

CONTENIDOS MÍNIMOS DEL CÓDIGO MODELO SÍSMICO PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Borrador de Versión 2



**3° Plenario Virtual de la Comisión Permanente Para el Desarrollo del Código
Modelo Sísmico AL&EC – 19 al 21 de abril de 2022**

Organizado por:

INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN – CHILE

Secretaría General de la Comisión Permanente



1 A. Preámbulo

2 El presente documento denominado “Contenidos Mínimos del Código Modelo Sísmico para América
3 Latina y El Caribe”, se basa en la experiencia mancomunada de los miembros de la Comisión
4 Permanente CMS AL&EC, con referencias a las normativas propias de los países miembros de este
5 comité, aportadas por quienes colaboran en la creación de sus normas nacionales.

6 Esta instancia de colaboración nace como parte de los acuerdos de la 2° Jornada de Elaboración
7 Colaborativa del Código Modelo de Diseño Sísmico para América Latina y el Caribe, efectuada en San
8 José, Costa Rica durante los días 19 y 20 de julio de 2018, y para llevar a cabo este compromiso, se
9 crea un subcomité en Chile presidido por el señor Ian Watt (Asociación de Ingenieros Civiles
10 Estructurales - AICE Chile), contando como vicepresidenta a Marlena Murillo Segura (Colegio de
11 Ingenieros de Chile)

12 Participaron en algún momento en el comité las siguientes personas e instituciones:

País	Empresa o Institución	Nombre
Bolivia	Universidad Católica Boliviana San Pablo Sede Cochabamba	Rodrigo Claros
Chile	Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica - ACHISINA	Rodolfo Saragoni
Chile	Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales - AICE	Fernando Yévenes
Chile	Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales - AICE	Guillermo García
Chile	Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales - AICE	Ian Watt
Chile	Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales - AICE	Lucio Ricke
Chile	Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales - AICE	Luis Morales
Chile	Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales - AICE	Manuel Carrasco
Chile	Colegio de Ingenieros	Marlena Murillo
Chile	Instituto de la Construcción	Nicol Díaz
Chile	Instituto de la Construcción	Rodrigo Narváez
Chile	Ministerio de Obras Públicas	Eduardo Hurtado
Chile	Ministerio de Obras Públicas	Gustavo Silva
Chile	Ministerio de Obras Públicas	Marcelo Márquez
Chile	Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Cristina Barría
Chile	Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Marcelo Soto
Chile	Ruz y Vukasovic	Francisco Ruz
Chile	Universidad Central	Isabel García
Chile	Universidad de Chile	Claudia Torres
Chile	Universidad de Chile	Fabian Rojas
Chile	Universidad de Concepción	Gonzalo Montalva
Colombia	Universidad Industrial de Santander	Álvaro Viviescas

País	Empresa o Institución	Nombre
Colombia	Universidad Industrial de Santander	Gustavo Chio
Colombia	Universidad Industrial de Santander	Luis Zapata
Costa Rica	Tecnológico de Costa Rica	Ángel Navarro
Ecuador	Universidad Técnica Particular de Loja	Alicia Rivera
Guatemala	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica - AGIES	Byron Paiz
Nicaragua	Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI	Ileana Silva
Nicaragua	Ministerio de Transporte e Infraestructura - MTI	Maycol Rugama
Venezuela	Universidad Central	Gustavo Coronel
Venezuela	Universidad de los Andes	Klaudia Laffaille

13 El primer borrador de este documento fue presentado por el presidente del subcomité chileno en la 3°
14 Jornada de Elaboración Colaborativa del Código Modelo de Diseño Sísmico para América Latina y el
15 Caribe, efectuada en Antigua, Guatemala durante los días 27, 28 y 29 de marzo de 2019, donde se
16 recibieron observaciones y complementos, vertidos en la “Versión 1”, que fue aprobada por la comisión
17 permanente del Código Modelo Sísmico para América Latina y El Caribe – CMS AL&EC, durante la 4°
18 Jornada de Elaboración Colaborativa del Código Modelo de Diseño Sísmico para América Latina y el
19 Caribe, efectuada en Ciudad de Panamá, Panamá, durante los días 28, 29 y 30 de Agosto de 2019.

20 Los asistentes de la 4° Jornada de Elaboración Colaborativa del Código Modelo Sísmico para América
21 Latina y el Caribe, fueron los siguientes:

22 **Bolivia**

- 23 • Colegio de Ingenieros Civiles de Bolivia: Gabriela Analy Gonzáles Torres y Neiva Pamela
24 Baldiviezo Peñaranda.

25 **Chile**

- 26 • Ministerio de Vivienda y Urbanismo: Marcelo Soto, Jefe del Departamento Tecnologías de la
27 Construcción.
- 28 • Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales: Ian Watt, Secretario.
- 29 • Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica: Rodolfo Saragoni, Presidente; Jorge
30 Carvallo, Director.
- 31 • Instituto de la Construcción: José Pedro Campos, Director Ejecutivo; Nicol Díaz, Secretaria
32 Técnica.
- 33 • Ministerio de Obras Públicas. Eduardo Hurtado Gajardo, Jefe de Departamento de Ingeniería y
34 Construcción. División de Edificación Pública. Dirección de Arquitectura.

35 **Colombia**

- 36 • Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Civil: Alvaro Viviescas Jaimes; Luis
37 Eduardo Zapata y Gustavo Chio Cho.

38 **Costa Rica**

- 39 • Comisión Permanente Código Sísmico de Costa Rica: Miguel Cruz, Presidente; Javier Cartín,
40 Vicepresidente; Johnny Bermúdez, Tesorero.
- 41 • Universidad de Costa Rica: Diego Hidalgo, Coordinador Laboratorio de Ingeniería Sísmica,
42 Universidad de Costa Rica.

43 **El Salvador**

- 44 • Ministerio de Obras Públicas y Transportes - MOPT: William Guzmán, Director DACGER.
- 45 • Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales – MARN: Luis Ernesto Mixco, Sismólogo.
- 46 • Asociación Internacional para la Gestión de Emergencias Latinoamérica & Caribe - AIGELAC:
47 Edwin Portillo, Representante.

48 **Guatemala**

- 49 • Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica – AGIES: Alberto Pérez,
50 Presidente; Byron Paiz, Comité de Normas.

51 **Nicaragua**

- 52 • Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI: Ileana Silva, Responsable Dirección de Estudios
53 y Normas de la Construcción; Maycol Rugama Idiáquez, Responsable Departamento Estudios y
54 Tecnología en Normas de Construcción.
- 55 • Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales - INETER: José Leonardo Álvarez, Asesor en
56 Ciencias de La Tierra.

57 **Panamá**

- 58 • Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura: Rutilio Villarreal, Secretario General; Ernesto NG,
59 Comité Consultivo Permanente del REP.
- 60 • Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia: Jaime Toral Boutet, Director Ejecutivo.
- 61 • Universidad Tecnológica de Panamá: Ramiro Vargas, Director del Centro Experimental de
62 Ingeniería; José Manuel Gallardo Méndez, Investigador y Docente; Rogelio B. Pittí E., Docente;
63 Román Lorenzo, Jefe de departamento de Mecánica Estructural; Francisco J. Grajales Saavedra,
64 Investigador y Docente.
- 65 • Universidad de Panamá: Eric A. Chichaco R., Ingeniero Geólogo; Luis Santamaria Vallejos,
66 Ingeniero Geofísico.
- 67 • Comité Reglamento Estructural de Panamá - REP: Luis García Dutari, Comisionado; Antonio
68 Abrego Maloff, Comisionado; Daniel Ulloa, Comisionado; Eduardo Camacho Astigarrabia,
69 Comisionado.
- 70 • Sistema Nacional de Protección Civil - SINAPROC: Nilda M. Cortés V., Ingeniera Civil.
- 71 • Isthmian Geo Resources Inc. Autoridad del Canal de Panamá EX: Pastora Franceschi
72 Saavedra, Ingeniera en Minas y Geología del Canal.

73	B. Tabla de contenido	
74	A. Preámbulo	2
75	B. Tabla de contenido	5
76	C. Introducción	10
77	D. Terminología y simbología.....	11
78	D.1. Términos y definiciones	11
79	D.2. Simbología.....	11
80	E. Alcance, ámbito de aplicación y exclusiones.....	12
81	F. Clasificación de edificaciones	13
82	F.1. Por uso o importancia.....	13
83	F.2. Por irregularidad	16
84	F.3. Por material	18
85	F.4. Por sistema estructural	18
86	F.4.1. Sistema de pórticos resistentes a momento	21
87	F.4.2. Sistemas duales	22
88	F.4.3. Sistemas de muros estructurales.....	22
89	F.4.4. Sistema de pórticos arriostrados excéntricos	22
90	F.4.5. Sistemas de enrejados	22
91	F.4.6. Sistemas de cables colgantes o atirantados.....	22
92	F.4.7. Sistemas en voladizo	22
93	F.4.8. Sistemas mixtos de losa plana	22
94	F.4.9. Sistemas con aislación en la base	23
95	F.4.10. Sistemas con disipación de energía	24
96	F.5. Por redundancia	25
97	G. Objetivos de desempeño	26
98	G.1. Definición de los niveles de movimiento sísmico.....	26
99	G.2. Definición de niveles de desempeño	26
100	G.3. Objetivos de desempeño	27
101	G.3.1. Objetivos de desempeño básico.....	27
102	G.3.2. Objetivos de desempeño superior	28
103	G.4. Criterios de aceptación a nivel global y a nivel local de materiales	28
104	H. Normativa de referencia	30
105	H.1. Normas de referencia y consulta	30
106	H.1.1. Normas de requisitos generales de materiales de construcción.....	30
107	H.1.2. Normas para otras solicitudes.....	31

108	H.1.3.	Documentos de referencias y consulta	31
109	I.	Amenaza sísmica	32
110	I.1.	Sismicidad de sudamérica	32
111	I.1.1.	Marco tectónico regional	35
112	I.1.2.	Local	38
113	I.2.	Estimación de la amenaza sísmica	38
114	I.2.1.	Métodos determinísticos	38
115	I.2.2.	Métodos probabilísticos	38
116	I.3.	Registros sísmicos	40
117	I.3.1.	Procesamiento de registros sísmicos	41
118	I.3.2.	Características y parámetros de los registros sísmicos	41
119	I.3.3.	Metodologías y procedimientos para la obtención de registros	43
120	J.	Clasificación de suelos	45
121	J.1.	Efecto del suelo de fundación y la topografía en movimiento sísmico	45
122	J.2.	Exploración geotécnica asociada a la clasificación sísmica de suelos	45
123	J.3.	Clasificación sísmica del suelo de fundación	46
124	J.3.1.	Suelo tipo A	46
125	J.3.2.	Suelo tipo B	46
126	J.3.3.	Suelo tipo C	46
127	J.3.4.	Suelo tipo D	47
128	J.3.5.	Suelo tipo E	47
129	J.3.6.	Suelo tipo F	47
130	K.	Demanda sísmica	50
131	K.1.	Zonificación sísmica	51
132	K.2.	Espectro de demanda	51
133	K.2.1.	Registros de aceleración	52
134	L.	Combinación de Cargas	53
135	L.1.1.	Combinaciones para tensiones admisibles	53
136	M.	Metodología de análisis sísmico del sistema estructural	55
137	M.1.	Modelo y análisis estructural	55
138	M.2.	Masa sísmica	56
139	M.3.	Componentes direccionales	56
140	M.4.	Métodos de análisis sísmico	56
141	M.4.1.	Lineales	56
142	M.4.2.	No lineales	58

143	M.4.3.	Simplificado para viviendas de 1 y 2 pisos	59
144	M.5.	Interacción suelo-estructura	60
145	M.6.	Estructuras con sistemas de protección sísmica	62
146	M.6.1.	Aislación sísmica	62
147	M.6.2.	Disipación de energía sísmica	63
148	M.6.3.	Otros sistemas de disipación	63
149	M.6.4.	Amortiguador de masas sintonizadas	63
150	N.	Metodología de diseño sísmico del sistema estructural	65
151	N.1.	Diseño por fuerzas.....	65
152	N.1.1.	Estimación de la resistencia requerida	66
153	N.1.2.	Estimación de la resistencia provista	66
154	N.2.	Diseño por desempeño.....	67
155	N.2.1.	Descripción general del procedimiento	67
156	N.3.	Verificar los objetivos de desempeño y requisitos de seguridad	69
157	N.4.	Ensayos para sistemas de aislación y disipación sísmica	70
158	N.4.1.	Ensayos de prototipo	70
159	N.4.2.	Ensayos de control de calidad	70
160	N.4.3.	Verificación de las propiedades de los materiales	70
161	O.	Requisitos mínimos para componentes y sistemas no estructurales	70
162	O.1.	Objetivo de desempeño sísmico.....	71
163	O.2.	Requisitos de certificación sísmica especial.....	71
164	O.3.	Requerimientos generales de los componentes y sistemas no estructurales.....	71
165	O.4.	Definición de sollicitaciones sísmicas.....	71
166	O.4.1.	Fuerzas sísmicas de diseño	71
167	O.4.2.	Desplazamientos sísmicos de diseño.....	72
168	O.5.	Requisitos generales de diseño.....	72
169	O.6.	Diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales.....	73
170	O.7.	Consideraciones del diseño de componentes y sistemas no estructurales en estructuras con aislación sísmica.....	74
171			
172	O.7.1.	Fuerza horizontal	74
173	O.7.2.	Fuerza vertical	74
174	P.	Requisitos para el aseguramiento de la calidad	75
175	P.1.	Verificación de los objetivos de desempeño sísmico.....	75
176	P.2.	Instrumentación de edificios	75
177	P.2.1.	Plan de instrumentación	75

178	P.2.2.	Requisitos para instrumentar	76
179	P.2.3.	Número mínimo de canales	76
180	P.2.4.	Ubicación de sensores.....	76
181	P.2.5.	Instalación y mantenimiento	77
182	P.2.6.	Uso de la información	77
183	P.3.	Requisitos de gestión	77
184	P.3.1.	Participación de profesionales acreditados en revisión de proyectos de diseño	
185		estructural	77
186	P.3.2.	Participación de profesionales acreditados en revisión de proyectos de diseño no	
187		estructural	78
188	P.3.3.	Participación de inspectores técnicos de obra – ITO.....	78
189	P.3.4.	Fiscalización de la autoridad competente	79
190	P.3.5.	Documentación estandarizada	79
191	P.3.6.	Suscripción de los profesionales responsables	80
192	P.3.7.	Protocolo de revisión y mantenimiento en el tiempo de la obra.....	80
193	Q.	Evaluación e intervención de estructuras existentes	82
194	Q.1.	Tipo de intervenciones generales.....	82
195	Q.2.	Evaluación y diagnóstico	82
196	Q.2.1.	Inspección visual y diagnóstico preliminar	83
197	Q.2.2.	Recopilación de antecedentes.....	83
198	Q.2.3.	Evaluación del entorno	83
199	Q.2.4.	Inspección, catastro y levantamiento de daños	84
200	Q.3.	Evaluación estructural	84
201	Q.4.	Tipo de medidas de intervención estructural	84
202	Q.4.1.	Modificación local de componentes	85
203	Q.4.2.	Aumento de rigidez lateral de la estructura.....	85
204	Q.4.3.	Refuerzo de la estructura.....	85
205	Q.4.4.	Reducción de masa	85
206	Q.4.5.	Implementación de sistemas de aislación sísmica	85
207	Q.4.6.	Implementación de sistemas de disipación de energía suplementarios	85
208	Q.5.	Estabilización de la estructura	85
209	Q.6.	Monitoreo de las estructuras cercanas	86
210	R.	Anexos.....	87
211	R.1.	Anexo 1: Mapas de zonificación sísmica	87
212	R.2.	Anexo 2: Cuantificación y caracterización de amenaza sísmica	87
213	R.3.	Anexo 3: Espectros de diseño sísmico.....	87

BORRADOR

215 **C. Introducción**

216 El presente documento corresponde a una propuesta de contenidos mínimos del código sísmico
217 referencial para América Latina y El Caribe, que considera las diferentes características de la sismicidad
218 de la región, debido a la interacción de las placas tectónicas presentes, lo que da lugar a una marcada
219 subducción en la costa pacífica de Sudamérica, Centro América y México.

220 Considera además los efectos neotectónicos de fallas activas muy importantes en la sismicidad de
221 algunos países de la región. Adicionalmente, en algunos casos el efecto dinámico del suelo tiene un rol
222 predominante en el diseño sísmico.

223 Este código referencial considera este amplio espectro de situaciones que se presentan en la región,
224 resumiendo el conocimiento y el estado del arte actual en materia de diseño sísmico de todos los
225 países, para lograr este documento que logre satisfacer las diversas necesidades potenciales de los
226 países miembros.

227 El objetivo del código es tener construcciones seguras que garanticen salvaguardar las vidas humanas
228 y en una etapa futura conducir al desafío de construcciones y ciudades resilientes.

229 Considerando el avance acelerado de la investigación en sismología, geotecnia, análisis y diseño
230 estructural, este documento requiere de una revisión y actualización periódica que recoja los resultados
231 de dichas investigaciones.

232 Este documento al ser referencial debe ser comparado y complementado con las normas, leyes,
233 ordenanzas y reglamentos locales de cada país, además de servir de guía o referencia a los códigos
234 nacionales y estar orientado a su actualización y mejora en la medida que cada país lo estime
235 necesario.

236 A continuación, se entrega la propuesta de contenidos mínimos del Código Modelo de Diseño Sísmico
237 Regional para América Latina y El Caribe en adelante CMDSR.

238 **Rodolfo Saragoni Huerta**
239 **Presidente Asamblea CMDSR**
240 **Presidente - Asociación Chilena De Sismología E Ingeniería Antisísmica (ACHISINA) – Chile**

241 **D. Terminología y simbología**

242 De la revisión de las normativas regionales, se detecta distinta terminología para los países miembros,
243 siendo necesario que se genere una nomenclatura común.

244 **D.1. Términos y definiciones**

245 **D.2. Simbología**

BORRADOR

246 **E. Alcance, ámbito de aplicación y exclusiones**

247 Este documento define los criterios mínimos para el análisis y diseño sismorresistente de edificaciones
248 nuevas. También especifica las exigencias sísmicas para componentes y sistemas no estructurales en
249 las edificaciones. Incluye además un procedimiento para la evaluación de daño sísmico y eventual
250 reparación de edificaciones existentes.

251 Este documento aplica a edificaciones tales como:

- 252 • Edificios para uso habitacional, comercio y/o oficinas de uno o varios pisos.
- 253 • Espacios de uso público como centros de atención hospitalaria, iglesias, recintos educacionales,
254 teatros, museos, estadios, salas de concierto, bibliotecas, servicios de emergencia, cárceles,
255 cuarteles de policía.
- 256 • Bodegas, estacionamientos, estructuras prefabricadas e instalaciones provisionales.
- 257 • Este documento no aplica para las siguientes estructuras:
- 258 • Obras civiles: puentes, presas, acueductos, túneles, muelles, canales, etc.
- 259 • Centrales de energía y torres de transmisión.
- 260 • Edificios y/o Instalaciones Industriales.

261 El objetivo de este documento es ser una guía para la elaboración de las normativas nacionales por
262 parte de las autoridades competentes. Reúne el conocimiento y el estado del arte actual en materia de
263 análisis y diseño estructural para lograr un documento que satisfaga las diversas necesidades de los
264 países miembros, buscando construcciones lo suficientemente seguras para cumplir con los objetivos
265 de desempeño establecidos. Este documento no es una norma, ni vincula legalmente a sus usuarios.

266 Los usuarios de este documento son:

- 267 • Profesionales competentes
- 268 • Autoridad competente o entidad regulatoria
- 269 • Organismos de gobierno
- 270 • Universidades e instituciones académicas
- 271 • Aseguradoras

272 Este documento considera solamente el efecto directo que las vibraciones del terreno inducen sobre
273 las edificaciones. No considera otros efectos nocivos de los sismos tales como asentamientos,
274 deslizamientos, licuación de suelos, ruptura por fallamiento superficial, o inundación por tsunami.

275 Este documento requiere una revisión y actualización periódica, incorporando los avances en la
276 materia, validados por la experiencia regional.

277 **F. Clasificación de edificaciones**

278 Las edificaciones pueden clasificarse en distintas categorías. Estas categorías típicamente tienen algún
 279 efecto normativo, tanto en prohibir ciertas clasificaciones para zonas de alta demanda sísmica, exigir
 280 límites de comportamiento especiales, o exigir metodologías de análisis más sofisticados para ciertos
 281 tipos de estructuras.

282 **F.1. Por uso o importancia**

283 La estructura se clasificará en una de las categorías que se establecen a continuación.

Tipo de uso, Importancia	Categoría	Ejemplos	Coeficiente I	Desempeño Esperado
Estructuras de edificaciones menores o temporales	I	<p>Construcciones cuyo colapso no induce daños a otras estructuras ni produce pérdidas de vidas humanas en caso de fallas, por lo cual se puede admitir un grado de seguridad bajo.</p> <p>Estructuras aisladas o provisionales no destinadas a habitación, no clasificables en las categorías de ocupación III y IV e incluyendo, pero no exclusivamente, las siguientes:</p> <p>a) Almacenes de productos no tóxicos, bodegaje e instalaciones agrícolas, entre otras.</p> <p>b) Construcciones provisorias, casetas, instalaciones de faenas.</p> <p>c) Instalaciones industriales o productivas donde no laboren más de 10 personas</p>	0.6 - 1.0	Desempeño Básico
Estructuras de ocupación normal	II	<p>Todos los edificios y otras estructuras destinadas a la habitación privada o al uso público que no pertenecen a las otras categorías y edificios u otras estructuras cuya falla puede poner en peligro otras construcciones de los Grupos III o IV</p> <p>Construcciones de ocupación normal que puedan tolerar daños estructurales, sin llegar al colapso parcial o desplome.</p> <p>Incluyendo, pero no exclusivamente, las siguientes:</p>	1.0 - 1.1	Desempeño Básico

		<p>a) Bancos, hoteles, edificios de oficinas, edificios públicos y restaurantes.</p> <p>b) Viviendas, edificios de viviendas, edificaciones residenciales o de alojamiento en general que no pertenezcan a la categoría III</p> <p>c) Edificaciones comerciales menores, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas contaminantes.</p>		
<p>Estructuras de edificaciones Importantes de Atención a la comunidad</p>	<p>III</p>	<p>Edificaciones cuya importancia sísmica se justifica en función a su alto contenido de valor humano, social y cultural, donde se requiere un grado de seguridad alto.</p> <p>Edificaciones donde se reúne gran cantidad de personas.</p> <p>Edificaciones públicas que deben mantenerse en funcionamiento después de ocurrido un sismo severo y que no estén incluidas en el grupo IV</p> <p>Incluyendo, pero no exclusivamente, las siguientes:</p> <p>a) Centros educacionales y culturales, tales como: escuelas, parvularios, colegios, liceos, institutos, universidades, museos, archivos y bibliotecas.</p> <p>b) Edificaciones e instalaciones que alberguen más de 2000 personas, tales como: Estadios, coliseos, teatros, cines, centros comerciales, centros feriales, centros religiosos, complejos deportivos, hoteles que posean centros de convenciones de alta capacidad.</p> <p>c) Terminales de transporte, aeropuertos, centros hospitalarios y de salud no incluidos en el grupo IV, etc.</p> <p>d) Construcciones que permitan el abastecimiento, espacios comerciales superiores a 3000m²</p> <p>e) Edificaciones que generen energía y que no estén incluidos en el grupo IV</p>	<p>1.0 - 1.3</p>	<p>Desempeño Superior</p>

		F) Edificaciones en altura, superiores a 10 pisos		
Estructuras de edificaciones indispensables o esenciales	IV	<p>Edificaciones y otras estructuras que cumplen funciones esenciales o bien que el colapso total o parcial de ellas podría producir efectos catastróficos sobre importantes sectores de la población. Son construcciones cuyas estructuras, instalaciones, equipamientos y accesibilidad deben mantenerse en funcionamiento en caso de catástrofe.</p> <p>Incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <p>a) Todas las edificaciones que componen hospitales, clínicas y centros de salud que dispongan de servicios de cirugía, salas de cuidados intensivos, salas de neonatos y/o atención de urgencias.</p> <p>b) Todas las edificaciones que componen aeropuertos, estaciones ferroviarias y de sistemas masivos de transporte, centrales de telecomunicación y de radiodifusión.</p> <p>c) Edificaciones designadas como refugios para emergencias, centrales de aeronavegación, hangares de aeronaves de emergencia, torres de control aéreo, etc.</p> <p>d) Edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos.</p> <p>e) Edificaciones que contengan agentes explosivos, tóxicos y dañinos para el público.</p> <p>f) Estructuras que alberguen plantas de generación eléctrica de emergencia, los tanques y estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio.</p> <p>g) Edificios y otras estructuras que tengan funciones críticas para la seguridad y defensa Nacional, incluyendo cuarteles de policías, edificaciones e instalaciones de fuerzas armadas, cuarteles de bomberos y recintos carcelarios.</p>	1.2 - 1.5	Desempeño Superior

284

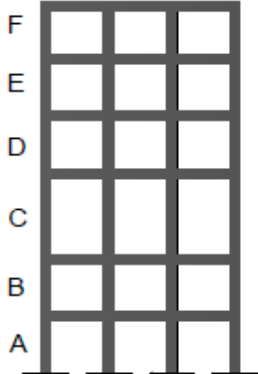
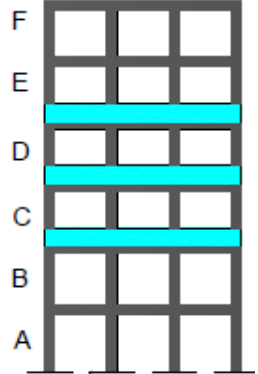
Tabla 1. Clasificación de edificaciones por uso o importancia.

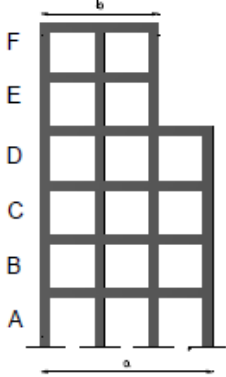
285 Para el diseño por resistencia se adoptará el correspondiente factor de importancia I. El propósito del
 286 factor de importancia I es modificar la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus
 287 características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños
 288 durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño.

289 Para metodologías de diseño por desempeño el factor de Importancia no se utiliza para modificar la
 290 demanda sísmica, dado que lo que se hace es verificar con estándares más altos de comportamiento
 291 a la estructuras importantes o esenciales. Es por esto por lo que las categorías de importancia son
 292 relevantes para determinar los objetivos de desempeño que se deben alcanzar.

293 **F.2. Por irregularidad**

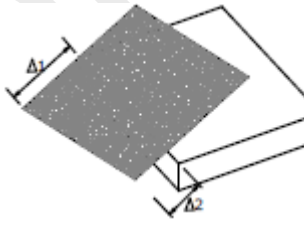
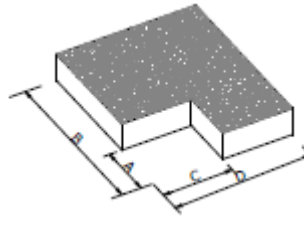
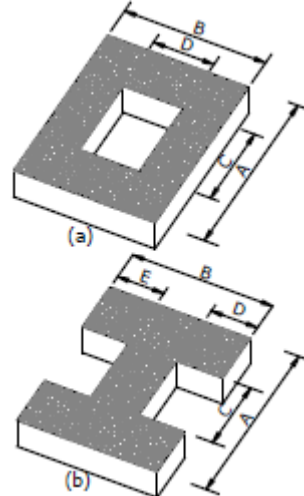
294 Las estructuras deberán clasificarse como regulares o irregulares, según criterios de configuración
 295 estructural. La irregularidad estructural puede alterar significativamente el desempeño de una
 296 estructura durante un sismo. La irregularidad estructural en planta y en elevación se observa
 297 típicamente entre aspectos de diseño de los elementos verticales y horizontales, algunos de los cuales
 298 se indican a continuación.

