clasificación para la determinación de vida útil adoptada.

Tabla 11. Definición de Vida útil de Obras portuarias.

Clase	Vida Útil de diseño (años)	Ejemplo
1	1-5	Estructuras temporales
2	25	Elementos estructurales reemplazables
3	50	Estructuras y construcciones públicas. Estructuras que no clasifiquen en la Clase 4
4	100 o más	Estructuras de tipo: conmemorativo, especiales, alta importancia y de larga escala temporal.

Fuente: ISO 2394 – 1998, citado por Dirección de Obras Portuarias, MOP. (2012-2014).

De todas maneras, se afirma que normalmente los proyectos portuarios en Chile se diseñan para una vida útil de 50 años.

➤ Sobre Conceptos Hidráulicos-Marítimos

Se incluye un capítulo completo sobre la descripción de conceptos y contenidos asociados a la Hidráulica Marítima, relevante para considerar en los diseños de las obras portuarias. Dentro de esto, se muestra una clasificación del oleaje oceánico que es posible efectuar de acuerdo con sus periodos, descripción de la fuerza que los genera, entre otros.

Tabla 12. Clasificación de las ondas por su período. (Jhonson et al, 1978)

Nombre	Periodo (T)	Longitud (L)	Altura (H)	Fuerza generadora	Fuerza restauradora
Gravedad	1 a 30 s	De metros a cientos de metros	De centímetros a 15 m	Viento	Gravedad
Infragravedad	30 s a 30 min	100 a 200 m	Pequeña	Viento	Gravedad, Fuerza de Coriolis
Periodo largo	5 min a 24 h	Pueden llegar a ser de escala planetaria	1 a 5 m	Sismo, derrumbes, atracción de cuerpos celestes	Gravedad, Fuerza de Coriolis
Transmarea	Más de 24 h	-	0 a 12 m	Oscilaciones climáticas	Gravedad, Fuerza de Coriolis

Fuente: Análisis y Descripción estadística del Oleaje (Silva, 2005), citado por Dirección de Obras Portuarias, MOP. (2012-2014).

Así como también se describen otras clasificaciones del oleaje, que tiene más relación a las condiciones climáticas y de dónde se generan, que se consideran para el diseño de desempeño normal de las obras. Por esto, es que también se describe de manera extensa el estudio que se puede hacer del oleaje, su comportamiento, su propagación, la rotura o hidrodinámica de la rompiente, modelos numéricos de análisis, etc.

Luego de entendido el proceso del oleaje, se procede a describir cómo ocurre su interacción con otras estructuras, como las superficies de las costas o las fuerzas que aparecen al interactuar con estructuras como paredes verticales o elementos sumergidos y estructuras aisladas.

➤ Sobre la Dinámica Litoral

Se describen los procesos de la dinámica litoral como el movimiento del fondo marino, la rugosidad y las ondulaciones, los movimientos de sedimentos granulares, rompimiento de la ola, corrientes litorales, entre otros. Para luego, revisar aspectos de la interacción entre los procesos litorales descritos y las obras costeras en general.

La mayor parte de este capítulo no es de relevancia para el objeto de estudio de este trabajo de investigación

➤ Sobre la Geotecnia

En este capítulo se abordan los tópicos como filtración y consolidación, fundaciones superficiales, fundaciones profundas, estructuras de contención, estabilidad de taludes y mejoramiento de terreno. El desarrollo de los contenidos de este apartado está basado en las recomendaciones de Obras Marítimas Españolas.

- Filtración y Consolidación.
Se abordan los problemas geotécnicos más comunes asociados al agua dentro del terreno como estudio de caudales de filtración, empuje del agua sobre estructuras, estudio de la depresión del nivel freático, de la seguridad frente al levantamiento de fondo, estudio de la posible erosión interna, de la consolidación de masas de suelo, y de la generación y disipación de presiones intersticiales.
- Fundaciones Superficiales.
Se consideran superficiales cuando transmiten la carga al suelo por presión bajo su base sin rozamientos laterales de ningún tipo o cuando el plano de contacto entre la base y el suelo está a una profundidad que resulta pequeña comparada con el ancho de fundación. Se estudian los diferentes tipos de fundaciones superficiales, sus características, modos de fallas y estados límites de servicio. En general, de la misma manera que se calculan las fundaciones para cualquier estructura sin ninguna consideración en particular para obra portuaria.
- Fundaciones Profundas.
Una razón común para considerar este tipo de fundación es la presencia de suelos con poca capacidad de soporte cerca de la superficie. Los procedimientos más habituales es el uso de el pilotaje. Se considera el estudio para el caso estático y sísmico. Incluso se hace un cruce de información con lo estipulado en el Manual de Carreteras.
- Estructuras de contención
Corresponden a estructura de contención los elementos artificiales utilizados para crear en el terreno desniveles que de otra forma no serían estables. En particular se distinguen 3 tipos de estructuras de contención contextualizadas a obras ubicadas en obras marítimas, mostradas en la siguiente figura.

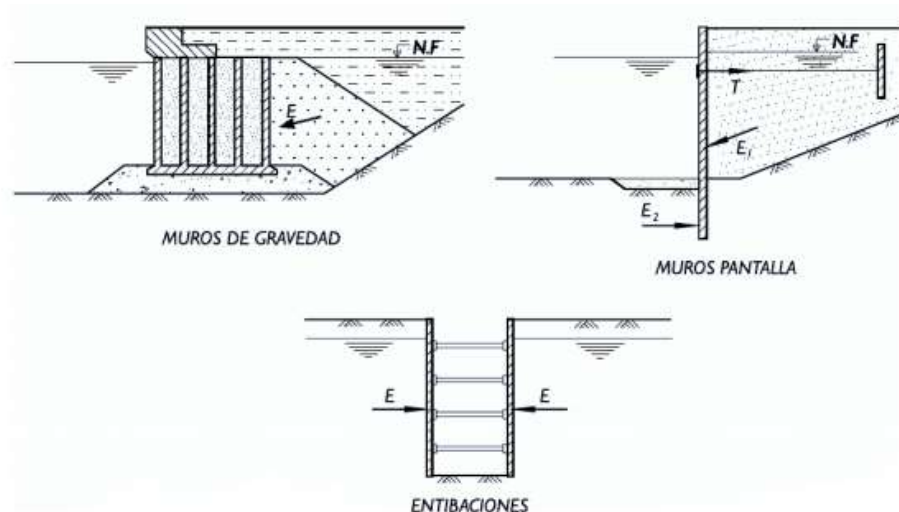


Figura 42. Tipología básica de estructuras de contención en Obras Marítimas.
Fuente: Recomendaciones de Obras Marítimas Españolas (ROM 05 Cap. III) citado por Dirección de Obras Portuarias, MOP. (2012-2014).

Los muros de gravedad son estructuras de contención que soportan el empuje de tierras, fundamentalmente mediante su propio peso. Los ejemplos típicos son los muelles de gravedad formados por bloques de hormigón o por cajones prefabricados. Los muros pantalla son estructuras que reciben directamente el empuje de terreno y lo soportan mediante empotramiento de su pie y eventuales anclajes próximos a su cabeza. Y por último, las entibaciones son aquellas estructuras de contención en las que, aprovechando dos planos próximos de excavación, se transmiten las cargas de uno a otro, mediante elementos estructurales trabajando principalmente a compresión, tales como, puntales, codales, etc.

Se establecen los criterios de cálculo, y en especial, la consideración en el cálculo del empuje sísmico para la capacidad de soporte.

- Estabilidad de Taludes

Se establecen principios generales del análisis y algunos detalles de los tipos de cálculo más usuales asociados al estudio de la estabilidad global del terreno. En este se abarcan aquellos aspectos relacionados a la estabilidad de excavaciones (taludes en corte) o de relleno (taludes en terraplén). Algunos de los modos de falla que se estudian son:

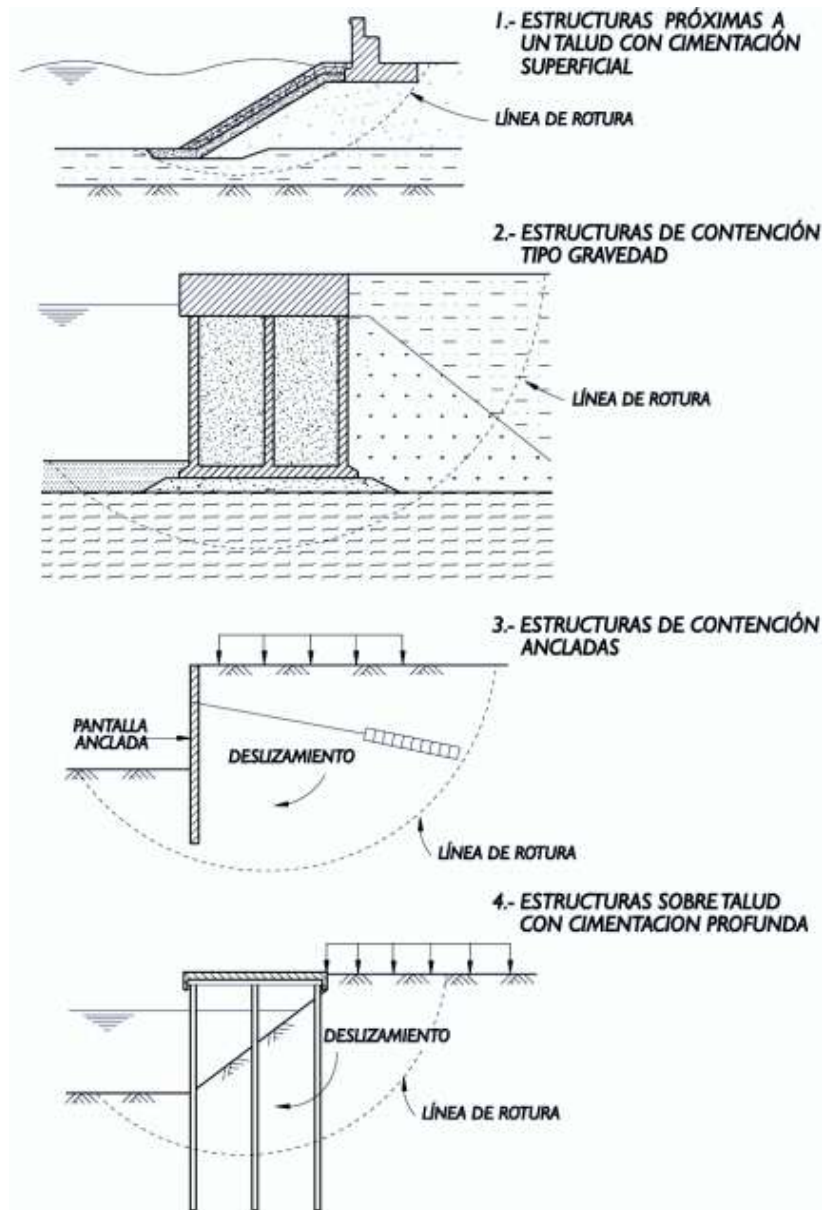


Figura 43. Algunos modos de fallas por pérdida de estabilidad en taludes.
Fuente: Recomendaciones de Obras Marítimas Españolas (ROM 05 Cap. III) citado por Dirección de Obras Portuarias, MOP. (2012-2014).

Se consideran en los cálculos los efectos del agua y de los sismos, estableciendo coeficientes de seguridad para el caso de solicitaciones estáticas y sísmicas.

- Mejoramiento de terreno
Cuando la calidad del terreno no es la adecuada para las obras, se puede mejorar mediante distintos tipos de tratamientos que dependerán de las circunstancias y características del caso en particular. En general, se consideran las mismas medidas de mejoramiento que se describieron para el caso de infraestructura interurbana.

- Licuación

Se considera los efectos de la aplicación de las cargas cíclicas sobre las estructuras y el suelo, que pueden generar el fenómeno de licuefacción. Cuyo origen se puede dar por las oscilaciones del mar o el viento, los movimientos sísmicos, entre otros. En especial, se da tratamiento al procedimiento de predecir la posibilidad de que se produzca el fenómeno de licuefacción del suelo por la acción sísmica. Se considera un reconocimiento geotécnico detallado del terreno, con clasificación y ensayos de suelo, valor del índice N del SPT, el parámetro CRR para medir la resistencia a la licuefacción y otras verificaciones.

➤ Sobre Cargas Sísmicas

Las cargas sísmicas se consideran como cargas eventuales dado que presentan pequeños tiempos de aplicación en comparación a la vida útil de la estructura, sin perjuicio de que la consideración de esta carga es de suma importancia al momento de diseñar dada la alta sismicidad de Chile. Se determina que debe respetar lo establecido en las disposiciones de la norma chilena NCh 2369.Of2003 junto a las consideraciones especiales de cada tipología estructural.

Respecto de análisis sísmico de taludes, se pueden emplear las recomendaciones del compendio de la norma japonesa de Puertos, versión 2009 u otros métodos utilizados en Chile aplicados con buenos resultados.

El diseño sísmico de los equipos de carga y descarga (grúas) deberá ser efectuado mediante un análisis dinámico en donde el modelo considerado incluya tanto las grúas como sus estructuras de soporte.

Y finalmente, de las estructuras aisladas se deben seguir las recomendaciones de la norma chilena NCh2745-2003.

➤ Sobre Obras Portuarias

Se abarcan los criterios específicos para estructuras como:

- Obras de Abrigo y Protección: Rompeolas y Espigones.
- Playas: naturales, artificiales.
- Obras de atraque, amarre y fondeo: Muelles, Rampas, Duques de Alba, Terminales Flotantes.
- Estructuras Offshore, lacustres y fluviales.
- Ductos y Tuberías.
- Pavimentos portuarios.
- Dragados
- Obras de Protección contra tsunamis

Entre la información sobre los criterios o tipos de obras, se puede destacar las siguientes medidas en el diseño:

Sobre los Muelles piloteados, existen alternativas de consideración para la resistencia de las sollicitaciones, en especial sobre la estructuración. Respecto de la superestructura se

afirma que el hormigón es el mejor material para el entramado de la cubierta dada las altas solicitaciones de cargas concentradas que actualmente se exigen sobre las losas. Por otro lado, en cuanto a su infraestructura, existen variadas alternativas, entre ellas los sistemas de pilotes inclinados que generalmente se distribuyen en sistemas de cuplas, que son las encargadas de resistir principalmente las fuerzas horizontales que actúan sobre el muelle como las fuerzas sísmicas, de reacción de las defensas y las de amarre. Normalmente la inclinación de las cuplas es de 1:3. Este tipo de solución permite que la estructura se considere rígida, lo que es apropiado si es que se debe soportar grúas o equipos de manejo de carga, a diferencia de las estructuras de pilotes verticales que se considera como flexible.

También se puede considerar un sistema de pilotes inclinados con aislación sísmica, en que se incorpora aisladores calibrados y fusibles sísmicos entre la cubierta del muelle y los pilotes inclinados. Aunque se debe tener consideración que las fuerzas de atraque lateral y de amarre no excedan el umbral de resistencia lateral del aislador. Estos muelles deben analizarse y diseñarse de acuerdo a las disposiciones de la norma NCh 2745-2003.

Respecto del diseño sísmico de las obras deben ceñirse por lo mencionado sobre las cargas sísmicas y las normas respectivas.

➤ *Sobre Obras de Protección contra Tsunamis*

Especial mención tienen las obras de protección contra tsunamis que considera la guía de diseño.

Las estructuras que requieren ser protegidas de los efectos de inundación por tsunami deberán ser diseñadas por un ingeniero civil con conocimientos en diseño de este tipo de estructuras y de acuerdo a las disposiciones y requisitos establecidos en la guía. Se distinguen las siguientes situaciones a considerar:

- Edificaciones emplazadas en zonas de riesgo de inundación y destinadas a la habitación: Se deben proteger construyéndolas elevadas sobre estructuras de soporte o sobre un relleno protegido o construyéndolas en terreno natural no perturbado, de modo que la zona destinada a la habitación se ubique sobre la cota de inundación.
- Edificaciones emplazadas en zonas de riesgo de inundación y no destinadas a la habitación: Cualquier edificación o parte de la misma, con destino no habitacional y sin prohibición para ubicarse por debajo de la cota de inundación, deberá construirse considerando algunas de las siguientes opciones:
 - Paso del agua sin mayores obstáculos.
 - Estructura hermética con paredes impermeables al paso del agua y con componentes estructurales que tengan la capacidad de resistir cargas hidrostáticas e hidrodinámicas y los efectos de flotabilidad debido a la inundación.
 - Tabiques colapsables bajo carga de tsunami que no pongan en riesgo la estructura principal de la edificación.

- Las edificaciones emplazadas en zonas de riesgo de inundación, diseñadas de acuerdo a esta Guía técnica y construidas bajo la cota de inundación, que dispongan de vías de evacuación a zonas seguras por maremoto o tsunami y/o medidas de mitigación diseñadas por un profesional especialista y aprobadas por la autoridad competente, podrán ser habitables.
- Edificaciones estratégicas: De acuerdo con la norma técnica NTM 003 – 2010 no se permite emplazar edificaciones estratégicas en zonas de riesgo de inundación.
- Obras de urbanización: El diseño de las obras de urbanización ubicadas en las zonas de riesgo de inundación debe considerar el efecto del tsunami.
- Estructuras de evacuación vertical a zonas seguras: Deben ser diseñadas de acuerdo a “Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis” FEMA P646 / June 2008”.

Debe considerarse que está permitido las edificaciones construidas sobre material de relleno como soporte estructural, excepto en aquellas zonas en que la autoridad competente prohíba el uso de relleno. Y en el caso que se acceda al uso de relleno se debe demostrar que no altera sustancialmente las características de escurrimiento considerada en los planos de inundación, así como tampoco debe afectar a otras construcciones existentes ni otras instalaciones o sistemas de drenaje.

De los requisitos estructurales se establece que todas las edificaciones y estructuras que se diseñen deben ser capaces de resistir las cargas previstas en la guía y todas las cargas exigidas en otras normas de diseño estructural aplicable. Entre las consideraciones se encuentran:

- Sobre la estabilidad, establece que el diseño debe considerar un factor de seguridad mínimo de 1,2 por falla de deslizamiento o de vuelo, y de un factor de seguridad mínimo de 1,33 para el efecto de flotación.
- De las cargas previstas, se incluyen las cargas hidrostáticas, hidrodinámicas, cargas de impacto y cargas de suelo.
- Sobre las presiones admisibles del suelo debe considerar que bajo condiciones de tsunami la capacidad de soporte de los suelos sumergidos se ve afectada y reducida por el efecto boyante del agua sobre el suelo. Para las fundaciones de las edificaciones a que se refiere esta Guía técnica, la capacidad de soporte de los suelos deberá ser evaluada por un método reconocidamente aceptado. Los suelos expansivos deben ser analizados con especial cuidado. Los suelos que pierden toda la capacidad de soporte cuando están saturados o se licuan no se deben usar como suelo de fundación.
- Los niveles de socavación a considerar en el diseño alrededor de pilas individuales y pilotes deben ser los especificados en el capítulo sobre la Geotecnia, a menos que se realice un estudio detallado de la profundidad de socavación. No se permite las

fundaciones superficiales a menos que el suelo natural de soporte esté protegido en todos sus lados contra la socavación por una protección adecuada. Se permite fundaciones superficiales en zonas ubicadas a una cota más allá de un 50% de la cota de inundación, siempre y cuando se apoye en suelo natural y por lo menos medio metro por debajo de la profundidad especificada de socavación y la profundidad de socavación no supere un metro.

- Las fuerzas que deben ser considerados en el diseño de estructuras elevadas para resistir las inundaciones son:
 - Fuerza boyante: levantamiento causado por inmersión parcial o total de una estructura.
 - Fuerza del frente de ola: causada por un frente de agua que choca contra una estructura.
 - Fuerza de arrastre: causada por la velocidad del flujo alrededor de un objeto.
 - Fuerza de impacto: causados por los escombros tales como madera flotante, pequeñas embarcaciones, partes de las casas, etc., al chocar con una estructura.
 - Fuerza hidrostática: causado por un desequilibrio de presión debido a una profundidad de agua diferencial en los lados opuestos de una estructura o elemento estructural.

Respecto de las obras de protección y mitigación contra tsunamis se pueden encontrar las siguientes estructuras:

- a. Rompeolas contra tsunamis: estructura costa afuera cuyo objetivo es impedir el ingreso del tsunami a una bahía determinada.
- b. Defensas costeras y diques: estructuras que permiten impedir en gran parte el ingreso del tsunami a sectores poblados, siendo el parámetro de diseño más importante, la altura de coronamiento.
- c. Compuertas: El mismo que las compuertas tradicionales de otro tipo de infraestructura, solo que se debe considerar la fuerza incidente del tsunami sobre la estructura.
- d. Cordones forestales costeros: considera la reforestación costera para reducir el ingreso del tsunami en zonas terrestres pobladas. De acuerdo a las estimaciones del tsunami a retener es que se definen la altura y densidad del bosque requerido. Es una solución ambientalmente amigable, pero considera que la planificación costera se retrase para disponer de espacio para esta medida. Un aspecto importante es que estas barreras naturales pueden servir para detener los contenedores que sean arrastrados desde zonas portuarias hacia zonas pobladas.

4.2.4. Ferrocarriles

El sector de los ferrocarriles está normado por ley bajo el Decreto N°1.157 que fija el texto de la Ley General de Ferrocarriles. Su desarrollo, al igual que otros sectores ya revisados, se establece por medio del otorgamiento de concesiones de las vías férreas, sin considerar aquellas líneas destinadas a la explotación agrícola o industrial que se desarrollan dentro de un predio rural o establecimiento y que son de uso exclusivo de los propietarios.

En este contexto, se destaca que La Empresa de los Ferrocarriles del Estado, EFE, es la principal empresa de ferrocarriles en Chile y propietaria de la mayor red ferroviaria nacional. Es una empresa autónoma del Estado regida por el Decreto con Fuerza de Ley N°1, DE 1993, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones que fija el texto de la Ley Orgánica de la empresa. Con esto, el desarrollo de sus proyectos sería una buena referencia de los criterios de diseño que se utilizan para el sector, sin embargo, no ha sido posible acceder a documentos de los proyectos que ha llevado a cabo dado que son de carácter privado de la empresa.

No obstante, la Secretaría de Planificación de Transporte, SECTRA, tiene a disposición en su página web un “Manual de Recomendaciones de diseño para proyectos de Infraestructura Ferroviaria” (2003), que podría ayudar a esclarecer algunos criterios considerados en los proyectos que se han llevado a cabo, aunque no asegura que se acerque a las metodologías de diseño que se han aplicado a las nuevas rutas ferroviarias que EFE ha llevado a cabo en los últimos años. De todas formas, actualmente se encuentra en trabajo la elaboración de una normativa técnica, licitada por la empresa EFE, y que busca tomar como referencia a operadoras ferroviarias extranjeras cuyo fin es incorporar las mejores prácticas y estándares internacionales de la industria (CPI, 2018).

➤ Definición del Proyecto

Para efecto de las recomendaciones dadas en el manual mencionado, los proyectos de transporte ferroviarios se pueden clasificar en tres grandes categorías: (1) Proyectos de Transporte de Pasajeros, (2) Proyectos de Transporte de Carga y (3) Proyectos de Tráfico Mixto.

Respecto a la vida útil y el horizonte del proyecto, se suele considerar un período de 20 años, sin embargo, los equipos e instalaciones ferroviarios normalmente exceden esta cifra por mucho. Por lo que un criterio utilizado en la evaluación es desarrollar el proyecto y estimar la demanda en 20 años, para luego suponer que su nivel de actividad se mantiene constante. Luego, los flujos a partir del año 20 se pueden actualizar como valores residuales.

La definición del proyecto también incluye los estudios necesarios para el proyecto. Entre estos se pueden destacar los estudios de hidrología y drenaje, cuya mención se relaciona al Volumen 2 del Manual de Carreteras, en que se aborda esta misma temática. De la misma manera ocurre con los estudios geotécnicos del proyecto, con la salvedad que los criterios, disposiciones y recomendación que se refieren al diseño de la infraestructura vial (llamada subestructura de la vía en los proyectos ferroviarios),

son aplicables a los trazados ferroviarios. La superestructura de la vía tiene en cambio características diferentes a las de la vialidad, por lo que en este caso los estudios geotécnicos se refieren fundamentalmente a la existencia de yacimientos que puedan proveer balasto de acuerdo con las especificaciones necesarias para el estándar definido a la vía. En el caso de los trazados existentes, los estudios de geotecnia se efectúan cuando ha sido detectada una clara deficiencia o insuficiencia de las obras actuales por lo que, en general, los estudios se orientan a los problemas específicos que se desea resolver.

