

DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS

Enrique Bazán Zurita
Roberto Meli Piralla



LIMUSA

Contenido

DEDICATORIA 5

AGRADECIMIENTOS 7

PRÓLOGO 9

INTRODUCCIÓN 11

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN A LA SISMOLOGÍA Y A LA INGENIERÍA SÍSMICA 25

1.1 SISMOLOGÍA Y PELIGRO SÍSMICO 25

1.1.1 *Causas y efectos de los sismos* 25

1.1.2 *Movimientos sísmicos del terreno* 28

1.1.3 *Peligro sísmico* 36

1.1.4 *Efectos locales y microzonificación* 41

1.2 EFECTOS SÍSMICOS EN LOS EDIFICIOS 42

1.2.1 *Características de la acción sísmica* 42

1.2.2 *Respuesta de los edificios a la acción sísmica* 44

1.2.3 *Daños estructurales más comunes* 48

1.3 CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO SÍSMICO 52

1.3.1 *Objetivos del diseño sísmico* 52

1.3.2 *Aspectos principales del diseño sísmico* 53

1.3.3 *Enfoques de diseño sísmico* 55

1.4 USO DE COMPUTADORAS EN ANÁLISIS Y DISEÑO SÍSMICO 56

1.5 REFERENCIAS 58

CAPÍTULO 2 ANÁLISIS ESTÁTICO DE ESTRUCTURAS 61

2.1 MÉTODO DE RIGIDECES 62

2.1.1 *Modelos estructurales* 62

2.1.2 *Conceptos básicos* 63

2.1.3 *Viga recta* 70

2.1.4 *Barra recta* 74

2.2 MARCOS PLANOS 75

2.2.1 *Método directo de rigideces* 75

2.2.2 *Edificios de cortante* 84

2.3 SISTEMAS PLANOS CON MUROS 86

2.3.1 *Método de la columna ancha* 86

13

Contenido

2.3.2 *Marcos contraventeados* 90

2.3.3 *Muros confinados por marcos* 91

2.4 ANÁLISIS TRIDIMENSIONAL DE EDIFICIOS FORMADOS
POR SISTEMAS MARCOMURO

95

2.4.1 *Edificios con pisos rígidos en planta* 96

2.4.2 *Ejemplo* 99

2.4.3 *Programas para análisis tridimensional de edificios
con pisos rígidos en su plano* 102

2.5 MÉTODO DEL ELEMENTO FINITO 104

2.5.1 *Relaciones esfuerzodeformación*

104

2.5.2 *Elemento finito barra* 105

2.5.3 *Elemento finito viga* 109

2.5.4 *Elementos planos* 113

2.5.5 *Elementos de mayor uso definidos en programas comerciales* 115

2.5.6	Modelos de sistemas estructurales	118
2.6	ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL	120
2.6.1	No linealidad del material	120
2.6.2	Ejemplo de análisis no lineal	121
2.6.3	No linealidad geométrica e inestabilidad	124
2.6.4	No linealidad geométrica ante fuerzas laterales	125
2.7	NOTAS SOBRE MODELOS ANALÍTICOS	127
2.7.1	Representación de propiedades inerciales	128
2.7.2	Refinamiento del modelo estructural	128
2.7.3	Nudos finitos	129
2.7.4	Métodos aproximados	130
2.8	REFERENCIAS	130
	APÉNDICE A MÉTODOS APROXIMADOS	133
A.1	MÉTODO DE BOWMAN	133
A.2	FÓRMULAS DE WILBUR	138
A.3	MÉTODO DE MACLEOD	142
A.4	REFERENCIAS	144
	CAPÍTULO 3 CONCEPTOS DE DINÁMICA ESTRUCTURAL	145
3.1	GRADOS DE LIBERTAD DINÁMICOS	145
3.2	SISTEMAS LINEALES DE UN GRADO DE LIBERTAD	148
3.2.1	Descripción y ecuación de equilibrio dinámico	148
3.2.2	Vibraciones libres	150
3.2.3	Respuesta a movimientos del terreno	152
3.2.4	Respuesta a movimiento armónico del terreno	152
3.2.5	Ejemplo 3.1	153
3.2.6	Análisis paso a paso, método β de Newmark	154
3.2.7	Espectro de respuesta elástico	159
3.3	SISTEMAS LINEALES PLANOS DE VARIOS GRADOS DE LIBERTAD	161
3.3.1	Ecuaciones de equilibrio dinámico	161
3.3.2	Vibraciones libres no amortiguadas	163
3.3.3	Frecuencias y modos de vibración	164
3.3.4	Ejemplo 3.2	165
14	<i>Diseño sísmico de estructuras</i>	
3.3.5	Ejemplo 3.3	168
3.3.6	Ejemplo 3.4	169
3.3.7	Ejemplo 3.5	172
3.3.8	Ejemplo 3.6	173
3.4	CÁLCULO NUMÉRICO DE MODOS Y FRECUENCIAS DE VIBRAR	174
3.4.1	Método de iteración inversa	174
3.4.2	Ejemplo 3.7	175
3.5	RESPUESTA A TEMBLORES DE ESTRUCTURAS SIN TORSIÓN	177
3.5.1	Análisis modal	177
3.5.2	Modos ortonormales	180
3.5.3	Ejemplo 3.8	181
3.5.4	Ejemplo 3.9	183
3.6	ANÁLISIS DINÁMICO TRIDIMENSIONAL DE EDIFICIOS	185
3.6.1	Ecuaciones de equilibrio dinámico	186
3.6.2	Análisis modal	187
3.6.3	Ejemplo 3.10	188
3.6.4	Ejemplo 3.11	190
3.6.5	Análisis paso a paso	192
3.7	ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTRUCTURAS TRIDIMENSIONALES	193
3.7.1	Estimación de masas	194