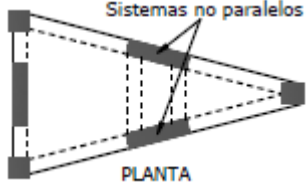
<p>Piso blando</p>	<p>Se origina generalmente cuando se cuenta con un nivel en el cual su rigidez es considerablemente menor a la de los niveles adyacentes. Se puede considerar que existe un piso blando cuando la rigidez de un nivel en un sistema resistente a fuerzas laterales en cualquier piso es menor que el 70% de la rigidez del sistema resistente a la fuerza sísmica en un piso adyacente o menos del 80% de la rigidez promedio del sistema resistente a la fuerza sísmica de los 3 pisos superiores.</p>	
<p>Irregularidad de peso (masa)</p>	<p>se presenta cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1.5 veces la masa de uno de los pisos contiguos. Se exceptúa el caso de cubiertas livianas.</p>	

<p>Discontinuidad en altura</p>	<p>Se origina cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
---------------------------------	---	---

299

Tabla 2. Clasificación de edificaciones por irregularidad estructural en altura.

<p>Irregularidad torsional</p>	<p>Se genera cuando el máximo desplazamiento relativo del piso calculado incluyendo la torsión accidental, en un extremo de la estructura transversal a un eje es más de 1.2 veces el promedio de los desplazamientos relativos del piso de los dos extremos de la estructura.</p>	
<p>Esquinas reentrantes</p>	<p>Se presentan cuando el sistema resistente a las fuerzas laterales posee planos con esquinas reentrantes tales que los retrocesos o avances ocasionados son mayores que el 15% de la dimensión del plano resistente en su dirección principal.</p>	
<p>Discontinuidades en los diafragmas</p>	<p>Se consideran irregularidades en planta cuando existan discontinuidades abruptas o variaciones de rigidez, incluyendo los que tienen áreas recortadas o abiertas mayores del 50% del área bruta encerrada del diafragma o cambios en la rigidez efectiva del diafragma mayores del 50% de un piso al siguiente.</p>	

	<p>Sistemas no paralelos se consideran irregularidades en planta cuando algunos o todos los sistemas verticales resistentes a las cargas laterales no son paralelos ni simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales del sistema que resiste las fuerzas laterales.</p>	 <p>Sistemas no paralelos</p> <p>PLANTA</p>
--	--	--

300 Tabla 3. Clasificación de edificaciones por irregularidad estructural en planta.

301 Hay varias razones para el pobre desempeño de estructuras irregulares. La principal es que en
 302 estructuras regulares la incursión inelástica se tiende a distribuir en toda la estructura, mientras que, en
 303 casos con irregularidades mayores, el comportamiento inelástico se concentra en pocos puntos.
 304 Adicionalmente, algunas irregularidades pueden introducir demandas no anticipadas que pueden no
 305 ser consideradas adecuadamente por el diseñador. Finalmente, los análisis simplificados típicamente
 306 usados frecuentemente no pueden predecir completamente la distribución de la demanda en
 307 configuraciones estructurales irregulares, lo que puede causar una subestimación de los esfuerzos en
 308 las áreas asociadas a la irregularidad.

309 La clasificación por grado de irregularidad puede afectar:

310 El valor del coeficiente de reducción R en metodologías donde se utiliza este factor.

311 La cantidad máxima de pisos para el grado de irregularidad.

312 Los tipos de análisis sísmico que se pueden utilizar.

313 La aplicabilidad de métodos o procedimientos simplificados en análisis y/o diseño.

314 **F.3. Por material**

315 Esta clasificación refleja las características de absorción y disipación de energía de los materiales
 316 empleados, así como la experiencia sobre el comportamiento sísmico de los diferentes tipos de
 317 materiales y sistemas constructivos. Dentro de este grupo las edificaciones se clasifican de la siguiente
 318 manera:

- 319 • Edificaciones de ductilidad óptima.
- 320 • Edificaciones de ductilidad limitada.

321 La clasificación por tipo de material puede afectar:

- 322 • El valor del coeficiente de reducción R en metodologías donde se utiliza este factor.
- 323 • El tipo de sistemas estructurales disponibles a considerar con ese material.
- 324 • La cantidad máxima de pisos que se puede construir con ese material.
- 325 • Tipos de análisis sísmico que se pueden utilizar.

326 **F.4. Por sistema estructural**

327 Se denomina sistema estructural a un grupo de elementos o componentes estructurales que trabajan
 328 en conjunto para resistir las cargas o deformaciones a las cuales son sometidas. El sistema estructural

329 de una edificación está compuesto por una combinación de sistemas gravitacionales y
 330 sismorresistentes.

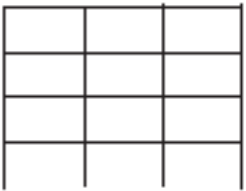
331 Los sistemas gravitacionales tienen por función principal soportar las cargas gravitacionales que actúan
 332 en la edificación. Por otro lado, los sistemas sismorresistentes tienen por función principal proveer a la
 333 edificación la capacidad necesaria para resistir sismos. Los sistemas estructurales deben ser capaces
 334 de resistir los desplazamientos laterales causados por sismos, a través de una respuesta dúctil, sin
 335 pérdida apreciable de su capacidad gravitacional.

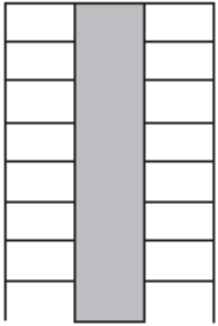
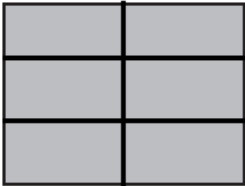
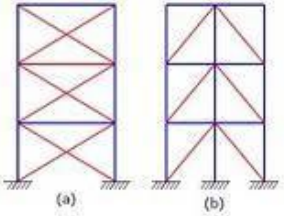
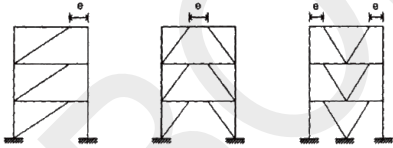
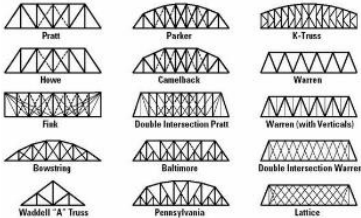
336 La clasificación por sistema estructural refleja las características de absorción y disipación de energía
 337 de los distintos sistemas estructurales empleados, así como la experiencia sobre el comportamiento
 338 sísmico de los diferentes sistemas.

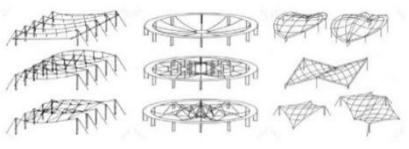
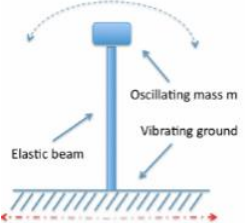
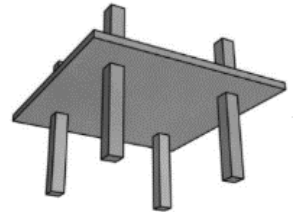
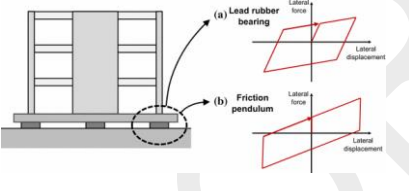
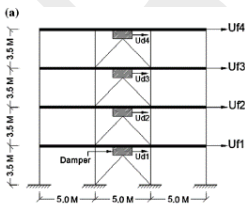
339 Cada sistema estructural está subdividido por los tipos de elementos estructurales verticales para
 340 resistir la acción sísmica lateral, estos deberán limitarse de acuerdo con la altura y configuración
 341 estructural. Los valores del coeficiente de reducción R , coeficiente de amplificación de desplazamiento
 342 C_d y factor de sobrerresistencia Ω_0 dependen del tipo de sistema estructural. En resumen, el tipo de
 343 sistema estructural puede afectar:

- 344 • El valor del coeficiente de reducción R en metodologías donde se utiliza este factor.
- 345 • El tipo de materiales utilizables con ese sistema.
- 346 • La cantidad máxima de pisos con ese sistema.
- 347 • Tipos de análisis sísmico que se pueden utilizar.

348 Los distintos sistemas estructurales utilizados en cada país para resistir las sollicitaciones sísmicas
 349 obedecen a los requerimientos externos de uso y costumbres locales. El sistema estructural elegido
 350 para resistir la acción sísmica se diseñará y detallará de acuerdo con los requisitos específicos para
 351 cada sistema, incluidos todos los elementos estructurales y sus conexiones. En la siguiente tabla se
 352 detalla los distintos sistemas estructurales, además de la categoría del diseño de acero de refuerzo:

Pórticos resistentes a momentos 	Pórticos especiales	
	Pórticos intermedios	
	Pórticos ordinarios	
Sistemas duales	Con pórticos resistentes a momentos especiales	Muros estructurales de hormigón armado especiales

		Muros estructurales de hormigón armado ordinarios
	Con pórticos resistentes a momentos intermedios	Muros estructurales de hormigón armado especiales
		Muros estructurales de hormigón armado ordinarios
<p>Muros estructurales</p> 	Muros estructurales de hormigón armado especiales	
	Muros estructurales de hormigón armado ordinarios	
<p>Pórticos arriostrados concéntricos</p> 	Pórticos arriostrados concéntricos especiales	
	Pórticos arriostrados concéntricos ordinarios	
<p>Pórticos arriostrados excéntricos</p> 	Pórticos arriostrados excéntricos	
<p>Enrejados</p> 	Sistema de enrejados	

<p>Estructuras atirantadas o de cables</p> 	<p>Sistema atirantado</p>
<p>Voladizos</p> 	<p>Sistema de voladizos</p>
<p>Losa plana</p> 	<p>Sistema de losa plana</p>
<p>Aislación basal</p> 	<p>Sistema de aislación</p>
<p>Disipación de energía</p> 	<p>Disipación de energía</p>

353

Tabla 4. Sistemas estructurales resistentes a las acciones físicas.

354

F.4.1. Sistema de pórticos resistentes a momento

355 Sistema estructural compuesto por vigas y columnas, conectadas por medio de nudos rígidos, donde
356 los elementos resisten las fuerzas principalmente por flexión.

357 **F.4.2. Sistemas duales**

358 Sistema estructural compuesto por sistemas de pórticos resistentes a momento en combinación con
359 sistemas estructurales de muros o sistemas de pórticos arriostrados. Los pórticos resistentes a
360 momento deben tener una participación importante ante cargas laterales, de lo contrario se clasifican
361 como sistema de muros estructurales o de marcos arriostrados.

362 **F.4.3. Sistemas de muros estructurales**

363 Sistema estructural compuesto principalmente por muros, los cuales permiten la transferencia de
364 cargas laterales sobre la estructura por medio de fuerzas cortantes a las fundaciones.

365 Sistema de pórticos arriostrados concéntricos

366 Sistema estructural compuesto por vigas, columnas y diagonales (riostros) conectados entre sí por
367 nudos, los cuales permiten la transferencia de cargas laterales sobre la estructura por medio de fuerzas
368 axiales a las fundaciones.

369 **F.4.4. Sistema de pórticos arriostrados excéntricos**

370 Sistema estructural compuesto por vigas, columnas y diagonales (riostros) conectados entre sí por
371 nudos, donde existe una excentricidad (distancia) entre el eje de la diagonal o riostra y el nodo de viga
372 y columna u otra diagonal, los cuales permiten la transferencia de cargas laterales por medio de
373 esfuerzos de flexión, corte y cargas axiales desde los elementos estructurales a las fundaciones.

374 **F.4.5. Sistemas de enrejados**

375 Sistema estructural compuesto por barras unidas en sus nudos, las cuales resisten las cargas a las
376 cuales es sometida la estructura por medio de fuerzas axiales (compresión y tracción).

377 **F.4.6. Sistemas de cables colgantes o atirantados**

378 Sistema estructural compuesto por elementos lineales en el cual la rigidez de la sección a momento o
379 corte es mucho menor en comparación a la rigidez a tracción; es decir, los elementos trabajan
380 esencialmente a tracción. En estos sistemas, los elementos (cables) son dispuestos geoméricamente
381 para lograr un sistema en equilibrio que permita resistir las cargas aplicadas.

382 **F.4.7. Sistemas en voladizo**

383 Sistema estructural que está constituido exclusivamente por una o varias columnas o muros que actúan
384 esencialmente como voladizos aislados, libres o articulados en su extremo superior y empotrados en
385 la base. Se caracteriza porque su capacidad de disipación de energía está concentrada en su base.

386 **F.4.8. Sistemas mixtos de losa plana**

387 Sistema estructural que resiste las fuerzas sísmicas por medio de sistemas estructurales de pórticos
 388 resistentes a momento, dual, muro o voladizo definidos anteriormente y que contienen losas planas.
 389 No forman parte de este tipo los sistemas estructurales constituidos exclusivamente por columnas y
 390 losas planas, los cuales no son recomendables como sistema sismorresistente debido a su
 391 vulnerabilidad en zonas de moderada o elevada amenaza sísmica dado el potencial peligro de falla por
 392 punzonamiento en la unión piso/banda/columna al desarrollar deformaciones importantes.

393 **F.4.9. Sistemas con aislación en la base**

394 Sistema estructural donde se introduce una Interfaz de aislamiento que se caracteriza por ser
 395 horizontalmente muy flexible, y verticalmente muy rígida. La estructura sobre la aislación se conoce
 396 como super estructura y puede ser cualquier sistema estructural mencionado anteriormente.

397 Los aisladores se dividen principalmente en dos tipos: los aisladores elastoméricos y los aisladores
 398 friccionales. Los primeros constan de dispositivos que intercalan capas de goma con placas rígidas.
 399 Los segundos constan de dispositivos en donde dos o más superficies que deslizan entre sí. A su vez
 400 estos dan a lugar a varias subcategorías, entre las que destacan:

- 401 • Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento
- 402 • Aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento
- 403 • Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo
- 404 • Deslizadores friccionales
- 405 • Aisladores friccionales (sistemas de péndulo friccional)
- 406 • Sistemas híbridos (combinación de aislación con disipación de energía)

407 La subestructura (parte de la estructura que se encuentra por debajo del nivel de aislación), usualmente
 408 es diseñada usando demandas de fuerzas cercana a la demanda elástica, lo cual limita la ubicación de
 409 la interfaz de aislación a niveles en donde existan elementos que proporcionan una gran rigidez y
 410 resistencia lateral (por ejemplo, muros de contención).

411 El nivel de detallamiento requerido suele ser igual al de una estructura tradicional, aunque algunas
 412 normativas permiten un relajamiento de este requerimiento en la medida que el cortante sísmico haya
 413 sido traspasado a los muros de contención.

414 La superestructura (parte de la estructura que se encuentra por encima del nivel de aislación) es la que
 415 se encuentra protegida por el sistema de aislación sísmica. La superestructura usualmente es diseñada
 416 usando valores del factor de reducción de la respuesta menores que lo que tendría la estructura sin
 417 aisladores (del orden de 2). Algunas normas también permiten relajar el detallamiento requerido en las
 418 zonas críticas producto de la menor incursión inelástica que se espera tenga la estructura producto de
 419 la adición de los sistemas de protección sísmica.

420 Para que el sistema de aislación funcione eficientemente, es requerido que sea mucho más flexible que
 421 la superestructura, lo que impone una rigidez lateral mínima a ésta.

422 En algunas normativas se define para el diseño del sistema de aislación (conjunto de elementos
 423 estructurales que incluye a todos los aisladores individuales, todos los elementos estructurales que
 424 transfieren fuerza entre los elementos la superestructura y la subestructura) se debe considerar un nivel
 425 de intensidad mayor que el requerido para el diseño de la estructura. Adicionalmente, el diseño de este
 426 conjunto de elementos es realizado sin utilizar factores de reducción a las fuerzas sísmicas.

427 El sistema de aislación también incluye el sistema de restricción para el efecto que tiene el viento sobre
428 la estructura, lo que puede conllevar a requisitos adicionales.

429 **F.4.10. Sistemas con disipación de energía**

430 Sistema estructural donde se introducen dispositivos que disipan energía adicional. La estructura puede
431 ser cualquier sistema estructural mencionado anteriormente, al cual se le incorporan estos dispositivos
432 para mejorar su desempeño sísmico a través de mayor amortiguamiento.

433 A diferencia de los aisladores, los disipadores no impiden que la energía sísmica entre en la estructura,
434 sino que son dispositivos diseñados especialmente para poder disipar dicha energía de manera más
435 efectiva y confiable que una incursión inelástica de la estructura.

436 Los sistemas de disipación se pueden dividir en las siguientes categorías:

- 437 • Dependiente del desplazamiento relativo entre sus extremos (friccionales o histeréticos)
- 438 • Dependiente de la velocidad de deformación (viscosos o viscoelásticos)
- 439 • Sistemas inerciales (masas sintonizadas)

440 Para la estructura sismorresistente (elementos responsables de resistir la acción sísmica que
441 componen la estructura, excluyendo el sistema disipador) se debe definir que disposiciones del análisis
442 convencional siguen siendo prescriptivas, y que disposiciones pueden modificarse. Por ejemplo, se
443 puede permitir reducciones del cortante basal, métodos de combinación direccional, factores de
444 redundancia, u otras prescripciones.

445 Para el diseño del sistema de disipación (conjunto de elementos estructurales que incluye los
446 disipadores, sus conectores, riostras u otros elementos estructurales necesarias para transferir las
447 fuerzas de disipación desde los disipadores a la estructura sismorresistente) se busca que permanezca
448 elástico para el sismo máximo posible.

449 Otros sistemas de disipación de energía que se encuentran actualmente en desarrollo son:

- 450 • Sistemas de disipación con control activo
- 451 • Sistemas de disipación con control semiactivo
- 452 • Sistemas híbridos

453 Un sistema de control activo se define como un sistema que típicamente requiere altos consumos
454 energéticos para operar sistemas electromecánicos o electrohidráulicos que aplican fuerzas de control
455 sobre la estructura. Se requiere un sistema de monitoreo de la aceleración del suelo y de la respuesta
456 estructural en tiempo real, y un sistema de retroalimentación que analice y reaccione. El sistema de
457 control y la estructura actúan como sistemas dependientes.

458 Un sistema de control semiactivo se define como un sistema que típicamente requiere bajos consumos
459 energéticos para modificar las propiedades dinámicas de los dispositivos de disipación. Se requiere un
460 sistema de monitoreo de la respuesta en tiempo real, y se deben definir umbrales de comportamiento
461 que activen el cambio de propiedades de los dispositivos.

462 Un sistema híbrido combina sistemas de control activo a semi activo con sistemas de disipación pasivos
463 o aislación sísmica.

464 **F.5. Por redundancia**

465 El diseño sismorresistente deberá contar con el mayor número de elementos que interactúen en una
466 estructura para desarrollar su máxima resistencia. Para ello, el diseño estructural debe considerar
467 sistemas alternativos, múltiples o sucesivas líneas de resistencia, conectando entre sí a los
468 subsistemas estructurales (elementos de elevada ductilidad), proporcionando un nivel adecuado de
469 redundancia, de modo que cualquier falla local no genere un colapso total o inestabilidad de la
470 estructura.

471 Es recomendable utilizar un factor de redundancia que permita la distribución de esfuerzos en una
472 estructura solicitada, cuando esta incurse en el rango no lineal.

473 Se debería asignar un factor de reducción de resistencia ($\rho=0.75$ o $\rho=0.8$) por ausencia de redundancia
474 en el sistema estructural de resistencia sísmica, en las dos direcciones principales en planta, de
475 acuerdo con las siguientes condiciones:

- 476 • Cuando la edificación cuenta con menos de tres líneas resistentes en cada dirección ortogonal.
477 No obstante, se permiten dos líneas siempre y cuando los elementos sismo-resistentes verticales
478 (columnas o muros) tengan las dimensiones transversales suficientes que permitan que los
479 elementos horizontales (vigas o cerchas) puedan desarrollar su capacidad última.
- 480 • Cuando sobre un solo elemento de la estructura, sea muro o pórtico, actúa una fuerza de 30 %
481 o más del total de la fuerza cortante horizontal en cualquier entrepiso, dicho elemento se deberá
482 diseñar para el 125 % de dicha fuerza. La concentración de la resistencia en pocos elementos
483 resistentes, reduciendo la redundancia, deja vulnerable al sistema aumentando la posibilidad de
484 colapso de la estructura.
- 485 • Pórticos de un solo vano, donde la estructuración tiende a ser esbelta, formando mecanismos
486 frágiles de piso débiles o mixtos con plasticidad concentrada en columnas en lugar del
487 mecanismo deseado de viga débil, columna fuerte.

488 G. Objetivos de desempeño

489 G.1. Definición de los niveles de movimiento sísmico

490 Cada país definirá los niveles de movimiento sísmico que considere pertinentes. Para efecto de este
491 Código Modelo de Diseño Sísmico, para evaluar la respuesta sísmica de las estructuras se definen
492 cuatro niveles de movimiento sísmico, detallados a continuación y en la Tabla 5.

493 a) **Nivel 1 – Sismo de servicio:** Sismo frecuente y de baja intensidad. Se define como el
494 movimiento sísmico cuya probabilidad de excedencia es de 50% en 30 años, con un período de
495 retorno de 43 años.

496 b) **Nivel 2 – Sismo ocasional:** Sismo de mediana intensidad. Se define como el movimiento
497 sísmico cuya probabilidad de excedencia es de 50% en 50 años, con un período de retorno de
498 72 años.

499 c) **Nivel 3 – Sismo de diseño:** Sismo de intensidad moderada a severa, que se espera que ocurra
500 al menos una vez durante la vida útil de la estructura. Se define como el movimiento sísmico
501 cuya probabilidad de excedencia es de 10% en 50 años, con un período de retorno de 475 años.

502 d) **Nivel 4 – Sismo máximo considerado:** Sismo de intensidad severa y baja probabilidad de
503 ocurrencia. Corresponde al máximo sismo que se define según el código de diseño sísmico de
504 cada país. Se define como el movimiento sísmico cuya probabilidad de excedencia es de 5% a
505 2% en 50 años*, con un período de retorno de entre 975 y 2475 años*, respectivamente. La razón
506 por la cual se utiliza un rango de periodo de retorno en el sismo máximo considerado es que no
507 existe consenso entre los diferentes países respecto a la definición de un periodo de retorno
508 único.

Niveles de Movimiento Sísmico de Diseño	Intervalo de recurrencia	Probabilidad de excedencia
Sismo de Servicio	43 años	50% en 30 años
Sismo Ocasional	72 años	50% en 50 años
Sismo de Diseño	475 años	10% en 50 años
Sismo Máximo Considerado	975 a 2475 años*	5% a 2% en 50 años*

*De acuerdo con el nivel que corresponda

509 Tabla 5. Definición de niveles de movimiento sísmico.

510 G.2. Definición de niveles de desempeño

511 Los Niveles de Desempeño son, en términos de la combinación de desempeño estructural y no
512 estructural, los siguientes:

- 513 • Operacional (O)
- 514 • Ocupación inmediata (IO)
- 515 • Seguridad de vida (LS)
- 516 • Prevención de colapso (CP)

517 La Tabla 6 muestra la definición de los Niveles de desempeño de un edificio, los estados de daño y la
 518 descripción de los daños asociados.

	Nivel de Desempeño	Estado de daño	Descripción de los daños
	Operacional (O)	Despreciable	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Los sistemas y vías de evacuación y todas las instalaciones continúan prestando sus servicios.
	Ocupación inmediata (Immediate Occupancy – IO)	Leve	Daño estructural despreciable. Daño leve en contenidos y elementos arquitectónicos. Aunque algunos equipos y sistemas no estén operacionales, estos se pueden reiniciar con facilidad. Los sistemas de seguridad y vías evacuación funcionan con normalidad.
	Seguridad de vida (Life Safety – LS)	Moderado	Daños moderados y reparables en elementos estructurales. Pérdida de resistencia y rigidez del sistema resistente de cargas laterales. Puede ser necesario cerrar el edificio temporalmente para realizar reparaciones. Sistemas arquitectónicos, eléctricos y mecánicos podrán presentar daños moderados, que no pongan en riesgo para la vida de las personas.
	Prevención de colapso (Collapse Prevention – CP)	Severo	Daños severos en elementos estructurales, pero elementos soportantes de cargas verticales funcionan adecuadamente. Daños generalizados de componentes y sistemas no estructurales y contenidos, con riesgo de caídas. Puede ser necesario demoler el edificio.

519 Tabla 6. Niveles de desempeño.

520 G.3. Objetivos de desempeño

521 Los objetivos de desempeño corresponden a los comportamientos esperados de un edificio sometido
 522 a diferentes niveles de movimiento sísmico y se definen como uno o más pares de niveles de
 523 movimiento sísmico y de niveles de desempeño, tal como se muestra en la Tabla 3.

524 Los objetivos de desempeño se agrupan en objetivos de desempeño básico y superior.

525 G.3.1. Objetivos de desempeño básico

526 Están dirigidos a edificaciones de ocupación normal (clasificación tipo II según capítulo F), tales como
 527 obras de habitación, oficinas, comercio o industria y cualquier otra edificación no incluida en las
 528 edificaciones especiales (incluidas en la categoría de objetivos de desempeño superior).

529 Para estas estructuras se pretende lograr el cumplimiento de los objetivos de desempeño básico dados
 530 por las letras A, F, K y P de la matriz de la Tabla 3. Para esto, como mínimo, se debe verificar el
 531 cumplimiento de las letras F y P.

532 **G.3.2. Objetivos de desempeño superior**

533 Estos objetivos están dirigidos a edificaciones críticas, esenciales o estratégicas (clasificación tipo III o
 534 IV según capítulo F), tales como hospitales, estaciones de policía y bomberos, torres de control,
 535 edificaciones destinadas a funcionar en una emergencia o que contienen equipos que deben
 536 permanecer funcionales en caso de emergencia.

537 Para estas estructuras, o aquellas a las que el propietario lo solicite, se pretende lograr el cumplimiento
 538 de los objetivos de desempeño superior dados por las letras E, J y O de la matriz de la Tabla 3. Para
 539 esto, como mínimo, se debe verificar el cumplimiento de las letras E y O.

		Niveles de daño			
		Despreciable	Leve	Moderado	Severo
Niveles de Sismo	Ocasional (43 años)	A	B	C	D
	Servicio (72 años)	E	F	G	H
	Diseño (475 años)	I	J	K	L
	Máximo Considerado (975 años)	M	N	O	P
		Operacional (O)	Ocupación Inmediata (IO)	Seguridad de Vida (LS)	Prevención de Colapso (CP)
		Niveles de desempeño			

540 Tabla 7. Objetivos de desempeño.

541 **G.4. Criterios de aceptación a nivel global y a nivel local de materiales**

542 Se definen las condiciones a nivel local (elementos) y global (estructura) que se deben cumplir para
 543 verificar que una estructura satisfaga un nivel de desempeño predeterminado. Notar que algunas de
 544 estas condiciones solo pueden ser verificadas mediante análisis no lineal.