➤ **Diseño del trazado**

Se desarrollan los temas asociados al trazado en base a las condicionantes de lo estipulado en la definición del proyecto, para definir así aspectos como las curvas, las rampas, alineaciones rectas, gálibos, entrevías, desvíos de estaciones, entre otros. En este desarrollo solo se consideran aspectos técnicos propios del diseño ferroviario y no se considera ningún aspecto asociado a la resiliencia

➤ **Subestructura de la vía**

En la práctica, las obras de infraestructura de caminos son muy similares a las de vías férreas, aunque con ciertas particularidades que las diferencian. La subestructura ferroviaria tiene como función básica proporcionar el apoyo a la superestructura de la vía, de modo que ésta no sufra deformaciones que impidan o influyan negativamente en la explotación, bajo las condiciones del tráfico que determinan el trazado de la vía. En este sentido, se definen dos problemas a resolver: determinar la capacidad portante y conocer las causas y efectos de las deformaciones y asentamientos. El primero de ellos tiene relación directa con el dimensionamiento de la vía, y en particular, sobre el espesor óptimo de balasto; y el segundo, asociado a la degradación geométrica de la vía con el tráfico y el consiguiente incremento de los gastos de conservación.

La subestructura es el terreno natural modificado para adecuar la superficie de apoyo de la superestructura de la vía férrea. La plataforma se refiere a la capa de material compactado que separa la subestructura y la superestructura de la vía férrea. Y la superestructura de la vía incluye los materiales específicos de una línea férrea: balasto, durmiente, rieles y elementos accesorios. A continuación, se muestra un esquema del perfil.

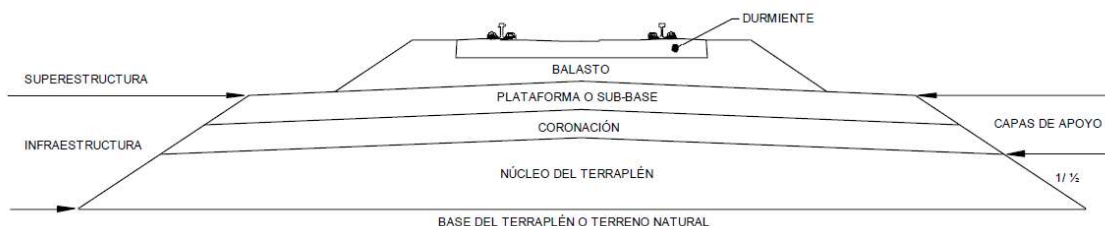


Figura 44. Perfil de la subestructura y superestructura ferroviaria.
Fuente: SECTRA. (2003).

La plataforma de la vía férrea tiene un tratamiento algo diferente al que se da en las obras de infraestructura caminera, pero el resto de los elementos de la subestructura

ferroviaria tiene un tratamiento prácticamente idéntico, por lo que los conceptos y procedimientos contenidos en el Manual de Carreteras del MOP son enteramente aplicables a los diseños ferroviarios. Por esto es que, no se desarrolla de manera extensa este tema y se recomienda tomarlo como referencia, salvo en aquellos aspectos de diseño que difieren y se mencionan en el manual, tratándose básicamente de: el tratamiento del agua en el terreno de fundación, la fundación de los terraplenes, el diseño del cuerpo del terraplén y el diseño de cortes.

Deben definirse de buena manera las características geotécnicas del suelo, de manera que puedan definirse la naturaleza del material que lo compone y las propiedades de resistencia y deformación que posee.

En cuanto al desarrollo de taludes de corte y terraplenes, corresponden a uno de los elementos complejos de la plataforma ferroviaria, ya que está influido por el tipo de suelo, la compactación, la presencia de flujos hidrodinámicos y la influencia de agentes atmosféricos. En Ferrocarriles del Estado, en todos los planos tipos el talud de cortes y terraplenes se fija para terrenos de tierra una inclinación normal de 1,5 horizontal y 1,0 vertical.

En el Manual de Carreteras se detalla el tratamiento de los taludes, recomendando algunas pendientes tipo para cortes en suelo y en roca. Éstas pendientes se pueden tomar para proyectar vías férreas, pero se recomienda para cortes y terraplenes de alturas mayores de 10 m, hacer los estudios geológicos especializados para fijar el talud apropiado y seguro ya que, de otra manera, los costos pueden subir notoriamente. Se definen, además, algunas especificaciones para la construcción de plataformas y terraplenes de las vías férreas.

Cómo se sugiere utilizar como referencia lo expuesto en el Manual de Carreteras, no se describen todos los procesos asociados a estabilidad de taludes y los aspectos asociados a considerar los posibles fenómenos que pudieran afectarlos, pues ya fueron revisados.

➤ Obras de Arte

Las obras de arte comprenden los puentes, viaductos o pasos inferiores, alcantarillas, ductos subterráneos, túneles, pasos superiores, cierros de la vía y otras obras complementarias.

Las Fundaciones de los puentes deben diseñarse para una vida útil mínima de 100 años. Corresponden a obras de hormigón armado que deben ser verificados con las normas propias del hormigón. Se realiza una verificación de la fatiga admisible considerando dos casos principales:

Peso Propio + Sobrecarga + Frenaje en caso de apoyos fijos
Peso Propio + Sobrecarga + Sismo en caso de apoyos móviles

No se considera necesario verificar el caso de frenaje durante un sismo, dada la improbabilidad de que aquello ocurra. Aunque si se llegara a realizar, se acepta una fatiga del suelo aumentada en un 33% debido a la superposición de cargas eventuales.

Para el caso de que las fundaciones estén en el lecho de ríos o pasos de agua, deberán hacerse los estudios hidráulicos necesarios para determinar la socavación esperada. Es posible aceptar que los estribos se diseñen con fundación directa puesto que estas estructuras se pueden proteger fácilmente, siempre que se haya estudiado bien su ubicación en la ribera del río, pero en las cepas, situadas generalmente en los lechos de los ríos, las fundaciones deben ser sobre pilotes o indirectas.

En el uso de materiales de los puentes, en general la red ferroviaria chilena son metálicos. Sin embargo, el diseño de estos puentes, producen una discontinuidad en las vías férreas, que se considera mal evaluado para trenes de pasajeros que buscan priorizar la comodidad. Para evitar esto, se considera la construcción de los puentes con tableros de hormigón armado, que permite dar la continuidad necesaria y disminuir las interferencias naturales entre el tráfico y el mantenimiento. Una particularidad de Chile es que no se consideran vías separadas para carga y para pasajeros y por lo tanto, se menciona que el concepto de no tener interrupciones de vía balastada se ha ido imponiendo considerando la construcción de puentes de hormigón armado en luces menores 25 metros; en aquellos mayores se considera en la medida que el factor económico lo permita.

En el diseño de obras como las alcantarillas se estipula que se debe considerar una vida útil de máximo 50 años.

Respecto a los túneles solo hace referencia a la determinación del gálibo, que lo determina la empresa ferroviaria que utilizará la obra, pues depende del equipo a utilizar y del sistema de tracción. Se sugiere considerar siempre el espacio necesario y suficiente para la catenaria de tracción eléctrica. Además de considerar también el espacio que permita el eventual tránsito de personas para emergencias o faenas de mantenimiento.

En las obras complementarias, se incluye el diseño de las obras de defensas fluviales para los puentes. Establece que son obras que permanentemente se deben inspeccionar y controlar, pues las condiciones que se utilizan para el diseño podrían cambiar a través de los años. Para esto se debe realizar el estudio hidráulico del río que pasa por debajo del puente, el perfil longitudinal del eje hidráulico y perfiles transversales que comiencen, en lo posible, desde otro puente aguas arriba hasta 100 m aguas abajo. Con esto, debe definirse la obra de defensa más apropiada para cepas y estribos.

➤ Superestructura de la vía Férrea

Como se mencionaba anteriormente, la superestructura de la vía férrea está formada por todos los elementos y materiales que se colocan sobre la plataforma para establecer el camino de rodado ferroviario. Estos son:

- Los rieles: Perfiles de acero que reciben directamente la carga del material rodante por intermedio de las ruedas de los equipos ferroviarios.

- Durmientes: vigas transversales en la cual se apoyan los rieles. Mantienen fijos los rieles en su posición y transmiten su carga al balasto en forma uniforme.
- Balasto: material pétreo que recibe la carga del durmiente y la transmite en forma uniforme a la plataforma.
- Elementos de sujeción. Piezas metálicas que sujetan firmemente los rieles a los durmientes.

En la descripción de las especificaciones y el diseño de estos elementos no se mencionan aspectos relacionados a considerar efectos de eventos extremos. Más bien, se abarca en profundidad temas asociados a las características los materiales a utilizar, las condiciones de mantenimiento y el cuidado que se debe tener para disminuir los efectos propios del clima en que está inserto el proyecto, como la humedad, la corrosión, efectos de temperatura, entre otros. Entre aspectos asociados al material, es que solo se consideran las acciones dinámicas asociados a los efectos del tránsito del tren sobre las vías y las vibraciones que se generan.

➤ Aspectos Ambientales

Se consideran aspectos asociados al impacto ambiental de los proyectos ferroviarios, y en especial se describen ciertos impactos que se pueden considerar relevantes y se sugieren algunas medidas para la mitigación y recomendaciones específicas. Estos son:

- Geomorfología

A. Recomendaciones:

1. Diseño apropiado del trazado.
2. Remoción mínima de cubierta vegetal.
3. Restaurar las áreas que resulten alteradas de modo que asemejen su estado original.
4. Utilizar las áreas donde se realizarán construcciones para el acopio de materiales.

B. Medidas a tomar:

(a) En relación con la construcción de obras, se pueden proteger los taludes contra la erosión mediante sistemas de drenaje, tales como canaletas interceptoras de aguas lluvias con sus respectivos sistemas colectores y de evacuación. La superficie de los taludes deberá ser protegida mediante la plantación de vegetación apropiada.

(b) Para cualquier movimiento de tierra, la remoción de la cubierta vegetal debe ser mínima, abarcando solo las áreas donde se va a trabajar.

(c) Las áreas que resulten alteradas deben ser restauradas de modo que asemejen su estado original tanto en topografía como en vegetación, de modo de evitar la erosión y los cambios en el sistema de drenaje superficial y al mismo tiempo cuidar la estética del lugar. Posteriormente la superficie podrá cubrirse con el escarpe de la capa vegetal removida de los sectores de excavación y construcción.

(d) Para el acopio de materiales de construcción o excedentes de excavaciones se recomienda usar sólo las áreas donde posteriormente se van a realizar construcciones, estos sitios deberán escogerse de modo que estén lo más alejados posible de las vías de circulación y de construcciones existentes.

(e) Al momento de retirar los rieles o hacer abandono de las obras se debe tener especial cuidado con la potencial inestabilidad y el consiguiente proceso erosivo que podría causar la extracción de las vías y la demolición de las estructuras.

- Suelos

A. Recomendaciones:

1. Disminuir las alturas de los taludes.
2. Suavizar las pendientes de taludes.
3. Evitar la compactación excesiva de suelos.
4. Remoción mínima de cubierta vegetal.

B. Medidas a tomar:

(a) Se deberá evitar la compactación de suelos debido al tránsito innecesario de maquinaria, sobre todo en aquellas zonas que no formen parte del área del proyecto. En este caso las precauciones deben apuntar a reducir al mínimo estas superficies, y en lo posible seleccionar (para el acopio de materiales y estacionamiento de maquinarias) las áreas con menor valor edafológico (suelos con capacidades de uso V a VIII), recuperándolas al finalizar las obras aplicando una capa de suelo vegetal de al menos 20 cm de espesor.

(b) Para cualquier movimiento de tierras, la remoción de la cubierta vegetal debe ser mínima, abarcando solo las áreas donde se va a trabajar; con este fin se deberá prohibir el tránsito y la remoción de suelos fuera de las áreas específicas de las obras. Si se proyecta utilizar el material de escarpe de la cubierta vegetal para la recuperación de áreas verdes, éste debe acumularse temporalmente en un lugar apropiado, de lo contrario deberá transportarse periódicamente a vertederos autorizados.

- Hidrología

A. Recomendaciones:

1. Utilización de medidas contra la erosión.
2. Evitar acciones que se traduzcan en anegamientos.
3. Minimizar las interferencias con cursos de agua superficiales.

B. Medidas a tomar:

(a) La extracción de agua de tipo superficial para cualquier uso, durante la etapa de construcción, deberá contar con la aprobación de la Dirección General de Aguas del M.O.P.

(b) La disposición de las aguas deberá realizarse en fosos que conduzcan hacia lugares de drenaje adecuado, de modo que no afecten a terceros ni constituyan

lugares de anegamiento permanente. Sólo se podrán disponer hacia canales de regadío, acueductos y otros, cuando éstas no afecten la calidad de dichas aguas bajo el cumplimiento del D.S. N° 105 de 1987 (D.O. 22.05.87) del Ministerio de Obras Públicas, que oficializa Norma Chilena de Aguas N° 1.333 de 1978 sobre requisitos de calidad de agua para diferentes usos. D.F.L. N° 1.122 de 1981 y Código de Aguas del Instituto de Normalización sobre requisitos de calidad de agua para diferentes usos, y cuenten con la aprobación de la autoridad correspondiente.

(c) En caso de construcción de obras de defensa y regularización de las riberas y cauces de ríos o esteros se deberá cumplir con lo dispuesto en la Ley N° 11.402 (D.O. 16.12.53) del Ministerio de Obras Públicas.

(d) Se deberán tomar las medidas pertinentes con respecto al desvío de los cursos de agua de manera de no alterar significativamente los cauces intervenidos, en especial durante la construcción de puentes, período en el cual se deberán tomar todas las precauciones que sean necesarias a fin de resguardar la calidad original de las aguas.

- Hidrogeología

A. Recomendaciones:

1. Minimizar las interferencias con cursos de agua subterráneos.
2. Excluir las zonas que tengan un nivel piezométrico menor a 5 m para el almacenaje de materiales que puedan contaminar las aguas subterráneas.

B. Medidas a tomar:

(a) Se deberá excluir las zonas donde el nivel piezométrico de la capa freática se encuentre a una profundidad igual o superior a 5 m para el almacenaje de materiales cuya percolación a través del suelo y/o subsuelo pudiesen contaminar las aguas subterráneas, con este objetivo se deberá considerar las concentraciones máximas permitidas en la Norma Técnica Relativa a la Descarga de Residuos Industriales Líquidos de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, en que respecta a descargas a pozos de infiltración o absorbentes.

(b) En los casos en que se deban realizar fundaciones, deberá coordinar con el Inspector Fiscal y la Dirección General de Aguas las formas de realizar estas actividades preservando la calidad y los derechos de aprovechamiento de éstas por terceros.

(c) Cuando se deba efectuar exploraciones y/o explotaciones de aguas subterráneas, estas deberán acogerse a la normativa vigente, es decir, se debe seguir lo estipulado en la Resolución N° 186 de 1996 de la Dirección General de Aguas del MOP, que establece normas de exploración de aguas subterráneas.

4.3. Infraestructura de Uso Social

En el desarrollo de este eje estratégico, se puede considerar que prácticamente toda la infraestructura que aquí se incluye depende, en términos normativos, de las disposiciones establecidas en la Nueva Ley General de Urbanismo y Construcciones, LGUC (Decreto 458, 1976), y los instrumentos en que ella se hace mención, como:

- Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC)
- Listado de Normas técnicas (obligatorias)

En cuanto a aspectos generales relacionados a metodologías de diseño resiliente que se incluyen en estos documentos, es relevante mencionar que principalmente se controlan aspectos relacionados al factor de exposición de la infraestructura frente a las amenazas de origen natural. En términos concretos, los instrumentos descritos en la OGUC como los planes de planificación territorial obligan a considerar “áreas de riesgo” donde no es posible edificar o bien, se permite hacerlo cumpliendo ciertas disposiciones.

Estas áreas de riesgo se describen como “*aquellos territorios en los cuales, previo estudio fundado, se limite determinado tipo de construcciones por razones de seguridad contra desastres naturales u otros semejantes, que requieran para su utilización la incorporación de obras de ingeniería o de otra índole suficientes para subsanar o mitigar tales efectos*” (artículo 2.1.17., OGUC, 1992). Y estas zonas se determinan considerando las siguientes características:

1. Zonas inundables o potencialmente inundables, debido entre otras causas a maremotos o tsunamis, a la proximidad de lagos, ríos, esteros, quebradas, cursos de agua no canalizados, napas freáticas o pantanos.
2. Zonas propensas a avalanchas, rodados, aluviones o erosiones acentuadas.
3. Zonas con peligro de ser afectadas por actividad volcánica, ríos de lava o fallas geológicas.
4. Zonas o terrenos con riesgos generados por la actividad o intervención humana.

Así también, la ley hace mención a diferentes normas técnicas o regulaciones sectoriales que deben ser de acceso público. De esta manera, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) pone a disposición en su página web el listado de las normas técnicas NCh obligatorias publicadas por el Instituto Nacional de Normalización (INN), y también, los reglamentos propios que recomiendan ser cumplidos para el diseño de la infraestructura en la cual tiene alcance. En las siguientes secciones, se hace la revisión de aquellas normas que de alguna manera establecen metodologías de diseño resiliente a nivel general en ciertos tipos de infraestructura de uso social, y que se destacan a modo general, los aspectos relevantes para este trabajo investigativo. Dado que las normativas chilenas y normas técnicas enunciadas por el MINVU en este eje estratégico son aplicadas, en general, de manera transversal a varios tipos de infraestructura de uso social, no se hace la revisión de manera desagregada por tipo de estructura como las secciones anteriores.

La norma más conocida en el desarrollo de proyectos en general es la norma NCh 433:1996 Mod 2009 – sobre Diseño Sísmico de Edificios. En esta se definen los requerimientos de diseño para hacer frente a la amenaza sísmica en Chile, una de las más recurrentes y de mayor impacto y alcance en la sociedad.

El alcance de la norma incluye los edificios que se incluyen en la tabla mostrada más adelante, y a los equipos y otros elementos secundarios de los edificios. No se incluyen obras civiles como puentes, presas, túneles, acueductos, muelles, canales, ni tampoco edificios o instalaciones industriales.

En la norma se establece una clasificación de los edificios y estructuras de acuerdo a su importancia, uso y riesgo de falla. Relevante para definir los estándares de diseño que se deben aplicar a cada uno. Algunas de las infraestructuras relevantes que se consideran son: Hospitales, Escuelas y recintos Universitarios, Cárceles, Museos, Bibliotecas, Estadios, Torres de Control Aéreo, Plantas de Agua Potable, entre otros.

Naturaleza de la ocupación	Categoría de Ocupación
<p>Edificios y otras estructuras aisladas o provisionales no destinadas a habitación, no clasificables en las Categorías de Ocupación II, III y IV que representan un bajo riesgo para la vida humana en el caso de falla, incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Instalaciones agrícolas. - Ciertas instalaciones provisorias. - Instalaciones menores de almacenaje. 	I
<p>Todos los edificios y otras estructuras destinados a la habitación privada o al uso público que no pertenecen a las Categorías de Ocupación I, III y IV, y edificios u otras estructuras cuya falla puede poner en peligro otras construcciones de las Categorías de Ocupación I, III y IV.</p>	II
<p>Edificios y otras estructuras cuyo contenido es de gran valor, incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - bibliotecas; - museos. <p>Edificios y otras estructuras donde existe frecuentemente aglomeración de personas, incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - salas destinadas a asambleas para 100 o más personas; - estadios y graderías al aire libre para 2 000 o más personas; - escuelas, parvularios y recintos universitarios; - cárceles y lugares de detención; - locales comerciales con una superficie mayor o igual que 500 m² por piso, o de altura mayor que 12 m; - centros comerciales con pasillos cubiertos, con un área total mayor que 3 000 m² sin considerar la superficie de estacionamientos. <p>Edificios y otras estructuras no incluidas en la Categoría de Ocupación IV (incluyendo, pero no exclusivamente, instalaciones que manufacturan, procesan, manipulan, almacenan, usan o desechan sustancias tales como combustibles peligrosos, productos químicos peligrosos, residuos peligrosos o explosivos) que contienen cantidades suficientes de sustancias peligrosas para el público en caso que se liberen.</p> <p>Edificios y otras estructuras que contengan sustancias peligrosas deben ser clasificadas como estructuras de la Categoría de Ocupación II si se demuestra satisfactoriamente ante la Autoridad Competente mediante una estimación del riesgo, según NCh3171, que la liberación de la sustancia peligrosa no presenta una amenaza para el público.</p>	III

(continúa)

Figura 45. Categoría de ocupación de Edificios y otras estructuras. (Primera parte)
Fuente: NCh433 Of. 1996 Mod. 2009 – Diseño Sísmico de Edificios, INN (2009).

Naturaleza de la ocupación	Categoría de Ocupación
<p>Edificios y otras estructuras clasificadas como edificios gubernamentales, municipales, de servicios públicos o de utilidad pública, incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - cuarteles de policía; - centrales eléctricas y telefónicas; - correos y telégrafos; - radioemisoras; - canales de televisión; - plantas de agua potable y de bombeo. <p>Edificios y otras estructuras clasificadas como instalaciones esenciales cuyo uso es de especial importancia en caso de catástrofe, incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - hospitales; - postas de primeros auxilios; - cuarteles de bomberos; - garajes para vehículos de emergencia; - estaciones terminales; - refugios de emergencia; - estructuras auxiliares (incluyendo, pero no exclusivamente a, torres de comunicación, estanques de almacenamiento de combustible, estructuras de subestaciones eléctricas, estructuras de soporte de estanques de agua para incendios o para consumo doméstico o para otro material o equipo contra incendios) requeridas para la operación de estructuras con Categoría IV durante una emergencia. - torres de control de aviación, centros de control de tráfico aéreo, y hangares para aviones de emergencia. - edificios y otras estructuras que tengan funciones críticas para la defensa nacional. <p>Edificios y otras estructuras (incluyendo, pero no exclusivamente, instalaciones que manufacturan, procesan, manipulan, almacenan, usan o desechan sustancias tales como combustibles peligrosos, productos químicos peligrosos, residuos peligrosos o explosivos) que contienen sustancias peligrosas en cantidades superiores a las establecidas por la Autoridad Competente.</p> <p>Edificios y otras estructuras que contengan sustancias peligrosas deben ser clasificadas como estructuras de la Categoría de Ocupación II si se puede demostrar satisfactoriamente a la Autoridad Competente mediante una estimación de riesgo, como se describe en NCh3171, que una fuga de estas sustancias no representa una amenaza para el público. No se permite esta clasificación reducida si los edificios u otras estructuras también funcionan como instalaciones esenciales o utilidad pública.</p>	IV

Figura 46. Categoría de ocupación de Edificios y otras estructuras. (Segunda parte)
Fuente: NCh433 Of. 1996 Mod. 2009 – Diseño Sísmico de Edificios, INN (2009).

Además, se definen zonas sísmicas de edificación y una clasificación de los tipos de suelo o terreno, que permiten definir los parámetros de diseño para las fundaciones, como los valores de corte basal. Dentro de la clasificación de suelos, la norma establece que no considera los suelos potencialmente licuables o aquellos que son susceptibles a densificación por vibración, ya que requieren de estudio especial.

Es necesario mencionar que la norma solo abarca aquellos aspectos del diseño sísmico de las estructuras, dejando en claro que se debe seguir de igual manera las normativas establecidas para las tipologías de construcciones disponibles para conformar un proyecto de edificio, esto incluye las normas de hormigón armado, albañilería, madera, estructuras de acero, etc.

En cuanto a los sismos que considera la norma, es necesario mencionar que el diseño está enfocado solo hacia mejorar el desempeño de las estructuras frente a sismos de carácter subductores, que son los sismos más recurrentes en Chile. Dejando de lado aquellos casos de fallas del tipo cortical que pudieran presentarse en el terreno de emplazamiento.

4.3.1. Sobre las Edificaciones estratégicas y requisitos

Así también, existen reglamentos elaborados por el MINVU que, si bien no son de carácter obligatorio, permite dar una guía para los resguardos en el diseño frente a ciertos temas. Entre estos se puede encontrar el documento sobre “Edificaciones estratégicas y de servicio comunitario” (MINVU-NTM 003, 2013) en que se define un listado de edificaciones consideradas estratégicas, por su destino y funcionalidad, frente a la acción de un sismo de gran magnitud u otro evento de origen natural considerado como desastre o catástrofe; y se dan indicaciones respecto a ciertos requisitos mínimos de funcionalidad y operación que deben mantener durante el período de emergencia. Entre estas edificaciones se consideran:

- Red hospitalaria pública
- Edificaciones en el área de la conectividad y las comunicaciones
 - Aeropuertos de carga y pasajeros
 - Aeródromos de carga y pasajeros
 - Complejos aduaneros
 - Centros de Control de Tráfico aéreo y marítima
 - Edificaciones que albergan centros de telecomunicaciones estratégicas
- Cuarteles y recintos de control y seguridad
 - Cuerpo de Bomberos
 - Comisarías y Subcomisarías de Carabineros
 - Tenencias y retenes de Carabineros
 - Centros de Detención y Cárceles

- Edificios con capacidad de reconversión en albergues
 - Establecimientos educacionales
 - Gimnasios Municipales

- Edificios y/o recintos que procesan, manipulan o almacenan sustancias peligrosas calificadas como tales por la autoridad competente.

