

CONTENIDO

Símbolos y variables	xv
Siglas	xviii
Figuras	xix
Prefacio	xxiii

1 | Historia

1.1	Edad antigua y media	1
1.2	Épocas precolombinas (antes del siglo XVI)	2
1.3	Renacimiento (siglo XVII)	3
1.3.1	El sismo de Lisboa en el Siglo de las Luces (siglo XVIII)	4
1.4	Nacimiento de la ciencia de los terremotos (siglo XIX)	5
1.5	Siglo XX	6
1.5.1	Estudio de las edificaciones sometidas a sismos	7
1.6	Siglo XXI	8
1.7	Referencias	8

2 | Tierra

2.1	Origen	9
2.2	Edad	10
2.2.1	Cálculos iniciales	10
2.2.2	Reloj radiométrico	12
2.2.3	Geocronología	13
2.3	Forma	14
2.3.1	Gravedad terrestre	15
2.4	Interior	15
2.4.1	Corteza terrestre	16
2.5	Calor	17
2.5.1	Fuentes de calor	18
2.6	Magnetización terrestre	19
2.6.1	Origen del campo magnético	19
2.6.2	Variaciones del campo magnético	20
2.7	Placas tectónicas	20
2.7.1	Isostasia	21
2.7.1.1	Gravimetría	22
2.8	Movimiento de los continentes	23

2.8.1	Estudios iniciales	24
2.8.1.1	<i>Paleontología</i>	24
2.8.1.2	<i>Nuestros continentes errantes</i>	26
2.8.2	Comprobaciones geológicas y de otro tipo	26
2.9	Magnetización de rocas	27
2.9.1	Paleomagnetismo	27
2.10	Dorsales marinas (creación de corteza)	29
2.10.1	Aglomerando ciencias	29
2.11	Subducción (destrucción de corteza)	31
2.12	Deriva continental (teoría unificada)	32
2.12.1	Velocidad del proceso y comprobación final	33
2.12.2	Otros límites de placas	35
2.12.3	El ciclo de Wilson	36
2.12.4	Cronología de los movimientos continentales	37
2.13	Referencias	39

3 | Origen

3.1	Definiciones	41
3.2	Mecanismos tectónicos	41
3.2.1	Rebote elástico	43
3.2.2	Epicentro y ruptura	44
3.2.3	Fallas locales y superficiales	46
3.2.4	El doble par	47
3.2.5	Mecanismo focal	48
3.2.6	Longitud de ruptura	50
3.2.7	Construcción del movimiento (aglomerando ondas)	51
3.2.7.1	<i>Función de momento e incertidumbres</i>	53
3.2.8	Duración del sismo	54
3.2.9	Fallas vinculadas a los sismos	55
3.2.9.1	<i>Resistencia y mecanismo de fractura</i>	56
3.2.10	Profundidad de los sismos tectónicos	58
3.2.11	Réplicas y otros	59
3.2.11.1	<i>Tasa de réplicas</i>	60
3.2.11.2	<i>Distribución de réplicas</i>	61
3.2.11.3	<i>Casos especiales</i>	62
3.2.11.4	<i>Premonitorios</i>	62
3.2.12	Actividad de subducción	63
3.2.13	Brechas sísmicas	64
3.2.14	Energía tectónica liberada	66
3.3	Mecanismos volcánicos	67
3.3.1	Tipos de sismos volcánicos	69
3.4	Mecanismos de impacto	70
3.4.1	Meteoros y movimientos del terreno	70
3.4.2	Explosiones	71
3.5	Mecanismos de sobreesfuerzos	72
3.5.1	Embalses	73
3.5.2	Edificios	74
3.6	Mecanismos atmosféricos	75
3.7	Fracturamiento hidráulico	76
3.8	Predicción de sismos	77

3.8.1	¿Qué se puede considerar predicción y qué no?	78
3.8.2	Indicios en la actividad sísmica	78
3.8.3	Indicios geofísicos	79
3.9	Referencias	80