545 Los criterios de aceptación se pueden resumir en los siguientes tres criterios:

- 546 e) El desplazamiento esperado del sistema estructural debe ser menor que los valores aceptados
 547 para dicho sistema y el nivel de desempeño que corresponde.
- 548 f) Los elementos dúctiles se deben detallar para resistir las deformaciones estimadas, incluidas las
 549 deformaciones plásticas. Para esto se puede realizar un análisis no lineal o se puede utilizar un
 550 análisis de mecanismo simplificado que permita estimar las demandas de deformación plástica.

551 g) Los elementos frágiles deben diseñarse para tener la resistencia requerida para las fuerzas que
552 se desarrollan cuando la estructura alcanza los niveles de desempeño esperado.

553 Por ejemplo, para edificios de hormigón armado, las condiciones que se deben cumplir para cada nivel
554 de desempeño son las siguientes:

555 **Operacional (O)**

- 556 • Nivel global: derivas máximas de entrepiso ≤ 0.002
- 557 • Nivel local: ningún elemento ve superada su capacidad, es decir, permanecen en el rango
558 elástico

559 **Ocupación Inmediata (IO)**

- 560 • Nivel global: Derivas máximas de entrepiso ≤ 0.005 según ASCE 41-17
- 561 • Nivel local: Los definidos en ASCE 41-17 para el estado de Ocupación Inmediata

562 **Seguridad a la vida (LS)**

- 563 • Nivel global: Derivas máximas de entrepiso ≤ 0.02 según ASCE 41-17.
- 564 • Nivel local: Los definidos en ASCE 41-17 para el estado de Seguridad de Vida

565 **Prevención de Colapso (CP)**

- 566 • Nivel global: Derivas de entrepiso ≤ 0.035 según ASCE 41-17.
- 567 • Nivel local: Los definidos en ASCE 41-17 para el estado de Prevención de Colapso

568 **H. Normativa de referencia**

569 **H.1. Normas de referencia y consulta**

570 Con el objetivo de poder mostrar las normas de cada país participante, de manera comparativa y por
571 temas comunes sujetas al descriptor del área de ingeniería que compete, se ha decidido colocar las
572 referencias normativas usadas en este documento en una tabla de doble entrada, de modo que el
573 descriptor del tema que trata la norma referida está indexado por fila, mientras que se indica indexado
574 por columnas el país al que pertenece la norma indicada, en cada casillero de la tabla.

575 Con esto se intenta mostrar una panorámica rápida de toda la normativa existente en Latinoamérica de
576 un tema específico, por un lado, y por otro lado cada país puede comparar el volumen de temas que
577 abarca sus normas y donde puede encontrar una referencia más acabada de un tema en específico si
578 lo requiere.

579 Puede acceder a la versión digital de la tabla de referencias normativas a través del siguiente enlace.

580 **H.1.1. Normas de requisitos generales de materiales de construcción**

581 Todo material que se utilice en el diseño sismorresistente debe a lo menos contar con suficiente
582 documentación, reglamentos y/o normativas aprobadas por la autoridad competente para cumplir con
583 los siguientes puntos.

584 **H.1.1.1. Requisitos generales del material**

585 La normativa debe establecer los requisitos que ha de cumplir el material para que se pueda
586 confeccionar, clasificar, transportar, colocar y trabajar de forma que su uso sea aplicable para la
587 construcción de estructuras. (Ejemplo NCh 170 - Hormigón - Requisitos generales).

588 **H.1.1.2. Diseño del material**

589 La normativa debe proporcionar los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos
590 (muros, pilares, vigas, losas, consolas, nudos, etc.) conformados por el material. Esta normativa
591 complementa al reglamento general de construcción aprobado por la autoridad competente, y rige en
592 todos los aspectos relativos al diseño del material. (Ejemplo ACI-318 - Requisitos de Reglamento para
593 Concreto Estructural).

594 **H.1.1.3. Control de calidad material**

595 La normativa debe proporcionar los procedimientos de evaluación de la calidad del material. Los
596 procedimientos de evaluación tienen por objetivo determinar la conformidad de los resultados con
597 respecto a las propiedades especificadas en el diseño. Este Reglamento debe establecer los criterios
598 de inspección, muestreo, ensayos y de aceptación y rechazo del material. (Ejemplos, ACI-318
599 Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural / NCh. 1998 - Hormigón Evaluación estadística
600 de la resistencia mecánica).

601 **H.1.1.4. Prescripciones adicionales del material**

602 La normativa presenta prescripciones adicionales para el material que la autoridad competente estime
603 conveniente. (Ejemplo NCh 430 - Hormigón armado - Requisitos de diseño y cálculo).

604 **H.1.2. Normas para otras solicitudes**

605 **H.1.2.1. Cargas permanentes y sobrecargas**

606 Se debe hacer referencia al Reglamento que contiene las bases que permitan evaluar las cargas
607 permanentes y cargas de uso que se deben considerar en el diseño de edificios y otras estructuras.
608 (Por ejemplo, la NCh 1537 - Cargas permanentes y cargas de uso o los Capítulos 3 y 4 del ASCE-07
609 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures).

610 **H.1.2.2. Viento**

611 Se debe hacer referencia al Reglamento que contiene las bases que permitan evaluar las cargas que
612 la acción del viento induce sobre la estructura, revestimientos y elementos secundarios. (Por ejemplo,
613 la NCh 432 – Diseño Estructural Cargas de Viento o el Capítulo 6 del ASCE-07 Minimum Design Loads
614 for Buildings and Other Structures).

615 **H.1.2.3. Nieve**

616 Se debe hacer referencia al Reglamento que contiene las bases que permitan evaluar las cargas que
617 la acción de la nieve induce sobre la estructura, revestimientos y elementos secundarios. (Por ejemplo,
618 el Capítulo 7 del ASCE-07 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures).

619 **H.1.2.4. Inundación**

620 Se debe hacer referencia al Reglamento que contiene las bases que permitan evaluar las cargas que
621 la acción de una inundación induce sobre la estructura, revestimientos y elementos secundarios. (Por
622 ejemplo, la NTM-007 Diseño estructural para edificaciones en áreas de riesgo de inundación por
623 tsunami o seiche o el Capítulo 5 del ASCE-07 Minimum Design Loads for Buildings and Other
624 Structures).

625 **H.1.2.5. Lluvia**

626 Se debe hacer referencia al Reglamento que contiene las bases que permitan evaluar las cargas que
627 la acción de la lluvia induce sobre la estructura, revestimientos y elementos secundarios. (Por ejemplo,
628 el Capítulo 8 del ASCE-07 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures).

629 **H.1.3. Documentos de referencias y consulta**

630 Se debe incluir cualquier documento adicional que no sea un reglamento aprobado por la autoridad
631 competente, pero que esta considera importante para consultar y referenciar. Comúnmente son
632 documentos emitidos por asociaciones gremiales internacionales (Por ejemplo, manuales del ACI) o
633 locales (Por ejemplo, el Manual de Detallamiento ICH).

634 **I. Amenaza sísmica**

635 El desarrollo de este ítem queda pendiente hasta recibir el aporte de los avances de los miembros del
636 comité Amenaza Sísmica, liderado por Costa Rica, en consecuencia, de acuerdos realizados durante
637 la 4° Jornada de “Elaboración Colaborativa De Código Modelo Sísmico Para América Latina y El Caribe”
638 durante agosto de 2019 en Ciudad de Panamá:

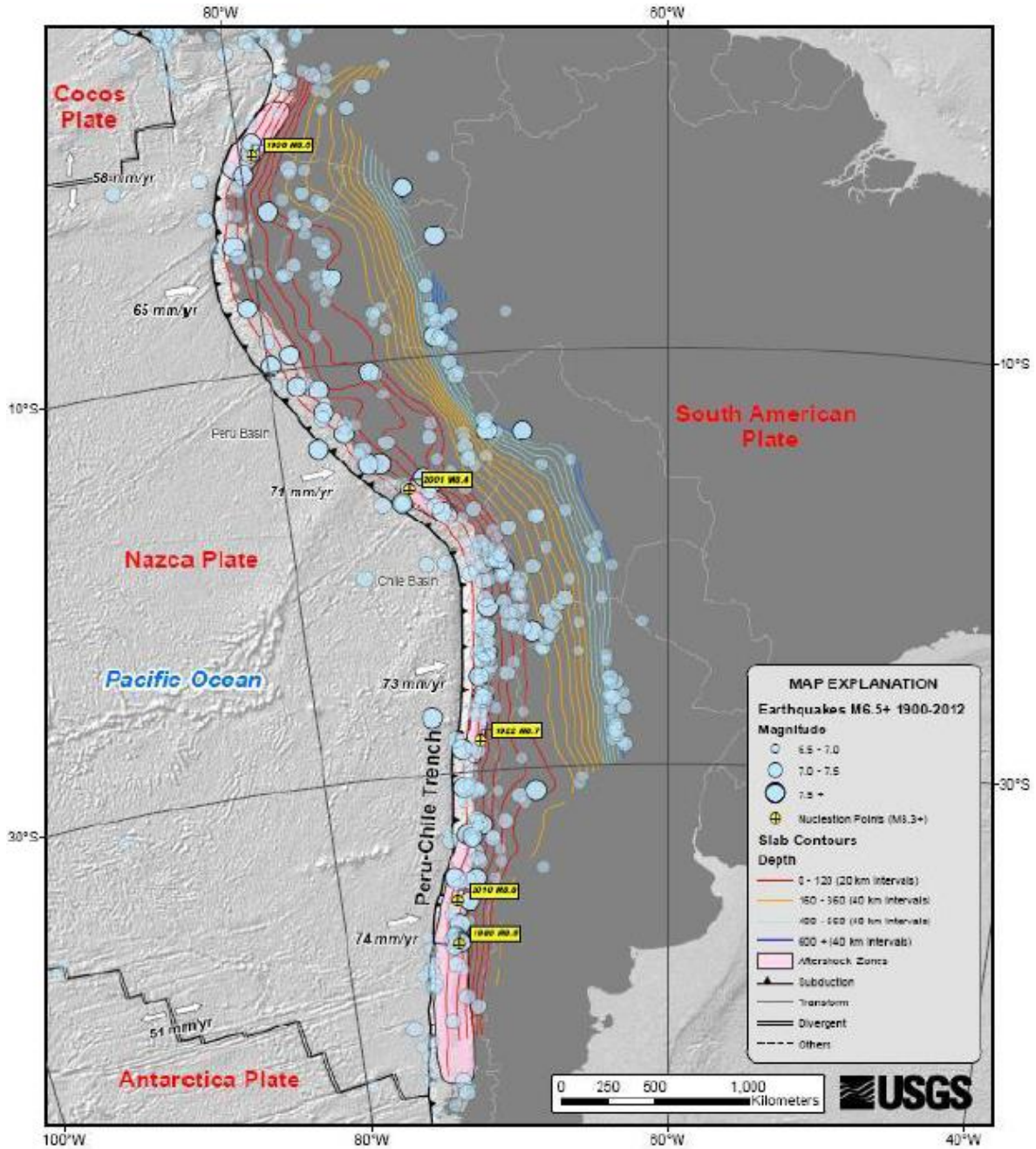
639 Se acuerda contratar un estudio y que todos los países visualicen fuentes de financiamiento. Como
640 lineamiento general se acuerda que debe ser un mapa de referencia, el mejor posible, que dependerá
641 de la información que se provea, esta información puede ser aportada por los países, y además debe
642 considerar periodos de retorno concordantes con los objetivos de desempeño establecidos por esta
643 comisión Permanente.

644 Se consultará el desarrollo de un espectro de respuesta de 3 puntos a definir y el tipo de suelo a
645 considerar en su realización será en roca. se deja como responsabilidad de cada país el desarrollo del
646 mapa para suelos locales.

647 **I.1. Sismicidad de sudamérica**

648 El borde occidental de Sudamérica presenta uno de los mayores niveles de sismicidad y vulcanismo
649 del mundo, fenómenos relacionados al proceso de subducción entre la Placa Nazca (oceánica) y la
650 Placa Sudamericana (continental) por la fosa Perú - Chile (Ward et al., 2013; Eicheberger et al., 2015;
651 Ryan et al., 2016; Anderson et al., 2017).

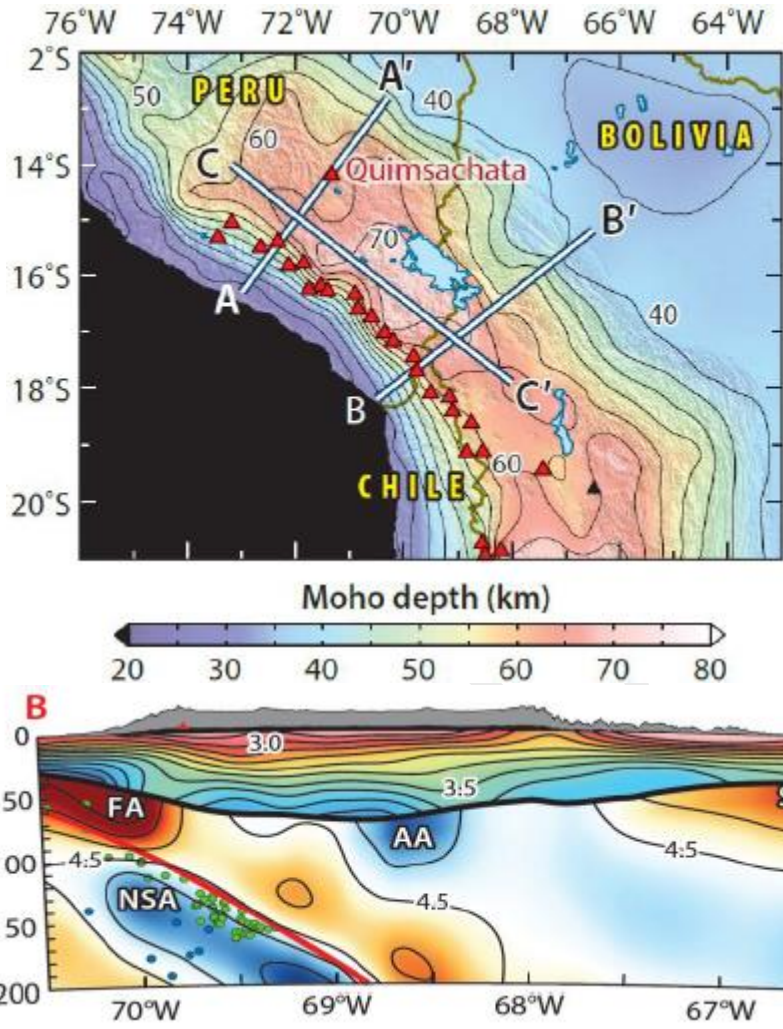
652 En la costa de Chile son frecuentes los terremotos que alcanzan magnitudes que producen enormes
653 catástrofes (Udias, 1998). La distribución de terremotos entre 1900 – 2012 con Magnitud > 6.5 está
654 representada en la siguiente figura (USGS, 2012).



655
656

Figura 1. Sismicidad de Sudamérica. Fuente: USGS.

657 Existen investigaciones internacionales acerca de la evolución tectónica de los Andes centrales. Todas
 658 ellas concluyen que la sismicidad en los Andes está asociada al proceso de subducción Placa Nazca /
 659 Sudamérica (PSHBO, 2019). En la siguiente figura se observa una sección transversal (B -B') de
 660 tomografía de onda S (Garziona et al., 2017), identificando una perturbación de velocidad positiva
 661 asociada con la Placa de Nazca que se subduce (anomalía NSA) y los terremotos están distribuidos
 662 sobre la placa.

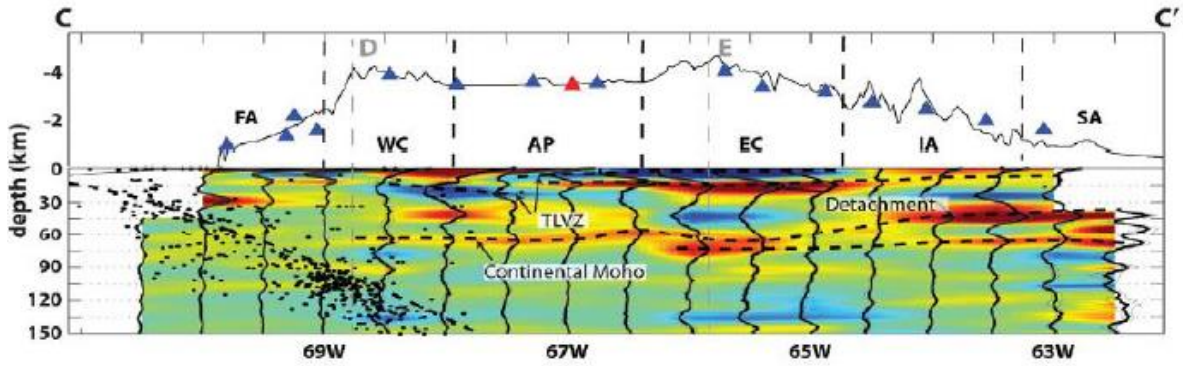


663

664

665 Figura 2. Secciones transversales de tomografía de onda S. Placa Sudamericana (línea negra gruesa). Placa de
666 Nazca (líneas rojas gruesas). Fuente: Garziona et al., 2017.

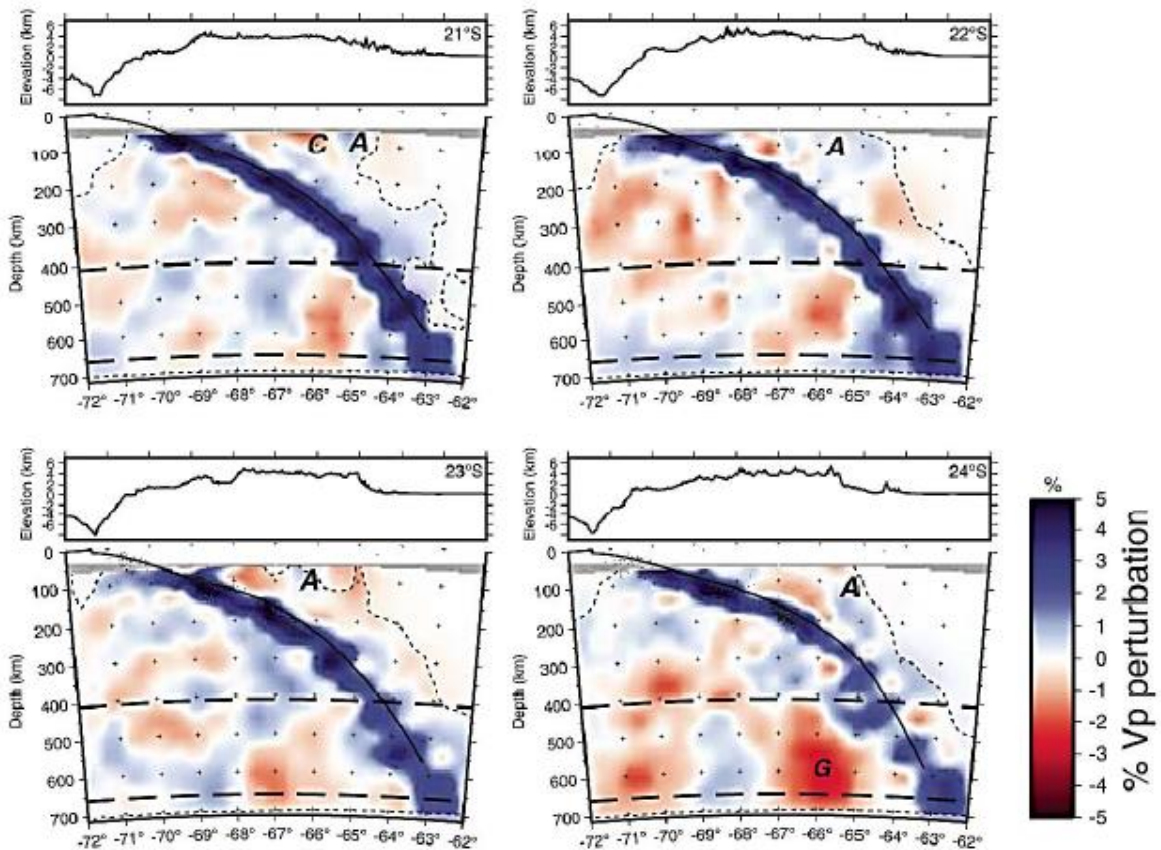
667 Asimismo, el estudio “Estructura de la corteza andina central a partir del análisis de la función del
668 receptor” (Ryan et al., 2016) que desplegó una red sísmica temporal de sismómetros de banda ancha
669 para investigar el espesor de la corteza, las estructuras y el manto. En la siguiente figura se observa
670 que los terremotos (puntos negros) están distribuidos sobre la placa subducida (línea gruesa).



671

672 Figura 3. Funciones del receptor de la sección transversal C - C'. Las ubicaciones del terremoto se representan
 673 como puntos negros y el contorno de la placa se muestra como una línea negra discontinua (Hayes et al., 2012).

674 El estudio de la deformación de la Placa de Nazca en la zona de transición del manto y el manto inferior:
 675 limitaciones de la tomografía telísmica en la placa profundamente subducida entre 6° S y 32° S,
 676 demuestra que la Placa de Nazca a diferentes latitudes 21°, 22°, 24°, entre otras, tiene el mismo
 677 comportamiento de subducción que se describe en la siguiente figura.



678

679 Figura 4. Secciones transversales del modelo de tomografía. La línea negra continua marca la parte superior de
 680 la placa de Nazca del modelo Slab1.0 (Hayes et al., 2012). Los puntos negros son ubicaciones de terremotos del
 681 catálogo de EHB (Engdahl et al., 1998). Fuente: Scire et al., 2014.

682

I.1.1. Marco tectónico regional

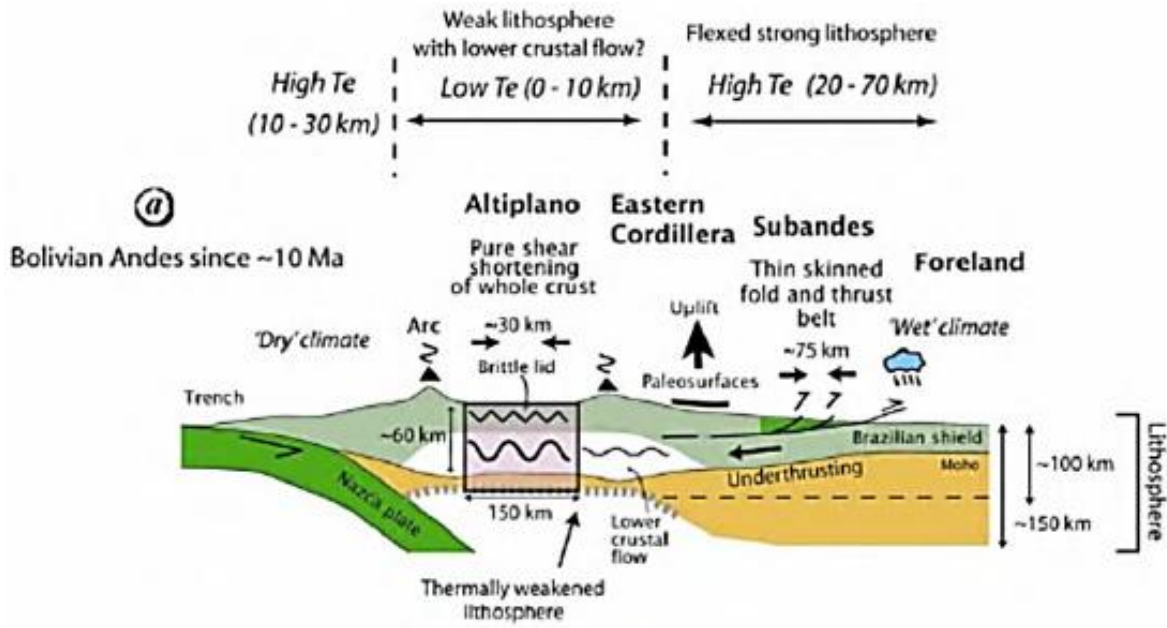
683 El borde convergente activo de Sudamérica se extiende más de 7.000 km, desde el margen chileno de
 684 triple cruce de la costa sur de Chile hasta su intersección con la zona de fractura de Panamá. En el mar
 685 de la costa sur de Panamá se marca el límite, donde la placa de Nazca comienza su descenso hacia
 686 el manto por debajo de la placa Sudamericana. La convergencia asociada a este proceso de
 687 subducción es responsable del levantamiento de la Cordillera de los Andes y de la cadena volcánica
 688 activa a lo largo de gran parte de este frente de deformación.

689 En la siguiente figura se muestran los límites de las placas, el frente de deformación andina, arco
 690 volcánico andino, las orientaciones de tensión desde los mecanismos focales de terremotos, las
 691 velocidades de la placa se muestran en relación con la placa sudamericana estable, las crestas
 692 asísmicas oceánicas y las regiones de subducción de losas planas.



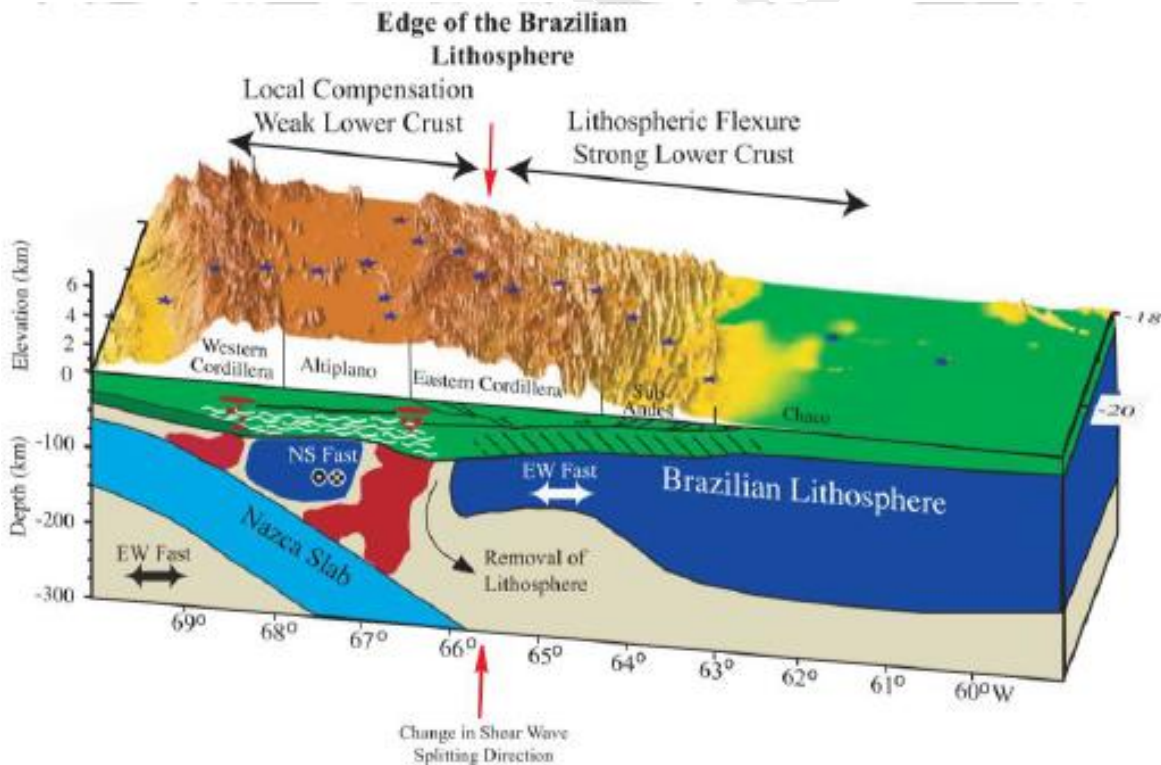
693
 694 Figura 5. Marco tectónico de América del Sur. Fuente: Horton et al., 2018.