- Centros de Información, coordinación y operación estratégicos
 - Oficina Nacional de Emergencia y Direcciones Regionales de Emergencia del Ministerio del Interior
 - Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, SHOA
 - Servicio Sismológico Nacional de Universidad de Chile
 - Centros Vulcanológicos dependiente del Servicio Nacional de Geología y Minería, Sernageomin.
 - Centros de Despacho y Control de Sistema Interconectados Eléctricos.

4.3.2. Sobre Diseño frente al riesgo de Tsunami

Otro documento de interés elaborado por el MINVU, es la norma técnica sobre el diseño estructural para edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche (MINVU-NTM 007, 2013). En ella se establecen los requisitos mínimos de diseño estructural, complementarios a los exigidos en otras normas, y se aplica sólo a edificaciones que se construyan en territorios en que los instrumentos de planificación territorial y las leyes vigentes permitan edificar, y que se encuentran en áreas de riesgo de inundación definidas por los IPT. El objetivo principal de norma técnica es reducir los daños y el riesgo de colapso en las estructuras ante un evento de inundación, sin que esto asegure el resguardo de los ocupantes dentro de la vivienda. En términos generales, se establecen criterios aplicables a estructuras con destino a la habitación y aquellas que sin destino a la habitación, se describen procesos asociados a la uso del suelo y las consideraciones de edificación, de los rellenos y la estabilidad de las estructuras.

Respecto a temas estructurales se expone respecto al cálculo de las fuerzas que se deben considerar:

- a. Fuerzas Hidrostáticas.

Incluyen fuerzas laterales debidas a presión hidrostática, fuerzas verticales boyantes y cargas adicionales en pisos elevados, debidas a la posible acumulación de agua.

 - a.1. Fuerza hidrostática.

Fuerza causada por un desequilibrio de presión debido a un diferencial de altura de agua en los lados opuestos de una estructura o elemento estructural.

a.2. Fuerza boyante.

Fuerza de levantamiento vertical sobre una estructura, causada por su inmersión parcial o total.

b. Fuerzas Hidrodinámicas.

Incluyen fuerzas laterales debidas a la presencia de un flujo de fluido en movimiento alrededor de la estructura. Incluyen la fuerza de arrastre propiamente tal, fuerzas impulsivas debidas al impacto del frente de ola, y la fuerza de impacto de objetos flotantes.

b.1. Fuerza de arrastre.

Fuerza ejercida sobre un objeto causada por la velocidad del flujo.

b.2. Fuerza de Impacto del frente de olas. Fuerza ejercida sobre una estructura causada por un frente de agua que choca contra ésta.

b.3. Fuerza de Impacto por objetos flotantes.

Fuerza ejercida sobre una estructura causada por escombros tales como madera flotante, pequeñas embarcaciones, partes de edificaciones, etc., al chocar con ésta. Esta fuerza actúa en forma local en el elemento expuesto

b.4. Fuerza de apilamiento por objetos flotantes.

La acumulación de objetos flotantes puede inducir una sobrecarga sobre los elementos estructurales, la cual se calcula como una modificación de la fuerza calculada en b.1. y se adiciona a los cálculos.

c. Fuerzas hidrodinámicas verticales.

Incluyen fuerzas verticales asociadas a sobrecargas producto del atrapamiento de la ola en espacios confinados, y fluido atrapado, resultando en presión vertical sobre elementos tales como losas.

c.1. Fuerza de levantamiento.

Fuerza vertical asociada a sobrecargas producto del atrapamiento de la ola en espacios confinados, y al flujo de momentum vertical.

c.2. Fuerza por sobrecarga gravitacional.

Fuerza vertical asociada a sobrecargas producto del atrapamiento de fluido en la estructura, que aumenta el peso aparente de la estructura. Su acción es vertical en el sentido de la gravedad, y se puede calcular por unidad de área. Notar que esta acumulación de fluido también genera una carga hidrostática sobre los elementos verticales que proveen el confinamiento.

4.3.3. Sobre Diseño Sísmico de Componentes y Sistemas no Estructurales

También existe a disposición una norma técnica cuyo alcance es establecer los criterios mínimos de diseño sísmico para componentes no estructurales que se encuentran fijados de manera permanente a los edificios y para sus soportes y fijaciones (MINVU-NTM 001, 2013). Para esto, se toma en consideración la categoría de ocupación de la estructura y la importancia del componente según se indica en la norma, como se muestra a continuación.

El factor de importancia del componente, I_p , tendrá un valor igual a 1,5 cuando se cumpla cualquiera de las siguientes condiciones:

- a) Se requiere que el componente funcione después de un sismo para asegurar la protección de vidas humanas. Este grupo de componentes incluye sistemas de protección contra incendios, escaleras, vías de evacuación, entre otros.
- b) El componente transporta, soporta o contiene materiales tóxicos, altamente tóxicos o sustancias explosivas que puedan constituir una amenaza para las personas si se produce un escape.
- c) El componente está contenido en, o fijado a, una estructura con Categoría de Ocupación III o IV según se define en NCh433.Of96.Mod2009.
- d) El componente transporta, soporta o contiene sustancias peligrosas y está fijado a una estructura o a una parte de ella clasificada como de ocupación peligrosa, según se define en NCh433.Of96.Mod2009.

A todos los demás componentes se les asignará un factor de importancia I_p igual a 1,0.

Se dividen en tres categorías principalmente para el estudio del diseño sísmico: (1) Elementos arquitectónicos, (2) Elementos mecánicos y eléctricos y (3) Soportes y elementos agregados. Para ellos se definen requisitos que son aplicables, según se muestra en la tabla siguiente:

Sistema no estructural (componente, soporte, agregado)	Requisitos generales de diseño	Requisitos Fuerzas y Desplazamientos	Requisitos de fijación y anclaje	Requisitos para componentes arquitectónicos	Requisitos para componentes mecánicos y eléctricos
	Sección 5	Sección 6	Sección 7	Sección 8	Sección 9
Componentes arquitectónicos, incluyendo soportes y agregados	■	■	■	■	
Componentes mecánicos y eléctricos con $I_p > 1$	■	■	■		■
Soportes y agregados para componentes mecánicos y eléctricos	■	■	■		■

Figura 47. Requisitos aplicables para componentes arquitectónicos, mecánicos y eléctricos, soportes y agregados.

Fuente: MINVU. (2013).

4.3.4. Sobre Hospitales

La aplicación de aislación sísmica ha tenido especial auge en el diseño de los hospitales en Chile⁶, que como se mencionaba antes, se considera como una infraestructura crítica que debe mantener un nivel de operación que no se vea afectado por la ocurrencia de estos eventos que lo impacten. Ante esto, la Subsecretaría de Redes Asistenciales, del Ministerio de Salud, MINSAL, en el último año ha desarrollado guías de diseño para la infraestructura hospitalaria, donde se consideran varios tipos de amenazas que se deben considerar, entre ellos los sismos de manera muy particular; por lo que en sus documentos incluye información respecto de los estudios del riesgo sísmico, criterios de diseño sísmico tanto estructural como de elementos no estructurales, y el uso de sistemas de protección sísmica en estructuras. Respecto a esto último incluso afirma que la tendencia en los Hospitales para cumplir con el objetivo de protección y continuidad de operación es considerar un sistema pasivo de aislación sísmica (Ministerio de Salud, 2019).

Además de la consideración sísmica, se procede a mencionar las otras amenazas que se consideran en la guía de diseño de hospitales, en específico respecto a las consideraciones para la elección de los emplazamientos de los establecimientos de salud:

- Peligro de Inundación, cuerpos de agua, cursos fluviales, tsunamis y/o marejada.

Debido a la experiencia que tuvo el país con el terremoto de 2010, la Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior ONEMI ha determinado la cota 30 msnm como límite para la evacuación de los sectores costeros. Por ello, es recomendable que ésta sea la altitud mínima para el emplazamiento de establecimientos de salud en general. Esto

⁶ Revista EBM Construcción, 2013.

principalmente por la experiencia de otros eventos en que una vez producida la alarma de tsunami, los pacientes y ocupantes de edificios hospitalarios existentes bajo esa cota, son evacuados, lo que claramente constituye un contrasentido en caso de un hospital (además, en muchos casos, la evacuación, solo termina exponiendo a los pacientes y ocupantes a nuevos riesgos).

➤ Remociones en masa

Los fenómenos de remoción en masa son procesos de movilización lenta o rápida de determinado volumen de suelo, roca o flujo. Estos movimientos tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad. Éstos se pueden generar por desplazamiento de masas secas, o bien, desplazamientos desencadenados por variables hidrometeorológicas que generan la saturación del suelo.

Los rasgos geomorfológicos que condicionan eventos de remoción en masa son principalmente la topografía, pendientes de las laderas, cambios fuertes de pendientes de las laderas y la extensión y altura de las laderas. Estas características inciden en la velocidad, energía y volumen de las remociones que puedan originarse. Así también, cualquier modificación de ellos puede transformar una ladera estable en inestable y generar remociones. Es por esto que se recomienda no considerar terrenos afectos a estas condicionantes y si la morfología del sector es propensa a estos factores y el terreno debe estar afecto a pendientes y laderas, se recomienda hacer un estudio que indique las características geológicas del terreno y descartar toda posibilidad de remoción en masa y que tenga pendientes inferiores al 25%, ya que si supera este porcentaje existe una alta posibilidad de que el diseño deba considerar obras de mitigación que subirán exponencialmente el costo de ejecución de obras civiles, tales como muros de contención, sistemas de contención, vegetación específica, evacuación de aguas lluvias, alcantarillado, etc.

➤ Propiedades geotécnicas del suelo

Para la elección de un terreno se debe tener presente el nivel de terreno en relación al nivel de solera de la calle que lo enfrenta, aun teniendo en consideración lo anterior se debe plantear la cota de piso terminado sobre la cota de solera, para lo cual se debe realizar los estudios sobre escurrimientos de aguas lluvias, etc., para determinar esta altura mínima. Por lo anterior se deben considerar posibles rellenos los cuales pueden interferir en los proyectos sanitarios de alcantarillado, pavimentación, evacuación de aguas lluvias, rampas de acceso, entre otros.

Todos los rellenos presentes en una obra ya sean estructurales o no estructurales se deben realizar considerando los parámetros entregados por el informe de mecánica de suelos, niveles de empuje, taludes máximos y profundidad de capa freática. En caso de existir grandes napas en buena parte del terreno se propone un estudio hidrogeológico, donde a lo menos se estime los diferentes niveles en las napas freáticas en el transcurso del año, calidad de agua y posible profundidad, estos datos importantes para el diseño estructural, protección de estructura frente a la corrosión, sistema de eliminación de aguas lluvias.

CAPÍTULO 5: DESARROLLO Y RESULTADOS ENCUESTA Y ENTREVISTAS A PROFESIONALES

5.1. Resultados de las Encuesta a profesionales

La encuesta de este trabajo de investigación fue realizada por medio de la plataforma online de formularios de Google Forms ®, y distribuida por diversos canales digitales y grupos estratégicos que conforman la muestra de conveniencia para la obtención de las respuestas y la información que se expone en este apartado.

La cantidad de encuestas respondidas sumaron un total de 53 profesionales, cuyos perfiles de caracterización corresponden a los gráficos de la pregunta 1 a la 3; mientras que las siguientes preguntas corresponden al cuerpo de la encuesta y cuyos contenidos están enmarcados en los enfoques presentados en el Capítulo 3: Metodología.

La encuesta fue aplicada durante el segundo semestre del 2020, y se mantuvo disponible durante un periodo de cinco semanas aproximadamente. Dado que la encuesta fue aplicada por canales específicos a los cuales se tenía acceso -como grupos digitales de profesionales, redes sociales, foros académicos, entre otros-, por otro lado la cantidad de encuestas respondidas y características del muestreo realizado, los resultados no pretenden ser una muestra representativa del universo de profesionales, pero permite obtener una visión muy general de las tendencias.

A continuación, se exponen los gráficos elaborados a partir de la información recolectada:

1. Indique cuál es su sector más representativo de su trabajo

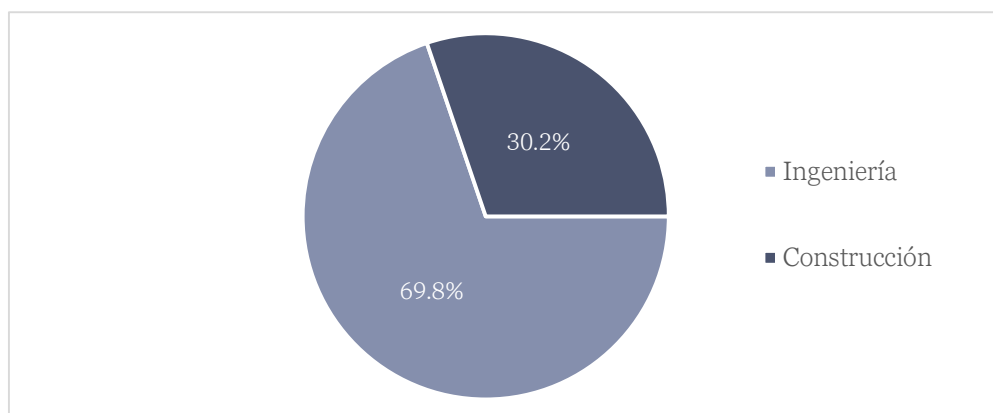


Figura 48. Gráfico de sectores de representativos. [Encuesta]
Fuente: Elaboración propia.

2. Seleccione el (los) tipos de proyecto de infraestructura que ha participado o que tiene mayor conocimiento en términos de metodologías de diseño estructural.

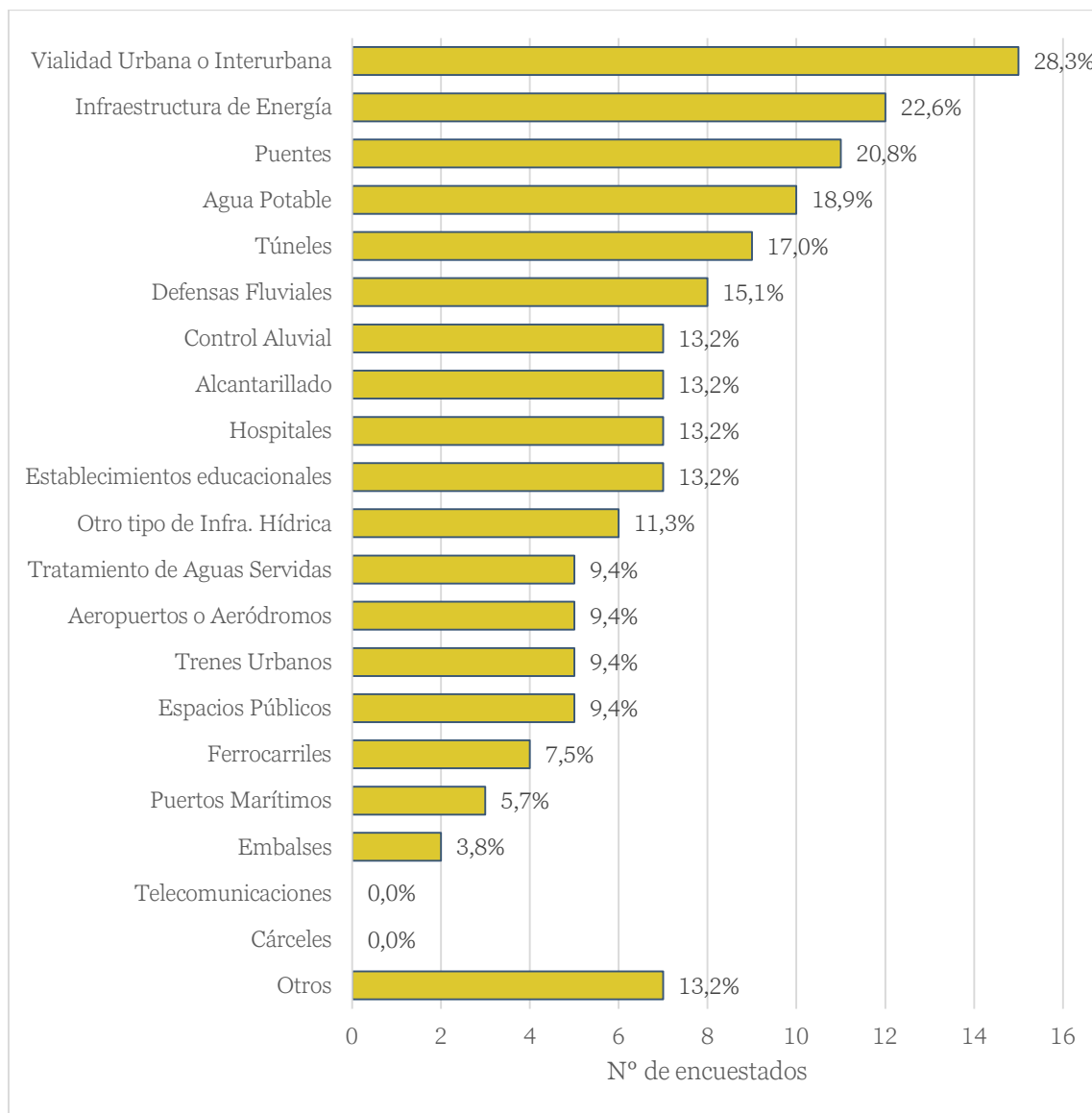


Figura 49. Relación de encuestados con los tipos de Infraestructura. [Encuesta]
 Fuente: Elaboración propia.

3. A su juicio, ¿Qué nivel de conocimiento tiene sobre diseño de Infraestructura Resiliente?

1 es el nivel más bajo, 5 el más alto

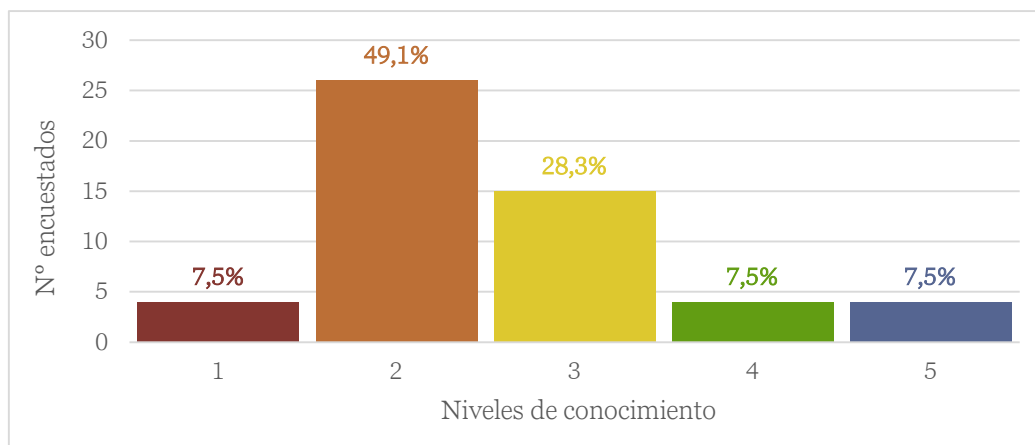


Figura 50. Nivel de conocimiento de encuestados sobre diseño resiliente. [Encuesta]
Fuente: Elaboración propia.

4. En su carrera profesional en Chile, ¿Ha participado en algún proyecto en que la resiliencia de la infraestructura haya sido un objetivo principal a considerar en el diseño?

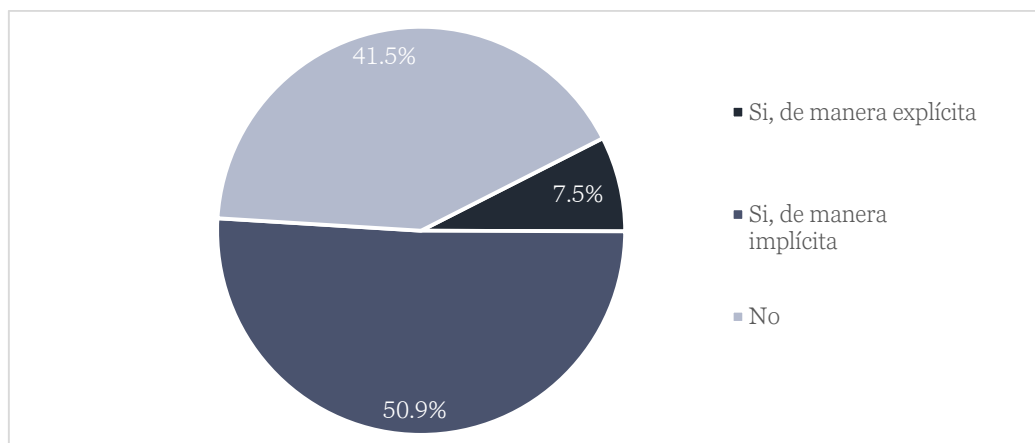


Figura 51. Consideración de la resiliencia como objetivo de proyecto. [Encuesta]
Fuente: Elaboración Propia

5. En los proyectos que usted ha participado y considerando todos los actores involucrados en ellos, ¿Participó algún profesional en la etapa de diseño que se encargara de:
- (i) La evaluación del riesgo de desastres
 - (ii) La Gestión del riesgo de desastres

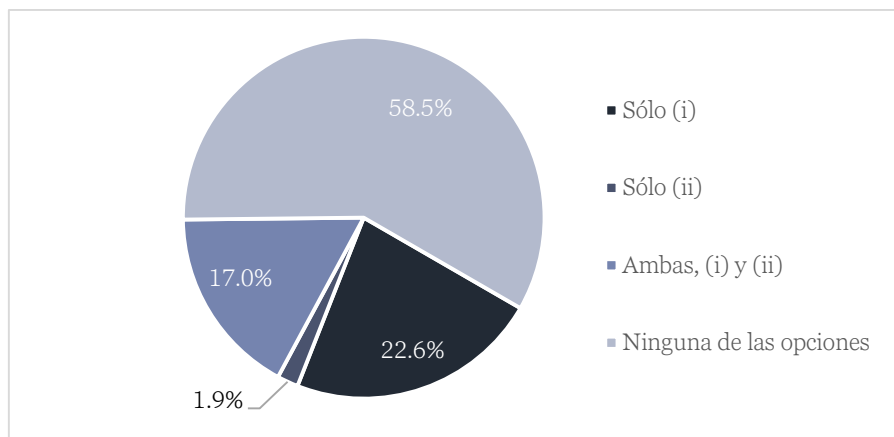


Figura 52. Participación de profesionales en evaluación y gestión del riesgo de desastres. [Encuesta]
Fuente: Elaboración propia.

6. De acuerdo a su experiencia y su opinión, en general, ¿De qué manera se logra principalmente la resiliencia que obtienen las infraestructuras en Chile?

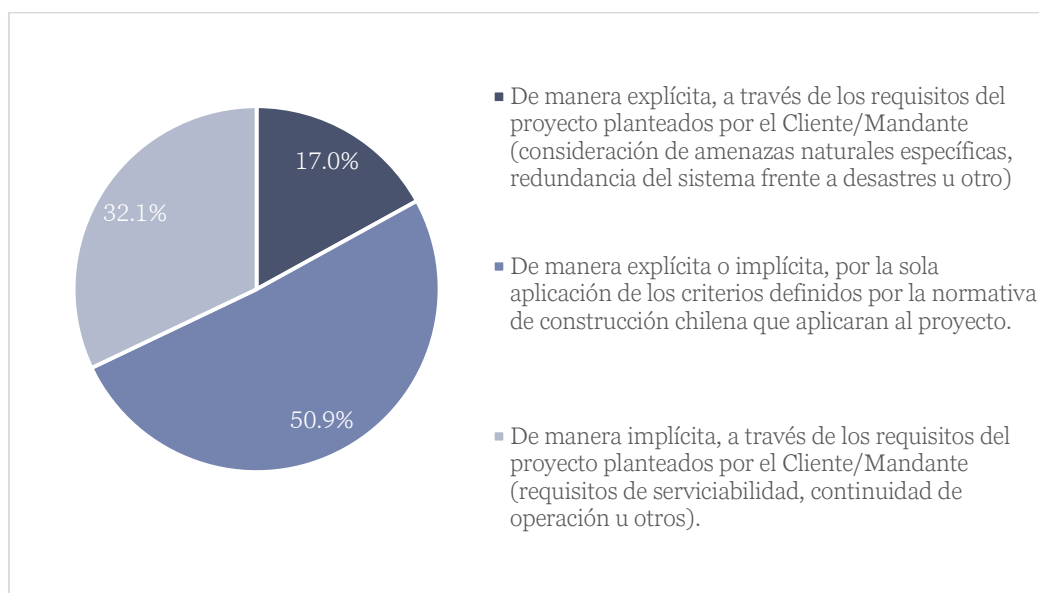


Figura 53. Origen del logro de la resiliencia en Infraestructura. [Encuesta]
Fuente: Elaboración Propia.