3.7.2	<i>Estimación del amortiguamiento</i>	196
3.8	ANÁLISIS NO LINEAL	197
3.8.1	<i>Ecuaciones de movimiento</i>	197
3.8.2	<i>Solución analítica</i>	198
3.8.3	<i>Análisis paso a paso</i>	199
3.8.4	<i>Espectro de respuesta inelástico</i>	200
3.9	COMENTARIOS Y OBSERVACIONES	202
3.10	REFERENCIAS	204
CAPÍTULO 4 INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA 207		
4.1	CONCEPTOS BÁSICOS	207
4.1.1	<i>Descripción</i>	207
4.1.2	<i>Disposiciones reglamentarias</i>	208
4.1.3	<i>Ecuaciones de movimiento</i>	209
4.1.4	<i>Propiedades dinámicas</i>	213
4.1.5	<i>Rigideces equivalentes del sistema suelo-cimentación</i>	214
4.1.6	<i>Rigideces equivalentes de cimentaciones con pilotes</i>	215
4.1.7	<i>Rigidez del suelo</i>	216
4.1.8	<i>Amortiguamientos equivalentes del sistema suelo-cimentación</i>	217
4.1.9	<i>Edificios con zapatas aisladas</i>	218
4.2	EFFECTOS DE LA INTERACCIÓN EN LA RESPUESTA SÍSMICA	219
4.2.1	<i>Sistemas estructurales elásticos con interacción</i>	219
4.2.2	<i>Sistemas inelásticos sobre base rígida</i>	220
4.2.3	<i>Sistemas inelásticos sobre base flexible</i>	221
4.3	INTERACCIÓN SUELOESTRUCTURA EN LAS NTCDS	223
4.3.1	<i>Excepción</i>	223
4.3.2	<i>Constantes de rigidez y amortiguamiento</i>	224
4.3.3	<i>Ejemplo</i>	224
<i>Contenido</i> 15		
4.3.4	<i>Desplazamientos laterales</i>	225
4.3.5	<i>Periodo y amortiguamiento efectivos</i>	226
4.3.6	<i>Cortante basal</i>	227
4.4	INTERACCIÓN SUELOESTRUCTURA EN EL MDOC 2015	228
4.4.1	<i>Modelo del sistema sueloestructura</i>	229
4.4.2	<i>Acción sísmica</i>	230
4.4.3	<i>Parámetros de ISE</i>	232
4.5	INTERACCIÓN SUELOESTRUCTURA EN EL ASCE 716	233
4.5.1	<i>Interacción sueloestructura en el análisis sísmico estático</i>	234
4.5.2	<i>Interacción sueloestructura en el análisis modal espectral</i>	235
4.6	INTERACCIÓN SUELOESTRUCTURA EN EL EUROCÓDIGO	235
4.7	MÉTODOS ESPECIALIZADOS PARA ANÁLISIS DE ISE	236
4.7.1	<i>Normas del ASCE 416</i>	237
4.7.2	<i>Método directo</i>	237