695 En relación con la placa fija de Sudamérica, la placa de Nazca tiene una dirección de convergencia
 696 ENE – WSE y la tasa de movimiento varía aproximadamente 80 mm/año en el sur y hasta
 697 aproximadamente 65 mm/año en el norte. Aunque la tasa de subducción varía poco a lo largo de todo
 698 el arco, hay cambios complejos en los procesos geológicos en la zona de subducción que influyen
 699 drásticamente en la actividad volcánica, la deformación cortical y la generación de terremotos del borde
 700 occidental de América del Sur, como se muestran en las siguientes figuras:



701
702
703

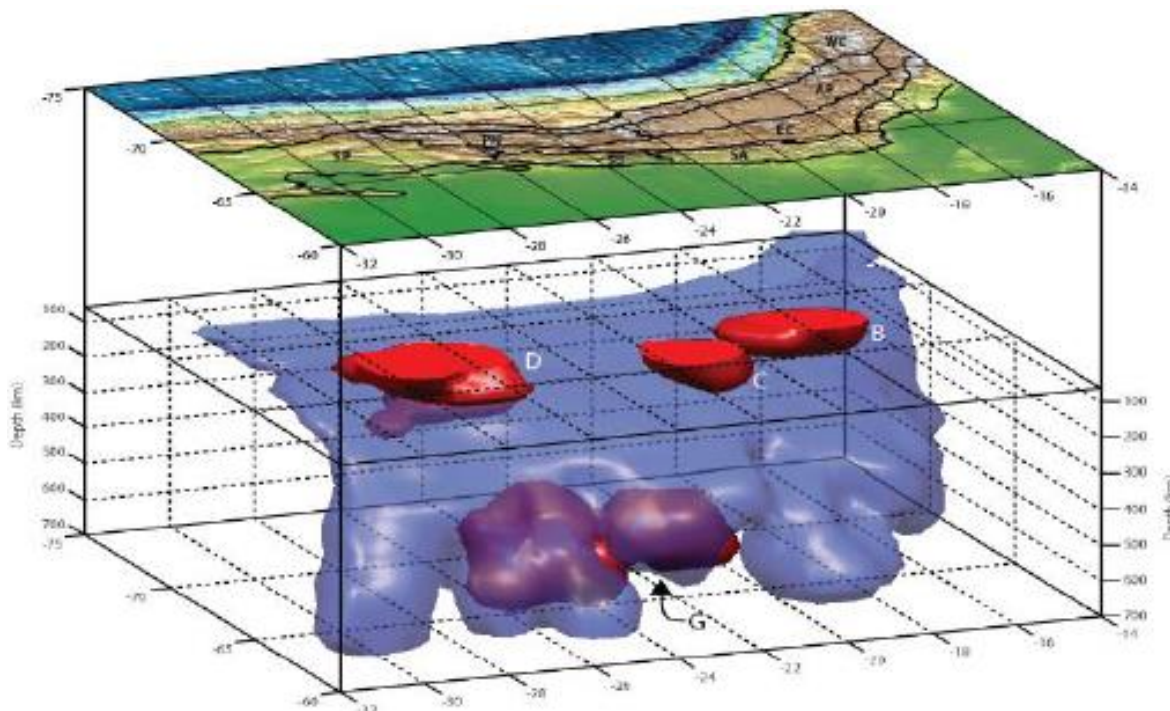
Figura 6. Corte transversal litosférico del margen andino subducido a 20 ° S en Chile y Bolivia, mostrando las principales características tectónicas Fuente: Lamb & Watts, 2010.



704
705
706
707

Figura 7. Sección transversal esquemática de la estructura litosférica de los Andes centrales a partir de estudios geofísicos y geológicos. Las estrellas azules muestran de los instrumentos sísmicos en el experimento de la Universidad de Arizona. Fuente: Beck & Zandt, 2002.

708 Los estudios de Scire et al. (2015; 2016) y Ward et al. (2013) muestran un modelo del proceso de
 709 subducción, en tres dimensiones, mediante tomografía sísmica que se muestra en la siguiente figura,
 710 técnica que se aplica para observar los cambios de velocidad en la corteza como en el manto y modelar
 711 las zonas de baja velocidad, que pueden ser interpretadas como depósitos magmáticos en los Andes
 712 Centrales.



713
 714 Figura 8. Diagrama tridimensional de la placa de Nazca y anomalías de baja y alta velocidad del manto (B, C, D,
 715 F y G). Las provincias morfoestructurales WC: Cordillera Occidental; AP – Altiplano; EC – Cordillera Oriental; SA –
 716 Zona Subandina; PN – Puna; SB – Sistema de Santa Bárbara; SP – Sierras Pampeanas. Fuente: Scire, et al,
 717 2014.

718 **I.1.2. Local**

719 **I.2. Estimación de la amenaza sísmica**

720 **I.2.1. Métodos determinísticos**

721 **I.2.2. Métodos probabilísticos**

722 En términos de probabilidad, la Amenaza Sísmica puede ser evaluado con el método propuesto por
 723 Esteve (1968), Cornell (1968) y Cornell & Van Marcke (1969). La teoría indica que la amenaza sísmica
 724 corresponde a la probabilidad de que ocurra un sismo de determinada magnitud que genere, en un
 725 punto específico, una aceleración igual o mayor a un valor dado para un periodo de tiempo determinado.
 726 Considerando que la ocurrencia de sismos obedece a una distribución de Poisson, debe tenerse en
 727 cuenta lo siguiente:

- 728 • El número de eventos que ocurren en un intervalo de tiempo es independiente de los que ocurren
 729 en otro.

- 730 • La probabilidad de ocurrencia durante un periodo de tiempo muy corto es proporcional a la
 731 longitud del intervalo de tiempo.
 732 • La probabilidad de que ocurra más de un evento sísmico durante un intervalo de tiempo muy
 733 corto es insignificante.

734 A través de esta metodología se obtiene generalmente mapas de amenaza sísmica que muestran
 735 aceleraciones esperadas para 475 y 2475 años y distintos periodos estructurales, así como distintos
 736 espectros de peligro uniforme.

737 Los estudios probabilísticos de amenaza sísmica brindan información sobre la excedencia de la
 738 aceleración máxima probable a registrarse en una región determinada (Cornell 1968, McGuire 1988,
 739 Beuval et al. 2013, Petersen et al. 2010; 2018). Como se trabaja con probabilidades, un grado de
 740 incertidumbre se adiciona al cálculo y resultados, estas pueden ser empíricas o determinadas mediante
 741 métodos matemáticos (Cotton et al. 2006, Bommer 2010; 2012).

742 Para realizar cualquier análisis de amenaza sísmica con base en estudios probabilísticos no es
 743 necesario escoger el peor escenario (en términos de terremotos), más bien, es necesario considerar
 744 todos los terremotos que han sucedido en un determinado periodo de tiempo, además del entorno
 745 donde sucedieron (Cotton et al. 2006, Baker 2008). Los pasos para el cálculo probabilístico de la
 746 amenaza sísmica son:

- 747 a) Identificación de las fuentes sismogénicas: Con base en los antecedentes sísmicos del área
 748 (distribución de epicentros). El algoritmo de cálculo propuesto por Ordaz et al. (2017) permite la
 749 definición de un área de trabajo con una grilla de cálculo, en la que se refleja las aceleraciones
 750 máximas probables.
- 751 b) Caracterización de fuentes: Con base en la relación de Gutenberg – Richter y la Función de
 752 Densidad de Probabilidad (FDP) permite calcular la tasa promedio de excedencia de un sismo
 753 en un determinado tiempo.

754 El algoritmo permite seleccionar modelos con distribución Poissoniana, estos son:

- 755 • La relación modificada de Gutenberg – Richter.

$$756 \quad Pe(\alpha, T | M, R) = 1 - \exp[-\Delta\lambda(M)T * p_1(\alpha | M, R)]$$

757 Ecuación 1.

758 Esta relación nos permite obtener la probabilidad de excedencia de aceleraciones “a” en un
 759 determinado tiempo T, dado un terremoto de magnitud M que suceda a una distancia R de un sitio
 760 de interés.

- 761 • Modelo característico de Sismicidad.

$$\lambda(M) = \lambda_0 \frac{\phi\left[\frac{M_u - EM}{s}\right] - \phi\left[\frac{M - EM}{s}\right]}{\phi\left[\frac{M_u - EM}{s}\right] - \phi\left[\frac{M_o - EM}{s}\right]}, M_o \leq M \leq M_u$$

762

763

Ecuación 2.

764 La ecuación permite hallar el valor esperado de un terremoto a través de la desviación estándar s ,
 765 donde la tasa de excedencia λ_0 para el rango entre la mínima magnitud “ M_o ” y la máxima magnitud
 766 “ M_u ”

767 c) Modelos de ecuación de predicción de movimientos fuertes (Relación de Atenuaciones): Se
 768 caracteriza una región de interés sobre la base de los resultados obtenidos con la ecuación
 769 modificada de Gutenberg – Richter y la aplicación de modelos matemáticos.

770 Las ecuaciones o también conocidas como modelos de predicción de movimientos fuertes fueron
 771 elegidas de acuerdo al contexto sismo tectónico. Ordaz et al. (2017) permite visualizar las
 772 características principales de cada modelo.

773 d) Evaluación de la amenaza: Al momento de realizar los cálculos de amenaza sísmica, se debe
 774 integrar todos los resultados previos para poder obtener las tasas de excedencia de aceleración
 775 con respecto a una serie de terremotos en una determinada región geográfica. A través del
 776 algoritmo de Ordaz et al. (2017) se integró todas las zonas sísmicas definida con sus respectivas
 777 ecuaciones de predicción de movimientos fuertes se calcularán las aceleraciones máximas
 778 probables en una determinada ventana de tiempo.

779 **I.3. Registros sísmicos**

780 Existen parámetros sísmicos como la aceleración, velocidad y desplazamiento que han permitido
 781 describir mejor la característica de los movimientos del suelo, con base en el estudio de las amplitudes
 782 y contenido de frecuencias que la comprende.

783 Estas variables son obtenidas de instrumentos sísmicos, ya sea de forma directa o mediante procesos
 784 matemáticos. Normalmente los sismogramas otorgan registros de velocidad y de ésta se deriva a la
 785 obtención de desplazamientos mediante la transformada de Fourier. Y los acelerógrafos otorgan
 786 directamente los registros de aceleración que con la primera integración se obtiene velocidades y con
 787 la doble integración, desplazamientos.

788 Sin embargo, es más fácil obtener velocidades y desplazamientos a partir de registros de aceleración
 789 por integración numérica simple o doble, que realizar el proceso contrario (diferenciación) para obtener
 790 aceleraciones a partir de desplazamientos o velocidades (Herraiz, 1997).

791 a) Aceleración

792 Un Registro de Aceleración es la descripción en el tiempo de las aceleraciones a que estuvo sometido
 793 el terreno durante la ocurrencia de un sismo real (Febres, 2019). Estos registros se obtienen de
 794 acelerógrafos de forma directa y es el punto de partida para la obtención de registros de velocidad y
 795 desplazamiento.

796 Las aceleraciones horizontales se han utilizado comúnmente para describir los movimientos del suelo
797 debido a su relación natural con las fuerzas inerciales (Kramer, 1996).

798 b) Velocidad

799 Los registros de velocidad representan la rapidez con la que se propagan las ondas sísmicas (ondas P
800 y S) en función del tiempo transcurrido. Otorgan los picos de máxima velocidad “que brinda una medida
801 clara del contenido de frecuencias intermedias del terreno” (Carreño, Bravo, Suarez, & Tordesillas,
802 1999)

803 Los registros de velocidad pueden ser obtenidos mediante la integración de registros de aceleración
804 (acelerogramas) donde “se refleja el área bajo el acelerograma absoluto, eliminando la influencia de
805 pequeñas amplitudes” (BENITO & CABAÑAS, 1999). Estos registros, también pueden ser obtenidos
806 de los sismógrafos de forma directa.

807 c) Desplazamiento

808 Los registros de desplazamiento generalmente se obtienen de la doble integración de los registros de
809 aceleración, lo que, en consecuencia, se tiene frecuencias bastante suavizadas con pequeñas
810 fluctuaciones.

811 Con estos registros que están en función del tiempo se puede conocer el desplazamiento que genera
812 la falla. “Los picos de desplazamiento muestran las características de largo periodo del movimiento”
813 (Carreño, Bravo, Suarez, & Tordesillas, 1999)

814 **I.3.1. Procesamiento de registros sísmicos**

815 **I.3.2. Características y parámetros de los registros sísmicos**

816 **I.3.2.1. Acelerogramas**

817 Son registros que contiene n frecuencia y amplitud de la aceleración a la que estuvo sometida el suelo
818 durante el sismo. Los acelerogramas se obtienen de acelerógrafos y produce registros en tres
819 direcciones perpendiculares entre sí, donde dos representan el eje horizontal y la última, el eje vertical.
820 La mayoría de los acelerogramas de componente vertical tienden a registrar aceleraciones máximas
821 menores a la horizontal, según HERRAIZ (1997) llega a ser hasta 2/3 de la aceleración máxima
822 registrada en la componente horizontal.

823 Los acelerogramas están compuestos de una escala de aceleración en el eje vertical, una escala de
824 tiempo en el eje horizontal, un registro de la aceleración máxima del suelo PGA (siglas en ingles) y la
825 duración del sismo o fase fuerte del movimiento, como se describe en la siguiente figura. Otros
826 parámetros de interpretación importante dentro el comportamiento de las estructuras, son: el contenido
827 de frecuencias (refiriéndose a la rapidez del cambio del movimiento) y la amplitud.



828

829

Figura 9. Componentes principales de un acelerograma. Fuente: Schmidt & Quirós, 2007.

830

Estos registros se caracterizan por tener el intervalo de tiempo bastante pequeño (aproximadamente de 0.005, 0.01 a 0.02 s), para duraciones normales de terremotos, entre 20 a 60 segundos y en ésta, se registra gran cantidad de frecuencias con amplitudes mayormente pequeñas.

831

832

833

La variabilidad de estos parámetros (amplitud y frecuencia) como también la duración, depende de la cantidad de energía liberada, del proceso de ruptura en el punto focal del sismo, de la distancia epicentral, entre otras variables, pero principalmente, depende del medio por el que se propagan las ondas sísmicas, lo que hace que los acelerogramas sean únicos e irrepetibles.

834

835

836

837

Es decir, el comportamiento de las ondas sísmicas varía según el estrato por el que atraviesa, registrándose de esta manera acelerogramas con mayor contenido de frecuencias y corta duración cuando ésta, es registrada sobre roca. Pero tratándose de otro registro de un mismo terremoto donde se tiene suelo blando como base, se amplifica la aceleración de las ondas sísmicas y la duración del acelerograma llega a ser mayor, conteniendo un bajo rango de frecuencias.

838

839

840

841

842

La duración del terremoto llega a ser muchas veces más importante que el PGA, debido a que las estructuras pueden sufrir mayor daño, haciendo entrar a la edificación en resonancia cuando éstas, tienen mayor tiempo de sacudida.

843

844

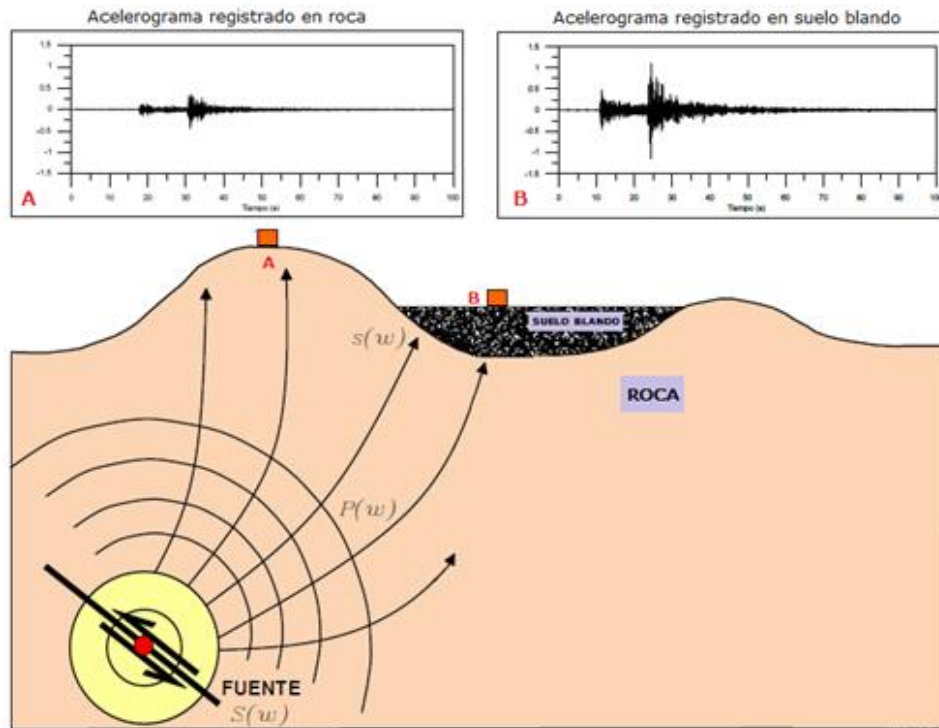


Figura 10. Diferencia de registros de aceleración en diferentes tipos de suelo. Fuente: Febres, 2019.

1.3.3. Metodologías y procedimientos para la obtención de registros

Debido a que los acelerogramas representan las características genuinas de un sismo, los registros de aceleración son ampliamente utilizados para procesos de investigación en el desarrollo de leyes de atenuación, estudio de efectos de sitio, análisis de interacción suelo-estructura, diseño sismorresistente y estudios de instrumentación sísmica entre otros (FEBRES, 2019, pág. 27).

Sin embargo, muchas veces, los registros reales disponibles suelen ser escasos, por lo que se ha buscado la manera de obtener acelerogramas mediante procesos indirectos, generando así, registros de aceleración sintéticos y artificiales. La diferencia entre ambos radica en la forma en la que fueron producidas.

1.3.3.1. Acelerogramas reales

Un acelerograma real no es una función algebraica del tiempo, sino una serie de valores numéricos de la aceleración para diferentes instantes (BAZÁN & MELI). Debido a que representan las características genuinas de un sismo, los acelerogramas reales son ampliamente utilizados para procesos de investigación como el desarrollo de leyes de atenuación, estudio de efectos de sitio, interacción suelo estructura, diseño sismo resistente y estudios de instrumentación sísmica, solo por nombrar algunas de las aplicaciones (PARDO, 2014).

1.3.3.2. Acelerogramas sintéticos

Un acelerograma sintético es una representación de la respuesta sísmica obtenida por medio de simulaciones computacionales a partir de representaciones teóricas de la fuente, la trayectoria y los

866 efectos locales. Son ampliamente utilizados en lugares donde la cantidad de acelerogramas reales es
867 insuficiente o nula, para complementar bases de datos y desarrollar investigaciones (PARDO, 2014).
868 Los registros sintéticos, recrean eventos sísmicos de manera que sus características sean similares a
869 terremotos que se han predicho en la zona.

870 **I.3.3.3. Acelerogramas artificiales**

871 Un acelerograma artificial es la representación de la respuesta sísmica obtenida a partir de un espectro
872 objetivo como un espectro de diseño. Lo que se busca con este tipo de acelerogramas es satisfacer la
873 necesidad de cumplir con rangos de frecuencias específicos que es difícil encontrar en acelerogramas
874 reales por la variedad de factores que influyen en el contenido frecuencial de un sismo (PARDO, 2014).
875 En la obtención de acelerogramas artificiales se emplean procesos estocásticos y determinísticos, ya
876 sea en el dominio del tiempo o en el dominio de las frecuencias (PASPUEZAN & VARGAS, 2019).

BORRADOR

877 J. Clasificación de suelos

878 J.1. Efecto del suelo de fundación y la topografía en movimiento sísmico

879 Los parámetros que representan las características del suelo de fundación que influyen en el valor en
880 la fuerza cortante basal, se determinan de acuerdo con lo establecido en los apartados j.2 y j.3. Se
881 supone que dichos terrenos son de topografía y estratificación horizontal, y las estructuras afectadas
882 se encuentran lejos de singularidades geomorfológicas y topográficas.

883 La metodología para la clasificación sísmica de suelos tiene presente que la amplificación sísmica de
884 un terreno no está directamente relacionada con propiedades y/o índices que se asocian a la resistencia
885 de los suelos. En cambio, se reconoce que los parámetros que representan las propiedades de rigidez
886 dinámica (o deformabilidad) del sitio, sí correlacionan con el fenómeno de amplificación del terreno.
887 Adicionalmente, se plantea que un parámetro importante que proporciona información vital relativa a la
888 amplificación sísmica corresponde al periodo o frecuencia fundamental de vibración de un sitio.

889 J.2. Exploración geotécnica asociada a la clasificación sísmica de suelos

890 La respuesta sísmica en superficie de un depósito de suelos y la sollicitación sísmica que se desarrolla
891 sobre una estructura emplazada en dicho depósito es dependiente del parámetro de rigidez a bajas
892 deformaciones de los estratos superiores y se puede asociar a la velocidad de onda de corte en media
893 armónica de los primeros 30 metros del suelo (V_{s30}). Este parámetro se determina de acuerdo con la
894 siguiente expresión:

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{s-i}}}$$

895

896

Ecuación 3.

897 Dónde:

- 898 • V_{s-i} Velocidad de ondas de corte del estrato i , en m/s
- 899 • h_i Espesor del estrato i , en metros
- 900 • n Número de estratos en los 30 metros superiores del terreno.

901 En edificios con subterráneos se debe verificar que la profundidad de exploración se extienda al menos
902 15 metros por debajo del sello de fundación. En caso de que la profundidad del sello de fundación (D_f)
903 más 15 metros resulte mayor que 30 metros, los parámetros geotécnicos requeridos en la Tabla 4
904 deben calcularse a la profundidad $D_f + 15$ metros. En este caso el parámetro V_{s30} debe reemplazarse
905 por en la expresión $V_{s(D_f+15)}$, en que n es igual al número de estratos en la profundidad $D_f + 15$ metros
906 superiores del terreno.

907 La velocidad de propagación de las ondas de corte debe ser medida por ensayos down-hole, cross-
908 hole o sonda de suspensión o a partir de mediciones de ondas superficiales (ondas de Rayleigh), por
909 métodos como SASW, MASW o ReMi. En estos casos se deben informar las curvas de dispersión y

910 los resultados del perfil de velocidades en profundidad para dos mediciones preferentemente
911 ortogonales. Adicionalmente, cuando se utilice el método ReMi se debe incluir una medición con una
912 fuente activa de conocida ubicación. El perfil de velocidades de ondas de corte que caracteriza el
913 terreno corresponderá a aquel que resulte en el caso más desfavorable. No se permite estimar V_s a
914 partir de ondas V_p .

915 **J.3. Clasificación sísmica del suelo de fundación**

916 La experiencia empírica y la teoría indican que el mejor comportamiento sísmico se observa en terrenos
917 de afloramientos rocosos y, por el contrario, el mayor daño se ha observado en terrenos de suelos finos
918 blandos. Consecuentemente, la clasificación sísmica del terreno de fundación debe considerar
919 unidades o niveles, que van desde el mejor comportamiento (suelo rocoso) al de mayor exigencia
920 sísmica (suelo blando)

921 La clasificación sísmica del terreno de fundación se debe realizar de acuerdo con lo especificado en la
922 Tabla 4. Se indican a continuación los requisitos para clasificar cada tipo de suelo.

923 **J.3.1. Suelo tipo A**

924 Se incluyen en esta categoría rocas o suelos cementados. Se debe justificar el valor de V_{s30} , más
925 RQD en roca y q_u en suelo cementado, con un mínimo de 5 mediciones. En aquellos casos donde se
926 demuestre que todo el perfil de los 15 metros superiores presenta una velocidad de onda de corte
927 superior a 900 m/s, no será necesaria la justificación de RQD, ni q_u .

928 Cuando la estructura se apoya íntegramente en el basamento rocoso y este basamento cumple las
929 características geotécnicas antes indicadas, independientemente de los materiales geotécnicos
930 existentes sobre el sello de fundación, el sitio clasifica como suelo Tipo A.

931 **J.3.2. Suelo tipo B**

932 Se incluyen en esta categoría rocas blandas o fracturadas, suelos muy densos o suelos muy firmes. Se
933 debe justificar V_{s30} , más N_1 en caso de arenas, y q_u en el caso de suelos finos. En el caso de suelos
934 granulares gruesos, donde no resulta posible el uso del índice de penetración, se deberá proporcionar
935 una detallada descripción estratigráfica del terreno hasta una profundidad de 30 metros, medidos a
936 partir de la superficie natural, indicando el tamaño máximo nominal de partícula cada 5 metros de
937 profundidad.

938 En el caso que solo se disponga del perfil de V_s en profundidad y que dicho perfil indique claramente
939 que V_s aumenta monótonamente con la profundidad y, además, se cumple que $V_{s30} > 500$ m/s, se
940 puede clasificar automáticamente como suelo Tipo C, sin necesidad de otras mediciones.

941 Una excepción son las gravas fluviales de espesor mayor o igual a 30 metros (medidos a partir de la
942 superficie natural), las cuales clasifican como suelo Tipo B sin necesidad de medir V_s , ni presentar la
943 descripción estratigráfica detallada. El sustento para establecer la presencia de gravas fluviales de
944 espesor mayor o igual a 30 metros puede ser de tipo geológico, o información confiable y demostrable
945 de sectores del entorno inmediato.

946 **J.3.3. Suelo tipo C**

947 Se incluyen en esta categoría suelos denso o suelo firme. Se debe justificar V_{s30} , más N_1 en caso de
948 arenas, y q_u en el caso de suelos finos.

949 En el caso de suelos granulares gruesos, donde no resulta posible el uso del índice de penetración, se
950 deberá proporcionar una descripción estratigráfica del terreno hasta una profundidad de 30 metros,
951 medidos desde la superficie natural, indicando el tamaño máximo nominal de partícula cada 5 metros
952 de profundidad.

953 En el caso que solo se disponga del perfil de V_s en profundidad y que dicho perfil indique claramente
954 que V_s aumenta monótonamente con la profundidad y, además, se cumple que $V_{s30} > 350$ m/s, se
955 puede clasificar automáticamente como Suelo Tipo D, sin necesidad de mayores mediciones.

956 **J.3.4. Suelo tipo D**

957 Se incluyen en esta categoría suelos medianamente densos. Se debe justificar V_{s30} , más N_1 en caso
958 de arenas, y S_u en el caso de suelos finos.

959 En depósitos de suelos arenosos donde se disponga de mediciones del índice de penetración, al menos
960 cada un metro de profundidad en los 30 metros superiores y se cumpla que $N_1 \geq 30$ golpes/pie, se
961 puede clasificar automáticamente el terreno como suelo Tipo D, sin necesidad de otras mediciones.
962 Dentro de los 30 metros de medición del N-SPT se aceptan en total no más de 5 metros con N_1 en el
963 rango de 20 - 29 golpes/pie.

964 En el caso que sólo se disponga del perfil de V_s en profundidad y que dicho perfil indique claramente
965 que V_s aumenta monótonamente con la profundidad y, además, se cumple que $V_{s30} > 180$ m/s, se
966 puede clasificar automáticamente como suelo Tipo E, sin necesidad de otras mediciones.