7. En su experiencia, a cuál de las siguientes opciones usted considera que apuntan principalmente los criterios de diseño respecto a la resiliencia.

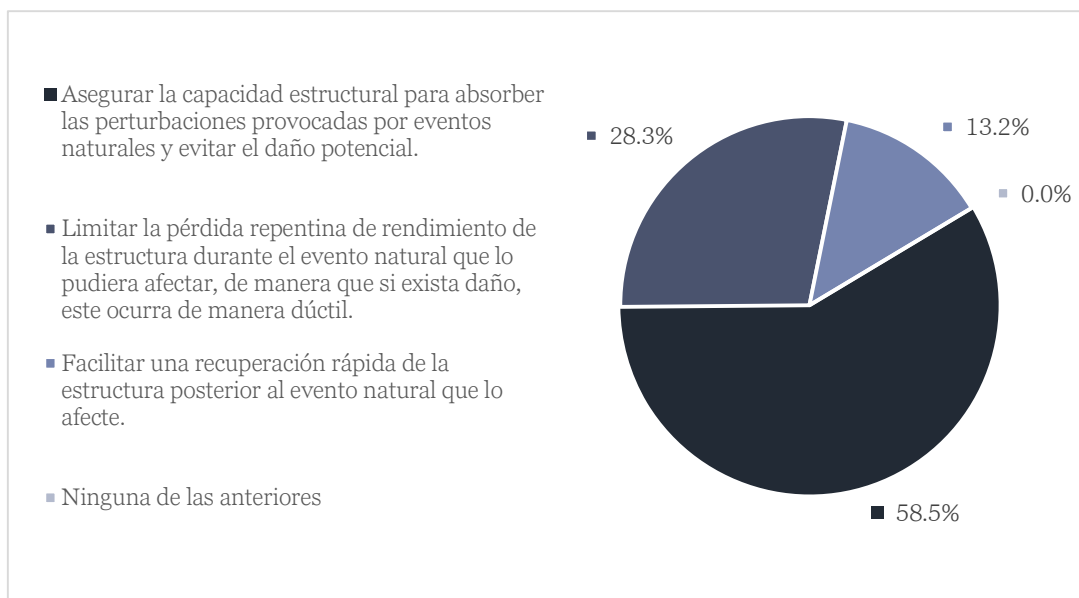


Figura 54. Orientación de los criterios de diseño resiliente. [Encuesta]
 Fuente: Elaboración Propia.

8. De las siguientes especialidades en un proyecto, ¿Cómo evaluaría el nivel de desarrollo que tienen sobre criterios de diseño resiliente?

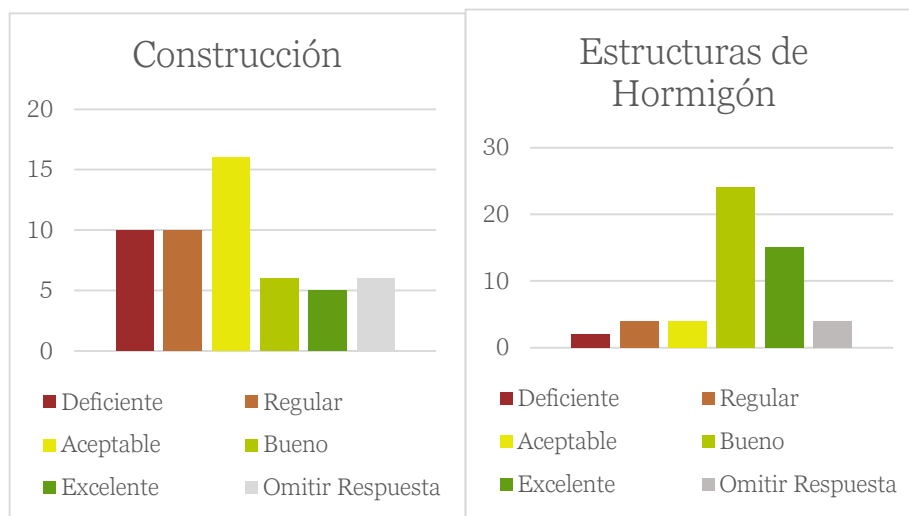


Figura 55. Evaluación del nivel de desarrollo de los criterios de diseño resiliente por especialidad. (Parte 1) [Encuesta]
 Fuente: Elaboración Propia.

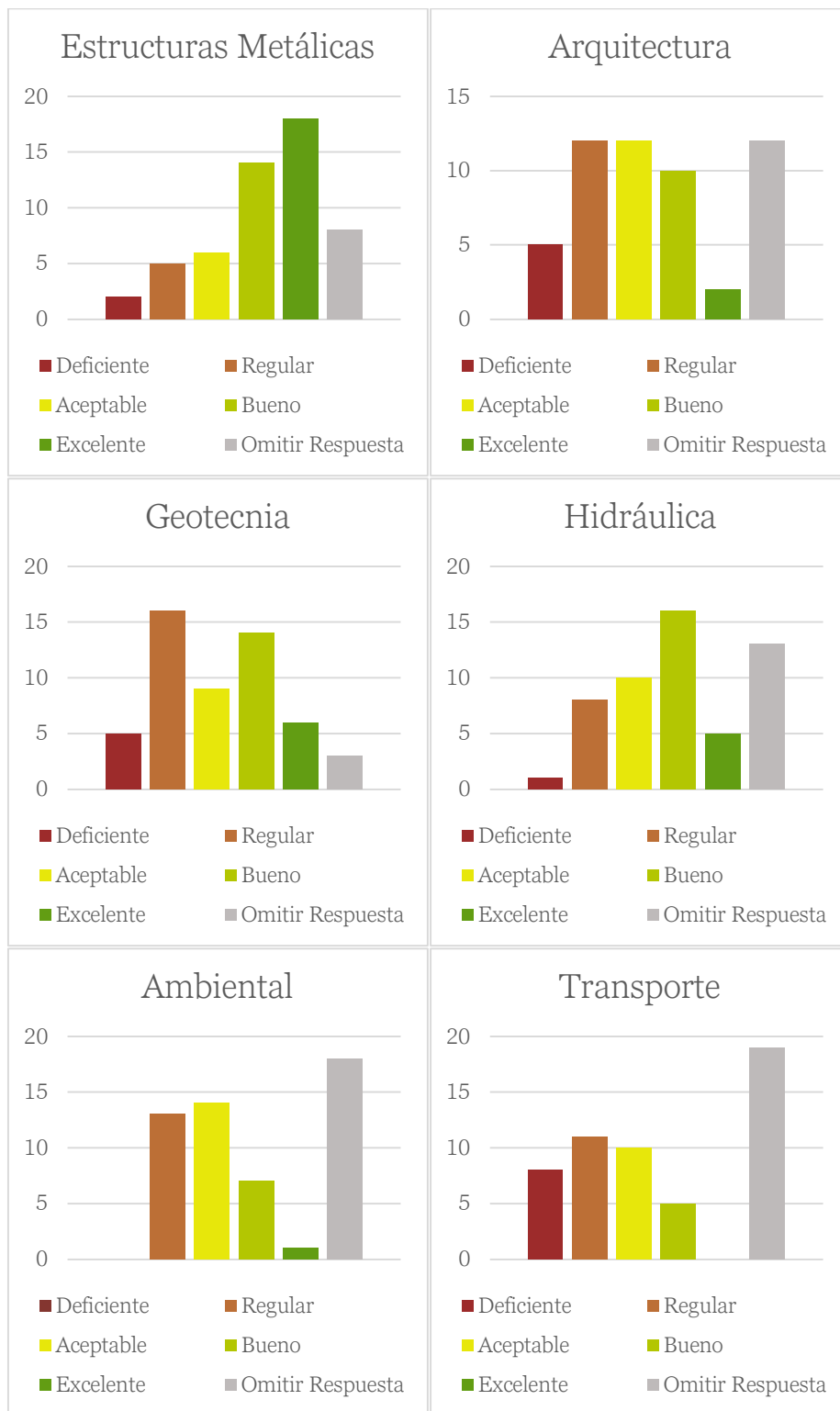


Figura 56. Evaluación del nivel de desarrollo de los criterios de diseño resiliente por especialidad. (Parte 2) [Encuesta]
 Fuente: Elaboración Propia

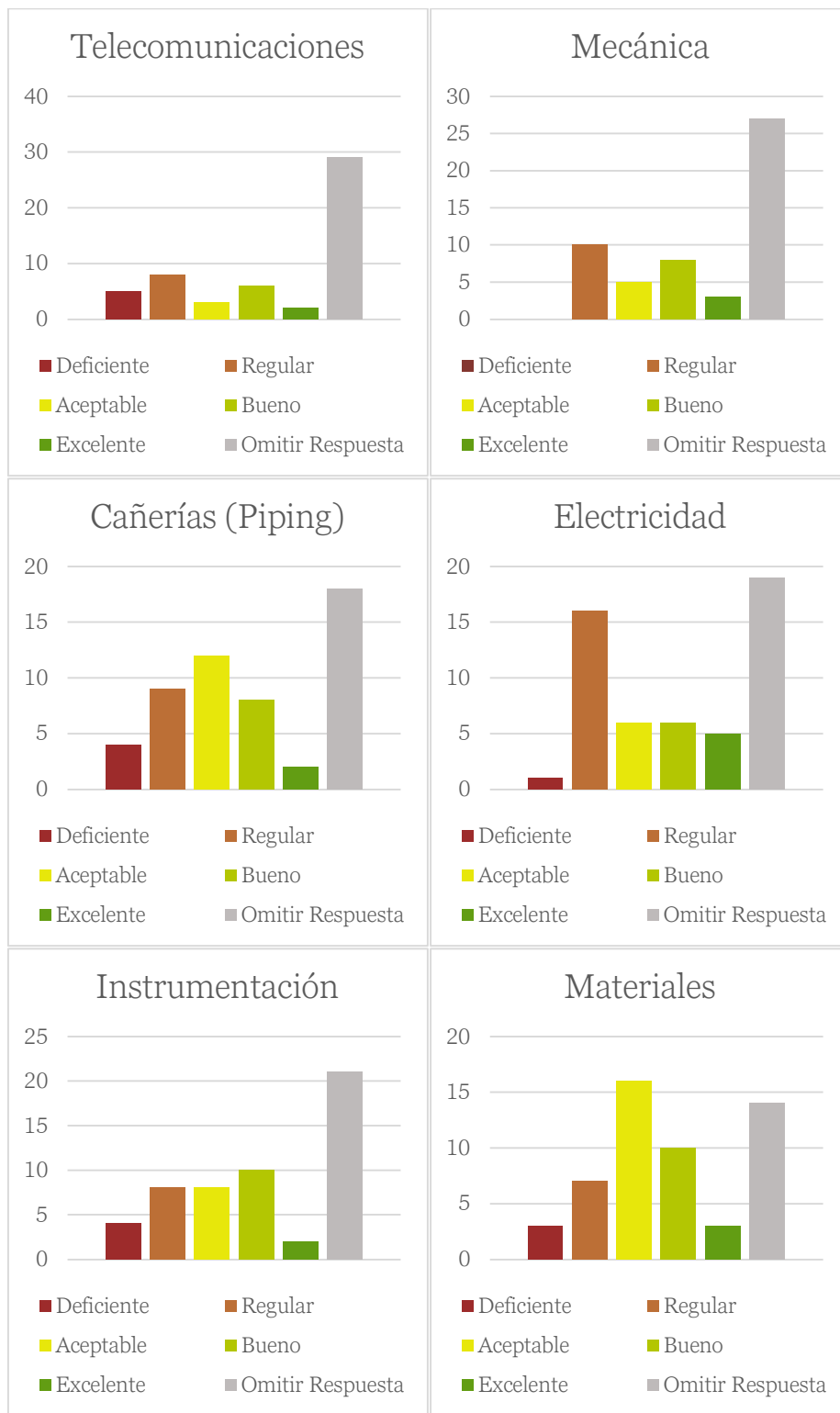


Figura 57. Evaluación del nivel de desarrollo de los criterios de diseño resiliente por especialidad. (Parte 3) [Encuesta]
 Fuente: Elaboración Propia

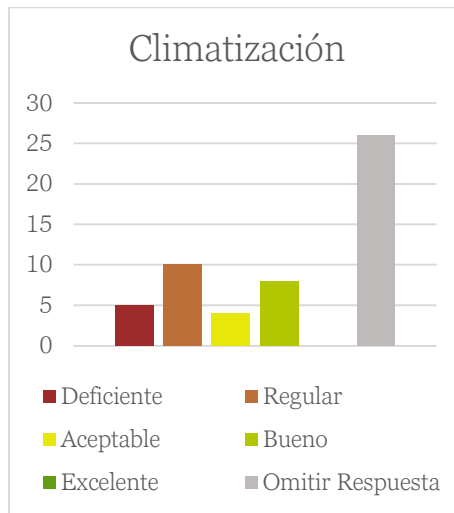


Figura 58. Evaluación del nivel de desarrollo de los criterios de diseño resiliente por especialidad. (Parte 4) [Encuesta]
 Fuente: Elaboración Propia.

9. A su criterio, ¿Cuál o cuáles son las amenazas de origen natural que son mayormente consideradas en el diseño de proyectos de infraestructura pública en Chile?

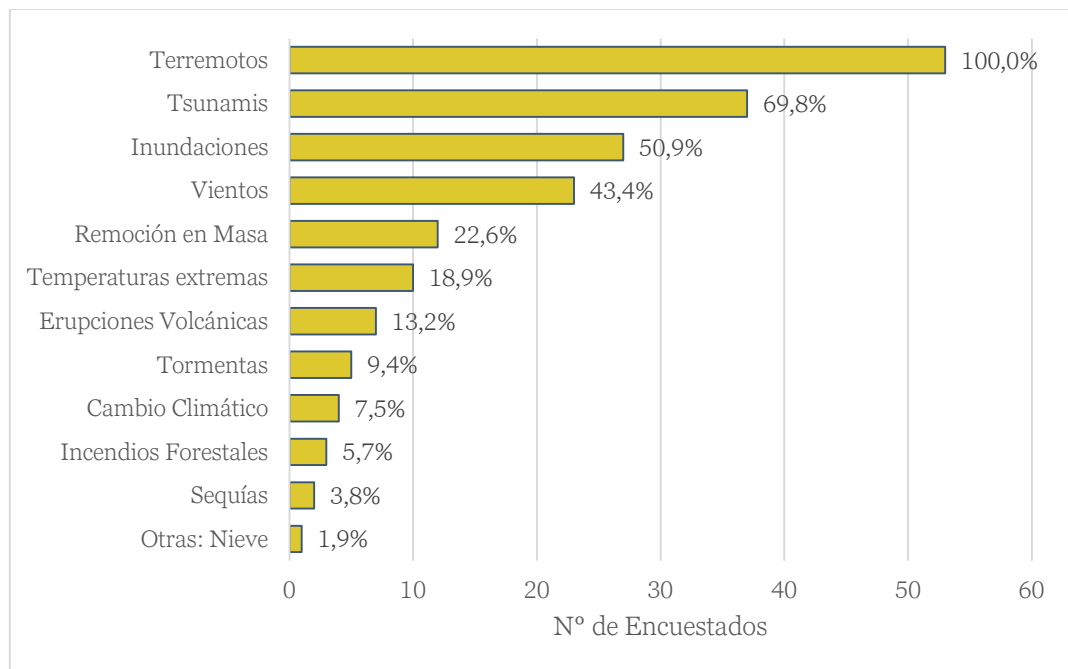


Figura 59. Amenazas consideradas en el Diseño. [Encuesta]
 Fuente: Elaboración Propia.

10. ¿Cómo evalúa el alcance que establecen las normas de diseño, reglamentos y otros instrumentos de regulación chilena, sobre las siguientes amenazas de origen natural?

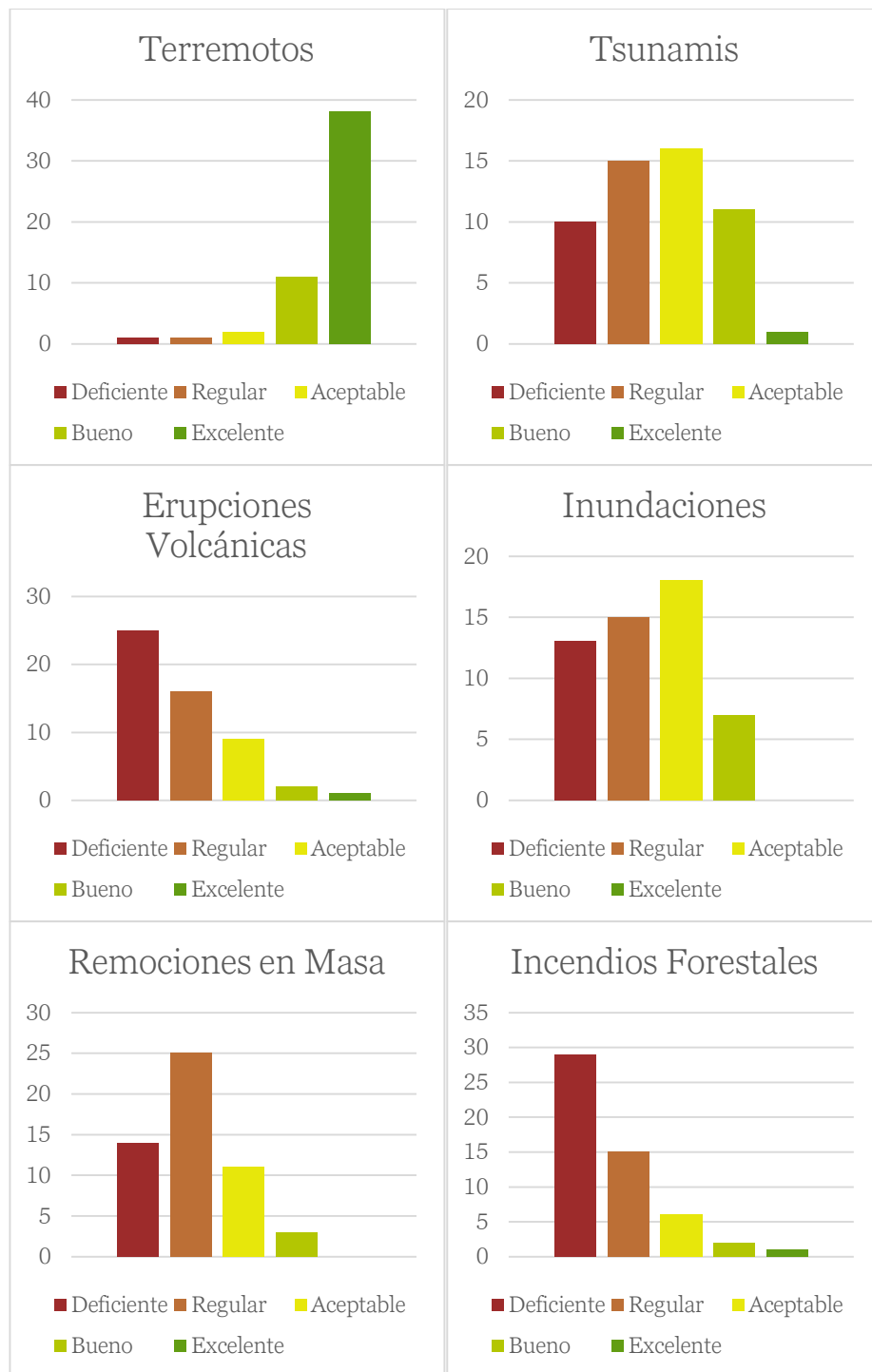


Figura 60. Alcances de los instrumentos de regulación sobre las amenazas de origen natural. (Parte 1) [Encuesta]
 Fuente: Elaboración Propia.

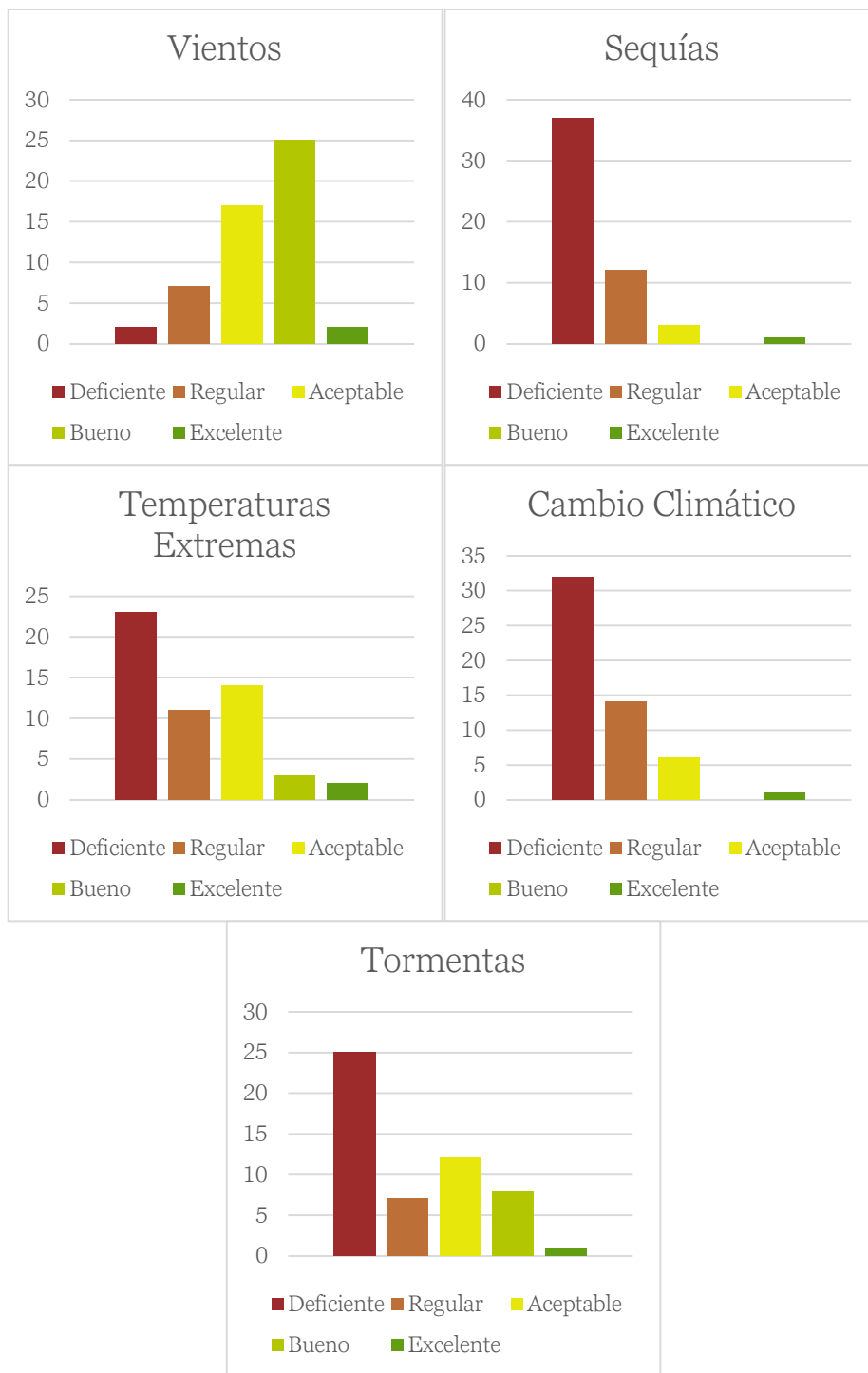


Figura 61. Alcances de los instrumentos de regulación sobre las amenazas de origen natural. (Parte 2) [Encuesta]
 Fuente: Elaboración Propia

11. En base a los proyectos que ha participado, ¿Cómo se consideran los factores de vulnerabilidad y exposición geográfica en el diseño de los proyectos?