4.7.3	<i>Análisis en el dominio de frecuencias</i>	238
4.8	MÉTODO DE REDUCCIÓN DEL DOMINIO (MRD)	238
4.8.1	<i>Descripción</i>	238
4.8.2	<i>Implementación del MRD en programas de elementos finitos</i>	241
4.8.3	<i>Fronteras absorbentes</i>	243
4.8.4	<i>Fuerzas efectivas</i>	243
4.8.5	<i>Modelo combinado de la estructura y el suelo</i>	244
4.8.6	<i>Verificación del movimiento de campo libre</i>	244
4.8.7	<i>Resultados</i>	245
4.9	REFERENCIAS	246
	CAPÍTULO 5 PROPIEDADES DE MATERIALES Y SISTEMAS ESTRUCTURALES QUE DEFINEN LA RESPUESTA SÍSMICA DE EDIFICIOS	249
5.1	ALCANCE	249
5.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS EDIFICIOS QUE DEFINEN LA RESPUESTA A SISMOS	250
5.2.1	<i>Conceptos generales</i>	250
5.2.2	<i>Periodo natural de vibración</i>	250
5.2.3	<i>Nivel de respuesta sísmica</i>	252
5.2.4	<i>Amortiguamiento viscoso</i>	253
5.2.5	<i>Comportamiento inelástico</i>	254
5.3	CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	256
5.3.1	<i>Propiedades relevantes</i>	256
5.3.2	<i>Concreto</i>	256
5.3.3	<i>Acero</i>	259
5.3.4	<i>Mampostería</i>	260
5.3.5	<i>Madera</i>	262
5.4	COMPORTAMIENTO DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS ESTRUCTURALES	263
5.4.1	<i>Vigas y columnas de concreto reforzado</i>	263
5.4.2	<i>Uniones vigacolumna de concreto reforzado</i>	265
5.4.3	<i>Muros de concreto</i>	267
5.4.4	<i>Vigas y columnas de acero estructural</i>	268
5.4.5	<i>Conexiones vigacolumna de acero</i>	270
16	<i>Diseño sísmico de estructuras</i>	
5.4.6	<i>Contravientos de acero</i>	271
5.4.7	<i>Muros de mampostería</i>	272
5.4.8	<i>Paredes de madera</i>	276
5.5	COMPORTAMIENTO DE SISTEMAS ESTRUCTURALES	276
5.5.1	<i>Respuesta no lineal de sistemas</i>	276
5.5.2	<i>Medidas de la respuesta no lineal de sistemas</i>	277
5.5.3	<i>Relación entre ductilidad de un elemento y ductilidad de una sección</i>	278
5.5.4	<i>Relación entre ductilidad de entrepiso y ductilidad de la sección crítica</i>	280
5.5.5	<i>Relación entre la ductilidad global de un marco y la ductilidad local de la sección crítica</i>	282
5.6	PROPIEDADES MECÁNICAS Y GEOMÉTRICAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO	284
5.6.1	<i>Propiedades inerciales</i>	285
5.6.2	<i>Propiedades mecánicas del concreto</i>	285
5.6.3	<i>Propiedades del acero</i>	287
5.6.4	<i>Propiedades mecánicas de la mampostería</i>	287
5.6.5	<i>Propiedades de diagonales</i>	288