967 **J.3.5. Suelo tipo E**

968 Se incluyen en esta categoría suelos blandos. Se debe justificar V_{s30} , más N_1 en caso de arenas y S_u
969 en el caso de suelos finos.

970 **J.3.6. Suelo tipo F**

971 Existen depósitos de suelos que por sus características geotécnicas singulares no permiten ser
972 caracterizados sísmicamente dentro de los suelos tradicionales y, por tanto, requieren de estudios
973 especiales como, por ejemplo, estudios de amplificación. En esta categoría podemos encontrar:

- 974 • Suelos potencialmente licuables, entendiendo por ellos las arenas, arenas limosas o limos,
975 saturados, con índice de penetración estándar N_1 menor que 30 golpes/pie (normalizado a la
976 presión efectiva de sobrecarga de 0,10 MPa).
- 977 • Suelos susceptibles de densificación por vibración.
- 978 • Suelos colapsables.
- 979 • Suelos orgánicos.
- 980 • Suelos finos saturados con límite líquido superior a 80 y espesores superiores a 20 metros.
- 981 • Suelos finos saturados de sensibilidad mayor a 10.

982 También, deben ser objeto de un estudio particular, aquellos terrenos con topografía irregular, donde
983 pueda existir fenómenos de amplificación local.

984 Cuando la información sobre el suelo de fundación permita clasificarlo dentro de dos o más tipos de
985 suelo, se debe optar por la clasificación sísmica que resulte en el caso más desfavorable.

Suelo Tipo		V_{s30} (m/s)	RQD	q_u (MPa)	(N_1) (golpes / pie)	S_u (MPa)	T_{nak} (s)
A	Roca, suelo cementado	≥ 900	$\geq 50\%$	≥ 10 ($e_{qu} \leq 2\%$)			< 0.15 (o H/V plano)
B	Roca blanda o fracturada, suelo muy denso o firme	≥ 500		≥ 0.40 ($e_{qu} \leq 2\%$)	≥ 50		< 0.30 (o H/V plano)
C	Suelo denso o firme	≥ 350		≥ 0.30 ($e_{qu} \leq 2\%$)	≥ 40		< 0.40 (o H/V plano)
D	Suelo medianamente denso, o firme	≥ 180			≥ 30	≥ 0.05	< 1.0
E	Suelo de compacidad, o consistencia mediana	< 180			≥ 20	< 0.05	/
F	Suelos Especiales	*	*	*	*	*	

986 Tabla 8.

987 Donde:

- 988 • N_1 : Índice de penetración estándar normalizado por presión de confinamiento de 0,1
- 989 MPa. Aplicable sólo a suelos que clasifican como arenas.
- 990 • RQD: Rock Quality Designation, según norma ASTM D 6032.
- 991 • q_u : Resistencia a la compresión simple del suelo.
- 992 • e_{qu} : Deformación unitaria del suelo desarrollada cuando se alcanza la resistencia
- 993 máxima en el ensayo de compresión simple.
- 994 • S_u : Resistencia al corte no-drenada del suelo.

995

- 996 • T_{nak} : Periodo predominante del terreno estimado mediante la razón espectral H/V
- 997 (método de Nakamura).
- 998 • H/V plano: Razón espectral H/V sin un valor máximo definido.

999 Se deben investigar las propiedades dinámicas del suelo bajo la estructura. No obstante, lo señalado
1000 anteriormente, se puede evaluar condiciones especiales, para ser aplicadas en proyectos de pequeña

- 1001 envergadura, donde exploraciones muy acuciosas hagan inviable el desarrollo de un estudio con dicho
1002 nivel de detalle, lo anterior mediante un marco conservador, que permita asegurar el correcto
1003 desempeño de la edificación.
- 1004 Nota: La respuesta del suelo depende además de la intensidad, contenido de frecuencia y duración del
1005 sismo y son características importantes en cuanto a la destructividad de los terremotos o sismos.

BORRADOR

1006 K. Demanda sísmica

1007 La demanda sísmica es la representación del nivel de movimiento sísmico al cual será sometida una
1008 estructura en un sitio específico, que combina la amenaza sísmica de la zona y las condiciones
1009 geotécnicas y topográficas para el sitio de estudio.

1010 Por un lado, la amenaza sísmica es la evaluación del nivel de intensidad (ejemplo: aceleración máxima
1011 de suelo) que puede ocurrir en un sitio o zona en un plazo de tiempo determinado, debido a las fuentes
1012 sísmicas activas que pueden afectar dicho sitio, representada en códigos de diseño sísmico por medio
1013 de una zonificación sísmica.

1014 Para una buena estimación de la amenaza sísmica, es necesario, conocer detalladamente las
1015 características de todas las fallas activas (geometría, tasas de recurrencia según magnitud, distribución
1016 de la distancia y la fuente y el sitio y curvas de atenuación para la intensidad usada, que contienen las
1017 características de la fuente y el camino recorrido por las ondas sísmicas en la corteza) en la zona que
1018 puedan generar movimientos sísmicos relevantes para la estructura. La evaluación de la amenaza
1019 sísmica se puede desarrollar en forma determinística o probabilística, según las fuentes o fallas activas
1020 en la zona y el nivel de conocimientos sobre estas.

1021 Por otro lado, las características geotécnicas y topográficas definen los efectos de sitio, es decir, la
1022 modificación local que producen las capas de suelo y sus geometrías sobre el paso de las ondas
1023 sísmicas, representadas por la intensidad sísmica usada, pudiendo disminuir o aumentar las amplitudes
1024 de estas o cambiando las fases de estas para sus diferentes frecuencias. El efecto debido al suelo es
1025 definido en códigos de diseño sísmico por medio de una clasificación, que intentan delimitar su
1026 respuesta según grupos con características comunes. Para esto, es fundamental tener una correcta
1027 caracterización geotécnica (parámetros de clasificación) de las capas de suelo que presenten el sitio
1028 de estudio, así como de la geometría y topografía del sitio.

1029 En el diseño sísmico, la demanda sísmica (combinación de la zonificación sísmica y clasificación de
1030 suelo) es comúnmente representada por medio de espectros de respuesta elásticos de aceleración
1031 total o desplazamiento. Estos representan la máxima respuesta suavizada para distintos periodos
1032 fundamentales, que producen todos los posibles movimientos sísmicos esperados o conocidos del
1033 suelo en una estructura u oscilador simple de un grado de libertad, bajo un determinado nivel de
1034 amortiguamiento de la estructura. Estas máximas respuestas se representan en un gráfico con los
1035 periodos (o frecuencias) propios de la estructura en las abscisas y la respuesta máxima antes calculada
1036 en las ordenadas. Por lo tanto, los espectros de respuesta están definidos en función del periodo de
1037 vibración de la estructura, del amortiguamiento esperado para estas, del nivel de amenaza sísmica y
1038 del tipo de suelo. Es importante recordar, que el nivel de amenaza a usar está en función del nivel de
1039 sismo asociado al objetivo de desempeño seleccionado para las diferentes estructuras. Este espectro
1040 de respuesta representa la demanda en cada dirección de análisis estudiado.

1041 Alternativamente, se puede representar la demanda sísmica por medio de registros de aceleración
1042 (tiempo-historia) para cada dirección de análisis (pares ortogonales de registros en horizontal o tripletas
1043 de registros que consideran dos direcciones horizontales ortogonales y una vertical). Estos registros
1044 deben ser congruentes con el nivel de sismo asociado al objetivo de desempeño seleccionado para
1045 cada estructura a diseñar. Adicionalmente, los registros tiempo historia permiten evaluar en mayor
1046 detalle la amenaza sísmica producida por cada fuente sísmica y los efectos de sitio producidos por las
1047 características geotécnicas y topográficas. Sin embargo, mayor número de estas deben ser
1048 consideradas para poder incluir la variabilidad e incertidumbre intrínsecos del proceso sísmico.

1049 **K.1. Zonificación sísmica**

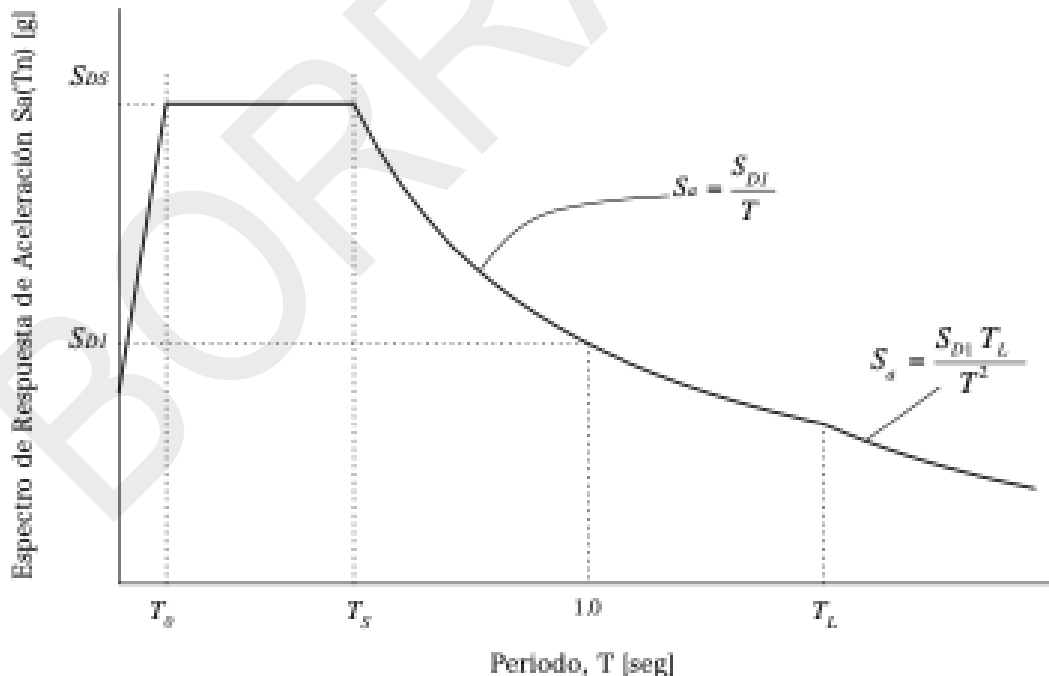
1050 Esta se define, típicamente, dividiendo un país en distintas zonas o regiones con diferentes niveles de
 1051 intensidad sísmica, las cuales se representan muchas veces gráficamente por medio de isosistas de
 1052 intensidad sísmica. También se puede seguir la división administrativa, típicamente en forma de tablas,
 1053 para representar la zona sísmica asignada a cada ubicación.

1054 El parámetro de intensidad más usado es el valor máximo de aceleración del suelo (siglas en inglés
 1055 PGA: Peak Ground Acceleration), la aceleración a uno o varios periodos específicos, u otro valor
 1056 característico que funciona como punto ancla de los espectros de respuesta elásticos, en función del
 1057 nivel de sismo definido en el objetivo de desempeño usado para cada nivel de desempeño y que pueden
 1058 ser definidos en forma probabilística o determinística según sea el caso.

1059 En caso de ser definidos en forma probabilística, es importante tener una buena microzonificación o
 1060 grilla de análisis en zonas pobladas, las curvas de excedencia para diferentes periodos fundamentales
 1061 (ejemplo: PGA, 0.1, 0.2, etc.) y la desagregación de la amenaza.

1062 **K.2. Espectro de demanda**

1063 Corresponde a la representación espectral de la máxima respuesta, suavizada para eliminar los picos
 1064 de respuesta, para distintos periodos fundamentales, que producen todos los posibles movimientos
 1065 sísmicos del suelo esperado o conocidos en un oscilador de un grado de libertad, bajo un determinado
 1066 nivel de amortiguamiento de la estructura. Este espectro está parametrizado según la zona sísmica y
 1067 la clasificación del suelo. Ver Figura 11 para un ejemplo típico de un espectro de Demanda.



1068
 1069 **Figura 11. Espectro de respuesta.**

1070 Donde:

- 1071 • T_o : Menor período de vibración del tramo de aceleraciones espectrales constantes.
- 1072 • T_s : Mayor período de vibración del tramo de aceleraciones espectrales constantes.
- 1073 • T_L : Período de transición, hacia desplazamientos espectrales constantes.
- 1074 • S_{DS} : Ordenada espectral de diseño para períodos cortos ($T \leq T^*$).
- 1075 • S_{DS1} : Ordenada espectral de diseño para $T=1$ segundo

1076 En este paso se combinan los factores de zonificación con la forma espectral asociado al tipo de suelo
 1077 del sitio. Esto típicamente se alcanza escalando una forma espectral para un tipo de suelo, y generado
 1078 el espectro de diseño específico para el edificio ubicado en ese sitio.

1079 En algunos casos, sea por suelos especiales, condiciones topográficas, u otra consideración, se deben
 1080 realizar estudios de riesgo sísmico particulares para el sitio, donde se determinan los espectros de
 1081 demanda para el proyecto particular.

1082 Se permite que los espectros de diseño inelástico se generen con valores de reducción ya sea
 1083 dependientes o independientes del período natural de la estructura., basados en los sistemas
 1084 estructurales y materiales considerados.

1085 Es posible que se requieran distintos espectros, cada uno asociado a distintos niveles de desempeño.
 1086 Es frecuente que esto se logre definiendo factores de reducción o amplificación entre un nivel de
 1087 desempeño y los otros.

1088 Para ciertas categorizaciones de edificios, sea por importancia, irregularidad u otra razón, es posible
 1089 modificar el espectro de demanda típicamente amplificándolo o reduciéndolo para un escaler.

1090 **K.2.1. Registros de aceleración**

1091 Esta representación alternativa de la demanda sísmica, por medio de registros tiempo historia de
 1092 aceleración utilizados para estudiar la respuesta sísmica de estructuras, debe ser seleccionada,
 1093 generada y/o escalada cuidadosamente. Estos registros pueden ser seleccionados a partir de registros
 1094 reales que reflejen correctamente las propiedades de las fuentes sísmicas (magnitud y tipo de falla),
 1095 capas de suelo y topografía del proyecto en estudio (en caso de existir); por medio de semillas de
 1096 registros de magnitud menor que luego son escaladas y modificadas; o registros artificiales. En general,
 1097 el mínimo de registros exigido para realizar un análisis dinámico es 3, sin embargo, los códigos
 1098 incentivan el uso de una mayor cantidad (usualmente 7 u 11 registros) considerando la respuesta
 1099 promedio de ellos en vez de la máxima. Los registros deben representar el potencial de intensidad del
 1100 sitio en estudio (fuentes sísmicas, efectos del suelo y topográficos).

1101 En casos con condiciones especiales tanto de las fuentes sísmicas locales como de suelos especiales,
 1102 condiciones topográficas u otra consideración, se deben realizar estudios de amenaza sísmica
 1103 particulares para el sitio, donde se determinen los espectros de demanda o alternativamente los
 1104 registros de aceleración (tiempo historia) para el proyecto particular.

1105 L. Combinación de cargas

1106 Las combinaciones de carga y los factores de carga asociados deben ser usados en el diseño de
1107 estructuras de manera consistente a los distintos materiales. Se debe utilizar la combinación que
1108 produzca el efecto más desfavorable en el edificio, fundación o elemento estructural considerado. En
1109 algunos casos esto puede ocurrir cuando una o más cargas en la combinación no están presentes.

1110 Las combinaciones de carga y los factores de carga asociados deben ser usados en el diseño de
1111 estructuras de manera consistente a los distintos materiales y de acuerdo con la filosofía de diseño
1112 seleccionada (resistencia última o tensiones admisibles).

1113 Las acciones que se deben combinar deben ser estimadas de acuerdo con el entorno, uso y condición
1114 a la que estará sometida la estructura o componente. En el capítulo H se enuncian algunas de estas
1115 cargas y su nomenclatura se describe a continuación:

CP: Carga permanente

CT: Carga temporal

CT_t: Carga temporal de techo

CT_N: Carga temporal por nieve

CT_{LL}: Carga temporal por lluvia

CV: Carga debida al viento

CS_h: Componente horizontal de la carga debida al sismo

CS_v: Componente vertical de la carga debida al sismo

1116

1117 Es posible que se deban considerar otros tipos de carga que no han sido enunciados en esta sección,
1118 por lo tanto, el profesional responsable debe definir las cargas que van a interactuar con la estructura
1119 o componente y su factor de combinación, de acuerdo con la naturaleza de la carga y la filosofía
1120 seleccionada para el diseño.

$$Cu_1 = 1,4CP$$

$$Cu_2 = 1,2CP + 1,6CT + (0,5CT_t \text{ ó } 0,3CT_N \text{ ó } 0,5CT_{LL})$$

$$Cu_3 = 1,2CP + (1,6CT_t \text{ ó } CT_N \text{ ó } 1,6CT_{LL}) + (CT \text{ ó } 0,5CV)$$

$$Cu_4 = 1,2CP + CV + CT + (0,5CT_t \text{ ó } 0,3CT_N \text{ ó } 0,5CT_{LL})$$

$$Cu_5 = 1,2CP + CS$$

$$Cu_6 = 0,9CP + (CV \text{ ó } CS_h - CS_v)$$

1121

1122 Tanto los factores como las combinaciones anteriores no son las únicas que se pueden o deben utilizar
1123 para efectos de diseño, pero representan las combinaciones básicas más utilizadas por este método.

1124 L.1.1. Combinaciones para tensiones admisibles

1125 Las combinaciones para el cálculo por tensiones admisibles no requieren el incremento de las cargas
 1126 por factores de mayoración. Esto se debe a que el diseño por tensiones admisibles está orientado al
 1127 diseño para condiciones de servicio. De la misma forma que para resistencia última, es común que se
 1128 definan combinaciones que solo consideran carga gravitacional, mientras que otras consideran el
 1129 efecto de estas ante la presencia de viento, eventos sísmicos, entre otros, donde se aplica un factor de
 1130 reducción para representar la menor probabilidad de ocurrencia simultánea de estas combinaciones.
 1131 Algunas combinaciones básicas son las siguientes:

$$C_1 = CP$$

$$C_2 = CP + CT$$

$$C_3 = CP + (CT_t \text{ ó } CT_N \text{ ó } CT_{LL})$$

$$C_4 = CP + 0,75CT + 0,75(CT_t \text{ ó } 0,7CT_N \text{ ó } CT_{LL})$$

$$C_5 = CP + (0,6CV \text{ ó } 0,7CS_h + 0,7CS_v)$$

$$C_6 = 0,6CP + (0,6CV \text{ ó } 0,7CS_h - 0,7CS_v)$$

1132

1133 Tanto los factores como las combinaciones anteriores tampoco son las únicas que se pueden o deben
 1134 utilizar para efectos de diseño, pero también representan las combinaciones básicas más utilizadas por
 1135 este método.

1136 **M. Metodología de análisis sísmico del sistema estructural**

1137 **M.1. Modelo y análisis estructural**

1138 La modelación y análisis son pasos fundamentales en el diseño de estructuras. En la modelación, la
 1139 estructura y sus diferentes componentes, tales como: columnas, vigas, muros, losas, fundaciones, entre
 1140 otras, son representados numérica o analíticamente considerando las dimensiones, materialidad y
 1141 comportamiento esperado de estos, mediante metodologías como el análisis matricial con elementos
 1142 tipo barras (en inglés: frames), o elementos finitos con elementos tipo membrana, cascarón (en inglés:
 1143 shell) o volumétricos para casos especiales.

1144 El análisis de estos modelos permite determinar y cuantificar las demandas o efectos locales y globales,
 1145 tales como: fuerzas, desplazamientos, esfuerzos y deformaciones, que las diferentes cargas podrían
 1146 producir sobre las estructuras, de acuerdo con las suposiciones incluidas en los modelos. Los métodos
 1147 de análisis se pueden clasificar en modelos y análisis lineales elásticos o no lineales.

1148 Se debe seleccionar el método de análisis adecuado para determinar la respuesta sísmica de la
 1149 estructura (desplazamientos, deformaciones, tensiones y esfuerzos internos) de acuerdo con el diseño
 1150 que se quiere realizar para los componentes o elementos estructurales. Ciertas estructuraciones,
 1151 materiales, tecnologías o metodologías de diseño sísmico requieren de análisis de distintos grados de
 1152 complejidad.

1153 Cualquiera que sea el método de análisis usado, se deben considerar modelos matemáticos
 1154 tridimensionales del edificio o estructura, con un mínimo de tres grados de libertad por piso (dos
 1155 desplazamientos horizontales y la rotación del piso en torno a la vertical), en caso de estar considerando
 1156 diafragmas rígidos. Además, se debe verificar en estructuras con diafragmas que se asumen rígidos,
 1157 que dichos diafragmas tienen la rigidez y la resistencia en el plano suficientes para lograr la distribución
 1158 de las fuerzas inerciales entre los planos o subestructuras verticales resistentes. Si existen dudas sobre
 1159 la rigidez del diafragma, se debe tomar en cuenta su flexibilidad agregando los grados de libertad que
 1160 sean necesarios o introducir separaciones estructurales. Del mismo modo, se puede incorporar la
 1161 rigidez a flexión y corte de los diafragmas si se considera que, a través de ellos, se produce un
 1162 acoplamiento que modifica las propiedades dinámicas de la estructura; y la distribución y magnitud de
 1163 las fuerzas sísmicas en los planos o elementos verticales resistentes como es el caso de vanos cortos
 1164 de puertas o ventanas, de pasillos de circulación, entre otros. Adicionalmente, estos modelos tienen
 1165 que representar la distribución espacial de la masa y rigidez de la estructura, con base en un conjunto
 1166 de suposiciones razonables y congruentes a través del análisis, para calcular los aspectos significativos
 1167 de la respuesta dinámica del edificio o estructura y representar la transferencia de sollicitaciones sobre
 1168 los distintos elementos de la estructura.

1169 En la mayoría de las estructuras el fenómeno de interacción suelo estructura puede no ser considerado
 1170 al momento de determinar fuerzas sísmicas de diseño, para lo cual se asume una fundación rígida. Sin
 1171 embargo, para algunas estructuras, en particular estructuras de mayor altura ubicadas en suelos
 1172 blandos o con características complejas donde, por ejemplo, se usan fundaciones profundas (pilotes);
 1173 los efectos de interacción suelo estructura pueden cambiar de manera relevante la respuesta sísmica
 1174 de la estructura, modificando sus propiedades dinámicas de amortiguamiento y periodo fundamental,
 1175 por lo cual deben ser incluidas y representadas en forma congruente en el modelo de análisis.

1176 Debido a la profundidad de la excavación o el uso de sistema de fundaciones profundas, el movimiento
 1177 del suelo puede cambiar considerablemente en comparación con los percibidos en la superficie. En

1178 estos casos, los movimientos sísmicos sobre la estructura dependen en buena medida de la rigidez y
1179 la profundidad del sistema de fundaciones.

1180 **M.2. Masa sísmica**

1181 Para el cálculo de la masa sísmica se debe considerar la masa de las cargas permanentes más un
1182 porcentaje de la sobrecarga de uso. El porcentaje de sobrecarga de uso estará condicionado al uso
1183 que se le dé al recinto. El porcentaje para utilizar va a depender de la probabilidad de la presencia de
1184 la carga temporal durante un sismo.

- 1185 • Se puede utilizar un rango entre 15% a 50% para la sobrecarga de uso en construcciones
1186 destinadas a la habitación privada o al uso público, donde no es usual la aglomeración de
1187 personas o cosas.
- 1188 • Se puede utilizar un 100% para equipos o instalaciones fijas a la estructura.
- 1189 • Se puede utilizar entre un 0% a 50% de la carga viva de azoteas.

1190 Los porcentajes varían en cada país. Por ejemplo, en algunos países no puede ser inferior a 25% en
1191 construcciones destinadas a la habitación privada o al uso público, donde no es usual la aglomeración
1192 de personas o cosas, ni a un 50% en construcciones en que es usual esa dicha aglomeración. En otros
1193 países se usa un 100% para equipo o instalaciones fijas a la estructura, 25% para carga en bodegas,
1194 15% para carga en edificios y 0% para carga en azoteas, marquesinas y techos.

1195 **M.3. Componentes direccionales**

1196 Toda estructura debe ser diseñada para sollicitaciones sísmicas horizontales en dos direcciones
1197 ortogonales. El análisis en cada dirección se puede realizar en forma independiente. Las sollicitaciones
1198 sísmicas horizontales pueden tomarse como la suma vectorial de los efectos en una dirección más un
1199 porcentaje de los efectos en la otra y se debe efectuar este proceso en ambas direcciones.

1200 Para los métodos de análisis lineales como el estático equivalente y el dinámico modal espectral,
1201 generalmente se combina vectorialmente el 100% de la sollicitación en una dirección con el 30 % o 40%
1202 de la sollicitación en la otra dirección ortogonal. Algunas especificaciones permiten omitir esta
1203 combinación cuando los sistemas sismorresistentes son regulares (ver apartado f.2.)

1204 Para edificaciones, elementos o componentes vulnerables a la acción vertical del sismo deben
1205 considerar el efecto de esa componente.

1206 **M.4. Métodos de análisis sísmico**

1207 Existen múltiples métodos de análisis estructural, cada uno con distintos grados de complejidad, con
1208 ventajas y desventajas. El profesional responsable debe estudiar los métodos y seleccionar el que
1209 considere más adecuado, con el objetivo de que las sollicitaciones cuantificadas por medio del modelo
1210 estructural permitan diseñar el sistema sismorresistente de una forma congruente con la realidad. A
1211 continuación, se describen los tipos de análisis lineales y no-lineales más usados para evaluar la
1212 demanda sísmica.

1213 **M.4.1. Lineales**

1214 En el diseño sísmico de estructuras, a nivel latinoamericano, generalmente se utiliza el análisis lineal-
 1215 elástico para la estimación de las fuerzas y demandas que sufrirán las estructuras ante el efecto de las
 1216 cargas sísmicas, para luego, usar estos valores en el diseño de las secciones de los elementos
 1217 estructurales considerando un valor de reducción R (método de diseño por fuerzas, ver sección n.1),
 1218 de acuerdo con las normas de cada país. En algunos países se utiliza un factor R no constante sino
 1219 dependiente del período, lo cual es permitido. El factor de reducción (R) se aplica a las solicitaciones
 1220 obtenidas del análisis estructural, para incorporar los efectos de disipación de energía y no-linealidad
 1221 que experimentará la estructura durante un evento sísmico.

1222 En el caso de modelos y análisis lineales elásticos, se estudia la respuesta de la estructura ante
 1223 demandas estáticas y/o dinámicas, considerando solo las propiedades elásticas de los materiales y
 1224 teoría de pequeñas deformaciones y desplazamientos.

1225 En este tipo de análisis se consideran modelos con propiedades lineales elásticas para las secciones
 1226 y materiales de los componentes de la estructura, los cuales deben ser definidos con base en un
 1227 conjunto de suposiciones razonables y que sean congruentes a través del análisis.

1228 En los métodos de análisis lineales es de particular relevancia especificar si la modelación debe
 1229 realizarse con secciones fisuradas o no fisuradas, o tomando en cuenta efectos de reducción de rigidez
 1230 de paneles o conexiones. Ciertas normativas con espectros determinísticos tienen la demanda
 1231 calibrada para modelos no fisurados, por ejemplo.

1232 **M.4.1.1. Estático equivalente**

1233 En este análisis, se realiza una representación estática de las fuerzas sísmicas que son inducidas por
 1234 el movimiento del suelo para el nivel de demanda sísmica estudiada, en cada nivel de la estructura.
 1235 Para esto, típicamente se debe determinar una fuerza cortante en la base de acuerdo con la masa
 1236 sísmica, características de la estructura y el nivel de demanda sísmica esperado. Posteriormente, esta
 1237 fuerza cortante es distribuida en la altura de la estructura siguiendo alguna ley de distribución acorde a
 1238 la respuesta sísmica esperada para una estructura lineal y elástica. Las características de la estructura
 1239 que influyen en el cálculo del cortante basal y distribución en altura son: Importancia, Regularidad y
 1240 Tipo de estructura, entre otras. Adicionalmente, se pueden considerar efectos de excentricidad
 1241 accidental.