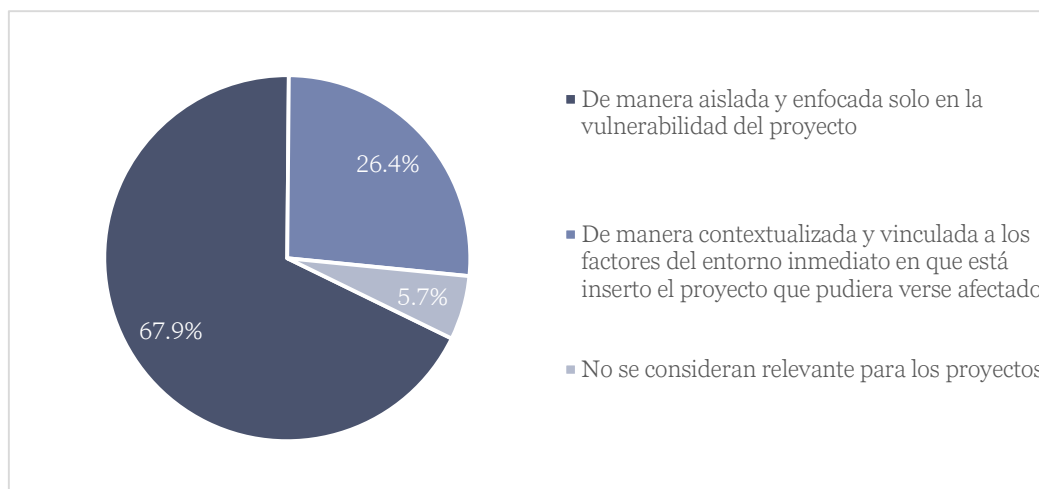


Figura 62. Consideración de los factores de vulnerabilidad y exposición en el diseño. [Encuesta]

Fuente: Elaboración Propia.

12. En base a su experiencia, ¿Considera que el costo de aplicar métodos o enfoques de diseño resiliente encarecen los costos de construcción comparado con los métodos tradicionales de diseño?

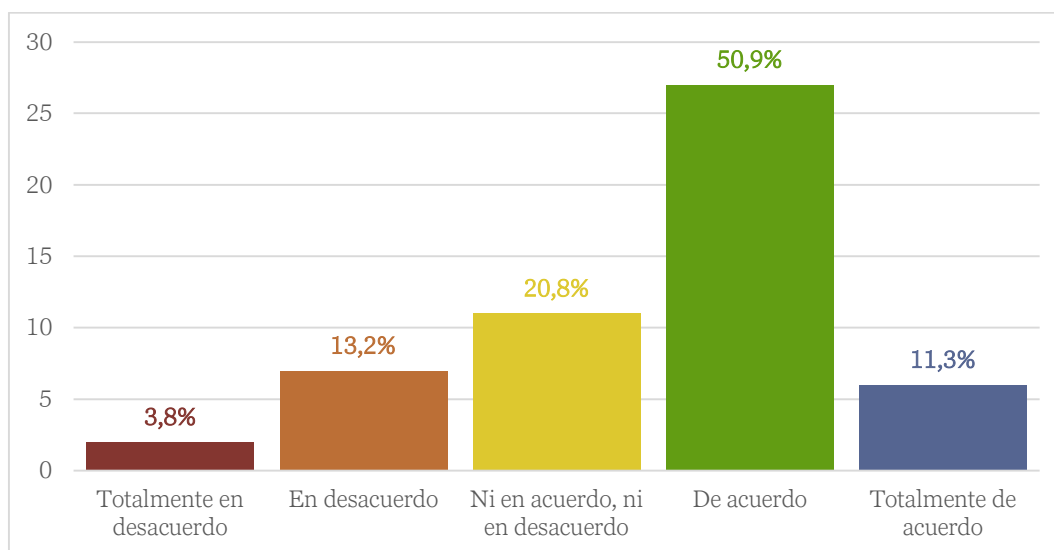


Figura 63. Nivel de acuerdo con que el diseño resiliente encarece los costos de construcción. [Encuesta]

Fuente: Elaboración Propia.

13. De los siguientes beneficios mencionados, seleccione cuáles son los tres (3), que tienen un mayor impacto de acuerdo a su criterio y experiencia.

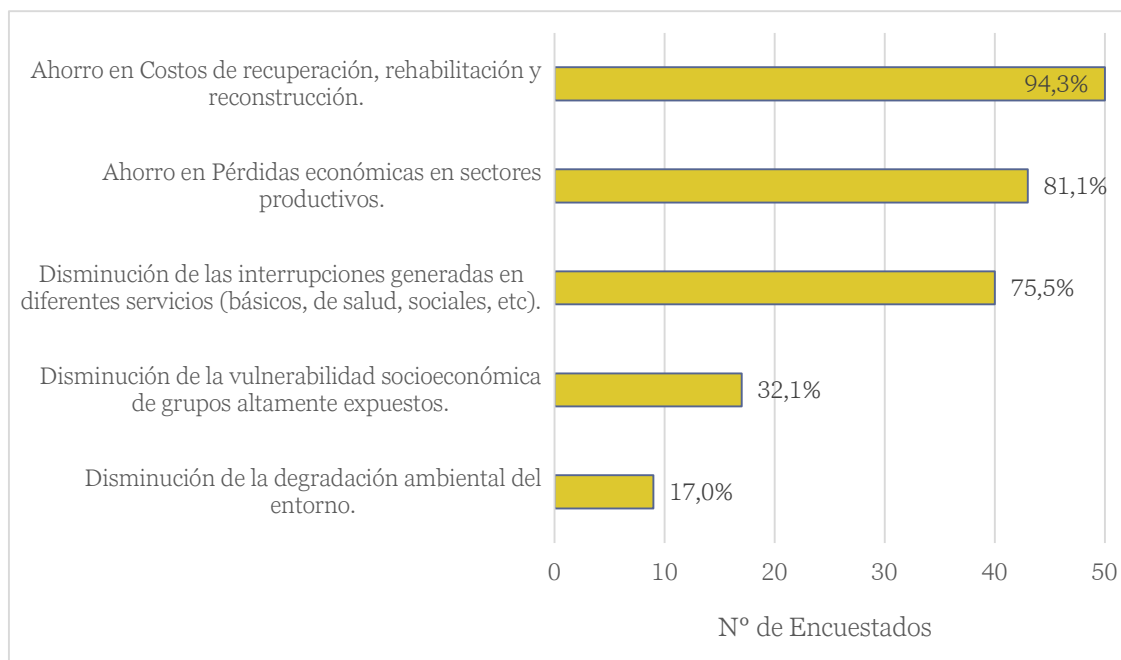


Figura 64. Beneficios de mayor impacto por diseño resiliente. [Encuesta]
Fuente: Elaboración Propia.

5.2. Resultados de las Entrevistas a profesionales expertos

En este capítulo se presenta la información obtenida de la aplicación de entrevistas a los profesionales cuyo desempeño se da en diversos tipos de infraestructuras que en este estudio se consideran. En el Anexo C, se puede encontrar el listado de los entrevistados y la información principal sobre su área de desempeño para más detalle.

Como se mencionó en la metodología, éstas fueron entrevistas semiestructuradas por lo que la información expuesta en las siguientes páginas corresponde a un resumen de los principales temas tratados y los aspectos más relevantes a destacar de las instancias realizadas con cada profesional.

Dado el contexto de pandemia en que se realizó este estudio, las entrevistas fueron realizadas por medio de reuniones en plataformas virtuales de videollamada con cada uno de los entrevistados y la duración promedio de cada una fue aproximadamente de 35 minutos, con participación libre y respuestas totalmente abiertas de acuerdo al esquema expuesto.

5.2.1. Sector Académico

Profesional 1 – Ing. Hidráulico, Sanitario y Ambiental; modelación hidráulica medioambiental y profesor asociado de la U. de Chile.

Aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- Su experiencia principal está ligada a investigaciones relacionadas a lagunas altiplánicas del norte de Chile, que cataloga como sistemas muy vulnerables desde el punto de vista ecológico.
- No ha ocupado formalmente conceptos de resiliencia en los proyectos de investigación.
- Existen varios proyectos que han tenido problemas de operación por el agotamiento del recurso hídrico obtenido por los derechos de aprovechamiento de aguas.
- Hay poco conocimiento y mucha incertidumbre respecto de criterios para definir rangos límites que puedan desencadenar un desastre, sobretodo en temas de aguas subterráneas.
- Respecto a criterios, como periodos de retorno, en diseño de puentes o embalses el escenario está mejor preparado. Aunque esto provoca que cambios en la hidrología genera constantes cambios en los criterios de diseño estructural de estas obras que deben ser actualizados.
- En el caso de agua potable, las medidas apuntan a disminuir la caída de la curva de desempeño y el tiempo de recuperación, por ejemplo, por medio de medidas como el cierre de bocatomas de manera preventiva si se presenta turbiedad, afectando el servicio en menor grado que si ocurriera un daño mayor en el sistema.

Perspectiva del avance del diseño resiliente en Chile

- Los últimos eventos y la variabilidad climática, como el aluvión de Copiapó de 2015, ha evidenciado un problema sobre los periodos de retorno utilizados en obras que ya existían, y que se debieran actualizar.
- Los planes reguladores urbanos juegan un papel importante para definir dónde se puede construir.
- La aplicación de los estándares normativos es aceptable y no hay obligación de ir más allá. Esto permite que si se hiciera más que lo exigido por norma, sea visto como un beneficio adicional de la obra.
- Eventos como las crecidas o inundaciones (sobretodo en el norte) han motivado la preocupación por la resiliencia.
- El rol de la SISS ha sido importante sobre la operación y medidas que toman las empresas de servicio de agua potable.

Incidencia de la aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- Las medidas de diseño resiliente no son costos (y no deberían verse así), sino más bien, las considera inversiones que permiten recuperar más dinero posteriormente.

Figura 65. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Académico (1).

Fuente: Elaboración Propia.

Profesional 2 – Ingeniero Civil Estructural, Jefe Proyectos en ITREND.

Aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- Su experiencia esta ligada exclusivamente al análisis de riesgo y resiliencia desde la perspectiva académica de diseños existentes o construcciones ya edificadas o en etapa de construcción.
- Destaca el aislamiento sísmico en hospitales que resulta en una menor demanda para la estructura, reduce las aceleraciones de piso y genera menor movimiento del equipamiento; lo que apunta a fortalecer la continuidad operativa de esta infraestructura crítica.
- En línea con lo anterior, la implementación de protección sísmica ha aumentado considerablemente en el país, lo que resulta en infraestructura y sistemas más resilientes, aunque no sea cuantifique de manera rigurosa.

Perspectiva del avance del diseño resiliente en Chile

- El terremoto del Maule de 2010 cambió el paradigma de la resiliencia. No solo en términos de normativa sísmoresistente, sino que también motivó cambios en la ONEMI, nacimiento de centros de investigación como CIGIDEN, la creación de la Comisión Nacional para la Resiliencia frente a Desastres (CREDEN) que conllevó a la creación de Itrend, entre otras cosas. En general, medidas que van en la dirección de evaluar el riesgo y la resiliencia de la infraestructura chilena.
- La normativa chilena en comparación con el resto de países del mundo presenta un buen nivel de estándar. Sin embargo, en comparación con el conocimiento que hay al respecto en el país, entonces aún falta por avanzar.
- Considera que el buen desempeño sísmico del país no proviene de realizar análisis complejos o realistas de las estructuras, sino más bien de colocar límites al diseño para resguardar la integridad.
- No existen apartados explícitos para considerar riesgo sísmico, ni resiliencia, ni continuidad operativa, por ende, no existen respuestas a preguntas como cuál es la probabilidad de que una estructura diseñada bajo la norma chilena sufra cierto tipo de daño o colapso, cuál es el criterio de intensidad de sismo bajo el cual se acepta cierto porcentaje de interrupción de suministros básicos, etc.
- Las políticas públicas están avanzando hacia la resiliencia, como el ejemplo de la aislación sísmica en hospitales o iniciativas como Itrend en que se financian temas para generación de capacidades para I+D+i+e, creación de bienes públicos y fomento de economía resiliente.

Incidencia de la aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- La aplicación de enfoques de diseño resiliente ayudaría a comprender mejor el comportamiento real de estructuras, y en especial, en temas como la probabilidad de colapso o que se llegue a un estado grave, estimar los sucesos posteriores o continuidad de operaciones.
- Las personas tendrían mayor apoyo para prepararse, enfrentar y recuperarse ante un desastre, y en especial grupos vulnerables como adultos mayores, niños, inmigrantes, personas de bajos recursos.
- Es necesario cambiar el enfoque de la inversión en temas de resiliencia. Debe ponerse la mira en la continuidad operativa y no en evitar el fallo o colapso.

Figura 66. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Académico (2).

Fuente: Elaboración Propia.

Profesional 3 – Ingeniero Civil Estructural, profesor asociado de la U. de Chile y director de CITRID.

Aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- Su experiencia está ligada a temas de investigación en el campo de la academia universitaria
- Los criterios de diseño resiliente están más bien asociados a aspectos como capacidad de deformación, capacidad de esfuerzos, pero no están abordados de manera explícita.
- En proyectos, la aplicación de medidas de resiliencia se da de manera determinística, más que de evaluar los riesgos y luego dar soluciones.
- Destaca el uso de aislación sísmica de base de puentes y su generalización de requerimientos en las bases de diseño, al igual que su uso en infraestructuras de hospitales.
- Menciona que en infraestructura eléctrica y de telecomunicaciones han buscado mejorar la resiliencia por medio de la redundancia de sus redes.
- Respecto de infraestructura hídrica cree que la consideración de eventos extremos está bien abordada.

Perspectiva del avance del diseño resiliente en Chile

- Los requerimientos de serviciabilidad y la necesidad de continuidad de operación, motivaron el desarrollo de criterios de resiliencia. Así como también aspectos relacionados a la necesidad de una recuperación más planificada.
- En general, la normativa sísmica es avanzada a pesar que modificaciones no son frecuentes, y destaca la consideración de el diseño por desempeño que pronto se incluirá.
- Considera que la amenaza sísmica opaca las demás amenazas, y por lo tanto, no son tan bien abordadas en términos normativos.
- No hay una valoración generalizada por ir más allá de lo que se establece en la norma.

Incidencia de la aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- Considera que aplicar enfoques de diseño resiliente es adelantar en parte los costos que se hubieran dado más adelante por no considerar un diseño robusto.
- Además, cree que las inversiones en términos de resiliencia no deberían evaluarse como parte de un proyecto en particular y aislado, pues en ese caso podría parecer que el costo es mayor; en cambio si se considera la interconexión de los sistemas de infraestructura, evidentemente habrá un mayor beneficio.

Figura 67. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Académico (3).

Fuente: Elaboración Propia.

Profesional 4 – Ingeniera Civil Geotécnica, Investigadora del centro CIGIDEN y profesora asociada de la U. de Chile.

Aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- Su área de estudio tiene relación con los riesgos que se presentan en infraestructura crítica y cómo podría afectar la resiliencia, incluyendo términos técnicos, organizacionales, sociales y económicos. Se centra en redes de agua potable e infraestructura subterránea.
- Un problema común, y no solo de Chile, tiene relación con el envejecimiento de la infraestructura de agua (tuberías) y su utilización más allá de su vida útil considerada; que termina por generar un aumento en la vulnerabilidad de la infraestructura.
- Destaca que actualmente en países con amenaza sísmica, en la instalación de nuevas tuberías si se están utilizando materiales que son sismoresistentes.
- Además afirma que el deterioro es otra amenaza importante que afecta al sistema de tuberías que sumado a la ausencia de planes de mantenimiento se generan pérdidas de agua producida que van desde el 20% hasta el 50% incluso en condiciones normales sin sismo. Lo que podría llegar a superar el impacto que se genera por amenazas como inundaciones o aluviones.

Perspectiva del avance del diseño resiliente en Chile

- Los marcos de desastres que se han generado a nivel internacional, han motivado el desarrollo del estudio de la resiliencia como concepto y su aplicación en los proyectos.
- La generación de políticas públicas no han sido rápido ni eficientes como se quisiera en aplicarse sobre la gestión del riesgo de desastre, pero si ha sido constante. Así se destaca la generación de proyectos de investigación asociados a la caracterización de riesgos y la gestión como la modernización de la ONEMI, o institutos como CIGIDEN, CITRID, Itrend, etc.
- El sector de agua potable en Chile, en términos normativos, es complejo dado que se maneja principalmente desde el sector privado. Por lo que la participación de organismos como la SISS es importante.
- Otro problema de las medidas que se puedan tomar en términos normativos y de uniformizar los estándares, tiene relación con la diversidad de las amenazas que se pueden dar a lo largo del país y la variabilidad de las realidades particulares.

Incidencia de la aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- Uno de los beneficios es que al poder evaluar la resiliencia de los sistemas, es posible identificar aspectos que se encuentren débiles, cómo una falta de redundancia, una robustez deficiente o que el sistema se tardaría mucho tiempo en recuperarse si se llegara a dañar; y que permite tomar estrategias de respuesta o diseñar de antemano planes de emergencia y planes de recuperación.
- Un aspecto importante es definir cuáles son los objetivos de manejo de riesgo y qué medidas se tomarán para que el sistema sea resiliente. Esto porque la decisión tiene un aspecto económico relevante, por ejemplo: en la situación de evaluar que si se activa una amenaza, se puede estimar el daño que va a tener el sistema y el costo; el cual se puede comparar a la situación de tomar los costos de prevención para una probabilidad de ocurrencia que se podría considerar baja con un costo mayor; y esto es lo que sucede comunmente en servicios básicos, en que muchas veces se decide que es mejor hacer la reparación.

Figura 68. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Académico (4).

Fuente: Elaboración Propia.

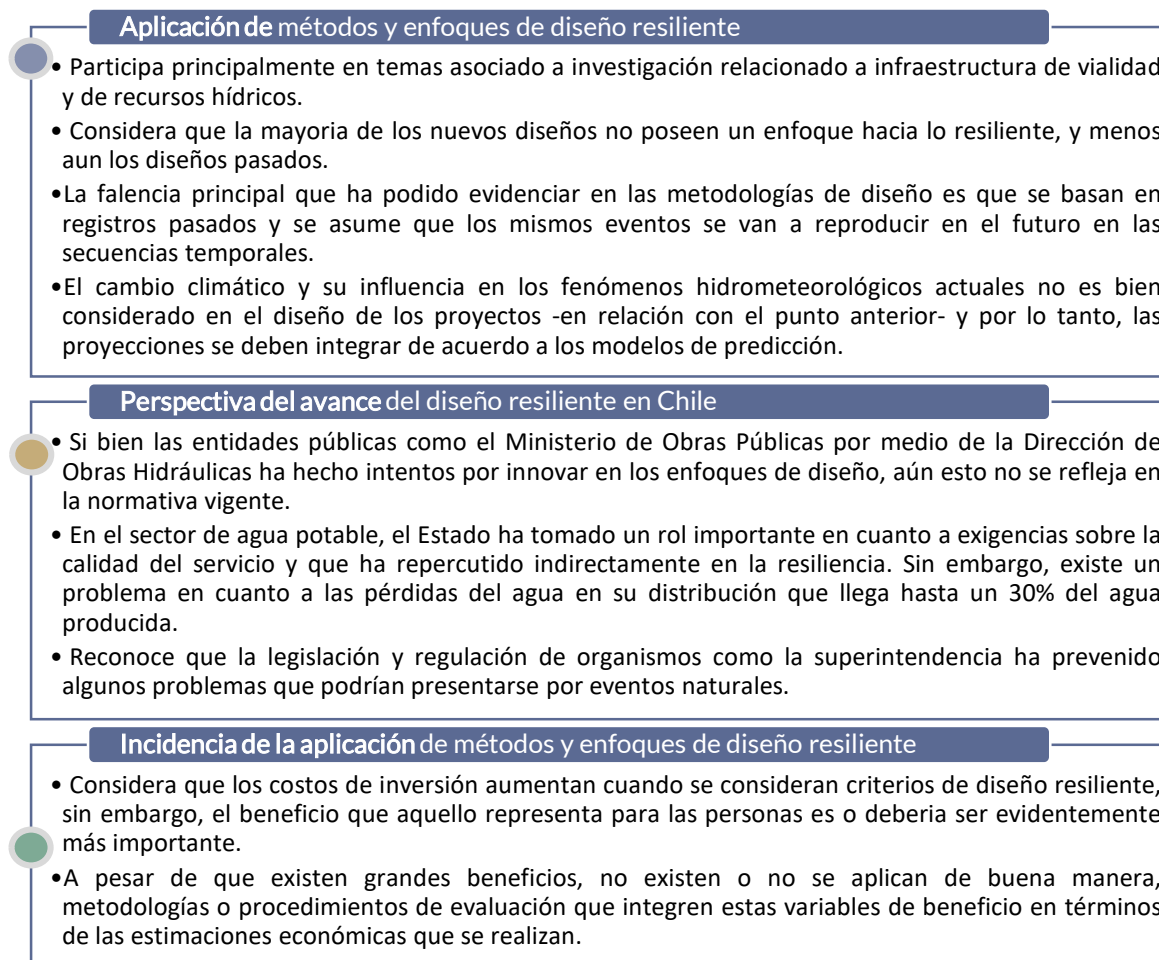


Figura 69. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Académico (5).

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.2. Sector Privado

Profesional 6 - Ingeniero Civil, especializado en Diseño y Construcción de Puentes, con experiencia en proyectos internacionales.

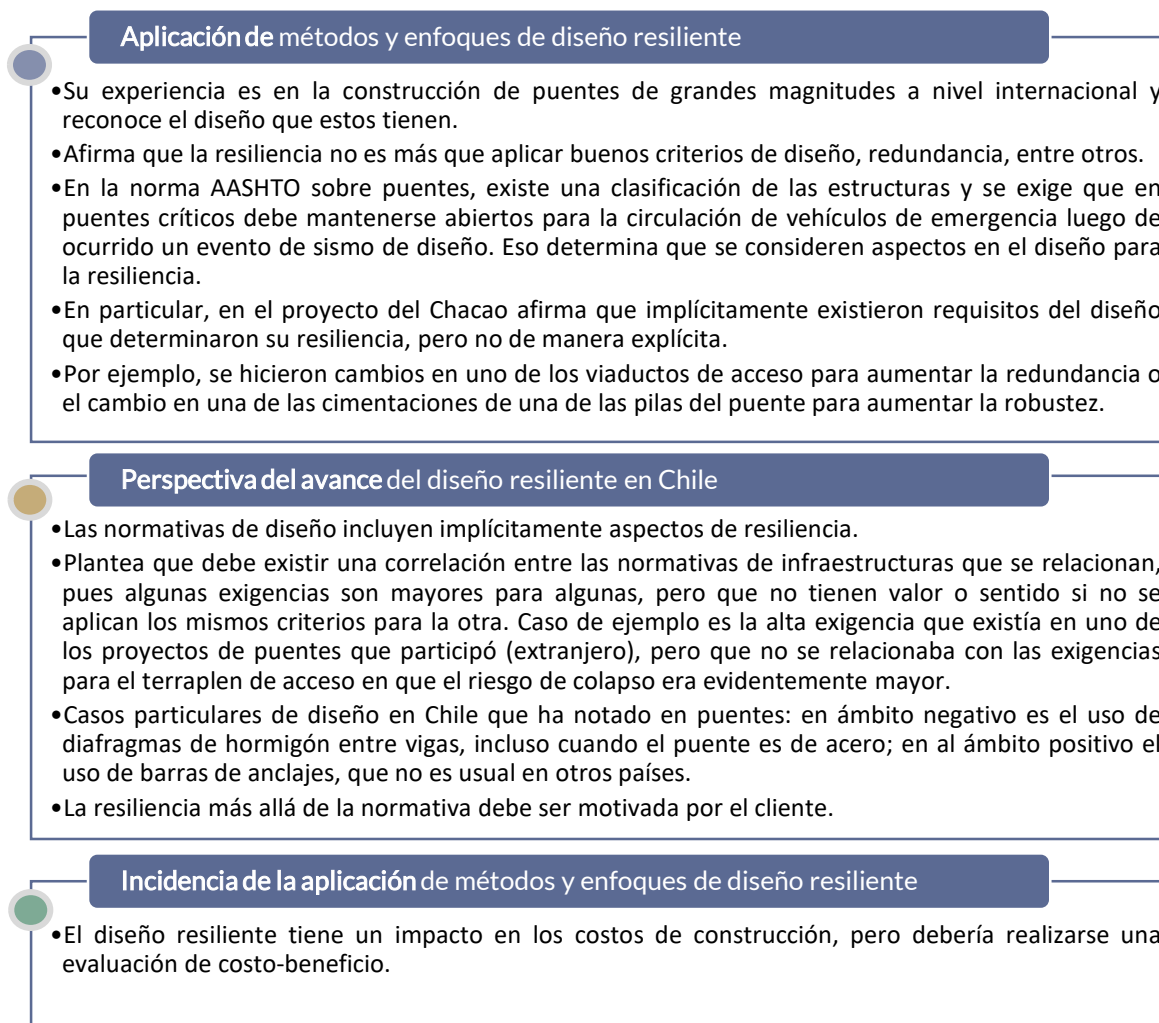


Figura 70. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Privado (1).