5.6.6	<i>Propiedades geométricas de elementos de concreto</i>	288
5.6.7	<i>Amortiguamiento viscoso</i>	291
5.7	REFERENCIAS	292
CAPÍTULO 6 CRITERIOS DE ESTRUCTURACIÓN DE EDIFICIOS 293		
6.1	IMPORTANCIA DE LA CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL EN EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO	293
6.2	CARACTERÍSTICAS DEL EDIFICIO RELEVANTES PARA EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO	294
6.2.1	<i>Peso</i>	294
6.2.2	<i>Forma del edificio en planta</i>	295
6.2.3	<i>Forma del edificio en elevación</i>	298
6.2.4	<i>Separación entre edificios adyacentes</i>	300
6.3	REQUISITOS BÁSICOS DE ESTRUCTURACIÓN	301
6.4	REQUISITOS ESPECÍFICOS DE ESTRUCTURACIÓN	303
6.5	VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES BÁSICOS	309
6.5.1	<i>Marcos</i>	309
6.5.2	<i>Sistemas tipo cajón</i>	310
6.5.3	<i>Marcos rigidizados</i>	311
6.5.4	<i>Otros sistemas</i>	311
6.6	SISTEMAS DE PISO Y TECHO. DIAFRAGMAS HORIZONTALES	315
6.7	CIMENTACIONES	319
6.8	REFERENCIAS	324
CAPÍTULO 7 PRESCRIPCIONES REGLAMENTARIAS SOBRE LA DEMANDA SÍSMICA DE DISEÑO 325		
7.1	CONCEPTOS QUE AFECTAN LA DEMANDA SÍSMICA DE DISEÑO	325
7.1.1	<i>Peligro sísmico</i>	326
7.1.2	<i>Espectro de diseño en roca</i>	327
	<i>Contenido</i>	17
7.1.3	<i>Efectos de sitio</i>	327
7.1.4	<i>Importancia de las estructuras</i>	328
7.1.5	<i>Respuesta inelástica dúctil</i>	328
7.1.6	<i>Sobrerresistencia</i>	328
7.1.7	<i>Torsión sísmica</i>	329
7.1.8	<i>Componentes espaciales del temblor</i>	329
7.1.9	<i>Control de desplazamientos laterales</i>	330
7.1.10	<i>Combinaciones de carga</i>	330
7.1.11	<i>Efectos de segundo orden</i>	331
7.1.12	<i>Regularidad y métodos de análisis sísmico</i>	331
7.1.13	<i>Interacción sueloestructura</i>	332
7.1.14	<i>Conceptos adicionales</i>	332
7.2	NORMAS PARA DISEÑO POR SISMO DE LA CIUDAD DE MÉXICO	333
7.2.1	<i>Peligro sísmico y espectro básico de diseño</i>	333
7.2.2	<i>Efectos de sitio</i>	335
7.2.3	<i>Clasificación de las estructuras según su importancia</i>	336
7.2.4	<i>Respuesta inelástica dúctil y distorsiones permisibles</i>	336
7.2.5	<i>Sobrerresistencia</i>	340
7.2.6	<i>Torsión sísmica</i>	341
7.2.7	<i>Condiciones de servicio</i>	341
7.2.8	<i>Componentes del temblor</i>	342
7.2.9	<i>Interacción sueloestructura</i>	342
7.2.10	<i>Combinaciones de carga</i>	342
7.2.11	<i>Requisitos adicionales</i>	344

7.3	MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES	345
7.3.1	<i>Peligro sísmico y espectros de diseño en roca</i>	345
7.3.2	<i>Clasificación de las estructuras</i>	346
7.3.3	<i>Espectros de diseño</i>	347
7.3.4	<i>Consideración de la importancia de las estructuras</i>	348
7.3.5	<i>Efectos de sitio</i>	348
7.3.6	<i>Consideración de la ductilidad</i>	350
7.3.7	<i>Sobrerresistencia y redundancia</i>	351
7.3.8	<i>Factor de amortiguamiento</i>	352
7.3.9	<i>Métodos de análisis sísmico</i>	353
7.3.10	<i>Interacción sueloestructura</i>	354
7.3.11	<i>Revisión de desplazamientos</i>	354
7.4	REGLAMENTO DE LA SOCIEDAD AMERICANA DE INGENIERÍA CIVIL	355
7.4.1	<i>Peligro sísmico</i>	355
7.4.2	<i>Temblo máximo considerado y efectos de sitio</i>	356
7.4.3	<i>Importancia de las estructuras</i>	357
7.4.4	<i>Ductilidad, sobrerresistencia y amplificación de desplazamientos</i>	358
7.4.5	<i>Categorías de diseño sísmico</i>	359
7.4.6	<i>Componente vertical del temblor</i>	360
7.4.7	<i>Revisión de desplazamientos</i>	361
7.4.8	<i>Interacción sueloestructura</i>	362
7.5	REGLAMENTO DE LA UNIÓN EUROPEA	363
7.5.1	<i>Peligro sísmico</i>	363
7.5.2	<i>Espectro de diseño básico</i>	364
7.5.3	<i>Efectos de sitio</i>	365
18	<i>Diseño sísmico de estructuras</i>	
7.5.4	<i>Importancia de las estructuras</i>	366
7.5.5	<i>Consideración del comportamiento inelástico</i>	366
7.5.6	<i>Verificación de desplazamientos laterales</i>	368
7.5.7	<i>Torsión sísmica</i>	369
7.5.8	<i>Componente vertical del temblor</i>	369
7.5.9	<i>Componentes del movimiento del terreno</i>	369
7.5.10	<i>Interacción sueloestructura</i>	369
7.6	REFERENCIAS	370
	CAPÍTULO 8 ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO	371
8.1	CONCEPTOS REGLAMENTARIOS SOBRE EL MÉTODO ESTÁTICO	372
8.1.1	<i>Aplicabilidad</i>	372
8.1.2	<i>Valor aproximado del periodo fundamental de vibración</i>	372
8.1.3	<i>Distribución de la cortante basal en altura</i>	373
8.1.4	<i>Ejemplo 8.1</i>	373
8.1.5	<i>Excentricidades torsionales</i>	376
8.1.6	<i>Edificios con sistemas resistentes ortogonales</i>	376
8.1.7	<i>Ejemplo 8.2</i>	378
8.1.8	<i>Cálculo matricial de momentos torsionantes</i>	380
8.1.9	<i>Ejemplo 8.3</i>	382
8.1.10	<i>Revisión de desplazamientos y efectos de segundo orden</i>	384
8.1.11	<i>Momentos de volteo</i>	385
8.1.12	<i>Componentes múltiples del movimiento del terreno</i>	385
8.1.13	<i>Distribución matricial de fuerzas sísmicas de estructuras con diafragmas rígidos</i>	386