1242 Este método se permite, generalmente, para el análisis de estructuras regulares, de baja altura o donde
 1243 la ley de distribución en los diferentes niveles es conocida y compatible con las solicitaciones máximas
 1244 esperadas durante un terremoto para la estructura analizada. Adicionalmente, se pueden presentar
 1245 limitaciones de acuerdo con la zona sísmica e importancia de la estructura.

1246 **M.4.1.2. Dinámico modal espectral**

1247 En este análisis, la respuesta dinámica de una estructura lineal y elástica de n grados de libertad
 1248 acoplados, es representada por la respuesta de n osciladores de un grado de libertad, caracterizados
 1249 cada uno de estos por una forma modal y su respectivo periodo de vibración. Para cada una de estas
 1250 formas modales de la estructura se calculan sus solicitaciones al aplicar el espectro de aceleraciones
 1251 que representan los efectos del sismo sobre la estructura para el nivel de demanda sísmica definida,
 1252 los que son posteriormente combinados, para determinar la respuesta dinámica de la estructura
 1253 completa. Las respuestas modales se superponen utilizando el procedimiento de superposición

1254 cuadrática completa (CQC) o la superposición cuadrática simple (SSRS). El método dinámico modal
1255 espectral también se conoce como el método de superposición modal espectral.

1256 Adicionalmente, se pueden considerar efectos de excentricidad accidental, considerando una variación
1257 de la posición del centro de masa o un momento equivalente por piso definidos en función a un
1258 porcentaje de la dimensión de la planta perpendicular a la dirección de análisis.

1259 Este método se permite típicamente para el análisis de la mayoría de las estructuras, quedando
1260 excluido su uso solo para sistemas estructurales complejos donde la modelación no lineal es
1261 particularmente relevante.

1262 **M.4.1.3. Dinámico tiempo historia**

1263 En este análisis, las solicitaciones en la estructura ante las cargas sísmicas se determinan en el dominio
1264 del tiempo mediante métodos de integración numérica. Esta respuesta se determina bajo la acción de
1265 acelerogramas compatibles con el nivel de demanda sísmica definida, típicamente representado por el
1266 espectro de diseño de cada sitio.

1267 Las normas que permiten este método de análisis introducen recomendaciones y requerimientos sobre
1268 los acelerogramas a utilizar (que en general deben ser compatibles con los espectros de diseño), en el
1269 número mínimo de casos. Adicionalmente, se deben considerar valores realistas del nivel de
1270 amortiguamiento, al igual que efectos de excentricidad accidental, considerando una variación de la
1271 posición del centro de masa de la estructura.

1272 Este método se permite para el análisis de la mayoría de las estructuras, pero en general, se utiliza
1273 como un análisis adicional que provee de más información, quedando excluido su uso solo para
1274 sistemas estructurales complejos donde la modelación no lineal es particularmente relevante.

1275 **M.4.2. No lineales**

1276 En el caso de modelos y análisis no lineales, se estudia la respuesta de las estructuras ante demandas
1277 estáticas y/o dinámicas, tomando en cuenta el comportamiento debido a efectos de fluencia, fisuración,
1278 rotura y fatiga entre otros, así como consideraciones de grandes desplazamientos y/o grandes
1279 deformaciones (no linealidad geométrica), lo cual típicamente requiere algoritmos iterativos y de
1280 funciones que representen las leyes constitutivas complejas de los materiales o componentes
1281 estructurales.

1282 Estas leyes constitutivas de los materiales o componentes de las estructuras deben ser respaldadas
1283 con la información y datos necesarios (por ejemplo, respaldo experimental o guías de análisis) para
1284 fundamentar la respuesta no lineal completa (curva envolvente y curvas de carga y descarga, según se
1285 requiera).

1286 **M.4.2.1. Estático no lineal**

1287 Este tipo de análisis, también conocido como “Pushover”, consiste en ejercer un patrón de carga lateral
1288 sobre la estructura, el cual se va incrementando para alcanzar a un desplazamiento objetivo (en este
1289 caso, el desplazamiento tiene un solo sentido) asociado a un punto determinado de la estructura,
1290 generalmente a nivel de “techo”. Durante este análisis, y a medida que las cargas van incrementando,
1291 el modelo va modificando o variando sus propiedades de rigidez de acuerdo con las leyes constitutivas

1292 y niveles de deformación en cada elemento. Adicionalmente, similar al método elástico equivalente, se
 1293 debe definir un patrón de distribución de fuerzas en altura que represente la demanda sísmica a la cual
 1294 será sometida la estructura a medida que esta va variando su rigidez. Este análisis permite obtener la
 1295 curva de capacidad de la estructura y, además, estimar las solicitaciones globales y locales, a los que
 1296 ella será sometida a cierto nivel de deformación o carga para la estructura. Además, permite la
 1297 obtención de índices del valor de ductilidad global, factor de sobre resistencia, reducción de respuesta
 1298 en función de las características mecánicas de las componentes estructurales.

1299 Uno de los factores más relevantes en este tipo de análisis es el patrón de carga lateral a utilizar, el
 1300 cual puede arrojar resultados que subestimen o sobreestimen la capacidad de la estructura, ya que son
 1301 habitualmente, una representación única de la demanda sísmica sobre la estructura (carga máxima) y
 1302 no pueden incorporar la variación de la demanda en el tiempo y tampoco, como es la interrelación entre
 1303 la variación de la demanda según el cambio de las propiedades de la estructura.

1304 Este es un procedimiento complementario que ayuda a determinar en forma aproximada, mecanismos
 1305 de falla, zonas críticas, capacidad y demandas globales o locales de ductilidad. También se utiliza para
 1306 verificar explícitamente los objetivos de desempeño para distintos niveles de demanda sísmica.

1307 **M.4.2.2. Dinámico tiempo historia**

1308 Este análisis, también conocido como “Time History”, permite calcular la respuesta de la estructura ante
 1309 cargas sísmicas en el dominio del tiempo conservando la fase de la demanda, es decir, para cada
 1310 instante de tiempo. Este procedimiento conserva la dirección de la respuesta estructural, y sigue la
 1311 evolución no lineal de la rigidez, modificando las respuestas de acuerdo con la evolución de la
 1312 estructura ante el sismo en cada instante de tiempo, mediante integración numérica. La respuesta en
 1313 el tiempo se determina bajo la acción de acelerogramas compatibles con el nivel de la demanda sísmica
 1314 estudiada, generalmente representado por espectros de diseño de cada sitio.

1315 Las normas que permiten este método de análisis introducen recomendaciones y requerimientos sobre
 1316 los acelerogramas a utilizar (que en general deben ser compatibles con los espectros de diseño), el
 1317 número mínimo de casos y, adicionalmente, se deben considerar valores realistas del nivel de
 1318 amortiguamiento esperado en la estructura. Este tipo de análisis es el más acertado para estimar el
 1319 comportamiento, la demanda y la reducción de rigidez de la estructura ante el efecto de la sísmica. Sin
 1320 embargo, la desventaja de este análisis es la gran demanda de recursos computacionales que requiere
 1321 y la información constitutiva de los materiales y componentes de la estructura. Para obtener buenos
 1322 resultados, se necesita un conjunto de registros que pueda representar la variabilidad de la demanda
 1323 sobre la estructura durante un próximo terremoto, al igual que se debe conocer la curva de histéresis
 1324 completa (curva envolvente y curvas de carga y descarga) de los materiales o elementos estructurales
 1325 usados en la modelación de la estructura.

1326 Este es un procedimiento que permite verificar explícitamente los objetivos de desempeño para distintos
 1327 niveles de demanda sísmica.

1328 **M.4.3. Simplificado para viviendas de 1 y 2 pisos**

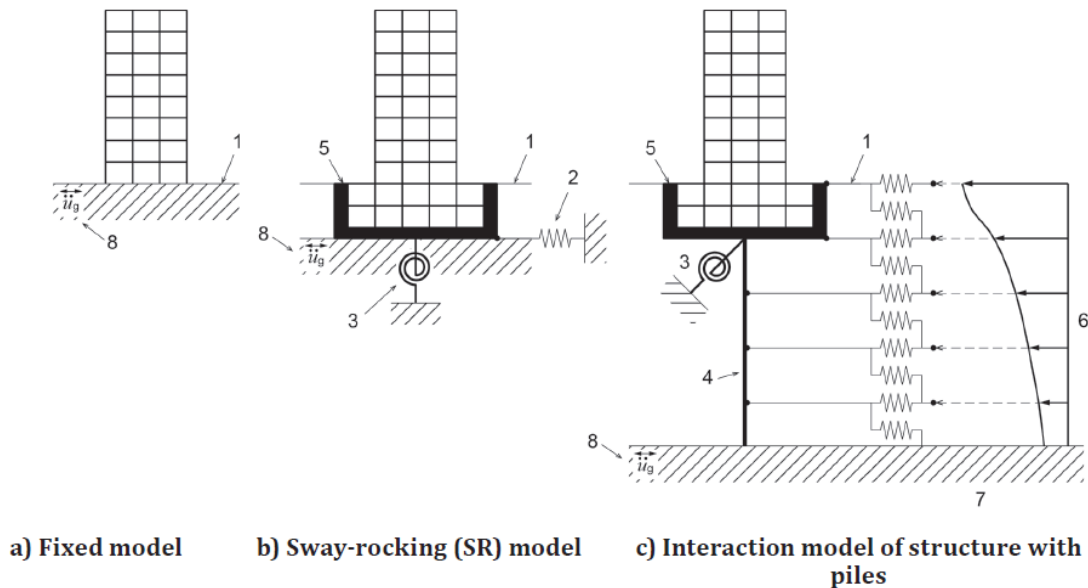
1329 En muchas normas se incluyen métodos simplificados, en general basados en el método estático
 1330 equivalente, para facilitar el análisis y diseño de estructuras de baja altura.

1331 Son métodos prescriptivos locales, limitados a estructuras de baja altura que permiten el diseño de una
 1332 manera simple en estructuras de poca envergadura y en zonas con recursos profesionales limitados.

1333 **M.5. Interacción suelo-estructura**

1334 En la mayoría de las estructuras, el fenómeno de interacción suelo estructura (SSI, por sus siglas en
 1335 inglés), no es considerado al momento de determinar fuerzas sísmicas de diseño. Normalmente se
 1336 asume una fundación rígida. Para algunas estructuras, en particular estructuras de mayor altura
 1337 ubicados en suelos blandos, incorporar los efectos SSI puede cambiar de manera relevante la
 1338 respuesta sísmica de la estructura, modificando las propiedades dinámicas de amortiguamiento y
 1339 periodo fundamental.

1340 Debido a la profundidad de la excavación o el uso de sistema de fundaciones profundas, el movimiento
 1341 del suelo puede cambiar bastante en comparación con los percibidos en la superficie. En estos casos
 1342 los movimientos de input sobre la estructura dependen en buena medida de la rigidez de las pilas y la
 1343 profundidad alcanzada por el sistema de fundaciones. A continuación, se muestran tres ejemplos de
 1344 modelación considerando la SSI:



Key

- 1 ground level
- 2 sway spring
- 3 rocking spring
- 4 piles
- 5 foundation/basement
- 6 forces caused by soil
- 7 bedrock
- 8 ground motion acceleration

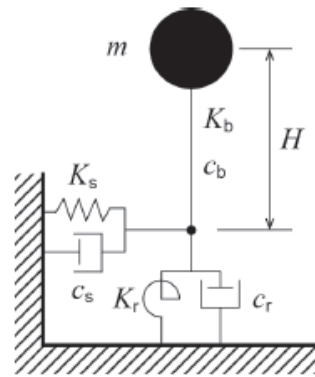
1345
 1346 **Figura 12.** Ejemplos de modelos de interacción suelo-estructura (Fuente: ISO 3010).

1347 El efecto del SSI sobre las estructuras se resume a continuación:

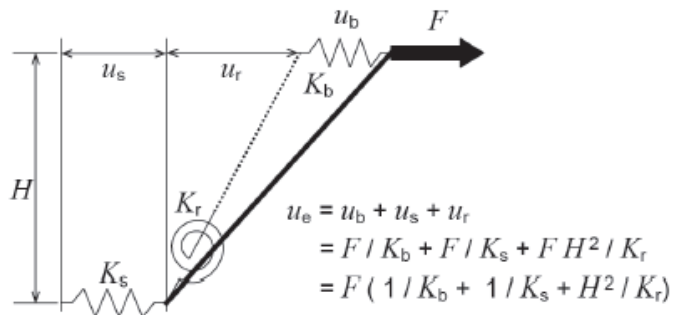
- 1348 • Elongación del periodo natural en comparación a la condición de base fija.
- 1349 • Cambio del amortiguamiento en comparación a la condición de base fija.
- 1350 • Reducción del valor de entrada del movimiento del suelo en comparación con el movimiento en la superficie.
- 1351

1352 Debido a fuerzas inerciales de la fundación, se pueden identificar tres tipos de desplazamiento que se combinan:

- 1354 • El desplazamiento mismo de la estructura (u_b).
- 1355 • El desplazamiento horizontal de la fundación, conocida como sway (u_s).
- 1356 • La rotación de la fundación, conocida como rocking (u_r).



a) SR model



b) Displacement of SR model

Key

- m equivalent mass of superstructure with fundamental vibration mode
- H equivalent height of superstructure with fundamental vibration mode
- F inertia force by mass
- K_b, c_b and u_b spring constant, damping coefficient and displacement of superstructure
- K_s, c_s and u_s spring constant, damping coefficient and displacement by sway
- K_r, c_r and u_r spring constant, damping coefficient and displacement by rocking
- u_e total displacement

1357

1358

Figura 13. Modelo de desplazamiento.

1359 **M.6. Estructuras con sistemas de protección sísmica**

1360 Un sistema de protección sísmica es un dispositivo que busca disminuir la respuesta sísmica de la
1361 estructura en la cual es instalado. Si bien existen varios tipos, grosso modo pueden ser categorizados
1362 en dos tipos: aisladores y disipadores sísmicos.

1363 Los dispositivos de protección sísmica deben incorporarse en el modelo, reflejando su naturaleza e
1364 impacto en el comportamiento de la estructura, con el objetivo de obtener solicitaciones congruentes
1365 con la realidad de la estructura.

1366 **M.6.1. Aislación sísmica**

1367 Estos sistemas funcionan introduciendo una interfaz que lateralmente es muy flexible, lo que tiende a
1368 desacoplar la superestructura (lo que está sobre los aisladores) del movimiento lateral del terreno que
1369 se produce durante un sismo. Esto causa un aumento del período de vibrar de la estructura, lo que
1370 disminuye las aceleraciones de esta y con esto, el daño en el contenido y elementos no estructurales
1371 susceptibles a aceleraciones (por ejemplo, estanterías, muros divisorios, falsos techos, etc.).

1372 Por otro lado, la diferencia entre rigidez lateral de la superestructura y los aisladores ocasiona que la
1373 gran mayoría de la deformación lateral se concentre en estos últimos, lo que disminuye las deformaciones
1374 relativas de entrepiso y con esto el daño en los elementos estructurales y no estructurales susceptibles
1375 a deformaciones (por ejemplo, muros divisorios anclados a losas en niveles distintos).

1376 En ciertos casos, los aisladores también disipan parte de esta energía (por ejemplo, directamente
1377 mediante la fricción de ambas superficies que componen un aislador friccional o mediante el uso de
1378 núcleo de plomo o gomas de alto amortiguamiento en el caso de los aisladores elastoméricos). Esto
1379 provoca un aumento del amortiguamiento lateral equivalente del sistema lo cual puede ayudar a
1380 disminuir aún más la respuesta sísmica de la superestructura.

1381 La incorporación de los aisladores en el modelo analítico y en el diseño sísmico depende del método
1382 de análisis efectuado, el cual típicamente depende de la clasificación del sistema de aislación y de la
1383 regularidad de la estructura, cercanía a fuentes sismogénicas, etc.

1384 En el análisis estático o de fuerza lateral equivalente, los aisladores son considerados de manera
1385 indirecta como una disminución de la fuerza lateral de diseño producto del aumento de período y del
1386 amortiguamiento del sistema. A su vez, la deformación de los aisladores es obtenida asumiendo que la
1387 estructura es infinitamente rígida. Este método es aplicable en estructuras bajas en las cuales las
1388 hipótesis del método de análisis son válidas.

1389 En el análisis dinámico modal, las propiedades de rigidez y amortiguamiento secante o efectivo de los
1390 dispositivos son calculados para la deformación de estos, la cual a su vez depende de la rigidez y
1391 amortiguamiento, lo que da lugar a un proceso iterativo. La rigidez lateral de los aisladores es
1392 considerada directamente en el modelo estructural, usualmente mediante elementos lineales con
1393 propiedades secantes. Por otro lado, el amortiguamiento del sistema es considerado mediante una
1394 disminución de las ordenadas espectrales.

1395 Finalmente, en el análisis tiempo historia el aislador es considerado directamente mediante un modelo
1396 no lineal que tome en cuenta sus propiedades de rigidez y disipación de energía de manera directa.

1397 Esto ocasiona que no sea necesario considerar rigideces o amortiguamientos efectivos o secantes en
1398 el análisis.

1399 En el caso de sistemas basados en aisladores, la superestructura es modelada de manera lineal, lo
1400 cual usualmente es válido ya que al usar este tipo de dispositivos efectivamente la disminución de
1401 respuesta sísmica es de tal magnitud que la estructura permanece esencialmente elástica.

1402 **M.6.2. Disipación de energía sísmica**

1403 Los requisitos para el análisis dependen del grado de contribución a la disipación que el sistema provee.
1404 Típicamente, se clasifican tomando en cuenta el efecto del sistema sobre el corte basal, la redundancia
1405 del sistema y su configuración. Esta clasificación usualmente limita algunos de los métodos de análisis
1406 utilizables y las ventajas prescriptivas aplicables.

1407 En el caso de estructuras con sistemas de disipación de energía, no es recomendable usar sistemas
1408 de fuerza lateral equivalente a menos de que se trate de una estructura regular y baja.

1409 En el análisis modal espectral, las propiedades de rigidez y amortiguamiento secante o efectivo de los
1410 dispositivos son calculados para la deformación de estos en el caso de dispositivos de disipación
1411 dependientes del desplazamiento (por ejemplo, diagonales de pandeo restringido, disipadores viscosos
1412 o friccionales) y para la amplitud y frecuencia de interés en el caso de dispositivos dependientes de la
1413 velocidad que tengan una componente de rigidez (por ejemplo, disipadores viscoelásticos). El
1414 amortiguamiento extra del sistema proporcionado por la disipación de energía es considerado mediante
1415 una disminución de las ordenadas espectrales.

1416 En el análisis dinámico tiempo historia, el disipador es considerado directamente mediante un modelo
1417 no lineal que tome en cuenta sus propiedades de rigidez y disipación de energía de manera directa.
1418 Esto ocasiona que no sea necesario considerar rigideces o amortiguamientos efectivos o secantes en
1419 el análisis.

1420 En el caso de sistemas basados en disipadores, la estructura es modelada de manera inelástica, salvo
1421 que se demuestre que la incursión en el rango no lineal es pequeña.

1422 **M.6.3. Otros sistemas de disipación**

1423 Se consideran en este apartado los sistemas de disipación activos, semiactivos e híbridos. Todavía no
1424 existen procedimientos de análisis consensuados como los que existen para sistemas de disipación o
1425 aislación basal, por lo cual el uso de estos dispositivos debe realizarse tomando precaución de estudiar
1426 el comportamiento de la estructura con y sin el efecto de los dispositivos, y no se recomienda considerar
1427 ventajas prescriptivas en los requisitos de desempeño para objetivos de desempeño de resistencia o
1428 capacidad final, aunque su uso para controlar desempeño en estado de servicio es frecuentemente
1429 aceptado.

1430 **M.6.4. Amortiguador de masas sintonizadas**

1431 Un amortiguador de masa sintonizada (AMS), es un sistema pasivo de control de vibraciones,
1432 consistente en una masa unida a la estructura principal (donde se busca reducir las vibraciones) por
1433 medio de un elemento de rigidez y amortiguamiento conocidos. Todavía no existen procedimientos de
1434 análisis consensuados como los que existen para sistemas de disipación o aislación basal, por lo que

1435 el uso de estos dispositivos debe realizarse tomando precaución de estudiar el comportamiento de la
1436 estructura con y sin el efecto de los dispositivos, y no se recomienda considerar ventajas prescriptivas
1437 en los requisitos de desempeño. Se espera en el futuro que el conocimiento avance lo suficiente para
1438 incorporarlo a las normativas.

1439

BORRADOR

1440 N. Metodología de diseño sísmico del sistema estructural

1441 N.1. Diseño por fuerzas

1442 El método de diseño por fuerzas (MDF) es la metodología tradicional de diseño sísmico, incluida en la
 1443 mayor parte de los códigos de diseño sísmico de estructuras. Consiste en determinar la resistencia
 1444 lateral elástica requerida (demanda elástica V_e) de una estructura elástica equivalente a partir de
 1445 aceleraciones espectrales que representan las fuerzas inducidas por el sismo en la estructura. Luego,
 1446 la resistencia de diseño se determina dividiendo la resistencia elástica por un factor de reducción R (V
 1447 = V_e / R), factor que representa la capacidad de ductilidad global y la sobre resistencia propias de la
 1448 estructura.

1449 El concepto de ductilidad es fundamental para determinar el valor del factor de reducción R , factor que
 1450 depende del tipo de sistema estructural resistente lateral y de su materialidad. La ductilidad (μ)
 1451 representa la capacidad de un elemento o sistema estructural de deformarse más allá del límite elástico
 1452 sin que se reduzca su capacidad de resistir cargas. En general, se define como la razón entre la máxima
 1453 deformación y la deformación correspondiente al inicio de la fluencia. El principio de desplazamientos
 1454 iguales (Newmark) indica que el máximo desplazamiento ($\delta_{m\acute{a}x}$) que alcanza una estructura durante un
 1455 sismo es prácticamente independiente de la resistencia lateral de la estructura (V_y). Si se define la
 1456 ductilidad requerida (demanda de ductilidad) como:

$$1457 \mu_D = \delta_{m\acute{a}x} / \delta_y$$

1458

1459 Donde

- 1460 • δ_y es el desplazamiento para el que se alcanza la resistencia
- 1461 • Entonces resulta que $\mu_D = \delta_{m\acute{a}x} / \delta_y = V_e / V_y = R$

1462 Los códigos de diseño sísmico permiten usar los métodos de análisis lineal estático equivalente y
 1463 dinámico modal espectral para determinar las fuerzas de diseño a considerar en el diseño por fuerzas.
 1464 Algunas ventajas del método MDF son su simplicidad y la familiaridad de los ingenieros con la
 1465 determinación de fuerzas resistentes requeridas de diseño por otros estados de carga, como las cargas
 1466 muertas, cargas vivas o de viento. Algunas desventajas del MDF se deben a que se usan los períodos
 1467 elásticos iniciales de la estructura, sin considerar los cambios de rigidez que ocurren durante el sismo;
 1468 el supuesto de desplazamientos iguales no es necesariamente verdadero para todo el rango de
 1469 períodos (especialmente para estructuras de períodos bajos); la mayor parte de los factores R que
 1470 existen actualmente en los códigos de diseño sísmico de estructuras han sido determinados por juicios
 1471 de expertos, por la buena experiencia de diseños previos o mediante calibraciones con códigos
 1472 anteriores, pero no mediante un método racional de cálculo. El método tampoco permite establecer la
 1473 demanda real de deformaciones, la magnitud del daño esperado, ni el nivel de seguridad de la
 1474 estructura.

1475 El diseño estructural involucra determinar los estados de carga y otras condiciones de diseño que deben
 1476 ser soportadas por la estructura. Uno de esos estados de carga se refiere a las fuerzas de diseño por
 1477 el sismo; otros son los pesos propios y cargas muertas, sobrecargas de uso de la estructura, el viento
 1478 y otros. Estas solicitaciones se combinan de acuerdo con lo indicado en el capítulo L.

1479 Luego, el análisis estructural permite calcular las fuerzas internas en los elementos estructurales
 1480 (esfuerzos de cortante, momento flector, compresión o tracción, momento torsional), como vigas,
 1481 columnas, muros, losas, fundaciones, apoyos, conexiones y otros miembros, producto de cada estado
 1482 de carga y otras condiciones de diseño.

1483 **N.1.1. Estimación de la resistencia requerida**

1484 Los materiales y dimensiones de las secciones de los elementos y las conexiones deben seleccionarse
 1485 de forma que tengan la resistencia suficiente para cumplir con la demanda.

1486 En general hay dos métodos para estimar la resistencia requerida de una estructura, y se utilizan
 1487 dependiendo del material, sistema estructural y nivel de demanda de ductilidad esperada.

1488 **N.1.1.1. Estimación directa**

1489 Este método consiste en simplemente utilizar las fuerzas o esfuerzos directamente del modelo
 1490 estructural. Este método se utiliza en sistemas estructurales donde se considera poca demanda de
 1491 ductilidad, o que han sido diseñados con considerable sobre resistencia. Este método se utiliza en
 1492 sistemas estructurales simples.

1493 **N.1.1.2. Estimación de diseño por capacidad**

1494 El segundo método para determinar las resistencias requeridas de los elementos de la estructura es el
 1495 método de diseño por capacidad. En este método se identifican los elementos que se diseñarán como
 1496 dúctiles, para asegurar que estos elementos alcancen la fluencia antes que otros elementos frágiles de
 1497 la estructura alcancen su resistencia máxima. Para alcanzar este objetivo, los elementos frágiles se
 1498 deben diseñar de forma tal que tengan una resistencia mayor que la máxima resistencia que es capaz
 1499 de desarrollar el elemento dúctil, que estará actuando como un fusible. El elemento dúctil concentra el
 1500 daño de la estructura, por lo que debe tener una alta capacidad de deformación (alta ductilidad). Es
 1501 importante estimar de forma adecuada la demanda máxima de deformaciones en los elementos dúctiles
 1502 para prevenir que ocurra su falla prematura.

1503 **N.1.2. Estimación de la resistencia provista**

1504 Existen dos métodos para verificar si la resistencia provista por un elemento es suficiente para cumplir
 1505 con la resistencia requerida: diseño por resistencia última y diseño por tensiones admisibles.

1506 **N.1.2.1. Diseño por resistencia última**

1507 Este método, también conocido como diseño por factores de carga y resistencia (LRFD, por sus siglas
 1508 en inglés) de diseño es el más usado actualmente, y consiste en dimensionar los elementos
 1509 estructurales tal que las resistencias requeridas (R_u) no superen las resistencias (R_n) reducidas, es
 1510 decir $R_u \leq \phi R_n$. Las resistencias requeridas se obtienen multiplicando las fuerzas producidas por cada
 1511 estado de carga por factores de carga cuyos valores dependen de la variabilidad de las cargas. La
 1512 posibilidad de que los valores de las cargas varíen durante la vida útil de la estructura, su frecuencia,
 1513 duración, posición y la probabilidad de la simultaneidad de la ocurrencia de los diferentes estados de
 1514 carga. Las resistencias se calculan considerando el comportamiento no lineal de los materiales que
 1515 componen el elemento estructural. El factor de reducción resistencia ϕ que debe ser menor o igual a
 1516 uno. El objetivo del factor de reducción de la resistencia es incorporar las variaciones en las resistencias

1517 de los materiales, geometría de las secciones, calidad de la construcción y las consecuencias negativas
1518 de la posible falla. Por ejemplo, las resistencias asociadas a modos de falla frágiles tienen asociados
1519 factores de reducción con valores menores que los modos de falla dúctiles.