4 | Ondas

4.1	Generalidades	83
4.2	Propiedades y características de las ondas	83
4.2.1	Fenómenos en ondas mecánicas	86
4.2.1.1	<i>Principio de Huygens</i>	86
4.2.1.2	<i>Ley de Snell</i>	87
4.2.2	Ondas en otros dominios	88
4.2.2.1	<i>Espectros de ondas sísmicas</i>	89
4.3	Propiedades de los materiales de la Tierra	90
4.3.1	Módulos de materiales térreos	91
4.3.2	Relación de Poisson	92
4.3.3	Peso unitario	93
4.4	Tipos de ondas sísmicas	94
4.4.1	Ondas internas	95
4.4.2	Velocidad de ondas internas	96
4.4.2.1	<i>Ondas y discontinuidades terrestres</i>	97
4.4.3	Llegada de ondas internas a un registro	99
4.4.4	Fases de ondas sísmicas en la corteza	100
4.4.5	Onda internas y teoría de elasticidad	101
4.4.6	Ondas superficiales	102
4.4.7	Ondas sísmicas especiales	104
4.5	Viaje de las ondas a través de la Tierra	105
4.5.1	Trayectoria de los rayos sísmicos	106
4.5.1.1	<i>Fases y tiempos de llegada</i>	107
4.5.2	Trayectoria de los frentes de onda	110
4.5.3	Sismogramas en el globo	110
4.6	Registro de ondas	113
4.6.1	Dinámica de un grado de libertad para instrumentos	114
4.6.2	Ecuación de equilibrio dinámico	115
4.6.2.1	<i>Aplicación a instrumentos</i>	117
4.6.3	Mecanismos de sismógrafos	118
4.6.3.1	<i>Resonancia eléctrica</i>	119
4.6.3.2	<i>Piezoelectricidad y reluctancia variable</i>	119
4.6.3.3	<i>Control del tiempo</i>	121
4.6.4	Acelerómetros	122
4.7	Ubicación de epicentros	123
4.7.1	Ejemplo	124
4.7.2	Redes sísmicas	125
4.8	Parámetros de movimiento	126
4.8.1	Valores máximos del movimiento fuerte	127
4.8.2	Duración	128
4.8.3	Amplitudes y frecuencias	129
4.9	Referencias	131

5 | Tamaño

5.1	Generalidades	133
5.2	Intensidad macrosísmica	133
5.2.1	Desarrollo del concepto	134
5.2.2	Esquema de asignación	135
5.2.3	Escala de Intensidad de Mercalli modificada	136
5.2.4	Otras Intensidades	138
5.3	Magnitud sísmica	139
5.3.1	Desarrollo del concepto	139
5.3.2	Magnitud local de Richter	141
5.3.3	Magnitud de ondas superficiales	142
5.3.4	Magnitud de ondas de cuerpo	143
5.3.5	Magnitudes más específicas	144
5.3.6	Relación entre magnitudes basadas en ondas y energía sísmica	145
5.3.7	Momento sísmico M_o	146
5.3.8	Energía sísmica E_s	147
5.3.9	Magnitud de momento M_w	147
5.3.10	Vínculo entre magnitud M_w , momento sísmico M_o y energía E_s	148
5.4	Parámetros de frecuencia y tiempo	150
5.4.1	Transformada digital FFT	151
5.4.2	Intensidad total I_o	152
5.4.3	Intensidad promedio m_o	154
5.4.4	Densidad espectral de potencia $G(\omega)$	155
5.4.5	Función de autocorrelación $R[t, t + \tau]$	156
5.4.6	Momentos estadísticos espectrales m_n	156
5.4.7	Frecuencia central φ	157
5.4.8	Factor de forma ϑ	157
5.4.9	Aceleración cuadrática media A_{cm}	157
5.5	Medidas de destructividad	158
5.5.1	Intensidad de Arias I_a	158
5.5.2	Aproximaciones con procesos estocásticos	159
5.6	Probabilidad de los tamaños	159
5.6.1	Valores esperados	160
5.6.2	Probabilidad condicional	161
5.6.3	Teorema de la probabilidad total	161
5.6.4	Verosimilitud	162
5.7	Sismicidad	162
5.7.1	Tasa de excedencia de magnitudes	163
5.7.1.1	<i>Magnitud truncada</i>	163
5.7.2	Ejemplo	163
5.7.3	Catálogos	165
5.8	Referencias	166

6 | Movimiento

6.1	Sensaciones humanas	168
6.2	Estimación empírica de máximos	169
6.2.1	Aproximación inicial	171
6.2.2	Parametrización de máximos	172
6.3	La fuente y el campo de desplazamientos	175
6.3.1	Fuente móvil	176
6.3.1.1	<i>Orientación del mecanismo focal y patrón de radiación</i>	178