8.2 MÉTODO ESTÁTICO EN LAS NTCDS DEL RCCM	387
8.2.1 <i>Aplicabilidad</i>	387
8.2.2 <i>Fuerzas sísmicas sin estimar el periodo fundamental</i>	389
8.2.3 <i>Fuerzas sísmicas aproximando el periodo fundamental</i>	389
8.2.4 <i>Edificio tratado de la figura 8.1</i>	390
8.2.5 <i>Edificio con apéndices</i>	391
8.2.6 <i>Efectos de torsión</i>	394
8.2.7 <i>Ejemplo 8.4</i>	394
8.2.8 <i>Péndulos invertidos</i>	397
8.2.9 <i>Verificación de desplazamientos</i>	398
8.2.10 <i>Ejemplo 8.5</i>	399
8.2.11 <i>Momentos de volteo</i>	399
8.3 MÉTODO ESTÁTICO EN EL MDOC 2015	399
8.3.1 <i>Aplicabilidad</i>	399
8.3.2 <i>Fuerzas sísmicas sin estimar T_e</i>	401
8.3.3 <i>Fuerzas sísmicas estimando T_e</i>	401
8.3.4 <i>Momentos torsionantes</i>	402
8.3.5 <i>Efectos combinados de los movimientos del terreno</i>	402
8.3.6 <i>Ejemplo 8.6</i>	402
8.3.7 <i>Momentos de volteo</i>	405
8.3.8 <i>Ejemplo 8.7</i>	405
8.3.9 <i>Efectos de segundo orden</i>	406
8.3.10 <i>Componente vertical del temblor</i>	406
Contenido	19
8.3.11 <i>Ejemplo 8.8</i>	407
8.3.12 <i>Método simplificado de análisis sísmico</i>	407
8.3.13 <i>Péndulos invertidos</i>	408
8.3.14 <i>Chimeneas y silos</i>	409
8.3.15 <i>Ejemplo 8.9</i>	410
8.3.16 <i>Estructuras fabriles</i>	412
8.3.17 <i>Torsión accidental y momentos de volteo</i>	415
8.3.18 <i>Revisión de estados límite</i>	415
8.4 ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO EN EL EUROCÓDIGO	416
8.4.1 <i>Aplicabilidad</i>	416
8.4.2 <i>Aproximación del periodo fundamental</i>	417
8.4.3 <i>Cortante basal</i>	417
8.4.4 <i>Distribución de la cortante basal en altura</i>	417
8.4.5 <i>Torsión</i>	418
8.4.6 <i>Efectos de segundo orden</i>	418
8.4.7 <i>Ejemplo 8.10: edificio de concreto</i>	418
8.4.8 <i>Ejemplo 8.11: edificio a base de marcos de acero</i>	424
8.5 ANÁLISIS SÍSMICO ESTÁTICO EN EL ASCE 716	427
8.5.1 <i>Aplicabilidad</i>	427
8.5.2 <i>Irregularidades horizontales en el ASCE 716</i>	427
8.5.3 <i>Irregularidades verticales en el ASCE 716</i>	428
8.5.4 <i>Torsión accidental</i>	428
8.5.5 <i>Aproximación del periodo fundamental y distribución de fuerzas en altura</i>	429
8.5.6 <i>Efectos de segundo orden</i>	429
8.5.7 <i>Otras prescripciones</i>	430