Fuente: Elaboración Propia.

Profesional 7 - Ingeniero Civil Geotécnico, Jefe de Ingeniería especialista en túneles y obras subterráneas.

Aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- Su experiencia está relacionada al diseño de túneles, que incluyen tres áreas principalmente: energía, minería y obras viales.
- Para cada área se definen distintos tipos de requerimientos, ya sea de alturas, vida útil, capacidad de soporte.
- Los túneles de minería son aquellos con los requerimiento más simples; básicamente requieren mantenerse en pie. Luego vienen los túneles en energía, y finalmente los túneles de uso civil como túneles de carreteras o trenes.
- Los criterios de diseño resiliente en túneles casi exclusivamente vienen dados por la robustez de la estructura.
- La amenaza sísmica tiene un impacto menor en túneles y en general, no fallan o es muy difícil que lo hagan. La metodología de cálculo sísmico en túneles considera una desangulación de la estructura que se suma a las cargas propias del suelo en estado estático.
- Considera que las prácticas de diseño en general son bastante conservadoras.
- Se han implementado criterios de diseño para evitar las inundaciones en túneles viales, modelando el flujo de agua en superficie producto de una tormenta para periodos de retorno de 100 años. La solución pasa por generar una curva vertical en el eje longitudinal de la entrada del túnel, de un largo de desarrollo considerable para que no sea notorio y una altura dada por la eventual acumulación de agua considerando un colapso total de los drenajes, de manera que como una especie de "lomo de toro" evite que ingrese el agua que podría acumularse.
- La remoción en masa también es considerada pero es un tema más complejo de considerar.

Perspectiva del avance del diseño resiliente en Chile

- La normativa que mayor alcance tiene en túneles es el Manual de Carreteras, y si bien abarca lo general del diseño de túneles se debería avanzar en una normativa exclusiva sobre túneles que considere más aspectos de diseño resiliente o consideración de cierto tipo de amenazas.
- En temas de políticas públicas, se ha notado un avance y preocupación por las autoridades, especialmente en temas de carreteras, como la consideración de tener vías paralelas para la redundancia.

Incidencia de la aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- En el área de túneles la inversión en diseño resiliente estima que no debería tener un impacto mayor, dado principalmente porque en proyectos de túneles en general el costo ya es bastante alto, por lo que medidas como considerar una cuantía mayor o un mejor sostenimiento tendría un impacto menor respecto de los costos tradicionales.

Figura 71. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Privado (2).

Fuente: Elaboración Propia.

Profesional 8 - Ingeniero Civil Estructural especializado en Diseño y Construcción de estructuras de telecomunicaciones y transmisión de energía eléctrica.

Aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- Su experiencia está dada principalmente al diseño, verificación, fabricación en maestranza y ejecución en terreno de estructuras para proyectos de telecomunicaciones, torres de alta tensión, torres con turbinas eólicas de pequeña potencia y estructuras de acero en general con respectivas fundaciones.
- No existe una aplicación de criterios de diseño resiliente en específico, más que aplicar la normativa vigente (extranjera) para asegurar el correcto funcionamiento de las estructuras.
- En el caso del diseño de monopostes es el mismo que se aplica para una estructura de acero. Salvo que en algunos tipos de monopostes como el Skid se ha solicitado un factor de seguridad al volcamiento de la fundación superficial mayor a 2.5.
- En otros casos como las torres venteadas, los cables de sujeción se diseñan con F.S. de 3.

Perspectiva del avance del diseño resiliente en Chile

- Ha sido difícil el avance, básicamente por el término económico que genera una inexistencia de voluntad para invertir y gastar en innovación.
- Sumado a lo anterior, existe un término cultural en el rubro de las telecomunicaciones que no permite avanzar, pues es demasiado demandante y se necesita que las estructuras se diseñen y construyan en el menor tiempo posible dada la exigencia del mandante para generar mayor cobertura de telefonía en zonas rurales o de difícil acceso.
- En temas normativos, no hay normativa chilena específica para el diseño de estructuras de telecomunicaciones, salvo que se complementa la norma norteamericana TIA (versión F o G) con la norma chilena de viento, NCh432. Esto ha permitido un buen diseño para amenazas como sismos o vientos extremos.

Incidencia de la aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- Si bien es poco común que una torre colapse, la consideración de diseño resiliente permitiría que se eviten cortes o suspensión de los servicios de cobertura que se ofrecen.

Figura 72. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Privado (3).

Fuente: Elaboración Propia.

Profesional 9 - Ingeniero Civil Electrónico y Ms en Telecomunicaciones, Subgerente Ingeniería Red de acceso fijo.

Aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- Su experiencia está relacionada al despliegue de red FTTH con cargo directivo de una compañía de telefonía de importante participación en el mercado chileno. Corresponde a una infraestructura de red de acceso fija.
- Constantemente se consideran estrategias de diseño para hacer frente a amenazas de origen natural, ya sean sismos, cortes de energía supermasivos, o el mismo COVID que hoy se está enfrentando, de manera de asegurar y sostener la calidad del servicio.
- La cercanía respecto a metodologías de diseño se basa en una serie de normas que se manejan a nivel de empresa internacional, con foco en la realidad local.
- Por ejemplo, en la parte de arquitectura base de la planta externa ("red que está en la calle), se debe contar con elementos que tengan un adecuado sostén al piso, un sistema de anclaje, que las obras civiles estén apegadas a la norma chilena de urbanización y construcción, de obras civiles, de líneas de tensión, entre otras.
- En el caso específico del diseño de la planta aérea externa a la vista, el cableado debe cumplir ciertas condiciones de tensiones mecánicas y resistencia a movimientos telúricos que permitan hacer que la red quede autosustentada y que no genere un problema a la carga eléctrica que está soportando los postes.
- Existe infraestructura de centrales de equipos que tienen categorías de resistencia sísmicas que toleran un impacto bastante grandes, que poseen entre otras cosas autogeneración eléctrica para poder autosustentarse hasta por 7 días ante cortes de suministro eléctrico, agua asegurada para 10 días, entre otras medidas necesarias para mantener la arquitectura base de las telecomunicaciones.
- La arquitectura de red que está separada por niveles, que parte desde los clientes; cada nivel va adquiriendo mayor relevancia y cantidad de información en tráfico, por lo que cada capa en jerarquía comienza a tener tal nivel de relevancia que las condiciones de robustez deben estar garantizadas, como las mencionadas anteriormente. Además, de temas de redundancia que ya se dan desde el segundo nivel, pues las conexiones se encuentran enmalladas, lo que permite que la caída en un elemento se sustentada por las demás, de manera que a veces la falla niquiera es notada por los clientes.

Perspectiva del avance del diseño resiliente en Chile

- Además de que internamente se sigue una serie de normativas para el diseño, se debe considerar la evaluación normativa y protocolos que se establecen por organismos como la Superintendencia de Salud, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, la Superintendencia de Telecomunicaciones, las direcciones de obras locales, entre otros.
- La necesidad de tener una red de telecomunicaciones robusta se ha dado por medio de la Ley General de Telecomunicaciones y el aumento de las exigencias por parte del regulador, sobretudo en temas de "update".
- Se deben mejorar los instrumentos de planificación territorial, pues las empresas deben asumir riesgos como construir instalaciones en zonas del borde costero declaradas inundables.

Incidencia de la aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- En términos de porcentaje, con las consideraciones que se han hecho en la nueva red y de lo que ya se comentó anteriormente, se han reducido en 10 veces los costos de operación.

Figura 73. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Privado (4).

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.3. Sector Público

Profesional 10 - Ingeniero Civil, especializado en Diseño y Construcción de Puentes y Gestión del Riego de Desastres.

Aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- Experiencia relacionada principalmente a docencia y la asesoría estructural de la Dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Públicas, específicamente en infraestructura de puentes.
- A nivel global, en el caso particular de los puentes, hay un enfoque específico asociado al tema de la capacidad resistente frente a los sismos, y también sobre las potenciales patologías o daños dados por efectos de la socavación.
- Desde el punto de vista de gestión del activo, también se han desarrollado esfuerzos en la misma línea que contemplan temas de conservación de caminos, túneles y puentes; en orden de mantener una vida útil de la estructura incorporando con ellos los potenciales eventos extremos.
- En el último tiempo se han hecho esfuerzos en materia de actualización, tanto de metodologías de diseño como en la adquisición de información por medio de la instrumentación en diferentes puentes, entre otras medidas.

Perspectiva del avance del diseño resiliente en Chile

- En particular, en relación al tópico de sismos, el Manual de Carreteras establece recomendaciones las que son aplicadas en todos los puentes de que son de tuición de la Dirección de Vialidad y algunos de los puentes que están en concesiones. De la misma manera, el Manual abarca de buena manera el tema de la socavación. De esto se destaca que también se considera el caso concomitante entre estos efectos de sismo y socavación, determinado Peligro de Socavación Sísmica (PSS).
- El código chileno hace mucha referencia al código AASHTO, y en base a esto se han incorporado exigencias superiores a partir de proyectos singulares, como el caso del Puente de Chacao. Por ejemplo, vida útil sobre los 50 años para un puente normal hasta alcanzar los 100 años; o períodos de retorno de eventos sísmicos, desde los 475 años a los 1000 años. Todo basado en análisis de riesgo, que incorpora otras eventualidades como impacto de embarcaciones, aviones, deslizamientos, entre otros.
- El tema del envejecimiento ha obligado a que en los últimos años, dado el número de puentes que se acercan a cumplir su vida útil proyectada, se tenga que tomar medidas respecto a la conservación y el mantenimiento, con medidas como reparación o refuerzos.
- El cambio climático también ha generado que se tengan que tomar medidas respecto a considerar amenazas que han ido apareciendo o aumentando en frecuencia, como los problemas de aludes que han generado que se vayan gestando cambios a nivel de institucionalidad, en normativa, respecto de los estudios de suelo, o de la hidráulica respecto de los fenómenos de socavación.
- Otros aspectos en términos de la normativa, se destaca un avance en temas de mejora por lecciones aprendidas que han permitido incorporar aspectos que en otros países se han desarrollado. Por ejemplo el diseño de LRFD de la norma AASHTO, considerado en el Manual de Carreteras, permite incorporar conceptos asociados a la resiliencia como la redundancia estructural o la confiabilidad del diseño.

Incidencia de la aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente

- En este aspecto, el principal objetivo que se tiene que seguir desarrollando, es entender los proyectos desde una perspectiva de ciclo de vida completo. En este sentido, si se puede hacer una inversión temprana en términos del diseño y la implementación de metodologías resilientes, el impacto futuro puede ser bastante significativo en cuanto a beneficio.

Figura 74. Resumen resultados entrevistas a expertos - Sector Público (1).

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 6: ESTUDIO DE RESULTADOS

6.1. Análisis de la Revisión Bibliográfica

El análisis de la revisión bibliográfica se dividirá de acuerdo a los ejes estratégicos presentados en el capítulo respectivo, mencionando aquellos aspectos más relevantes que se pueden desprender del estudio de las metodologías en particular.

6.1.1. Infraestructura Basal

El acceso a la información respecto de criterios de diseño en general, y por consiguiente de los criterios, métodos o enfoques de diseño resiliente adoptados en este tipo de infraestructura es bastante limitado, sobre todo en aquellos sectores manejados principalmente por concesiones, por lo que la información documental para el estudio se basa principalmente en aspectos legales que regulan el sector, ya sea de recursos hídricos (sobre servicios sanitarios), energía o telecomunicaciones.

Esto permite entender que, teniendo especial consideración de la manera en que se desarrollan los proyectos por medio de contratos de concesión, el desarrollo de las metodologías de diseño resiliente se rigen dentro de las normativas básicas de la planificación del sector respectivo, en cuanto a la distribución y partes que componen los sistemas, pero no así de las consideraciones respecto de algunas amenazas de origen natural, y en particular de las que en este estudio se centra; ni tampoco de la gestión del riesgo para desastres.

Más bien, de las normas legales que las regulan, lo que sí se puede desprender son requisitos y exigencias respecto de la continuidad del servicio que deben entregar las empresas concesionarias, de las interrupciones y los criterios aceptables de falla en el servicio, que hacen presumir que son la motivación de las empresas para preocuparse por la gestión del riesgo que las pueda afectar, de manera de asegurar el servicio, y por ende, de las medidas de diseño resiliente que pudieran adoptar.

Sin embargo, al menos en el sector de las empresas sanitarias, se puede destacar el hecho de la integración obligatoria de contar con planes de emergencia frente a desastres impulsada por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, que ha permitido mejorar el desempeño de las empresas los últimos años. Tal como afirma Barbera en el reporte de continuidad operativa frente a desastres de Itrend: «cada dos años, la superintendencia les pedía esta herramienta completada. Ya avanzados los años vimos cómo las empresas iban avanzando y fueron más allá del plan que la superintendencia les pedía» (Itrend, 2020).

Por otro lado, las metodologías y enfoques de diseño que se presentan respecto a las obras de defensas fluviales, del drenaje en obras viales interurbanas y de la protección contra avalanchas demuestran un gran alcance del Manual del Carreteras sobre ese tipo de obras que hacen frente a fenómenos generados fundamentalmente por efectos del agua, siendo incluso un documento de referencia para ser aplicado en otros tipos de infraestructura como las obras ferroviarias. En especial estas metodologías hacen frente a las amenazas

como las inundaciones, las remociones en masa y crecidas que podrían provocar efectos de socavación mayores a los estimados por cálculos.

Respecto de esto último, los estudios hidrológicos toman un rol fundamental en la estimación de ocurrencia de estos fenómenos, y el Manual de Carreteras en particular, lo describe en detalle, considerando y poniendo a disposición variadas metodologías que se pueden aplicar dependiendo de los datos y el contexto que se apliquen. Así como también, el establecimiento de las relaciones entre los períodos de retorno y la vida útil de las estructuras, definidas de acuerdo al nivel de importancia de la infraestructura que se esté diseñando.

6.1.2. Infraestructura de Apoyo Logístico

En este apartado, la mayor atención se la lleva las metodologías de diseño estipuladas por el Manual de Carreteras sobre la infraestructura vial de carácter interurbana, que ya fue descrita en parte en el punto anterior.

Partiendo por el diseño de la infraestructura de un camino, en que aborda detalles importantes como la estabilidad de los taludes en los caminos, y definiendo los aspectos que se deben considerar al respecto en el diseño, así como las medidas de protección que se podría requerir. A esta situación, se agrega la adición del efecto del agua sobre los taludes, de corte o de terraplén, que es necesario considerar tanto para evitar situaciones asociadas a las inundaciones, como de la remoción en masa o falla en los taludes desencadenadas por el agua que se podría acumular.

En relación con lo anterior, el diseño de la superestructura de los caminos aborda de manera relevante la importancia del drenaje del agua superficial que puede escurrir y que debe evitarse su acumulación, ya sea por los efectos que se mencionaron anteriormente, como por el aumento en la degradación temprana del pavimento que se pudiera inducir, afectando así la vida útil de la estructura.

Luego, se describen los temas asociados al diseño de túneles, que si bien no está descrito de manera detalla la metodología de diseño, si describe bien las consideraciones generales que se deben tener en el diseño, y de los estudios necesarios para una buena caracterización del suelo en que se emplazará la obra. Un aspecto relevante a destacar de este apartado es que es el único documento que considera de manera explícita y menciona la realización de un análisis de riesgo para la amenaza que podría presentar el volcanismo.

Finalmente, en la infraestructura vial interurbana, se aborda el tema del diseño de puentes. En especial este apartado es uno de los más detallados del Manual de Carreteras y considera de manera muy completa aspectos relacionados al diseño y las metodologías que consideran las amenazas para establecer, de manera implícita, un diseño resiliente de la infraestructura. Un detalle relevante es que la normativa en este aspecto está basada principalmente en la norma norteamericana AASHTO, realizando las debidas consideraciones contextualizadas a la realidad nacional. De esta manera, se abordan enfoques asociados a la caracterización del suelo y la calidad del terreno en que se emplazará el puente y su infraestructura en particular. Así como los estudios de hidrología

que permite estimar el impacto que se podría generar en la infraestructura por efecto de eventuales crecidas, definiendo para esta estructura los periodos de retorno y los fenómenos asociados al escurrimiento fluvial, como la socavación en las fundaciones y las obras de defensa fluvial, que fueron descritas en el punto anterior.

Además, se incluye un capítulo especial de diseño sísmico y metodologías de modelamiento de las solicitaciones, además de describir y presentar especificaciones técnicas de algunos elementos constituyentes de la superestructura del puente, en vista de mejorar su capacidad de resistencia a los eventos sísmicos basado principalmente en el desempeño de los puentes durante el terremoto de febrero de 2010.

En relación con lo anterior, se presentan otros dos temas relevantes sobre metodología de diseño resiliente frente a la amenaza sísmica: por un lado, se incluye la utilización de elementos de aislación sísmica en puentes y por otro, la importancia de considerar el riesgo de tsunamis en puentes estratégicos que se ubiquen en zonas de inundación.

Luego, se da paso a la descripción de metodologías de diseño de infraestructura vial del tipo urbana. Al respecto, la mayor parte del diseño se centra en aspectos de resiliencia frente a los efectos de agua, como el deterioro o inundaciones en la plataforma. Para el caso de esta infraestructura, el estudio hidrológico se relaciona solo a las aguas que provienen de la lluvia, y la importancia de la evacuación de éstas fuera de la plataforma de rodado. De esta manera se describen temas importantes como el dimensionamiento de la red de drenaje considerando ciertos periodos de retorno dependiendo de la importancia de la vía, y aspectos de protección y encausamiento del agua en la plataforma para que el sistema de drenaje pueda cumplir con la finalidad para la cual es diseñado.

En otros aspectos del diseño vial urbano, las directrices y criterios de diseño son muy similares a los que se describen en el Manual de Carreteras.

Posteriormente, se procede a describir aspecto del diseño de obras portuarias en base a una guía de diseño de carácter público que da lineamientos para las consideraciones principales que se deben hacer para este tipo de infraestructuras. El documento es de carácter general y mucho de los aspectos que se mencionan son similares a los que se ven en otro tipo de obras, con la diferencia que, por ejemplo, en el estudio y cálculos asociados a la geotecnia se considera el efecto del agua sobre la estabilidad de taludes o de muros de contención. Así como también dentro de estos cálculos de estabilidad se considera la componente sísmica que puede afectar su comportamiento.

También, es necesario destacar el capítulo exclusivo que considera para el diseño de las obras frente a los efectos del tsunami, definiendo metodologías para el cálculo de los impactos generados en ciertas obras, como de las medidas de protección que se pueden adoptar. Respecto al capítulo en general, debe decirse que se no está enfocado netamente desde un punto de vista de las obras portuarios, sino que de una mirada más general de las edificaciones; muy similar a lo expuesto en la norma técnica del MINVU que se describió en la Infraestructura de Uso Social.

6.1.3. Infraestructura de Uso social

La mayor parte de este capítulo se aborda de manera general, pues los documentos que fueron revisados abarcaban en la mayoría temas transversales a las tipologías de infraestructura que se podían considerar en esta categoría.

Uno de los aspectos relevantes que se mencionan es el rol y responsabilidad de las instituciones públicas para definir los instrumentos públicos que terminan por definir aspectos de la resiliencia de las infraestructuras. Por un lado, los instrumentos de planificación territorial (IPT) que juegan un papel importante en la exposición de las infraestructuras frente a las amenazas y por otro, de la capacidad para establecer las normas obligatorias y reglamentos que regulan los diseños y que terminan por definir en parte la vulnerabilidad.

En este sentido, entre las normas chilenas, la de diseño sísmico de edificios ha tomado el rol protagónico entre las normas obligatorias definidas por el MINVU, cuyas disposiciones han logrado un excelente desempeño de las edificaciones que comúnmente se suele destacar cada vez que un sismo de consideración ocurre. Por supuesto, esto sumado a las demás normativas de diseño específicas por tipología de construcción, como las normas de hormigón armado, albañilería armada y confinada, y de estructuras metálicas.

Se destaca en este eje estratégico, además, el uso de la aislación sísmica que se considera entre las metodologías de diseño resiliente frente a sismos, y su uso incrementado en importantes infraestructuras como las hospitalarias que se consideran críticas ante la ocurrencia de un desastre. Llegando a publicarse incluso guías de diseño por parte de la Subsecretaría de Redes Asistenciales del MINSAL en que se consideran estas medidas y el estudio de otros tipos de amenazas que podrían afectar la infraestructura y su funcionamiento.

También se presentan las normas técnicas elaboradas por el MINVU, respecto de reglamentos que exponen metodologías de diseño para considerar, por ejemplo, los elementos y sistemas no estructurales para un buen desempeño sísmico. Este reglamento en particular, viene a cubrir un aspecto esencial en las edificaciones que la norma sísmica NCh433 no abordaba, pues está última se enfoca en la capacidad estructural del edificio, y de evitar el colapso ante sismos de intensidad severa, mientras que nada dice sobre lo que sucede al interior de las estructuras y los demás elementos susceptibles al efecto del sismo, que puedan afectar de igual manera a la resiliencia, interrumpiendo la operación y buen funcionamiento de la infraestructura. Sin embargo, cabe mencionar que las normas técnicas del MINVU, son solo recomendaciones de diseño y no son de carácter obligatorias, por lo que la utilización de dichas metodologías quedan a criterio del cliente, mandante y/o proyectista de la obra.

En este mismo sentido, se encuentra la norma técnica sobre criterios de diseño para el riesgo de tsunami o seiche, que entrega criterios de diseño para considerar la amenaza de tsunami, principalmente el causado por un sismo tsunamigénico, en las edificaciones ubicadas en zona de inundación.

6.2. Análisis de las Encuestas a Profesionales

La realización de las encuestas y sus gráficos de respuestas presentados en el Cap. 4, permiten realizar el análisis de los siguientes apartados, y que de acuerdo a las respuestas de las dos primeras preguntas sobre el perfil del encuestado, corresponde a una muestra de profesionales cuya mayor participación se da en el ámbito de la ingeniería (69,8%) y su desempeño se relaciona a las infraestructuras mostradas en el gráfico de la pregunta 2.

De aquí es relevante mencionar que ninguno de los encuestados respondió tener conocimientos de metodologías de diseño estructural en las áreas de las telecomunicaciones y de cárceles.

6.2.1. Del Grado de Conocimiento

- Respecto del grado de conocimiento, casi la mitad de los encuestados (49,1 %) dice tener un nivel 2 de conocimiento sobre diseño de infraestructura resiliente. Esto evidencia el poco conocimiento que existe respecto de la resiliencia aplicada en el ámbito de la infraestructura y el diseño, que podría deberse a lo reciente del desarrollo del concepto Resiliencia y el trato prácticamente nulo que se le da en los proyectos.
- Luego, la mitad de los encuestados (50,9%) responde haber participado en algún proyecto en que la resiliencia fue un objetivo implícito en el proyecto, seguido de un 41,5% que responde que la resiliencia definitivamente no fue un objetivo del proyecto.
- Y en una última pregunta, el 58,5% de los encuestados responde que en los proyectos que han participado, no hubo profesional (es) en la etapa de diseño cuyo rol se encargara de la evaluación y de la gestión del riesgo.

6.2.2. De la identificación de la aplicación de métodos

De este enfoque se lograron resultados reveladores al respecto, que se condicen con la revisión bibliográfica realizada y algunos puntos relevantes de las entrevistas.

- Poco más de la mitad de los encuestados (50,9%) afirma que la manera en que se logra la resiliencia en infraestructuras chilenas se produce de manera explícita o implícita por la sola aplicación de la normativa de construcción chilena que aplicaran al proyecto. Esto evidencia una probable dependencia de la resiliencia de las infraestructuras en general, y por ende de su nivel de desempeño, de las disposiciones de los instrumentos normativos que deban cumplir. Convirtiéndose en un aspecto relevante a considerar como recomendación.
- El 58,5% de los encuestados, afirma que los criterios de diseño resiliente apuntan principalmente a asegurar la capacidad estructural para absorber las perturbaciones provocadas por eventos naturales y evitar el daño. Esto se traduce, en términos gráfico-técnicos, de acuerdo a la definición de resiliencia adoptada en este trabajo, que los criterios apuntan a disminuir la caída de la curva de desempeño durante el perfil de falla

de la estructura, y por lo tanto, asociadas a medidas de prevención del impacto de la amenaza.