1520 **N.1.2.2. Diseño por tensiones admisible**

1521 Este método, también conocido como diseño por esfuerzos de trabajo (ASD, por sus siglas en inglés)
1522 consiste en dimensionar los elementos estructurales de manera que los esfuerzos producidos por las
1523 combinaciones de los estados de carga no excedan los esfuerzos admisibles de diseño. Para los
1524 distintos tipos de esfuerzos y elementos se asignan factores de seguridad Ω para comparar la demanda
1525 versus la resistencia.

1526 **N.2. Diseño por desempeño**

1527 El diseño sísmico basado en desempeño es una metodología de diseño alternativa al enfoque de diseño
1528 prescriptivo tradicional, que tiene como objetivo principal estimar de manera más confiable el
1529 desempeño sísmico de una estructura y evaluar el cumplimiento de objetivos de desempeño
1530 explícitamente indicados a partir de fijar un riesgo aceptado, en lugar de solamente verificar el
1531 cumplimiento de requerimientos prescriptivo de fuerzas y/o deformaciones como se hace en el diseño
1532 tradicional.

1533 Esto se logra utilizando modelos no lineales de la estructura, lo que permite obtener de manera explícita
1534 variables que correlacionan con daño estructural, daño no estructural y daño en el contenido.

1535 Para el uso del diseño sísmico basado en desempeño se debe asegurar que se demuestre, mediante
1536 ensayos, análisis o ambos, que la estructura resultante tiene un nivel de desempeño igual o superior a
1537 los establecidos o expresados en los códigos tradicionales.

1538 La motivación para el uso de este método se puede resumir en:

1539 a) Evaluar en forma más confiable el cumplimiento de los criterios de aceptación o límites que
1540 definen los objetivos de desempeño planteados para las diferentes tipologías de estructura y su
1541 materialidad.

1542 b) Permitir la utilización de materiales y/o sistemas estructurales no definidos explícitamente en los
1543 códigos.

1544 c) Permitir flexibilidad en las características arquitectónicas que con el enfoque tradicional serían
1545 inviables y en que las prescripciones o requerimiento incluidos en las normativas tradicionales
1546 no contemplan.

1547 d) Fijar objetivos de desempeño superiores y/o más precisos a los mínimos contenidos en los
1548 códigos.

1549 **N.2.1. Descripción general del procedimiento**

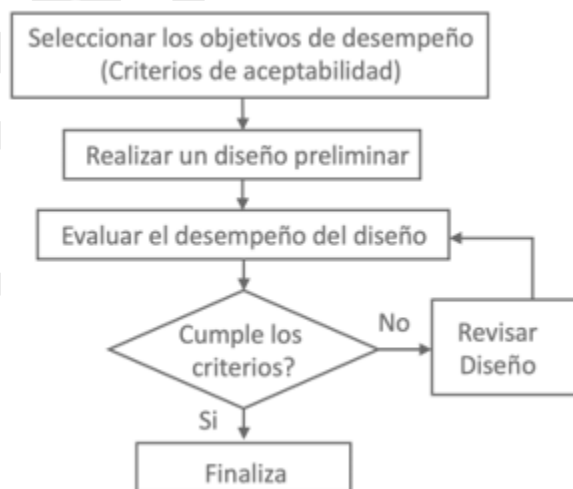
1550 En la práctica actual del diseño basado en desempeño para edificios el enfoque más común es definir
1551 una serie de objetivos de desempeño, o riesgo aceptado, que consisten en una declaración del
1552 comportamiento esperado (nivel de desempeño representado por criterios de aceptación o límites

- 1553 estructurales tales como deformaciones o esfuerzos) de un edificio sometido a una intensidad sísmica
1554 dada o nivel de sismo (demanda definida).
- 1555 Las intensidades sísmicas generalmente quedan definidas mediante un enfoque probabilístico con un
1556 cierto porcentaje de probabilidad de ser excedido en una cierta cantidad de años, o lo que es lo mismo,
1557 un período de retorno. Existen casos en que la frecuencia sísmica es muy alta lo que permite definir la
1558 demanda sísmica de manera determinística.
- 1559 Con el paso de los años la cantidad de intensidades sísmicas consideradas para evaluar los objetivos
1560 de desempeño ha ido disminuyendo desde tres (sismo de servicio, sismo de diseño, sismo máximo
1561 considerado) a dos (sismo de servicio y sismo máximo considerado).
- 1562 El dimensionamiento tanto de las secciones como de las armaduras de refuerzo son obtenidos ya sea
1563 mediante el análisis prescriptivo o, en los casos en los cuales la legislación vigente permita no cumplir
1564 parte del análisis normativo, mediante un análisis modal espectral usando una intensidad para la cual
1565 se espera que la estructura permanezca elástica (p. ej. un sismo de servicio con período de retorno
1566 bajo).
- 1567 En este proceso se debe definir un mecanismo de colapso, definiendo las zonas en las cuales se
1568 permitirá disipación de energía por incursión inelástica de los elementos estructurales y en cuales el
1569 comportamiento deberá ser elástico, para lo cual se ocuparán los principios del diseño por capacidad.
- 1570 Posteriormente, se debe construir un modelo no lineal de la estructura, para lo cual usualmente se
1571 utilizan modelos de plasticidad distribuida (basados en fibras) para elementos tipo muro y modelos de
1572 plasticidad concentrada (rótulas plásticas) para elementos tipo viga o columna. Los parámetros de
1573 modelación de cada componente deben estar respaldados, usualmente mediante ensayos que
1574 permitan disminuir la incertidumbre no solo en la curva de carga monotónica de cada componente, sino
1575 que en su ciclo de histéresis y por ende en la energía disipada.
- 1576 El amortiguamiento inherente (disipación de energía no modelada) usualmente es considerado
1577 mediante el uso de un amortiguamiento viscoso, el cual puede ser de Rayleigh, Modal o una
1578 combinación de ambos.
- 1579 Al tratarse de un análisis no lineal, el principio de superposición no es válido, por lo que previo a la
1580 aplicación de los registros sísmicos, la carga gravitacional (usualmente la totalidad de la carga muerta
1581 más un porcentaje de la carga viva) debe ser aplicada a la estructura. Es decir, se carga la estructura
1582 con la carga gravitacional y posteriormente, de forma consecutiva, el efecto del sismo.
- 1583 Después del análisis, se deben procesar los resultados para verificar que los objetivos de desempeño
1584 inicialmente planteados se cumplan. Esto implica revisar desde aspectos relacionados con el
1585 comportamiento global (que el análisis converja, derivas de entrepiso, derivas residuales) hasta
1586 comportamiento local (incursión inelástica asociado al desempeño deseado, que los elementos frágiles
1587 permanezcan elásticos con un cierto margen de seguridad, etc.). En caso de no cumplir con los
1588 objetivos de desempeño, se debe volver a rediseñar, reanalizar y reprocesar los resultados, lo cual
1589 puede tomar mucho tiempo de trabajo adicional, por lo que es vital poder anticipar en etapa de diseño
1590 la respuesta de la estructura para el sismo máximo considerado, lo cual en algunos casos (por ejemplo,
1591 demandas de corte en muros de hormigón armado) no es una tarea sencilla.

1592 El diseño sísmico basado en desempeño permite una flexibilidad mucho mayor en la elección del
 1593 sistema estructural, materialidad, diseño inicial y detallamiento, sin embargo, esta metodología
 1594 normalmente requieren un esfuerzo de cálculo, modelamiento y tiempo computacionales adicionales,
 1595 capacidades de ingeniería avanzadas y entidades o funcionarios gubernamentales encargados de la
 1596 fiscalización de la construcción que estén dispuestos a aceptar diseños que no se ajusten estrictamente
 1597 a las disposiciones prescriptivas del código de construcción o diseño. Debido a las complejidades
 1598 asociadas a esta metodología y a la necesidad de una alta experiencia para juzgar la idoneidad de un
 1599 diseño que se ajuste a la cláusula de métodos alternativos del código de construcción, se requiere
 1600 imperativamente una revisión por pares independientes, que tengan la experiencia y conocimientos
 1601 necesarios para evaluar las suposiciones, cálculos, modelos y límites de desempeño usados en el
 1602 diseño resultante.

1603 Los pasos para el diseño basado en desempeño son los siguientes:

- 1604 a) Definición de objetivos de desempeño.
- 1605 b) Definición del sismo y probabilidad de ocurrencia.
- 1606 c) Definición de los daños esperados.
- 1607 d) Diseño conceptual o inicial: diseño por capacidad y mecanismo de colapso.
- 1608 e) Evaluación de los objetivos de desempeño y criterios de aceptación.
- 1609 f) Diseño final.
- 1610 g) Revisión por pares (en inglés: peer review).



1611

1612

Figura 14. Procedimiento para el diseño por desempeño.

1613

N.3. Verificar los objetivos de desempeño y requisitos de seguridad

1614

Independientemente del método del procedimiento de diseño considerado, por fuerzas o por
 1615 desempeño, deben verificarse los objetivos de desempeño globales, sin limitarse a la verificación de la
 1616 resistencia de los elementos.

1617 **N.4. Ensayos para sistemas de aislación y disipación sísmica**

1618 En general, los ensayos de materiales de uso en la construcción están claramente especificados por la
1619 autoridad competente. Pero cuando se utilizan sistemas de protección sísmicamente es necesario
1620 realizar esquemas de ensayos mínimos para los prototipos y los ensayos de control de calidad.

1621 Habitualmente se definen secuencias y ciclos de ensayo, y estos pueden variar en consideración de si
1622 los dispositivos dependen de deformación, carga vertical o de velocidad.

1623 **N.4.1. Ensayos de prototipo**

1624 Estos ensayos se realizan sometiendo los prototipos a mayores valores de demanda que los requeridos
1625 por diseño, por lo que los dispositivos sometidos a ensayo no pueden reutilizarse en obra.

1626 Se busca determinar la relación constitutiva de fuerza-del dispositivo para confirmar o ajustar los valores
1627 utilizados en el diseño y análisis de estructuras con protección sísmica.

1628 **N.4.2. Ensayos de control de calidad**

1629 Los ensayos de control de calidad se realizan a cargas de servicio dado que los dispositivos se utilizarán
1630 en obra, y lo que se busca es verificar comportamiento, no capacidad, y confirmar que las propiedades
1631 del análisis utilizado son consistentes. Para los ensayos de calidad se debe definir el porcentaje de
1632 muestreo necesario.

1633 **N.4.3. Verificación de las propiedades de los materiales**

1634 Se debe especificar un protocolo de verificación de los materiales utilizados en la fabricación de los
1635 dispositivos. Normalmente se exige la emisión de certificados de trazabilidad de los materiales, junto
1636 con pruebas de ensayos complementarios, como de adhesivos, puntos de goteo de lubricantes,
1637 esquemas de pinturas.

1638 **O. Requisitos mínimos para componentes y sistemas no estructurales**

1639 En este capítulo se presentan los requerimientos mínimos para el análisis, diseño y detallamiento
1640 sísmico de componentes y sistemas no estructurales, que corresponden a elementos que se
1641 encuentran en forma permanente en la estructura y que no forman parte del sistema resistente, pero
1642 que son afectados por sus movimientos y que interactúa n con los elementos estructurales. Los
1643 componentes y sistemas no estructurales se pueden clasificar en tres categorías:

1644 a) Elementos arquitectónicos, que incluyen particiones, elementos de fachadas, falsos techos, pisos
1645 registrables, acristalamientos, marquesinas y escaleras, entre otros.

1646 b) Instalaciones, que incluyen equipos eléctricos y de comunicaciones, equipos mecánicos,
1647 ascensores y equipos de climatización (calderas, bombas y enfriadores), entre otros. También
1648 se incluyen en esta categoría los sistemas distribuidos tales como tuberías (agua potable, red de
1649 incendio, aguas residuales, etc.), bandejas de cables (para electricidad, telefonía, internet,
1650 circuito cerrado de televisión- CCTV-, comunicaciones, etc.), ductos de climatización, entre otros.

1651 c) Contenidos, que incluyen mobiliario, estanterías, equipos informáticos y de comunicación,
1652 accesorios y similares.

1653 **O.1. Objetivo de desempeño sísmico**

1654 Se debe asignar a los componentes y sistemas no estructurales un objetivo de desempeño sísmico
1655 igual o superior al de la estructura que los contiene. Se debe definir un coeficiente relativo a la
1656 importancia, uso y riesgo de falla del edificio I , un factor de importancia del componente I_p , igual a 1,0
1657 o 1,5, según se define en el capítulo F. Clasificación de edificaciones.

1658 **O.2. Requisitos de certificación sísmica especial**

1659 Los equipos mecánicos y eléctricos que deben desempeñar funciones activas y permanecer operativos
1660 después del sismo de diseño se deben certificar como operativos por el proveedor o fabricante. La
1661 certificación se puede obtener por medio de ensayos efectuados en mesa vibradora o demostrada por
1662 la experiencia existente de acuerdo con metodologías estandarizadas o debidamente fundamentadas.
1663 La certificación no es necesaria para componentes calificados como inherentemente robustos. La
1664 evidencia que demuestre el cumplimiento de este requisito se debe revisar y aprobar por el revisor del
1665 proyecto.

1666 **O.3. Requerimientos generales de los componentes y sistemas no estructurales**

1667 Los componentes y sistemas no estructurales propiamente, así como sus estructuras de soporte,
1668 anclajes y arriostres, deben ser capaces de resistir las demandas sísmicas en términos de fuerzas y
1669 deformaciones causadas por el evento sísmico. El cumplimiento de este requerimiento debe ser
1670 demostrado mediante análisis desarrollado por el responsable de cada especialidad.

1671 La coordinación de los entregables debe ser parte de la planificación inicial, de modo que los
1672 documentos que incluyan los requerimientos mínimos que deben cumplir y el proceso de compra de
1673 los componentes y sistemas no estructurales se realicen de acuerdo con un plan unificado consistente
1674 con los objetivos de desempeño establecidos para el proyecto. Se debe individualizar los componentes
1675 y sistemas para los cuales se aceptará la memoria de cálculo o certificación mediante análisis y los
1676 componentes o sistemas para los cuales se requerirá certificación mediante ensayo. Asimismo, se
1677 deben establecer al iniciar el proyecto, los documentos por entregar de parte de cada especialidad.

1678 **O.4. Definición de solicitudes sísmicas**

1679 En este apartado se describe información relevante de solicitudes sísmicas para componentes y
1680 sistemas no estructurales en términos de fuerzas de diseño y desplazamientos de diseño.

1681 **O.4.1. Fuerzas sísmicas de diseño**

1682 Los componentes y sistemas no estructurales, junto con sus estructuras de soporte, anclajes y
1683 arriostres, deben ser capaces de resistir una fuerza sísmica horizontal proporcional al peso sísmico en
1684 operación del componente y cuya estimación, considere la amenaza sísmica en el lugar de
1685 emplazamiento de la estructura principal (zona sísmica, tipo de suelo y efectos topográficos si
1686 corresponde) y el factor de importancia del componente. También se deben considerar los efectos de
1687 resonancia entre las frecuencias del componente y de la estructura principal, la ductilidad propia del
1688 componente y la amplificación de las aceleraciones a lo alto de la estructura.

1689 Alternativamente, los efectos de la amenaza sísmica en el lugar de emplazamiento y la variación en
 1690 altura se pueden estimar a partir de análisis modal o de respuesta en el tiempo de modelos completos
 1691 de la estructura principal donde la amenaza ha sido debidamente considerada.

1692 La fuerza sísmica horizontal debe ser aplicada en la dirección más desfavorable del componente o
 1693 sistema no estructural diseñado.

1694 En ningún caso, las fuerzas horizontales de diseño se podrán considerar menores a $I_p \cdot a_{max} \cdot W_p$ donde
 1695 a_{max} corresponde a la aceleración máxima del suelo esperada para el sismo de diseño; y W_p es el peso
 1696 en operación del componente o sistema no estructural.

1697 De la misma manera que con la fuerza sísmica horizontal, los componentes y sistemas no estructurales
 1698 deben ser capaces de resistir una fuerza sísmica vertical proporcional al peso sísmico en operación del
 1699 componente y que tome en cuenta la amenaza sísmica en el lugar de emplazamiento de la estructura
 1700 y la amplificación vertical causada por la flexibilidad del elemento de la estructura al que se ancla el
 1701 componente o sistema. En ausencia de un cálculo más preciso, la fuerza vertical de diseño se puede
 1702 considerar igual a 2/3 de la fuerza horizontal de diseño.

1703 En el caso de equipos, sistemas o componentes de gran peso o rigidez con relación a la de la estructura
 1704 que los contiene o soporta, se deberá modelar el equipo, sistema o componente en conjunto con la
 1705 estructura a fin de evaluar efectos de interacción dinámica.

1706 **O.4.2. Desplazamientos sísmicos de diseño**

1707 Componentes y sistemas no estructurales que se encuentran anclados en diferentes alturas de una
 1708 misma estructura, o anclados a dos estructuras distintas, deben ser capaces de resistir o acomodar los
 1709 desplazamientos sísmicos relativos entre sus puntos de anclaje.

1710 Los desplazamientos sísmicos relativos se deben estimar utilizando análisis modal espectral o análisis
 1711 de respuesta en el tiempo considerando modelos de la estructura principal con la amenaza sísmica
 1712 asociada al sismo de diseño. En ausencia de un cálculo más preciso, los desplazamientos sísmicos
 1713 relativos D_{pl} se pueden estimar como $D_{pl} = D_p \cdot I$, donde I es el coeficiente de importancia considerado
 1714 en el diseño de la estructura y que depende de la categoría del edificio, determinado de acuerdo con la
 1715 clasificación de las edificaciones del capítulo f. D_p corresponde al desplazamiento relativo entre pisos
 1716 de la estructura o al desplazamiento relativo entre estructuras, según corresponda, entre puntos de
 1717 apoyo del componente o sistema, calculado mediante análisis modal espectral o análisis lineal de
 1718 respuesta en el tiempo para el sismo de diseño.

1719 **O.5. Requisitos generales de diseño**

1720 Se debe considerar la interrelación física y funcional entre componentes y sistemas no estructurales,
 1721 de manera que la falla de un componente sea este esencial o no, no cause la falla de otro componente
 1722 considerado como esencial. El detallamiento sísmico de los componentes no estructurales se debe
 1723 presentar en planos para construcción, y su diseño se debe documentar en una memoria de cálculo
 1724 que contenga los análisis, ensayos o certificados correspondientes. La documentación desarrollada por
 1725 el responsable de cada especialidad debe demostrar que el componente o equipo se encuentra
 1726 calificado para un nivel de demanda sísmica igual o superior a la establecida en la norma de cada país.

1727 El anclaje de un componente o sistema no estructural a otro componente o sistema no estructural debe
1728 ser diseñado para resistir las cargas sísmicas transmitidas. Se requiere de una verificación cruzada
1729 entre especialidades, coordinada o desarrollada por el coordinador de proyecto. El uso en obra de
1730 componentes y sistemas no estructurales se permite únicamente con la debida certificación de respaldo
1731 de su diseño sísmico.

1732 La información que debe proporcionar el Ingeniero Estructural responsable del proyecto, a los
1733 especialistas que deben efectuar el diseño sísmico de los componentes y sistemas no estructurales,
1734 debe incluir, sin estar limitado a:

1735 a) Aceleración absoluta máxima por nivel y por cada bloque del edificio.

1736 b) Derivas de entrepiso por nivel y por cada bloque del edificio.

1737 c) Desplazamientos relativos entre bloques del edificio y por nivel.

1738 d) Velocidad absoluta por nivel y por cada bloque del edificio.

1739 e) Fuerzas actuando sobre los componentes en caso de que estos hayan sido modelados en
1740 conjunto con la estructura.

1741 Los documentos de respaldo del diseño sísmico de los componentes o sistemas no estructurales,
1742 desarrollados por el responsable de cada especialidad, deben ser revisados y aprobados por el revisor
1743 del Proyecto, sea arquitecto o ingeniero civil, debidamente acreditado ante la autoridad competente,
1744 con una experiencia mínima de 10 años en detallamiento y cualificación sísmica de componentes y
1745 sistemas no estructurales u otras actividades de similares características, previo al inicio del proyecto
1746 y durante la fase de diseño, según lo establecido en cada país.

1747 La supervisión de la construcción e instalación de los componentes o sistemas no estructurales en la
1748 edificación deberá ser ejecutada por un supervisor técnico independiente, según lo establecido en cada
1749 país. La supervisión deberá verificar que la instalación de los componentes o sistemas no estructurales
1750 se realice de acuerdo con los planos y especificaciones correspondientes preparados por los
1751 responsables de cada especialidad. Edificaciones que no requieren supervisión técnica, como
1752 proyectos de viviendas con áreas construidas menores de 2.000 m², 2 plantas sobre el nivel de terreno
1753 natural (NTN) o 6 metros de altura, están exentas de supervisión técnica independiente. En estructuras
1754 sin supervisión técnica independiente, el constructor deberá realizar los controles necesarios
1755 personalmente o a través de personal calificado.

1756 **O.6. Diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales**

1757 Los componentes y sistemas no estructurales y sus estructuras de soporte y elementos de arriostre
1758 deben estar anclados a la estructura resistente de acuerdo con los requisitos de esta cláusula. El
1759 anclaje debe satisfacer los requisitos del material relacionado, como se indique en la normativa
1760 correspondiente al material. Los agregados de componentes no estructurales deben ser apernados,
1761 soldados o fijados efectivamente sin considerar la resistencia friccional producida por efecto de la
1762 gravedad. La línea de transferencia de cargas entre el componente y la estructura de soporte debe
1763 contar con adecuada resistencia y rigidez. Dicho de otra manera, los elementos estructurales, incluidas
1764 sus conexiones, deben ser diseñados y ejecutados para resistir las fuerzas transmitidas por el

1765 componente o sistema no estructural, cuando ellas controlen el diseño de los elementos o sus
1766 conexiones.

1767 Los anclajes de componentes o sistemas no estructurales deben contar con certificación sísmica
1768 emitida por un laboratorio reconocido.

1769 En edificios pertenecientes a la categoría IV, según se define en el capítulo F, como edificios esenciales
1770 tales como hospitales, estaciones de bomberos y refugios de emergencia, entre otros, el suministro de
1771 gas, vapor, gases de redes de frío, aguas a altas temperaturas u otros líquidos peligrosos, deben estar
1772 provistas de un sistema de corte automático que se active cuando la aceleración en la base del edificio
1773 alcance un valor igual a $\lambda \cdot a_{max}$, donde λ depende de la relación que existe entre la peligrosidad del
1774 efecto directo a que puede dar origen el daño y de las posibilidades que existen de suspender sin
1775 mayores problemas el suministro o servicio que ofrece la red; y a_{max} corresponde a la aceleración
1776 máxima del suelo esperada para el sismo de diseño. Los valores de λ típicamente fluctúan entre 0,3
1777 para sistemas con alto nivel de peligrosidad y reducido impacto por la interrupción del suministro, y 0,6
1778 para sistemas con mediano o bajo nivel de peligrosidad y gran o mediano impacto por la interrupción
1779 del suministro.

1780 **O.7. Consideraciones del diseño de componentes y sistemas no estructurales en** 1781 **estructuras con aislación sísmica**

1782 Los componentes no estructurales ubicados sobre la interfaz de aislación sísmica deben ser diseñados
1783 para resistir una fuerza sísmica igual a la máxima respuesta dinámica del elemento o componente bajo
1784 consideración, determinada usando el método de análisis no lineal de respuesta en el tiempo. Se
1785 permite considerar $I_p=1,0$ para el diseño de los componentes y sistemas no estructurales ubicados
1786 sobre la interfaz de aislación.

1787 A continuación, se describe información relevante de demandas sísmicas sobre componentes y
1788 sistemas no estructurales en edificios sísmicamente aislados.

1789 **O.7.1. Fuerza horizontal**

1790 La fuerza de diseño sísmico horizontal (F_{sh}) se determinará como $F_{sh}=a_i \cdot a_p \cdot W_p / (g \cdot R_p / I_p)$, donde a_i es la
1791 aceleración máxima en el nivel donde se ancla el componente, obtenida mediante análisis no lineal de
1792 respuesta en el tiempo (incluidos efectos de torsión natural y accidental); a_p es el factor de amplificación
1793 dinámica del componente; R_p corresponde al factor de modificación de respuesta del componente o
1794 elemento no estructural; I_p es el factor de importancia del componente, igual a 1,0 para componentes
1795 anclados sobre la interfaz de aislación, e igual a 1,5 para componentes ubicados bajo la interfaz de
1796 aislación; W_p es el peso en operación del componente o sistema no estructural; y g es la aceleración
1797 de la gravedad.

1798 **O.7.2. Fuerza vertical**

1799 Concurrentemente con la fuerza sísmica horizontal, los componentes y sistemas no estructurales deben
1800 ser capaces de resistir una fuerza sísmica vertical proporcional al peso sísmico en operación del
1801 componente y que tome en cuenta la amenaza sísmica en el lugar de emplazamiento de la estructura
1802 y la amplificación vertical causada por la flexibilidad del elemento de la estructura al que se ancla el
1803 componente o sistema.

1804 La fuerza vertical sísmica de diseño no debe ser menor que $\pm 0.24 \cdot I_p \cdot a_{pv} \cdot \alpha_{AA} \cdot W_p / g$, donde α_{AA} es la
 1805 aceleración máxima (o plateau) del espectro elástico de aceleraciones para el sismo de diseño; W_p
 1806 corresponde al peso en operación del componente o sistema no estructural; a_{pv} corresponde al factor
 1807 de amplificación dinámica en vertical, que considera la flexibilidad de pilares, vigas, losas y del sistema
 1808 de aislación sísmica propiamente; e I_p se determina según la sección 0.7.1.

1809 **P. Requisitos para el aseguramiento de la calidad**

1810 En este capítulo se indica los requerimientos mínimos que debe contener la normativa de cada país
 1811 para asegurar los estándares de calidad en el diseño y construcción que permita un adecuado
 1812 comportamiento sísmico de las estructuras.

1813 Se indica objetivos de desempeño sísmico para las estructuras y se propone la incorporación de
 1814 instrumentos que permitan monitorear el comportamiento de los edificios, además se propone una serie
 1815 de instrumentos de gestión para asegurar la calidad de los procesos de diseño y construcción, tales
 1816 como, revisores estructurales independientes, inspectores técnicos de obra, uso de documentación
 1817 estandarizada y un riguroso control de la autoridad competente en cada país.

1818 **P.1. Verificación de los objetivos de desempeño sísmico**

1819 Este documento está orientado a lograr estructuras que resistan sin daños movimientos sísmicos de
 1820 intensidad moderada, limiten los daños en elementos estructurales y no estructurales durante sismos
 1821 de mediana intensidad; y que, aunque presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad
 1822 excepcionalmente severa.

1823 En el diseño sísmico de las estructuras se debe considerar limitaciones a los desplazamientos de techo,
 1824 derivas de entre piso y separaciones entre edificios adyacentes consistentes con las hipótesis de diseño
 1825 consideradas.