8.6	COMENTARIOS	430
8.7	REFERENCIAS	432
	CAPÍTULO 9 ANÁLISIS SÍSMICO DINÁMICO	433
9.1	TIPOS DE ANÁLISIS DINÁMICO	433
9.2	ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL	435
9.3	ESTRUCTURAS TRIDIMENSIONALES SOBRE BASE RÍGIDA	436
9.3.1	<i>Ecuaciones de movimiento</i>	436
9.3.2	<i>Ejemplo 9.1</i>	437
9.3.3	<i>Ejemplo 9.2</i>	439
9.3.4	<i>Respuesta sísmica modal</i>	439
9.3.5	<i>Número de modos a considerar</i>	440
9.3.6	<i>Ejemplo 9.3</i>	441
9.3.7	<i>Combinación de respuestas modales máximas</i>	445
9.3.8	<i>Combinación de respuestas a las componentes del temblor</i>	447
9.3.9	<i>Revisión por cortante basal</i>	448
9.4	ESTRUCTURAS PLANAS DE VARIOS PISOS	448
9.4.1	<i>Aplicabilidad</i>	448
9.4.2	<i>Estructura tratada en la sección 3.3.4</i>	449
9.4.3	<i>Ejemplo</i>	453
9.5	ANÁLISIS MODAL TRIDIMENSIONAL DE EDIFICIOS CON DIAFRAGMAS RÍGIDOS	458
20	<i>Diseño sísmico de estructuras</i>	
9.5.1	<i>Factores de participación</i>	458
9.5.2	<i>Efectos de torsión</i>	458
9.5.3	<i>Combinación de respuestas modales</i>	459
9.5.4	<i>Edificio de un piso</i>	459
9.6	ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL EN LAS NTDS	463
9.6.1	<i>Aplicabilidad</i>	463
9.6.2	<i>Combinación de respuestas modales y de componentes espaciales del sismo</i>	463
9.6.3	<i>Revisión por cortante basal</i>	464
9.6.4	<i>Ejemplo: edificio de varios pisos</i>	464
9.6.5	<i>Péndulos invertidos</i>	471
9.6.6	<i>Ejemplo</i>	471
9.7	ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL EN EL MDOC 15	474
9.7.1	<i>Edificios</i>	474
9.7.2	<i>Chimeneas</i>	474
9.7.3	<i>Ejemplo: torre tipo chimenea</i>	475
9.7.4	<i>Estructuras industriales</i>	479
9.7.5	<i>Verificación de estados límite</i>	479
9.8	ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL EN EL EUROCÓDIGO 8	480
9.8.1	<i>Efectos de torsión</i>	480
9.8.2	<i>Componente vertical del sismo</i>	480
9.8.3	<i>Ejemplo: edificio de concreto</i>	481
9.8.4	<i>Efectos de segundo orden</i>	485
9.8.5	<i>Ejemplo: edificio a base de marcos de acero</i>	486
9.9	ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL EN EL ASCE16	487
9.9.1	<i>Generalidades</i>	487
9.9.2	<i>Combinación de respuestas modales y a distintas componentes del temblor</i>	488
9.9.3	<i>Requisitos relacionados con desplazamientos</i>	488
9.10	COMENTARIOS Y OBSERVACIONES	489