➤ En cuanto a la pregunta respecto de la evaluación del nivel de desarrollo de los criterios de diseño resiliente sobre especialidades en específico se destaca, por ejemplo, desde lo menos relevante que:

- La especialidad con mayor respuestas omitidas fue “telecomunicaciones”.
- La especialidad con menor respuestas omitidas fue “geotecnia”.
- Las especialidades mejor evaluadas con respecto al total de respuestas válidas fueron las asociadas a “estructuras metálicas” y “estructuras de hormigón”.
- Las especialidades peor evaluadas con respecto al total de respuestas válidas fueron el “transporte”, la “climatización” y las “telecomunicaciones”.

6.2.3. Influencia de los factores de riesgo

➤ Respecto de las amenazas que mayormente se consideran en el diseño de los proyectos, existen 4 con un porcentaje alto de elección:

- Terremotos (100%)
- Tsunamis (69,8)
- Inundaciones (50,9%)
- Vientos (43,4%)

➤ En cuanto a la evaluación del alcance de instrumentos normativos por tipo de amenaza de origen natural, destaca:

- La mejor evaluada es la asociada a “Terremotos”
- La peor evaluada es la asociada a “Sequías” y “Cambio Climático”

➤ El 67.9% considera que los factores de vulnerabilidad y exposición en el diseño de los proyectos se considera de manera aislada y enfocada solo en la vulnerabilidad del proyecto.

6.2.4. Incidencia de los costos-beneficios de la aplicación de métodos

- Más de la mitad de los encuestados esta “de acuerdo” o “totalmente de acuerdo” que el costo de aplicar métodos o enfoques de diseño resiliente encarecen los costos de construcción, comparados con métodos tradicionales

- Los tres beneficios con mayor impacto, de acuerdo con los encuestados son:
 - Ahorro en costos de recuperación, rehabilitación y reconstrucción.
 - Ahorro en pérdidas económicas en sectores productivos.
 - Disminución de las interrupciones generadas en diferentes servicios (básicos, de salud, sociales, etc.)

6.3. Análisis de las Entrevistas a Profesionales

En general, las entrevistas a expertos realizadas permitieron tener una mirada distinta de las metodologías de diseño resiliente, pues principalmente se basan en la experiencia de los profesionales y de la aplicación real o principales tendencias sobre los enfoques de diseño.

En este sentido, se permitió confirmar algunas situaciones observadas en la revisión bibliográfica, tales como las metodologías que se aplican en **hidrología** y la importancia de la consideración de los periodos de retorno para asegurar una resiliencia en los proyectos. Pero de igual manera, la entrevista ayudó a evidenciar la problemática que se presenta detrás producto del cambio climático y la variabilidad en los datos que se utilizan en las metodologías y de la relación entre los períodos de retorno con la vida útil de las infraestructuras que podrían ser no del todo beneficiosas, o en términos más técnicos, pudiera no representar un nivel de confiabilidad prudente para el diseño.

Así también, se permitió reconocer aspectos del diseño de las **telecomunicaciones**, de la cual en la revisión bibliográfica no existía mayor información. Destacando, por ejemplo, en el lado del diseño estructural de algunos elementos como las torres de telecomunicación, el hecho de que no existe una normativa chilena para el diseño que sea específica del área, sino que se realiza en base a normativa extranjera, complementada con documentos normativos de país, como la norma de vientos. O por el lado de diseño de las redes de las telecomunicaciones, en que además de la existencia de medidas que apuntan a dar mayor robustez de las estructuras físicas por medio de las consideraciones de diseño sísmico o de viento, se toman medidas efectivas respecto de la redundancia de la red, cuyo diseño propio al formar un enmallado entre “nodos”, permite que una falla en algún elemento de la red pueda ser sostenido, bajando un poco la calidad o a veces sin afectar la calidad del servicio, mientras se logra una rápida recuperación de la estructura dañada.

Por otro lado, gracias a la experiencia de dos profesionales ligados al sector del diseño y construcción de **puentes**, se pudo evidenciar el uso de criterios que fueron más exigentes que los estipulados en el Manual de Carreteras para el diseño de emblemáticas obras como es el caso del Puente de Chacao, en que se consideraron periodos de retornos mayores a los comunes, modificaciones al diseño que permiten una mayor redundancia en algunas de sus partes, y la consideración de amenazas no estipuladas en el Manual de Carreteras como el impacto de avión o de una embarcación.

En el mismo sentido, se pudo comprobar que aquellas disposiciones del Manual de Carreteras respecto del diseño de puentes comunes son medidas efectivas, al menos frente a las amenazas de origen natural como sismos o los efectos de la socavación, o incluso el efecto de las dos amenazas en su conjunto, que ha permitido un buen desempeño de este tipo de infraestructuras.

Finalmente, se pudo obtener mayor conocimiento respecto del diseño de **infraestructuras subterráneas**, como túneles o de la red de agua potable. Reconociendo en el caso de los primeros, los criterios más en profundidad que se utilizan en las distintas tipologías de **túneles**, evidenciando además que para esta infraestructura

el sismo no es de tanta importancia como se pensaría, dada la manera en que los esfuerzos de los túneles trabajan, y de la incertidumbre de modelar los suelos, junto a la variabilidad que se puede encontrar en terreno mientras se construye, provocando efectos como que se tomen decisiones conservadoras al menos en túneles con destino civil, y generando por naturaleza del rubro, altos costos en la construcción, por lo que tomar aún más medidas que aumenten la robustez no generaría mayor impacto en los costos de inversión.

Mientras que, por el lado de la infraestructura de **red de agua potable**, se levantó información respecto de la evaluación de los riesgos, el impacto de algunas de las amenazas más relevantes, y en especial, del impacto que genera el envejecimiento de las tuberías y la reticencia para invertir en el reemplazo de nuevas tuberías, que ocurre solo cuando las redes más antiguas llegan a fallar de manera importante. Ante esto, se evidencia que el factor económico y del cómo funciona el mercado de las concesiones de las sanitarias, termina por condicionar las medidas del diseño resiliente y la respuesta reactiva frente a las amenazas.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES

El objetivo general del presente trabajo de título está orientado al estudio de los diferentes métodos y enfoques de diseño resiliente que se han desarrollado en Chile y su aplicación en proyectos de infraestructura pública.

Para esto se utilizaron tres herramientas esenciales para lograr realizar el levantamiento de la información, la recopilación y el estudio de las metodologías y enfoques de diseño resiliente; la revisión bibliográfica, encuestas a profesionales y entrevistas a expertos. El conjunto de esta información y el cruce de información entre estas tres fuentes de información, permitieron llegar a las siguientes conclusiones.

7.1. Conclusiones Generales

1. La revisión bibliográfica evidenció que el acceso a la información disponible respecto de metodologías de diseño en general es bastante limitado y la mayoría pertenece a documentos del tipo normativo.
2. Se concluye que prácticamente todas las metodologías de diseño aplicadas no definen temas explícitos respecto de la resiliencia en infraestructura, sino más bien se desarrollan de manera implícita e indirecta generalmente motivados por requisitos como la continuidad operativa.
3. Los antecedentes sobre la aplicación de los criterios y enfoques de diseño resiliente confluyen en que estos son aplicados de manera particular y aislada en los proyectos, sin considerar su interconexión con otros sistemas de infraestructuras, ni la vulnerabilidad de comunidades aledañas que podrían verse afectadas.
4. De acuerdo con la experiencia de los profesionales se permite concluir que a pesar de que la mayoría de los encuestados y entrevistados coinciden en que la aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente en etapas tempranas aumentan los costos de capital inicial en general, concuerdan que en la mayoría de los casos se compensa en gran manera con la disminución, o más bien, ahorro de costos durante la operación de la infraestructura y de los costos de recuperación, rehabilitación y reconstrucción por el potencial impacto que los eventos extremos podrían afectarla.
5. Se puede concluir que los terremotos (o sismos) son la amenaza de origen natural e intensiva más considerada en los proyectos de infraestructura pública y en las metodologías de diseño, lo que ha permitido alcanzar estructuras que presentan un excelente desempeño sísmico resiliente. Mientras que la menos considerada corresponde a las erupciones volcánicas.
6. Se evidencia que los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT) y los estudios de zonificación de amenazas naturales son los principales responsables de lograr en gran medida la disminución del Riesgo de Desastres por medio de la disminución de la

exposición de las infraestructuras, la que es difícil de controlar por medio de criterios de diseño resiliente, que se traducen en la obligación de considerar de manera adicional la construcción de estructuras de protección que mitiguen su impacto. Siendo crítica su importancia en el escenario de la amenaza de erupción volcánica, remoción en masa, tsunamis y en menor medida las inundaciones.

7.2. Conclusiones Infraestructura Basal

1. En base a los antecedentes recopilados se puede concluir que la presencia de instituciones gubernamentales, y sobre todo aquellas cuyo objetivo es la fiscalización, como las diferentes superintendencias, ejercen un rol importante en el desarrollo de metodologías de diseño resiliente de las empresas concesionarias, que son motivadas a desarrollar métodos de diseño resiliente de manera indirecta producto de las exigencias que se establecen por normativa legal, respecto de la continuidad de operación y entrega de servicios, ya sea durante o después de la ocurrencia de un evento de origen natural desencadenado. Aunque, cabe destacar que este avance en diseño resiliente depende en gran medida del funcionamiento del mercado y aspectos como la oferta y la demanda de los servicios.
2. En el mismo eje, y en particular en la infraestructura de Energía y Telecomunicaciones, se evidencia que la desactualización o mala aplicación de los instrumentos ITP se convierten en un factor inhibitorio de las inversiones de las empresas privadas de concesión en cuanto a mejorar la resiliencia frente a las amenazas en ciertos sectores geográficos. En un caso concreto expuesto por un entrevistado, existen localidades que permiten la edificación en zonas de peligro de inundación, provocando que las empresas concesionarias se vean obligadas a expandir sus servicios a dichas zonas de acuerdo a las regulaciones del mercado, y que por lo tanto, dado el riesgo prácticamente certero de que ocurra un evento que afecte las instalaciones o estructuras en dicha zona, no se invierte en una infraestructura resiliente.
3. En el caso de la Infraestructura de Servicios Sanitarios, se evidencia un enfoque menor hacia mejorar la robustez o la redundancia, y se orienta más a mejorar la capacidad de respuesta ante los desastres o tomando acciones pasivas-preventivas, como detener el flujo de agua en bocatoma cuando exista riesgo potencial de que se active, y en un caso eventual suspender el servicio de suministro, que debería ser por un tiempo menor comparada a la opción de no tomar acciones.
4. La mayor parte de las metodologías de diseño resiliente permiten concluir que poseen un enfoque muy marcado hacia mejorar la robustez de la infraestructura, que se relaciona a la capacidad propia de la estructura para resistir los esfuerzos o las perturbaciones durante el perfil de falla. Sin embargo, los ejes estratégicos de Energía y Telecomunicaciones en específico se orientan en una manera más equilibrada a mejorar su resiliencia tomando medidas como la redundancia de sus respectivas redes, como por ejemplo, independizando dos líneas paralelas de electrificación, o el mallado de antenas soportadas por torres.

5. Para el caso de la infraestructura física de internet por medio de fibra óptica, se concluye que la redundancia en los sistemas de conexión de internet de fibra óptica es baja, por lo cual se hace vulnerable sobre todo por el hecho que presenta una columna central de fibra óptica, paralela a la ruta 5, que se ramifica hacia los costados dando conexión a otras localidades, de modo que una falla en el eje central puede tener un gran impacto en la operatividad del servicio. Situación distinta ocurre con las comunicaciones inalámbricas que se presentan en dos escenarios distintos, las zonas urbanas y las zonas rurales. Las zonas urbanas presentan una mejor calidad del servicio que las zonas rurales, y dado principalmente por la redundancia que existe en las redes de telecomunicaciones, incentivada principalmente por el modelo de negocio de las empresas de telecomunicación y las inversiones que se realizan en infraestructura, que responde a la dinámica de la oferta y la demanda. Por esto es que las zonas rurales presentan una menor calidad del servicio y menor resiliencia de las instalaciones.

7.3. Conclusiones Infraestructura de Apoyo Logístico

1. En cuanto a Infraestructura de Apoyo Logístico, y en directa relación con el problema evidenciado en el último punto anterior de infraestructura vial, no existen aspectos explícitos de diseño que consideren la redundancia de los sistemas de carreteras y caminos, por lo que las metodologías de diseño se basan principalmente en lograr un nivel de robustez de diseño, sin considerar los escenarios en que la robustez no sea suficiente.
2. En este mismo sentido, se concluye que el instrumento de diseño técnico, Manual de Carreteras, considera variados aspectos de diseño que tienen incidencia en la resiliencia total de la estructura, aún frente a situaciones o eventos que son más bien de riesgos extensivos, y cuya finalidad es resguardar la integridad de la estructura durante la operación, de manera tal que cuando se presente un evento de mayor magnitud o de riesgo intensivo, la respuesta de la estructura sea la esperada y sea capaz de soportar los eventos de mayor magnitud, como crecidas, aumento de escorrentía superficial, sismos, etc.
3. En cuanto al diseño resiliente de la infraestructura vial frente a la amenaza de las inundaciones, es posible concluir que se encuentran muy bien abordada desde la perspectiva de mitigar el impacto de las escorrentías superficiales producto de aspectos pluviales en el caso de obras de drenaje de la plataforma y de aspectos fluviales en obras de drenaje transversal o de defensas fluviales de los cimientos de un puente.
4. Si bien, en los aspectos que se consideran en el Manual de Carreteras existen directrices sobre criterios, metodologías y procedimientos de diseño que afectan la resiliencia, se evidencia que muchos de estos aspectos dependen en gran medida del criterio propio que tenga el proyectista o los requerimientos que se exijan para el proyecto en particular. Sobre todo, por lo difícil de encontrar un equilibrio óptimo

entre la seguridad, calidad del servicio y la rentabilidad social, en este tipo de proyectos.

5. En cuanto a infraestructura de puertos marítimos, ferrocarriles y aeropuertos, y de manera similar a como ocurre en otros tipos de infraestructura, se concluye que los criterios, enfoques y metodologías de diseño resiliente se desarrollan en base a las exigencias de operación que existen sobre sus servicios, principalmente por el escenario de concesión que nuevamente aparece en este eje. Y que si bien existen algunas directrices de diseño que buscan estandarizarlos, estos no están actualizados y las aplicaciones más recientes no están disponibles de manera pública.

7.4. Conclusiones Infraestructura de Uso Social

1. Se concluye que prácticamente la totalidad de las Infraestructuras de Uso Social, se rigen por normas comunes de diseño, ya sean obligatorias o no, que clasifican los tipos de edificaciones y establece los requisitos de diseño de acuerdo a su importancia. Siendo mayormente destacados los criterios, enfoques y metodologías de diseño asociados a asegurar la capacidad para resistir eventos sísmicos que elevan su resiliencia en este aspecto, convirtiéndose en una característica que ha sido destacada internacionalmente.
2. Se evidenció que existen incentivos por avanzar en metodologías de diseño resiliente de las infraestructuras de uso social -que afecta también a las otras categorizaciones indirectamente- respecto de la ocurrencia de eventos de tsunami. Sin embargo, no ocurre lo mismo para con otras amenazas de origen natural que aquí se consideran, como remociones en masa o erupciones volcánicas.
3. Al igual como se ha mencionado en los otros puntos, se concluye que la planificación territorial es importante para la Gestión del Riesgo de Desastres, y en especial en este eje estratégico, dado que es posible controlar la distribución y localización de las infraestructuras críticas como Hospitales, Escuelas, Cárceles, Museos, entre otras, en zonas seguras ante las amenazas mencionadas. Así como también la localización de infraestructura de protección ante amenazas, como el establecimiento de zonas de parques inundables.

7.5. Recomendaciones desarrollo de prácticas normativas y regulaciones

En base a las conclusiones obtenidas del estudio de metodologías de diseño resiliente, se establecen las siguientes recomendaciones que se presentan en dos ejes principales:

7.5.1. Mejoras prácticas del proceso de diseño

- (i) Integrar en los proyectos de diseño la Gestión Integral del Riesgo de Desastres que permita no solo evaluar el riesgo de los desastres potenciales que podrían ocurrir, sino que también cuantificar aspectos como la probabilidad de que el diseño pueda fallar para alcanzar de manera más certera una mejora de la resiliencia de las Infraestructuras Públicas, al menos de las que sean consideradas de carácter crítico.
- (ii) Incluir entre las variables de los criterios de diseño, la afectación de la infraestructura pública a la vulnerabilidad de las comunidades aledañas al proyecto, y no solo de la infraestructura en sí misma, lo que permite convertirlo en un proyecto más integral.
- (iii) Considerar la evaluación de la resiliencia de las infraestructuras públicas de manera que no solo se estudie de manera aislada, sino que también se considere su interconexión y nivel de afectación con respecto a los demás sistemas de infraestructuras. Pues, por ejemplo, en ocasiones no basta con aumentar la resiliencia de una estructura en específico aplicando criterios de diseño resiliente, si las otras infraestructuras con las cuales se relaciona no permiten el acceso a ella.

7.5.2. Normativas y de Regulación

- (iv) Mantener actualizados y asegurar un cumplimiento efectivo de las disposiciones de los Instrumentos de Planificación Territorial (IPT), pues estas herramientas tienen un rol fundamental en lograr disminuir la exposición de las infraestructuras a ciertos tipos de amenaza, y por ende de su vulnerabilidad frente al riesgo potencial.
- (v) Si bien la Infraestructura Vial Urbana e Interurbana presenta buenos criterios de resiliencia en términos de metodologías que apuntan a mejorar la robustez de las infraestructuras, se recomienda mejorar la resiliencia de los diseños viales desde un punto de vista estratégico de las redes y vías alternativas, en pos de mejorar la redundancia del sistema vial que conecta todas las demás infraestructuras incluso más allá de los sectores que se puedan considerar críticos, realizando los estudios e inversiones correspondientes.

- (vi) Se deben mantener y mejorar las exigencias legales de operación que regulan los servicios públicos de todas aquellas infraestructuras pertenecientes a Infraestructura Basal en donde no existe normativa que aplique directamente sobre los criterios de diseño que aplican, pero que se demostró que las exigencias motivaron el avance de metodologías de diseño en términos de resiliencia en sus sistemas. Así como también se deben uniformizar los estándares de servicio, independizándolos de aspectos como la oferta y la demanda del mercado que suelen generar diferencias en sectores, como por ejemplo, entre los servicios entregados en zonas urbanas y zonas rurales.

CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. GÓMEZ, M. GÓMEZ. (2018). Sostenibilidad y Resiliencia de las Infraestructuras. Madrid, España: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid.
- [2] WORLD ECONOMIC FORUM (2020). Global Risk Report 2020. Geneva, Switzerland. 102 p
- [3] MUNICH RE. (2020). Natural Disasters losses are trending upwards. [On line]<<https://www.munichre.com/en/risks/natural-disasters-losses-are-trending-upwards.html#-1624621007>>
- [4] CAMUS, P. *ET AL.* (2016). Visión Histórica de la Respuesta a las Amenazas Naturales en Chile y oportunidades de Gestión del Riesgo de Desastre. Pontificia Universidad Católica de Chile, CIGIDEN. Revista de Geografía Norte Grande. 11 p.
- [5] CREDEN. (2016). Hacia un Chile Resiliente frente a Desastres: Una Oportunidad. Santiago de Chile: Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo.
- [6] USAID/OFDA/LAC-RDAP. (2019). Material de referencia del curso de reducción del riesgo de desastres (CRRD). San José, Costa Rica. Programa Regional de Asistencia para Desastres, Oficina Regional. 184 p.
- [7] ISO/IEC Guide 73. (2009). Risk Management – Vocabulary – Guidelines for use in standards. Geneva, Switzerland. International Organization for Standardization, International Electrotechnical Commission. pp. 2.
- [8] UNISDR (2016). Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction. En: SEVENTY-FIRST SESSION agenda item 19 (c) Sustainable development: disaster risk reduction. Geneva, Switzerland. ONU. 41 p
- [9] CARDONA, O. (2001). La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión. En: P. CAMUS “ET AL”. (2016). Visión Histórica de la Respuesta a las Amenazas Naturales en Chile y oportunidades de Gestión del Riesgo de Desastre. Revista de Geografía Norte Grande. pp. 12.
- [10] BARRENECHEA, F. (sin fecha). Gestión del Riesgo de Desastres en Chile: Avances y Debilidades. Santiago de Chile: Universidad Bernardo O’higgins, UBO. pp. 3.

- [11] AYYUB, B. (2014). System Resilience for Multihazard Environments: definition, metrics and valuation for decision making. Risk Analysis, Vol. 34, No. 2. Maryland, USA: Center of Technology and Systems Management, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Maryland. pp. 345-347.
- [12] MULLAN, M. *ET AL* (2018). Climate-Resilient Infrastructure. Environment Policy Paper, OECD. 48 p.
- [13] CPI (2019). Reporte Infraestructura: Chile, inversión en infraestructura de uso público 2005-2018. Santiago, Chile. Consejo Políticas de Infraestructura. 58 p.
- [14] CChC (2016). Infraestructura Crítica para el Desarrollo 2016-2025. Santiago, Chile. Cámara Chilena de la Construcción, CChC.
- [15] CChC (2018). Infraestructura Crítica para el Desarrollo 2018-2027. Santiago, Chile. Cámara Chilena de la Construcción, CChC. pp. 8-16.
- [16] ENGEL, E. (2016). Infraestructura en Chile: historia de un lobby exitoso por Eduardo Engel. La Tercera, 08 de mayo 2016.
- [17] DE LA LLERA, J. *ET AL* (2017). Infraestructura Resiliente: lecciones del caso chileno. Chile. Centro de Investigación para la Gestión Integrada del Riesgo de Desastres, CIGIDEN, y la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- [18] DIRECCIÓN DE VIALIDAD (2020). Manual de Carreteras, Volumen N°3, Instrucciones y Criterios de Diseño. Chile. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.
- [19] DIRECCIÓN DE VIALIDAD (2020). Manual de Carreteras, Volumen N°2, Procedimiento de Estudios Viales. Chile. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.
- [20] CHILE. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1976). DFL N° 458: Ley General de Urbanismo y Construcciones, abril 1976.
- [21] CHILE. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1992). D.S. 47: Fija nuevo texto de la Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, abril 1992.
- [22] MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO, MINVU (2018). Vol. 1 Código de Normas y Especificaciones técnicas de Obras de Pavimentación. Chile. División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional.
- [23] CHILE. Ministerio de Obras Públicas. (2005). Decreto N°1.199, Aprueba el Reglamento de las Concesiones sanitarias de producción y distribución de Agua

Potable y de recolección y disposición de Aguas Servidas y de las Normas sobre calidad de atención a los usuarios de estos servicios, noviembre 2005.

- [24] CHILE. Ministerio de Obras Públicas. (1988). DFL 382: Ley General de Servicios Sanitarios, diciembre 1988.
- [25] INN. (2015). NCh 691:2015, Agua Potable – Conducción, Regulación y distribución. Chile. Instituto Nacional de Normalización.
- [26] INN. (2019). NCh 1105:2019, Ingeniería Sanitaria – Alcantarillado de aguas residuales – Diseño y cálculo de redes. Chile. Instituto Nacional de Normalización.
- [27] CHILE. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (1982). Ley N°18.168: Ley General de Telecomunicaciones, octubre 1982.
- [28] NIC CHILE RESEARCH LABS. (2018). Estudio y Recomendaciones sobre la Resiliencia de la Infraestructura de la Internet chilena. Proyecto InnovaChile – CORFO. Universidad de Chile. 172 p.
- [29] ITREND. (2020). Una visión sistémica para afrontar el desafío de la continuidad operativa frente a desastres en Chile [Reporte]. Instituto para la Resiliencia frente a Desastres. Chile. 32 p.
- [30] SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS, SISS. (2011). Guía Metodológica para la elaboración de Planes de Emergencia de Empresas Sanitarias. Chile. Ministerio de Obras Públicas. 54 p.
- [31] CHILE. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. (2007). DFL 4: Fija texto refundido, coordinado y sistematizado del Decreto con Fuerza de Ley N°1, de Minería, de 1982, Ley General de Servicios Eléctricos, en Materia de Energía Eléctrica, febrero 2007.
- [32] CHILE. Ministerio de Minería. (2009). Ley N° 20.402: Crea el Ministerio de Energía, estableciendo modificaciones al DL N° 2.224, de 1978 y a otros cuerpos legales, diciembre 2009.
- [33] CHILE. Ministerio de Minería. (1978). Decreto Ley N°2.224: Crea el Ministerio de Energía y la Comisión Nacional de Energía, junio 1978.
- [34] CNE. (2020). Anexo técnico: Exigencias mínimas de Diseño de Instalaciones de Transmisión. Comisión Nacional de Energía. 60 p.
- [35] CHILE. Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (1997). Ley N°19.542: Moderniza el Sector Portuario Estatal, diciembre 1997.