1826 **P.2. Instrumentación de edificios**

1827 La instrumentación sísmica en estructuras se utiliza con el fin de obtener mediciones empíricas del
 1828 comportamiento y desempeño de la estructura frente a eventos sísmicos de distinta intensidad. El
 1829 comportamiento estructural se determina a partir del registro de aceleraciones y desplazamientos en
 1830 distintos puntos y niveles, con el fin de determinar parámetros dinámicos tales como: frecuencias
 1831 modales, razones de amortiguamiento modal, formas modales, deformaciones de entrepiso,
 1832 aceleraciones máximas y espectros de respuesta, entre otros.

1833 El objetivo principal del monitoreo estructural es mejorar la seguridad y confiabilidad de los sistemas
 1834 estructurales a través de aportar datos que mejoren el análisis y diseño, junto a permitir detectar daños
 1835 luego de eventos sísmicos relevantes.

1836 Los avances en monitoreo de salud estructural y evaluación de daños permitirán una rápida evaluación
 1837 del estado de las estructuras luego de eventos sísmicos severos, permitiendo determinar en forma
 1838 automática si la ocupación inmediata de la edificación es factible.

1839 **P.2.1. Plan de instrumentación**

1840 El Ingeniero responsable por el proyecto de instrumentación debe preparar un plan de instrumentación
 1841 y presentarlo a la autoridad competente para su revisión y aprobación. El plan de instrumentación debe
 1842 quedar registrado en un proyecto específico con indicación mínima de:

- 1843 a) Plano de ubicación de sensores, central de registro y cableado.
- 1844 b) Especificaciones técnicas de los sensores, central de registro y cableado.
- 1845 c) Definición del contenido mínimo de reporte de movimiento fuerte.
- 1846 d) Plan de mantenimiento mínimo requerido para los sensores, central de registro y cableado.

1847 **P.2.2. Requisitos para instrumentar**

1848 Habitualmente se le exige instrumentación a la edificación en altura (15 niveles o más sobre el terreno)
 1849 y de superficie construida relevante (más de 15.000 m²). En muchos casos también se exige un
 1850 proyecto de instrumentación para edificios que cuentan con algún sistema de protección sísmica, tales
 1851 como aisladores sísmicos o disipadores de energía, o cuando se ha desarrollado un diseño por
 1852 desempeño.

1853 **P.2.3. Número mínimo de canales**

1854 Se define una cantidad de canales de registro de aceleraciones mínimos a considerar, en función en la
 1855 cantidad de pisos y la superficie construida. La siguiente tabla 5 es un ejemplo, aunque cada país debe
 1856 definir los valores. Se define como canal de aceleración a la medición de una componente, sea esta
 1857 horizontal o vertical en un punto específico del edificio.

Número de pisos	Número mínimo de canales
6-10	6
11-20	9
21-30	12
31-50	15
>50	21

1858 Tabla 9. Cantidad mínima de canales de instrumentación para edificios de más de 10.000 m² construidos o con
 1859 características especiales.

1860 **P.2.4. Ubicación de sensores**

1861 Los sensores deben ser instalados en el edificio en ubicaciones estratégicas de medición, de acuerdo
 1862 con los objetivos de la medición y los tipos de sensores considerados. Los sensores deben estar
 1863 conectados mediante un cable a una o más centrales de registro o a través de un sistema inalámbrico
 1864 robusto que permita el registro en tiempo común. De estos equipos debe al menos colocarse un arreglo
 1865 triaxial de sensores en el nivel de fundación y tres canales en el piso superior representativo de la
 1866 estructura.

1867 En caso de considerar más de una central de registro estas deben estar interconectadas para que se
1868 accionen al mismo tiempo. Los sensores y la central deben estar en un lugar protegido, accesible, con
1869 dispositivos para la comunicación remota.

1870 **P.2.5. Instalación y mantenimiento**

1871 Los desarrolladores del edificio deben costear y permitir la instalación de los equipos, de acuerdo con
1872 un estándar técnico de calidad definido por la autoridad competente, definiendo como mínimo:

- 1873 • Tiempo de respaldo con baterías.
- 1874 • Resolución mínima de los sensores, en fracción de g.
- 1875 • Rango de aceleraciones, en valor de g.
- 1876 • El ancho de banda de frecuencias de operaciones del sensor.
- 1877 • La digitalización mínima de señales analógicas.
- 1878 • Estándar de protección eléctrica y mecánica para garantizar las comunicaciones del sistema.

1879 El o los propietarios del edificio deben costear y permitir la mantención y acceso a los equipos. Deberá
1880 registrarse anualmente la mantención del sistema ante la autoridad competente.

1881 El mantenimiento deberá ser realizado por empresas, profesionales o instituciones con experiencia
1882 validada y deben ser parte de un registro autorizado por la autoridad competente.

1883 **P.2.6. Uso de la información**

1884 La información será almacenada por el propietario por un periodo que definirá la autoridad competente.
1885 La información deberá ser accesible por parte de la autoridad competente, quien puede exigir tener
1886 acceso a ella, o a quien designe en su representación.

1887 **P.3. Requisitos de gestión**

1888 **P.3.1. Participación de profesionales acreditados en revisión de proyectos** 1889 **de diseño estructural**

1890 Para alcanzar los estándares de calidad establecidos en este documento, todos aquellos proyectos
1891 importantes por su uso y/o complejidad estructural deberán tener una revisión del proyecto de cálculo
1892 estructural realizada en forma independiente del calculista original para asegurar el cumplimiento de la
1893 normativa vigente.

1894 La autoridad competente debe definir qué proyectos requieren revisión estructural. Todo proyecto de
1895 cálculo estructural que así lo requiera, debe ser revisado por un ingeniero estructural o profesional
1896 competente independiente y distinto de quien haya realizado el proyecto de cálculo estructural,
1897 debidamente acreditado en el país y que además pertenezca al registro de profesionales habilitados
1898 para dichos fines. Este registro debe ser administrado por la autoridad competente.

1899 Para inscribirse en el registro de revisores independientes debe acreditar como mínimo:

- 1900 • Título profesional habilitado (arquitecto o ingeniero civil).
- 1901 • Experiencia en el ámbito de la ingeniería estructural.
- 1902 • Cualquier otra condición habilitante nacional (colegiatura profesional u otros).

1903 El registro definirá los alcances, inhabilidades e incompatibilidades que tendrá el revisor independiente
1904 en el ámbito de sus relaciones de parentesco, contractuales o de dependencia económica con los
1905 demás profesionales que participen en un proyecto, ya sean personas naturales o jurídicas.

1906 El registro definirá las responsabilidades legales en el ámbito civil y penal que tendrá el revisor
1907 independiente en un proyecto, y también la relación y/o grado de estas responsabilidades con los
1908 demás profesionales involucrados en el proyecto.

1909 **P.3.2. Participación de profesionales acreditados en revisión de proyectos**
1910 **de diseño no estructural**

1911 Para alcanzar los estándares de calidad establecidos en este código, se requerirá que todos los
1912 proyectos que requieren de revisión del proyecto de cálculo estructural sean sometidos a una revisión
1913 del diseño sísmico de sus componentes y sistemas no estructurales del proyecto. Esta revisión deberá
1914 considerar todos los documentos de respaldo de los diseños sísmicos desarrollados por los
1915 responsables de cada especialidad. El revisor independiente deberá aprobar el proyecto durante la fase
1916 de diseño. El revisor de los proyectos de especialidades no requiere ser necesariamente el mismo
1917 profesional a cargo de la revisión del proyecto de cálculo estructural. Los revisores deberán estar
1918 inscritos en el registro de profesionales habilitados. Este registro debe ser administrado por la autoridad
1919 competente.

1920 Para inscribirse en el registro de revisores Independientes, el profesional debe acreditar como mínimo:

- 1921 • Título profesional habilitado (arquitecto o ingeniero civil).
1922 • Experiencia mínima de 10 años en detallamiento y cualificación sísmica de componentes y
1923 sistemas no estructurales u otras actividades de similares características.
1924 • Cualquier otra condición habilitante nacional (colegiatura profesional u otros).

1925 El registro definirá los alcances, inhabilidades e incompatibilidades que tendrá el revisor independiente
1926 en el ámbito de sus relaciones de parentesco, contractuales o de dependencia económica con los
1927 demás profesionales que participen en un proyecto, ya sean personas naturales o jurídicas.

1928 El registro definirá las responsabilidades legales en el ámbito civil y penal que tendrá el revisor
1929 independiente en un proyecto, y también la relación y/o grado de estas responsabilidades con los
1930 demás profesionales involucrados en el proyecto.

1931 **P.3.3. Participación de inspectores técnicos de obra – ITO**

1932 La autoridad competente debe definir qué proyectos requieren inspección técnica y su alcance. La
1933 construcción de toda edificación típicamente debe ser inspeccionada técnicamente por profesionales
1934 habilitados de acuerdo con la legislación vigente.

1935 Esta inspección debe considerar el cumplimiento de la normativa vigente en el ámbito de la construcción
1936 en lo relativo a la verificación de la calidad de los materiales y procedimientos utilizados en el proceso
1937 constructivo.

1938 Se debe crear un registro de inspectores técnicos de obra habilitados para inspeccionar la construcción
1939 de toda edificación. Este registro debe ser administrado por la autoridad competente. Se deben definir
1940 distintas categorías de revisión asociada a distintitos tipos de proyecto.

1941 Para inscribirse en el registro de inspectores técnicos de obra debe acreditar como mínimo:

- 1942 • Título técnico o profesional habilitado.
- 1943 • Experiencia en el ámbito de la construcción.
- 1944 • Cualquier otra condición habilitante nacional (colegiatura profesional u otros).

1945 El registro definirá los alcances, inhabilidades e incompatibilidades que tendrá el Inspector en el ámbito
1946 de sus relaciones de parentesco, contractuales o de dependencia económica con los demás
1947 participantes en la construcción, ya sean personas naturales o jurídicas.

1948 El registro definirá las responsabilidades legales en el ámbito civil y penal que tendrá el Inspector en la
1949 construcción, y también la relación y/o grado de estas responsabilidades con los demás participantes
1950 en la construcción.

1951 **P.3.4. Fiscalización de la autoridad competente**

1952 La autoridad competente debe definir qué proyectos requieren fiscalización. La autoridad competente
1953 debe fiscalizar la construcción de toda edificación de acuerdo con la legislación vigente.

1954 Esta fiscalización considera la construcción de viviendas nuevas y también las intervenciones
1955 estructurales que haya durante su vida útil.

1956 Para esto se sugiere la definición de protocolos de inicio y término de obra, el registro de los
1957 profesionales y todos los documentos que han intervenido en la construcción de la vivienda.

1958 **P.3.5. Documentación estandarizada**

1959 El Profesional Competente debe generar y firmar los documentos necesarios y suficientes para la
1960 revisión y construcción del proyecto.

1961 Se debe incluir un listado actualizado de los documentos que permita la trazabilidad del proceso de
1962 diseño y construcción, con un adecuado control de versiones.

1963 Este listado debe incluir al menos los siguientes documentos:

- 1964 a) Memoria de cálculo estructural
 - 1965 • Criterios de diseño
 - 1966 • Descripción del sistema estructural
 - 1967 • Métodos de análisis
 - 1968 • Normas, códigos y reglamentos aplicables
 - 1969 • Lista de cargas y sus combinaciones
 - 1970 • Informe de mecánica de suelos
 - 1971 • Listado de materiales y sus propiedades mecánicas
- 1972 b) Planos estructurales
 - 1973 • Cuadros de notas generales
 - 1974 • Detalles tipo y notas

- 1975 • Plantas de fundaciones, secciones y detalles
- 1976 • Plantas de estructuras, secciones y detalles
- 1977 • Elevaciones de los ejes estructurales
- 1978 • Plantas de techos
- 1979 • Detalles de uniones, conexiones y anclajes

- 1980 c) Memoria de cálculo de componentes y sistemas no estructurales

- 1981 • Criterios de diseño
- 1982 • Métodos de análisis, ensayos o certificados correspondientes
- 1983 • Certificaciones especiales para equipos que deben desempeñar funciones activas durante e inmediatamente después de un evento sísmico
- 1984 • Normas, códigos y reglamentos aplicables

- 1985

- 1986 d) Planos de componentes y sistemas no estructurales

- 1987 • Cuadros de notas generales
- 1988 • Planos de construcción desarrollados por los responsables de cada especialidad

- 1989 e) Especificaciones técnicas: Deben incluir requisitos del proyecto para los materiales estructurales, su fabricación, colocación, tolerancias y controles de calidad
- 1990

- 1991 f) Protocolos de Inspección de acuerdo con normativa vigente y certificados de calidad de los
- 1992 materiales

1993 **P.3.6. Suscripción de los profesionales responsables**

1994 Las edificaciones deben cumplir con los requerimientos legales de la autoridad competente, y como
1995 mínimo se deben identificar los profesionales que participaron en el desarrollo del proyecto, tales como:
1996 mecánico de suelos, arquitecto, ingeniero y constructor en la documentación oficial requerida.

1997 **P.3.7. Protocolo de revisión y mantenimiento en el tiempo de la obra**

1998 Con la finalidad de asegurar la permanencia en el tiempo de las hipótesis de cálculo y las características
1999 estructurales y no estructurales de la edificación, se debe establecer un plan de mantenimiento que
2000 debe contemplar a lo menos:

- 2001 • Cómo el medio ambiente y el entorno pueden afectar directa o indirectamente la edificación.
- 2002 • Como se puede producir daño en componentes o sistemas no estructurales, tales como
- 2003 tabiques divisorios o revestimientos, debido a tensiones que se producen en el interior de esos
- 2004 elementos a causa de deformaciones o cambios de dimensión en la estructura.

2005 El protocolo de revisión y mantenimiento debe identificar como mínimo las tareas y la periodicidad de
2006 estas. Algunas actividades por incluir son:

- 2007 • Preventivas: definición de revisiones y acciones a realizar periódicamente para asegurar el
- 2008 estado de conservación de los elementos estructurales y no estructurales antes que de estos
- 2009 presenten algún daño.

2010 • Correctivas: definición de revisiones y acciones a realizar periódicamente para asegurar el
2011 estado de conservación de los elementos estructurales y no estructurales, luego que estos
2012 presenten algún daño leve.

2013 Un buen programa de mantenimiento de los elementos estructurales y no estructurales conlleva un
2014 adecuado proceso de monitoreo de estos. Para ello se mide el comportamiento (inspección visual) y
2015 los datos que se obtienen proporcionan la base para cualquier acción posterior. En este sentido, actúa
2016 como un sistema de alarma.

2017 Un sistema de monitoreo tiene como objetivo registrar los cambios en las deformaciones, fisuras,
2018 grietas, asentamientos, rotaciones o inclinaciones, temperaturas, humedad, etc. El monitoreo dinámico
2019 permite registrar aceleraciones, como las que ocurren en zonas sísmicas.

BORRADOR

2020 **Q. Evaluación e intervención de estructuras existentes**

2021 Se establece las condiciones del diseño estructural para la intervención de edificaciones existentes con
2022 el fin de repararlas o rehabilitarlas, resguardando la integridad del inmueble y la seguridad de sus
2023 ocupantes. En este capítulo, se entenderá por intervención estructural al conjunto de procedimientos
2024 destinados a la reparación y/o refuerzo de estructuras o elementos estructurales de una edificación.

2025 Además, se incluye las disposiciones para la elaboración de un diagnóstico, evaluación y posterior
2026 desarrollo de un proyecto de intervención estructural para edificaciones existentes.

2027 Los puntos principales por abordar en este tipo de proyectos son:

- 2028 • Recomendaciones para el desarrollo de la evaluación y análisis estructural: Levantamiento del
2029 estado estructural, inspección de la estructura, realización de ensayos, tipificación de daños,
2030 criterios de evaluación y cuantificación de los parámetros más importantes dentro de la estructura
2031 o elemento como son la pérdida de resistencia, rigidez y ductilidad, entre otras.
- 2032 • Recomendaciones generales para el proyecto estructural de reparación y/o refuerzo.

2033 **Q.1. Tipo de intervenciones generales**

2034 Las intervenciones se pueden clasificar entres tipos generales según su objetivo:

- 2035 a) **Reparación:** este proyecto debe ser realizado por un profesional competente y busca restituir a
2036 una estructura existente dañada al menos su capacidad resistente y su rigidez originales.
- 2037 b) **Reforzamiento:** este proyecto debe ser realizado por un profesional competente, y busca
2038 reforzar una estructura existente dañada a la que se le modifican sus características de modo de
2039 alcanzar un nivel de seguridad mayor que el original.
- 2040 c) **Adecuación:** este proyecto debe ser realizado por un profesional competente, y busca reforzar
2041 una estructura existente sin daños pero que requiere modificaciones por cambios de uso o
2042 destino, requiriendo que se modifiquen sus características para alcanzar un nivel de seguridad
2043 mayor que el original.

2044 **Q.2. Evaluación y diagnóstico**

2045 La evaluación estructural se realiza en estructuras dañadas producto de la degradación natural de los
2046 materiales o componentes, incertidumbre en su proceso constructivo y/o de cálculo, incrementos de
2047 carga de uso, desastres naturales u otros procesos o eventos que alteren su estado de servicio.

2048 Una de las primeras labores que deberá realizar el profesional competente, antes de un análisis más
2049 profundo, será la ejecución de una evaluación preliminar con el fin de cuantificar el nivel y severidad de
2050 los daños o deterioro de la estructura o elemento en cuestión. Para lo anterior, deberá revisar planos,
2051 datos de construcción, informes y otros documentos disponibles, teniendo en cuenta como mínimo:

- 2052 • Inspección visual y diagnóstico preliminar
- 2053 • Recopilación de antecedentes
- 2054 • Evaluación del entorno
- 2055 • Inspección, catastro y levantamiento de daños

2056

Q.2.1. Inspección visual y diagnóstico preliminar

2057
2058
2059
2060

Determinar la criticidad del daño en función de la estabilidad local o global de la estructura. En el caso de detectar daños que afecten la estabilidad, se deben tomar medidas urgentes, tales como evacuación, apuntalamiento, segregación, demoliciones parciales, etc. Se debe definir la magnitud y extensión del daño junto con la seguridad y/u operatividad de la estructura.

2061
2062
2063
2064

Para la elaboración del diagnóstico estructural es necesario realizar un levantamiento de información in situ, asociado a la observación, a las mediciones instrumentales y la elaboración de pruebas y ensayos (destruyentes y/o no destruyentes), con el fin de obtener parámetros objetivos para la modelación, el análisis y la evaluación posterior del desempeño sísmico de las estructuras.

2065

Estos levantamientos instrumentales se orientan a:

2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072

- Determinar las condiciones geométricas y deformaciones de las estructuras (desplomes, desniveles, asentamientos, distorsiones angulares, etc.)
- Diferenciar elementos estructurales y no estructurales, así como los sistemas constructivos que componen el inmueble.
- Caracterizar la resistencia de los elementos estructurales.
- Identificar los tipos de lesiones, daños y fallas estructurales, analizando el origen y causas de estos.

2073
2074

El Informe Diagnóstico debe incluir, además, los niveles de los daños observados, los criterios de intervención estructural y los procedimientos de análisis.

2075

Q.2.2. Recopilación de antecedentes

2076
2077
2078

El objetivo de esta actividad es recopilar la mayor cantidad posible de información de la obra considerando aspectos como la fecha de su construcción y condiciones de ejecución, daños previos, si los hubiera, intervenciones de refuerzos o reparación, etc.

2079

Dentro de los antecedentes a recopilar, se recomienda tener presente los siguientes documentos:

2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086

- Planos estructurales.
- Especificaciones técnicas.
- Memorias de cálculo.
- Informe de mecánica de suelos.
- Libro de obra o bitácora.
- Certificados de ensayos.
- Normativa de diseño vigente al momento de su construcción o permiso de edificación.

2087
2088
2089

En caso de no contar con antecedentes de la estructura original, se recomienda hacer un levantamiento detallado y sus planos estructurales, elaborar nuevos estudios de mecánica de suelos en conjunto con la toma de muestras de materiales, con sus respectivos ensayos.

2090

Q.2.3. Evaluación del entorno

2091
2092

Se recomienda el análisis de construcciones y/o terrenos aledaños a la estructura en estudio, los cuales podrían estar afectados por problemáticas similares, aportando algún antecedente adicional. Para lo

2093 anterior se deberán considerar condiciones geotécnicas, ambientales, daños por eventos naturales u
2094 otros evaluando su implicancia en el estudio desarrollado.

2095 **Q.2.4. Inspección, catastro y levantamiento de daños**

2096 Para una adecuada inspección, catastro y levantamiento de daños, se recomienda contar con una
2097 planimetría actualizada de las edificaciones en estudio. Los contenidos mínimos a desarrollar serán:

- 2098 • Levantamiento de daños; considerando el tipo de daño, el tipo de elemento y su ubicación,
2099 materialidad y magnitud del daño.
- 2100 • Registro fotográfico.

2101 **Q.3. Evaluación estructural**

2102 Se debe realizar una evaluación estructural si durante el diagnóstico preliminar se determina que un
2103 elemento existente, parte de una estructura o la totalidad de esta, presenta signos de deterioro,
2104 deficiencia estructural o comportamiento incompatible con los requisitos de diseño y documentos
2105 contractuales o con respecto a la normativa vigente al momento de la construcción.

2106 También se debe realizar una evaluación estructural cuando la información con la cual se dispone es
2107 insuficiente para determinar si un miembro, porción o la totalidad de la estructura existente, es capaz
2108 de soportar las cargas de diseño existentes o nuevas.

2109 Cuando se determine la reparación o refuerzo de algún elemento, parte de una estructura o la totalidad
2110 de esta, se debe determinar si otros elementos similares, con o sin daño, también requieren evaluación.

2111 Cuando sea necesario llevar a cabo la evaluación estructural, se deberán documentar las condiciones
2112 existentes, considerando:

- 2113 • La medición de las propiedades y dimensiones de los elementos estructurales
- 2114 • La presencia y el efecto de cualquier modificación al sistema estructural
- 2115 • Cargas, ocupación o uso diferente para el cual fue diseñado

2116 El profesional competente debe considerar posibles errores de diseño, dimensionamiento, diseño de
2117 detalles o ejecución de la estructura, o bien en el uso o mantenimiento de la construcción.

2118 Para detectar posibles errores en el proyecto se debe verificar el cumplimiento de la normativa vigente
2119 al momento de la construcción, determinando las cargas aplicadas que serán utilizadas en la evaluación
2120 de la estructura existente y en el diseño de la reparación y/o refuerzo.

2121 Los principales puntos para tener en cuenta para una edificación en estudio son:

- 2122 • Marco normativo para el diagnóstico.
- 2123 • Propiedades de los materiales.
- 2124 • Análisis estructural de las edificaciones.
- 2125 • Análisis estructural para el diseño de reparaciones y/o refuerzos.

2126 **Q.4. Tipo de medidas de intervención estructural**

2127 El proyecto deberá proponer opciones de intervención para mejorar el comportamiento estructural de
2128 la edificación. Para esto último, el sistema resistente debe proporcionar un nivel adecuado de
2129 redundancia, de modo que cualquier falla local no genere un colapso total o inestabilidad de la
2130 estructura.

2131 **Q.4.1. Modificación local de componentes**

2132 Esta intervención puede ser aplicada cuando la estructura globalmente presenta rigidez y resistencia
2133 suficiente, pero algunos componentes no son suficientemente resistentes o dúctiles para alcanzar el
2134 comportamiento esperado.

2135 **Q.4.2. Aumento de rigidez lateral de la estructura**

2136 Esta intervención puede ser aplicada si la evaluación de la estructura en su condición actual muestra
2137 deficiencias atribuibles a deformaciones laterales excesivas y los componentes sismorresistentes
2138 críticos no poseen adecuada ductilidad para absorber dichas deformaciones.

2139 **Q.4.3. Refuerzo de la estructura**

2140 Esta intervención puede ser aplicada cuando la evaluación de la estructura en su condición actual
2141 muestra un comportamiento inaceptable atribuible a falta de resistencia. Lo anterior se observa cuando
2142 se presentan comportamientos inelásticos en sismos de baja magnitud.

2143 **Q.4.4. Reducción de masa**

2144 Esta intervención puede ser aplicada si la evaluación de la estructura en su condición actual muestra
2145 deficiencias atribuibles al exceso de masa, flexibilidad o limitada resistencia global de la estructura.

2146 **Q.4.5. Implementación de sistemas de aislación sísmica**

2147 Esta intervención puede ser aplicada en estructuras de alto valor estratégico o patrimonial donde la
2148 evaluación de la edificación en su condición actual muestra deficiencias atribuibles al exceso de cargas
2149 sísmicas o demandas de deformación. También resulta necesaria cuando se requiere proteger
2150 contenidos interiores de la edificación

2151 **Q.4.6. Implementación de sistemas de disipación de energía** 2152 **suplementarios**

2153 Esta intervención debe ser aplicada cuando la evaluación muestre deficiencias atribuibles a la
2154 deformación excesiva producto de la deficiente rigidez del edificio.

2155 El proyecto de reparación y/o refuerzo que incorpore nuevos elementos resistentes a la estructura
2156 deberá considerar la interacción de esta con el elemento adicionado, además deberá asegurar que el
2157 nuevo sistema estructural creado, ante cualquier solicitación, sea capaz de transferir las cargas entre
2158 el elemento existente y el material o sistema de reparación.

2159 **Q.5. Estabilización de la estructura**

2160 Antes de iniciar las obras de reparación y/o refuerzo, se deberá evaluar la necesidad de apuntalar o
2161 sostener la estructura existente, con el fin de mantener la estabilidad estructural global y de cada
2162 elemento. Esta evaluación deberá considerar el efecto de las modificaciones debido a las obras de
2163 reparación y/o refuerzo. Los apuntalamientos y/o soportes temporales para los elementos existentes,
2164 dañados o no, deben ser diseñados por el profesional competente. Estos, cuando sean necesarios,
2165 deberán estar presentes durante todas las etapas del proyecto de reparación y/o refuerzo, debiendo
2166 considerar la redistribución de cargas que se producto de dichos apuntalamientos.

2167 **Q.6. Monitoreo de las estructuras cercanas**

2168 Cualquier ejecución de una estructura nueva o bien una intervención que transmita vibraciones, debe
2169 ser monitoreada con el objetivo de no afectar a estructuras cercanas. En el caso de que estas puedan
2170 verse afectadas por la ejecución o bien la intervención de la estructura in situ, se deben diseñar medidas
2171 preventivas para garantizar su estabilidad y seguridad.

2172 Antes de iniciar las obras, se deberá determinar si es necesario monitorear las estructuras cercanas
2173 para asegurar que no se ven afectadas.

2174 Se deberán considerar al menos los siguientes aspectos:

- 2175 • Levantamiento de daños de estructuras aledañas antes de llevar a cabo las obras.
- 2176 • Definir las zonas de interés donde se debe llevar a cabo el control de vibraciones.
- 2177 • Control de fisuras y grietas con reglas o fisurómetros.
- 2178 • Definición de cantidad y ubicación de acelerómetros.
- 2179 • El establecimiento de una línea base de vibraciones.
- 2180 • Definición de umbrales con semaforización para detención de faenas, al menos en tres
2181 condiciones por rangos de valores peak medidos y su criterio de representación (promedio u
2182 otro).
- 2183 • Definir condición de alertas en base a número de acelerómetros que excedan el umbral de alerta.
- 2184 • Control de desplazamientos en puntos más desfavorables.
- 2185 • Mecanismos de intervención y control de estructuras aledañas para la reanudación de las faenas.

2186 **R. Anexos**

2187 **R.1. Anexo 1: Mapas de zonificación sísmica**

2188 **R.2. Anexo 2: Cuantificación y caracterización de amenaza sísmica**

2189 **R.3. Anexo 3: Espectros de diseño sísmico**

BORRADOR