6.3.2	Movimiento en campo cercano	179
6.4	Modelos de la fuente	182
6.4.1	Tensor de momento sísmico y convolución	182
6.4.2	Desplazamientos en las inmediaciones de la fuente	183
6.4.3	Modelo de fuente circular	184
6.4.4	EAF en campo cercano	185
6.4.4.1	Otras variables de movimiento	186
6.4.5	Absorción y atenuación	186
6.4.5.1	Filtros en el EAF de campo lejano	188
6.4.6	Ecuación del sismo en el dominio de la frecuencia	189
6.4.7	Aspectos particulares	189
6.5	Modelos físicos para estimar el movimiento	191
6.5.1	Barreras y asperezas	191
6.6	Estimación de parámetros a partir del EAF	192
6.6.1	Valores específicos a partir del EAF	194
6.6.1.1	Máximos	196
6.7	Influencia del suelo en el movimiento	197
6.7.1	Periodo del suelo	199
6.7.2	Funciones de transferencia	200
6.7.3	Modificación de propiedades mecánicas del suelo	202
6.7.3.1	Corroboración empírica	203
6.7.4	Aproximación estocástica	204
6.8	Movimiento de las edificaciones	206
6.8.1	Ecuación de movimiento en edificaciones	208
6.8.2	Función de Green y convolución	208
6.8.3	Algoritmos de evaluación de movimiento de edificaciones	211
6.8.4	Aproximación estocástica	212
6.8.5	Representación espectral	214
6.9	Peligro sísmico	215
6.9.1	Información necesaria	216
6.9.2	Ecuación del peligro sísmico	216
6.9.2.1	Tasa de excedencia	217
6.9.2.2	Parámetros para sismos característicos	218
6.9.2.3	Periodo de retorno	219
6.9.3	Zonaciones sísmicas	219
6.9.3.1	Condiciones de suelo	221
6.10	Movimientos artificiales	222
6.10.1	Simulando fases	223
6.10.2	Funciones de Green	224
6.10.2.1	Funciones de Green empíricas	225
6.11	Referencias	227

7 | Conexos

7.1	Generalidades	230
7.2	Sonidos	230
7.2.1	Luces	231
7.2.2	Estudios relacionados	232
7.3	Pérdidas ambientales	232
7.4	Movimientos de suelo	233
7.4.1	Lahares	234
7.4.2	Aspectos básicos de estabilidad	235

7.4.3	Análisis de taludes en sismos	237
7.5	Licuación de suelos	240
7.5.1	Fenomenología	241
7.5.2	Consecuencias de la licuación	242
7.5.3	Susceptibilidad a la licuación	242
7.5.4	Aspectos analíticos de la licuación	244
7.5.5	Consideraciones varias	246
7.6	Tsunamis	247
7.6.1	Causas	247
7.6.2	Tsunamis de origen tectónico	249
7.6.3	Tamaño de tsunamis	251
7.6.4	Propiedades de las olas de tsunamis	251
7.6.5	Propagación del tsunami	252
7.6.6	Tsunamis memorables	253
7.7	Referencias	255

8 | Edificaciones

8.1	Ciudad moderna	258
8.1.1	Materiales de construcción	258
8.1.2	Modelos de construcción	259
8.1.3	Modelo financiero	260
8.2	Bases del diseño sísmico de edificaciones	261
8.2.1	Aproximación dinámica	262
8.3	Espectros de respuesta	263
8.3.1	Computadores análogos	264
8.3.2	Definición analítica	265
8.3.3	Relaciones espectrales	266
8.3.4	Adaptaciones para el espectro de respuesta	268
8.3.5	Espectros de respuesta en suelo blando	269
8.3.5.1	<i>Aproximación estocástica</i>	270
8.3.5.2	<i>Aproximación empírica</i>	270
8.3.5.3	<i>Aproximación probabilística</i>	270
8.3.6	Espectros de sitio	271
8.3.7	Espectros de respuesta y estados límites	272
8.3.7.1	<i>Niveles de desempeño</i>	274
8.4	Dinámica de varios grados de libertad	275
8.4.1	Mecánica estructural	276
8.4.1.1	<i>Grados de libertad</i>	277
8.4.1.2	<i>Comportamiento mecánico de materiales</i>	278
8.4.2	Análisis matricial	279
8.4.3	Ecuación de movimiento para varios grados de libertad	280
8.4.3.1	<i>Modos de vibración</i>	281
8.4.4	Superposición modal	282
8.4.5	Análisis modal espectral	283
8.5	Más allá de la resistencia	285
8.5.1	Balance económico	287
8.5.2	Resistencia local	289
8.5.2.1	<i>Caso monotónico</i>	289
8.5.2.2	<i>Caso cíclico</i>	290
8.5.3	Resistencia global y curva de capacidad	292
8.5.3.1	<i>Ductilidad</i>	294
8.5.3.2	<i>Modelos analíticos vs. realidad del problema</i>	296
8.5.4	Demanda/capacidad	296