- [36] DIRECCION DE OBRAS PORTUARIAS, DOP. (2012-2014). Guía de Diseño, Construcción, Operación y Conservación de Obras Marítimas y Costeras. Chile. Ministerio de Obras Públicas.
- [37] CPI. (2018). Futuros proyectos de EFE deberán cumplir con estándares internacionales. [en línea]. Consejo Políticas de Infraestructura. 01 de junio, 2018. <<http://www.infraestructurapublica.cl/futuros-proyectos-de-efe-deberan-cumplir-con-estandares-internacionales/>>
- [38] SECTRA. (2003). Recomendaciones de Diseño para proyectos de Infraestructura Ferroviaria. Chile. Ministerio de Planificación y Cooperación, Gobierno de Chile.
- [39] INN. (2009). NCh433 Of. 1996 Mod 2009 – Diseño sísmico de Edificios. Chile. Instituto Nacional de Normalización.
- [40] MINSAL (2019). Guía de Diseño para establecimientos Hospitalarios de Mediana Complejidad. 1ª Edición. Ministerio de Salud, Gobierno de Chile.
- [41] EBM CONSTRUCCION. (2013). Un nuevo estándar en seguridad, construcción hospitalaria con protección sísmica. [en línea]. Revista EMB Construcción diciembre, 2013 <<http://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=2827&ni=construccion-hospitalaria-con-proteccion-sismica-un-nuevo-estandar-en-seguridad> >
- [42] MINVU (2013). Norma Técnica NTM 003 – Edificaciones estratégicas y de servicio comunitario. Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- [43] MINVU (2013). Norma Técnica NTM 007 – Diseño estructural para edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o seiche. Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- [44] MINVU (2013). Norma Técnica NTM 001 – Diseño Sísmico de componentes y sistemas no estructurales. Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- [45] DE SOLMINIHAC, J. (2017). Análisis de Resiliencia Estratégica de Puentes de la Ruta 5 entre Caldera y Pargua. Chile. Centro Latinoamericano de Políticas Económicas y Sociales. 28 p.

CAPÍTULO 9: ANEXOS

Anexo A: Estadísticas de Desastres “Naturales”

En el último informe denominado “Global Risk Report 2020” expuesto en el World Economic Forum, presenta un panorama gráfico de los principales riesgos que pueden afectar la economía mundial en términos de probabilidad de ocurrencia y nivel de impacto. De esta gráfica, que se expone a continuación, se puede ver que los riesgos que ocupan los primeros lugares corresponden a: clima extremo, falla de la acción climática y desastres naturales.

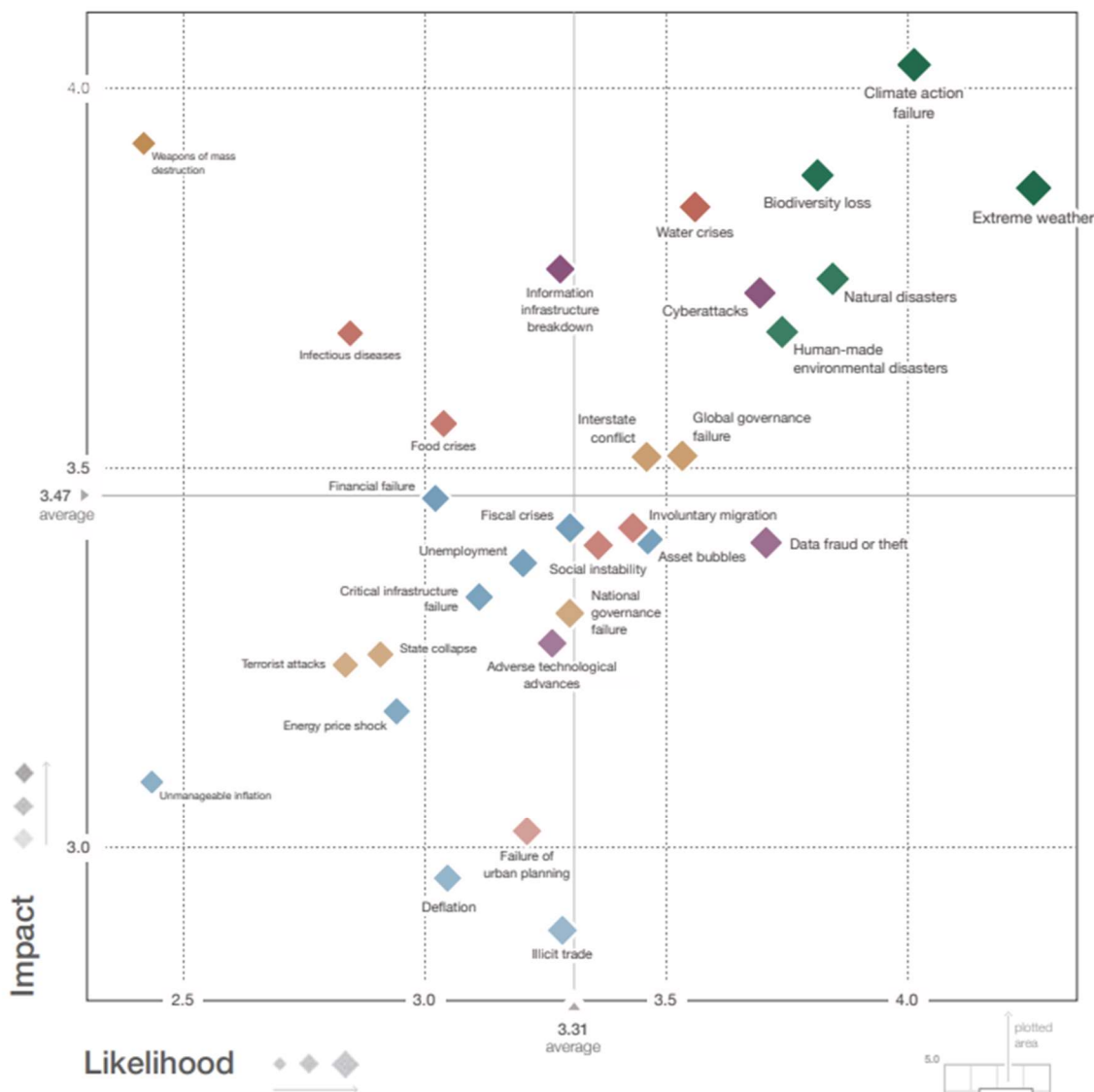


Figura 75. Panorama de Riesgos Globales.
Fuente: World Economic Forum (2020).

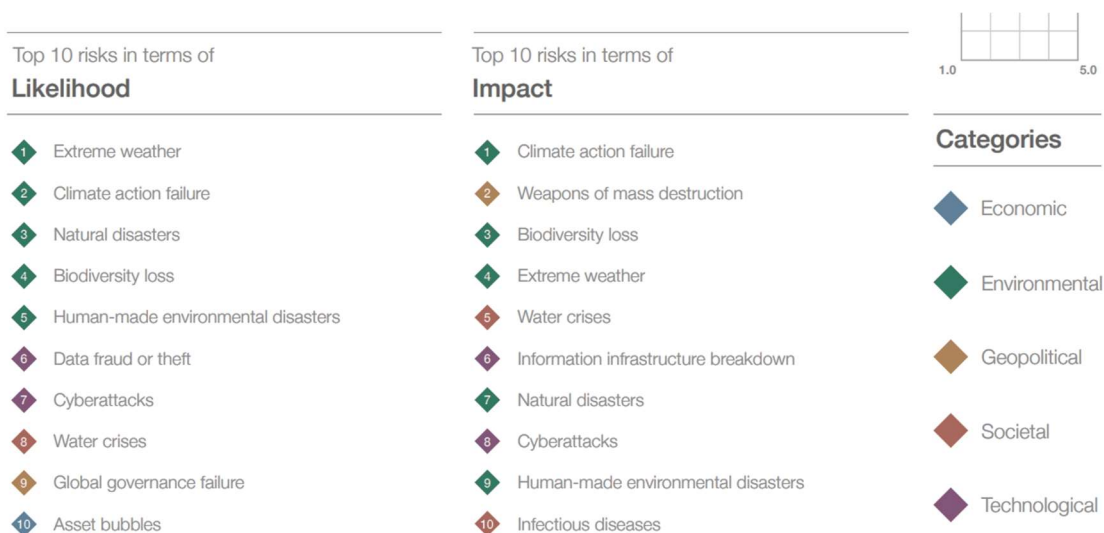


Figura 76. Top 10 de los riesgos en términos de probabilidad e impacto.
 Fuente: World Economic Forum (2020).

Dentro del mismo contexto de análisis de datos estadísticos de los desastres de origen natural, Munich Re, ha identificado un aumento en el número de eventos catastróficos con dicho origen, y particularmente en los eventos meteorológicos e hidrológicos.

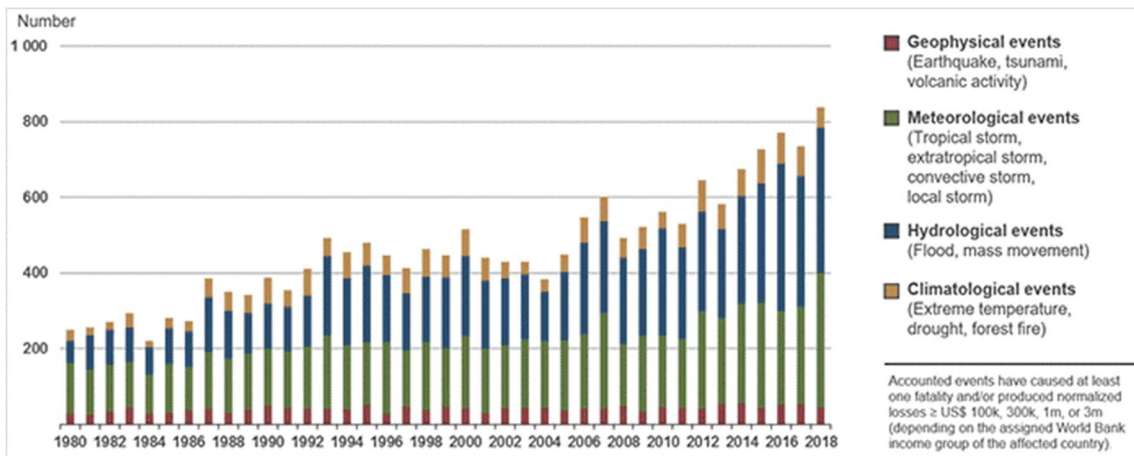


Figura 77. Número de catástrofes de origen natural en el mundo, 1980-2018.
 Fuente: © Munich Re, 2019.

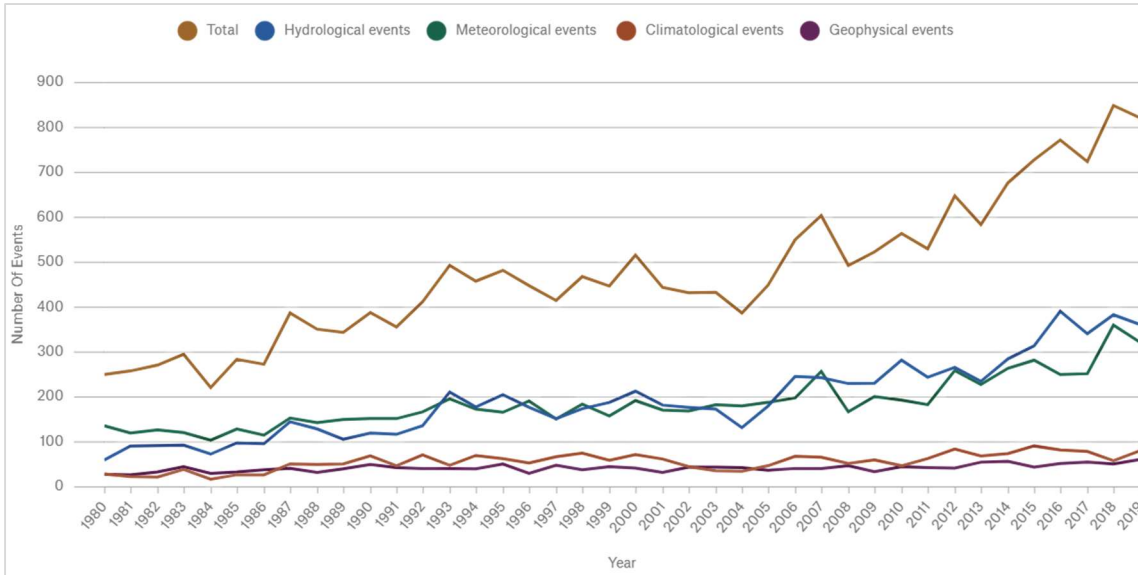


Figura 78. Catástrofes de origen natural en aumento - Número de eventos de pérdida relevante por amenaza desagregados, 1980-2019.

Fuente: © Munich Re, 2019. Recuperado de:

<https://www.munichre.com/en/risks/natural-disasters-losses-are-trending-upwards.html#1995343501>

Anexo B: Formato y Estructuración de la entrevista

Contenidos de la Entrevista

Descripción de la pauta de preguntas a realizar

Aplicación de métodos y/o enfoques de diseño resiliente

1. ¿Qué experiencia ha tenido en relación con métodos o enfoques de diseño resiliente en proyectos de infraestructura pública?
2. ¿Qué aspectos del diseño para la resiliencia puede reconocer que se han aplicado en los proyectos que ha participado?
3. ¿Ha evidenciado el uso criterios, directrices o principios particulares relacionados con el diseño resiliente en infraestructura pública?

Perspectiva del avance en diseño resiliente en Chile

4. En base a su experiencia en proyectos de infraestructura ¿Qué eventos o situaciones están impactando en el desarrollo de métodos o enfoques de diseño resiliente?
5. ¿Cómo evalúa la normativa chilena o documentos de regulación de diseño en su área de trabajo respecto del diseño resiliente en infraestructura?
6. En su opinión, las políticas públicas actuales y en desarrollo ¿Consideran aspectos de diseño resiliente en algún tipo de infraestructura, por ejemplo, hídrica, vial, energética, de transporte, telecomunicaciones, de uso social, etc.?

Incidencia de la aplicación de métodos y/o enfoques de diseño resiliente en los proyectos

7. En su opinión, ¿Qué beneficios, directos o indirectos, se obtienen u obtendrían de los proyectos producto de la aplicación de métodos o enfoques de diseño resiliente?
8. En su opinión, ¿Qué impacto se genera en los costos de capital y de operación en los proyectos producto de la aplicación de métodos o enfoques de diseño resiliente?

9. Comentario libre del entrevistado

Figura 79. Formato y estructuración de la Entrevista a expertos.

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo C: Caracterización de los entrevistados

El listado de entrevistados se presenta en la tabla a continuación, y se categorizan dependiendo de los grupos sectoriales descritos en la metodología de trabajo del Cap. 3: Sector académico-Investigación, Sector privado-Empresarial, Sector público-Gubernamental.

Tabla 13. Categorización de los entrevistados.

N°	Nombre entrevistado	Categoría/Sector	Área de Desempeño
1	Alberto de la Fuente	Académico	Ingeniero Civil Hidráulico, Sanitario y Ambiental, modelación hidráulica medioambiental y profesor asociado de la U. de Chile.
2	Jorge Vásquez	Académico	Ingeniero Civil Estructural, Jefe de Proyectos en ITREND
3	Ricardo Herrera	Académico	Ingeniero Civil Estructural, profesor asociado de la U. de Chile y director de CITRID.
4	Yolanda Alberto	Académico	Ingeniera Civil Geotécnica, Investigadora del centro CIGIDEN y profesora asociada de la U. de Chile.
5	Ximena Vargas	Académico	Ingeniera Civil Hidráulica, Profesora asociada de la U. de Chile
6	Eduardo Fernández de la Pradilla	Privado	Ingeniero Civil, especializado en Diseño y Construcción de Puentes, con experiencia en proyectos internacionales.
7	Jerónimo Verdugo	Privado	Ingeniero Civil Geotécnico, Jefe de Ingeniería especialista en túneles y obras subterráneas.
8	Leonardo Sánchez	Privado	Ingeniero Civil Estructural especializado en Diseño y Construcción de estructuras de telecomunicaciones y transmisión de energía eléctrica.
9	R. C. (confidencial)	Privado	Ingeniero Civil Electrónico y Ms en Telecomunicaciones, Subgerente Ingeniería Red de acceso fijo.
10	Matías Valenzuela	Público	Ingeniero Civil, especializado en Diseño y Construcción de Puentes y Gestión del Riego de Desastres.

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo D: Formato de Encuesta a Profesionales

Memoria de Título: Estudio de Metodologías de Diseño Resiliente en Infraestructura pública

Estimad@s profesionales,

Como parte del trabajo de título "Estudio de Metodologías de Diseño Resiliente en Infraestructura Pública" para optar al título de Ingeniero Civil de la Universidad de Chile, desarrollado en conjunto al profesor guía Alejandro Polanco Carrasco, les invito a participar de la siguiente encuesta cuyo objetivo principal es estudiar el nivel de conocimiento y percepción de profesionales sobre aquellos temas relacionados a la aplicación de métodos y enfoques de diseño resiliente en infraestructura pública.

Las respuestas recogidas en este formulario son de carácter anónimo y la utilización de los datos son netamente con fines académicos. Al final de la encuesta pueden indicar su correo electrónico para recibir los resultados una vez concluido este proceso, si así lo desean.

[Duración estimada: 6 minutos]

Desde ya agradezco su participación y cooperación en este trabajo de investigación.

atentamente,

David Israel Alegría Medina
Estudiante Memorista Ingeniería Civil
Universidad de Chile

***Obligatorio**

Información del Encuestado

1. Indique cuál es su sector más representativo de su trabajo *

Ingeniería

Construcción

Figura 80. Formato encuesta profesionales (1).

Fuente: Elaboración Propia, Google Forms ®

2. Seleccione el (los) tipos de proyecto de infraestructura que ha participado o que tiene mayor conocimiento en términos de metodologías de diseño estructural *

- Defensas Fluviales
- Control Aluvional
- Embalses
- Agua Potable
- Alcantarillado
- Tratamiento de Aguas Servidas
- Otro tipo de Infraestructura de Recurso Hídrico
- Infraestructura de Energía
- Infraestructura de Telecomunicaciones
- Vialidad Urbana o Interurbana (carreteras, caminos, calles, aceras, etc)
- Túneles
- Puentes
- Aeropuertos o Aeródromos
- Puertos Marítimos
- Ferrocarriles
- Trenes Urbanos
- Espacios Públicos (Deportivo, recreativo, cultural o cívico)
- Hospitales
- Cárceles
- Establecimientos educacionales
- Otros:

Figura 81. Formato encuesta profesionales (2).
Fuente: Elaboración Propia, Google Forms ®

Conocimiento y experiencia en Infraestructura Resiliente

Para la siguientes preguntas es necesario entender la Resiliencia como:

"La capacidad de un sistema, persona, comunidad o país expuestos a una amenaza de origen natural, para anticiparse, resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, para lograr la preservación, restauración y mejoramiento de sus estructuras, funciones básicas e identidad" (CREDEN, 2016).

3. A su juicio, ¿Qué nivel de conocimiento tiene sobre diseño de Infraestructura Resiliente? *

1 es nivel más bajo, 5 el nivel más alto

- 1 2 3 4 5
-

4. En su carrera profesional en Chile, ¿Ha participado en algún proyecto en que la resiliencia de la infraestructura haya sido un objetivo principal a considerar en el diseño? *

- Sí, de manera explícita.
- Si, de manera implícita.
- No.

5. En los proyectos que usted ha participado y considerando todos los actores involucrados en ellos, ¿Participó algún profesional en la etapa de diseño que se encargara de: 1. La evaluación del riesgo de desastres o 2. La Gestión del riesgo de desastres? *

- Sólo 1
- Sólo 2
- Ambas, 1 y 2
- Ninguna de las opciones

Figura 82. Formato encuesta profesionales (3).

Fuente: Elaboración Propia, Google Forms ®

Identificación de métodos y enfoques de Diseño Resiliente

6. De acuerdo a su experiencia y su opinión, en general, ¿De qué manera se logra principalmente la resiliencia que obtienen las infraestructuras en Chile? *

- De manera explícita, a través de los requisitos del proyecto planteados por el Cliente/Mandante (consideración de amenazas naturales específicas, redundancia del sistema frente a desastres u otros).
- De manera explícita o implícita, por la sola aplicación de los criterios definidos por la normativa de construcción chilena que aplicaran al proyecto.
- De manera implícita, a través de los requisitos del proyecto planteados por el Cliente/Mandante (requisitos de serviciabilidad, continuidad de operación u otros).
- Otros:

7. En su experiencia, a cuál de las siguientes opciones usted considera que apuntan principalmente los criterios de diseño respecto a la resiliencia *

- Asegurar la capacidad estructural para absorber las perturbaciones provocadas por eventos naturales y evitar el daño potencial.
- Limitar la pérdida repentina de rendimiento de la estructura durante el evento natural que lo pudiera afectar, de manera que si exista daño, este ocurra de manera dúctil.
- Facilitar una recuperación rápida de la estructura posterior al evento natural que lo afecte.
- Ninguna de las anteriores

Figura 83. Formato encuesta profesionales (4).

Fuente: Elaboración Propia, Google Forms ®

8. De las siguientes especialidades en un proyecto, ¿Cómo evaluaría el nivel de desarrollo que tienen sobre criterios de diseño resiliente? *

	Deficiente	Regular	Aceptable	Bueno	Excelente	Omitir respuesta
Construcción	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estructuras de Hormigón	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Estructuras Metálicas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Arquitectura	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Geotecnia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hidráulica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ambiental	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Transporte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Telecomunicaciones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mecánica	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cañerías (Piping)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Electricidad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Instrumentación	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Materiales	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Climatización	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 84. Formato encuesta profesionales (5).
 Fuente: Elaboración Propia, Google Forms ®

9. A su criterio, ¿Cuál o cuáles son las amenazas de origen natural que son mayormente consideradas en el diseño de proyectos de infraestructura pública en Chile? *

- Terremotos
- Tsunamis
- Erupciones Volcánicas
- Inundaciones
- Remoción en Masa
- Incendios forestales
- Tormentas
- Vientos
- Sequías
- Temperaturas extremas
- Cambio Climático
- Otros:

10. ¿Cómo evalúa el alcance que establecen las normas de diseño, reglamentos y otros instrumentos de regulación chilena, sobre las siguientes amenazas de origen natural? *

	Deficiente	Regular	Aceptable	Bueno	Excelente
Terremotos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tsunamis	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erupciones Volcánicas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Inundaciones	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Remociones en masa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Incendios forestales	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tormentas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vientos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sequías	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Temperaturas extremas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Cambio Climático	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 85. Formato encuesta profesionales (6).

Fuente: Elaboración Propia, Google Forms ®

11. En base a los proyectos que ha participado, ¿Cómo se consideran los factores de vulnerabilidad y exposición geográfica en el diseño de los proyectos? *

- De manera aislada y enfocada solo en la vulnerabilidad del proyecto
- De manera contextualizada y vinculada a los factores del entorno inmediato en que está inserto el proyecto que pudiera verse afectado.
- No se consideran relevante para los proyectos

Incidencia en la relación costo-beneficio de los métodos y enfoques de Diseño Resiliente

12. En base a su experiencia, ¿Considera que el costo de aplicar métodos o enfoques de diseño resiliente encarecen los costos de construcción comparado con los métodos tradicionales de diseño? *

- Totalmente de acuerdo
- De acuerdo
- Ni en acuerdo, ni en desacuerdo
- En desacuerdo
- Totalmente en desacuerdo

13. De los siguientes beneficios mencionados, seleccione cuáles son los tres (3), que tienen un mayor impacto de acuerdo a su criterio y experiencia *

- Ahorro en Costos de recuperación, rehabilitación y reconstrucción.
- Ahorro en Pérdidas económicas en sectores productivos.
- Disminución de las interrupciones generadas en diferentes servicios (básicos, de salud, sociales, etc).
- Disminución de la degradación ambiental del entorno.
- Disminución de la vulnerabilidad socioeconómica de grupos altamente expuestos.

Figura 86. Formato encuesta profesionales (7).

Fuente: Elaboración Propia, Google Forms ®