9.11 REFERENCIAS 490

CAPÍTULO 10 DIMENSIONAMIENTO Y DETALLADO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES 491

10.1 ASPECTOS GENERALES 491

10.2 ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO 492

10.2.1 Introducción 492

10.2.2 Materiales 492

10.2.3 Requisitos para vigas 493

10.2.4 Requisitos para columnas 499

10.2.5 Resistencia mínima a flexión de columnas 500

10.2.6 Uniones columnaviga

506

10.2.7 Requisitos para losas planas 509

10.2.8 Requisitos para muros 511

10.2.9 Requisitos para diafragmas 515

10.2.10 Requisitos para uniones del refuerzo 518

10.3 REQUISITOS PARA ESTRUCTURAS DE ACERO 519

10.3.1 Conceptos generales para estructuras dúctiles 519

10.3.2 Material 520

10.3.3 Marcos rígidos de acero 521

Contenido 21

10.3.4 Marcos rígidos de ductilidad alta 527

10.3.5 Marcos con contraventeos excéntricos de ductilidad alta (MCE) 527

10.3.6 Marcos con contraventeos restringidos contra el pandeo de ductilidad alta (MCRP) 530

10.4 ESTRUCTURAS A BASE DE MUROS DE MAMPOSTERÍA 534

10.4.1 Consideraciones generales 534

10.4.2 Mampostería confinada 537

10.4.3 Mampostería reforzada 540

10.4.4 Muros diafragma 542

10.4.5 Resistencia a flexocompresión y cortante de muros de mampostería en su plano 543

10.4.6 Modelación estructural de la mampostería 544

10.5 COMENTARIOS 549

10.6 REFERENCIAS 550

CAPÍTULO 11 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES 551

11.1 CONCEPTOS GENERALES 551

11.2 MÉTODOS DE DISEÑO 553

11.3 DETALLES PARA AISLAR ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS 557

11.4 EQUIPO E INSTALACIONES 563

11.5 REFERENCIAS 564

CAPÍTULO 12 DISPOSITIVOS ESPECIALES PARA MITIGAR LA RESPUESTA SÍSMICA 565

12.1 INTRODUCCIÓN 565

12.2 AISLAMIENTO SÍSMICO 566

12.2.1 Conceptos generales 566

12.2.2 Tipos de aisladores 568

12.2.3 Curva cargadeformación lateral 571

12.2.4 Efecto en la respuesta sísmica 572

12.2.5 Desplazamientos laterales 573

12.3 DISIPADORES DE ENERGÍA 575

12.3.1 Conceptos generales 575

12.3.2 Tipos de disipadores 576

12.3.3 Curva cargadeformación

lateral **576**

12.3.4 Efecto en la respuesta sísmica **577**

12.4 VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL **578**

12.5 MÉTODOS DE ANÁLISIS SÍSMICO **579**

12.5.1 Análisis estático lineal **581**

12.5.2 Análisis modal espectral **581**

12.5.3 Análisis estático no lineal **582**

12.5.4 Análisis paso a paso no lineal **583**

12.6 LITERATURA TÉCNICA **583**

12.6.1 Aislamiento sísmico de un hospital en Perú **584**

12.6.2 Edificio prefabricado aislado sísmicamente en la Ciudad de México **585**

12.6.3 Uso de disipadores de energía sísmica en México **587**

12.6.4 Investigación sobre disipadores en México **588**

22 Diseño sísmico de estructuras

12.6.5 Recapitación sísmica de la torre del aeropuerto de Lima **590**

12.6.6 Estudio comparativo **592**

12.7 NOTAS Y COMENTARIOS **594**

12.7.1 Reglamentos y guías **594**

12.7.2 Otros documentos técnicos **595**

12.7.3 Etapas de diseño **596**

12.7.4 Comentarios **599**

12.8 REFERENCIAS **600**

CAPÍTULO 13 ENFOQUES Y MÉTODOS ACTUALIZADOS DE DISEÑO SÍSMICO **603**

13.1 INTRODUCCIÓN **603**

13.2 ANÁLISIS SÍSMICO NO LINEAL **604**

13.2.1 Generalidades **604**

13.2.2 Análisis estáticos no lineales **605**

13.2.3 Análisis no lineal paso a paso **607**

13.2.4 Análisis dinámico no lineal en los reglamentos de construcción **609**

13.3 DISEÑO POR DESEMPEÑO **610**

13.3.1 Enfoque **610**

13.3.2 Objetivos de desempeño **611**

13.3.3 Procedimientos de análisis y diseño **612**

13.3.4 Niveles de amenaza sísmica **612**

13.4 ENFOQUES PROBABILÍSTICOS **613**

13.4.1 Incertidumbres **613**

13.4.2 Un enfoque básico **615**

13.4.3 Análisis probabilístico en el ASCE **416**

616

13.4.4 Simulación de Montecarlo **618**

13.4.5 Ejemplo de análisis probabilístico **620**

13.5 ESTRUCTURAS EXISTENTES **623**

13.5.1 Conceptos generales **623**

13.5.2 Prescripciones reglamentarias **625**

13.6 REFERENCIAS **627**