8.5.4.1	<i>Principio de iguales desplazamientos</i>	297
8.5.5	Comportamiento real y degradación del sistema	297
8.5.5.1	<i>Desempeño indeseable</i>	298
8.5.6	Análisis no lineales	299
8.5.7	Espectros no lineales	300
8.5.7.1	<i>Reducción de espectros elásticos a inelásticos</i>	302
8.6	Arquitectura y configuración estructural	303
8.6.1	Movimiento moderno vs. movimientos sísmicos	303
8.6.2	Seísmos y arquitectos	304
8.7	Reglamentaciones	306
8.7.1	Adaptaciones regionales	307
8.7.2	Revisión de estados límites por movimientos en la base	307
8.7.3	Procedimiento de diseño sísmico de edificaciones	309
8.7.4	Definición probabilística de seguridad	310
8.7.5	Confiabilidad	311
8.7.5.1	<i>Índice de confiabilidad β_r</i>	311
8.7.5.2	<i>Factores de carga y capacidad</i>	312
8.7.6	Filosofía de diseño	313
8.8	Referencias	314

9 | Riesgo

9.1	Generalidades	316
9.2	Colapsos estructurales	316
9.2.1	Consecuencias humanas	317
9.2.2	Condiciones para el colapso	318
9.3	Incendios	319
9.3.1	Causas	321
9.3.2	Diseño contraincendio	322
9.4	Infraestructura	323
9.4.1	Energía eléctrica	323
9.4.2	Comunicaciones	323
9.4.3	Agua potable	324
9.4.4	Gas y otros	325
9.4.5	Materiales peligrosos	326
9.4.5.1	<i>Radiactividad</i>	326
9.4.6	Presas	327
9.4.6.1	<i>Daños identificados</i>	328
9.4.7	Puentes	328
9.4.7.1	<i>Consideraciones básicas de diseño</i>	329
9.4.7.2	<i>Patologías comunes</i>	330
9.4.8	Fallos diversos	330
9.4.9	Resiliencia	332
9.5	Evaluación numérica del riesgo	333
9.5.1	Evaluaciones primarias	334
9.5.2	Ecuación del riesgo	336
9.5.2.1	<i>Tasa del daño esperado</i>	337
9.5.3	Optimización	338
9.6	Transferencia del riesgo	339
9.6.1	Evaluación de primas	339
9.6.2	Realidad del esquema	340
9.6.3	Niveles de reserva	341
9.6.4	Bonos de catástrofe	342

9.6.4.1	<i>Bonos vs. Seguros</i>	343
9.6.4.2	<i>Transacción clásica</i>	343
9.6.4.3	<i>Calificación del bono</i>	344
9.6.4.4	<i>Riesgo de mercado</i>	345
9.6.5	Cat DDO	345
9.7	Manejo del riesgo por estados	346
9.8	Referencias	346

10 | Sociedad

10.1	Generalidades	348
10.2	Aspectos de la salud	349
10.2.1	Morbilidad	351
10.2.2	Mortalidad	352
10.2.3	Salud mental	354
10.3	Aspectos sociales y humanos	355
10.3.1	Respuesta poblacional	356
10.3.2	Planes de emergencia	357
10.3.3	Educación	358
10.4	Sismos y política	359
10.4.1	Abuso de autoridad y corrupción	360
10.4.2	Retórica y desinformación	361
10.4.3	Planeación urbana	362
10.4.4	Captura del regulador	364
10.5	Sismos y economía	365
10.5.1	Políticas públicas macroeconómicas	366
10.5.2	Realidad económica de inicios de siglo XXI	367
10.5.3	Economía y construcción	369
10.5.4	Tendencias urbanas	370
10.5.5	Densificación	371
10.5.6	Presión del mercado	371
10.5.7	Seguridad	373
10.6	Comportamiento humano	374
10.6.1	Moral y ética	374
10.7	Colofón	375
10.8	Referencias	376
	Índice analítico	381
	Unidades y conversión	384