

CONTENIDO RESUMIDO

PRÓLOGO

xxi

PARTE I

FUNDAMENTOS Y MÉTODOS

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA GEOLÓGICA	1
Capítulo 2. MECÁNICA DEL SUELO	17
Capítulo 3. MECÁNICA DE ROCAS	117
Capítulo 4. DESCRIPCIÓN DE MACIZOS ROCOSOS	237
Capítulo 5. HIDROGEOLOGÍA	263
Capítulo 6. INVESTIGACIONES <i>IN SITU</i>	303
Capítulo 7. MAPAS GEOTÉCNICOS	375

PARTE II

APLICACIONES

Capítulo 8. CIMENTACIONES	393
Capítulo 9. TALUDES	429
Capítulo 10. TÚNELES	487
Capítulo 11. PRESAS	541
Capítulo 12. ESTRUCTURAS DE TIERRAS	579

RECAPITULACIÓN DE LA PARTE II

599

PARTE III

RIESGOS GEOLÓGICOS

Capítulo 13. PREVENCIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS	607
Capítulo 14. DESLIZAMIENTOS Y OTROS MOVIMIENTOS DEL TERRENO	621
Capítulo 15. RIESGO SÍSMICO	665

CONTENIDO

PRÓLOGO

xxi

PARTE I FUNDAMENTOS Y MÉTODOS

1 INTRODUCCIÓN A LA INGENIERÍA GEOLÓGICA

1.1. DEFINICIÓN E IMPORTANCIA DE LA INGENIERÍA GEOLÓGICA	2
1.2. EL MEDIO GEOLÓGICO Y SU RELACIÓN CON LA INGENIERÍA	5
1.3. FACTORES GEOLÓGICOS Y PROBLEMAS GEOTÉCNICOS	7
1.4. MÉTODOS Y APLICACIONES EN INGENIERÍA GEOLÓGICA	14
1.5. FUENTES DE INFORMACIÓN EN INGENIERÍA GEOLÓGICA	15
1.6. ESTRUCTURA DEL LIBRO	16
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	16

2 MECÁNICA DEL SUELO

2.1. INTRODUCCIÓN	18
Origen y formación de los suelos	18
Los suelos en ingeniería geológica	18

2.2. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS	20
Tipos de suelo	20
Distribución granulométrica	22
Plasticidad	23
Estado de los suelos	25
2.3. PERMEABILIDAD, FILTRACIONES Y REDES DE FLUJO	27
Carga total. Teorema de Bernouilli	27
El agua en reposo. Presiones hidrostáticas	28
El flujo de agua en el terreno	29
Conceptos básicos. Pérdidas de carga y permeabilidad	29
Carga hidráulica en el suelo. Gradiente hidráulico	30
Ley de Darcy	30
Flujo estacionario en medio isótropo	31
Flujo estacionario en medio anisótropo	36
Permeabilidad y flujo en suelos estratificados	36
2.4. TENSIONES EFECTIVAS	39
Las fases y la estructura del suelo	39
Suelos saturados. El postulado de las tensiones efectivas	41
Fuerzas de filtración. Sifonamiento	44
Aplicación de cargas sobre suelos saturados	50
El concepto de la consolidación	50
Conceptos de carga sin drenaje y con drenaje	51
Tensiones inducidas en el suelo saturado por procesos de carga sin drenaje	53
2.5. LA CONSOLIDACIÓN	57
Suelos normalmente consolidados y suelos sobreconsolidados	57
Las tensiones horizontales en el terreno	64

Factores complementarios que influyen en la estructura y comportamiento del suelo	65	3	MECÁNICA DE ROCAS		
El ensayo edométrico	65				
2.6. RESISTENCIA AL CORTE	74			3.1. INTRODUCCIÓN	118
Introducción	74			Definición, finalidad y ámbitos de estudio	118
Criterio de rotura	74			Rocas y suelos	121
El ensayo de corte directo	75			Macizos rocosos	121
Comportamiento de los suelos sometidos a corte	78			3.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS MATERIALES ROCOSOS	125
Suelos granulares	78			Características del medio rocoso	125
Suelos arcillosos	81			Propiedades físicas de la matriz rocosa	127
El ensayo triaxial	84			Clasificación de las rocas con fines geotécnicos	132
Dispositivo de ensayo	84			Clasificación de los macizos rocosos	132
Tipos de ensayo	85			Meteorización de los materiales rocosos	134
El ensayo de compresión simple	89			Procesos de meteorización	134
2.7. INFLUENCIA DE LA MINERALOGÍA Y LA FÁBRICA EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LOS SUELOS	89			Meteorización de la matriz rocosa	135
Minerales de arcilla de interés geotécnico	90			Meteorización de macizos rocosos	137
Propiedades físico-químicas	92			El agua subterránea	139
Propiedades geotécnicas y composición mineralógica	93			Permeabilidad y flujo de agua	139
Microfábrica de los suelos arcillosos	94			Efectos sobre las propiedades de los macizos rocosos	139
Propiedades geotécnicas y microfábrica	97			3.3. TENSIONES Y DEFORMACIONES EN LAS ROCAS	141
Resumen	98			Fuerzas y tensiones	141
2.8. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS SEDIMENTOS	99			Tensiones sobre un plano	143
Depósitos coluviales	99			Tensiones en tres dimensiones	147
Depósitos aluviales	100			Resistencia y rotura	149
Depósitos lacustres	101			Conceptos básicos	149
Depósitos litorales	101			Mecanismos de rotura	151
Depósitos glaciares	102			Relaciones tensión-deformación en las rocas	152
Depósitos de climas áridos y desérticos	102			Criterios de resistencia	156
Depósitos evaporíticos	103			3.4. RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD DE LA MATRIZ ROCOSA	158
Depósitos de climas tropicales	104			Resistencia y parámetros resistentes	158
Depósitos de origen volcánico	104			Efectos de la anisotropía y de la presión de agua en la resistencia	159
2.9. PROBLEMAS PLANTEADOS POR LOS SUELOS EN INGENIERÍA	106			Criterios de rotura	160
Suelos con problemática especial	106			Criterio de Mohr-Coulomb	160
Arcillas expansivas	107			Criterio de Hoek y Brown	161
Suelos dispersivos	110			Deformabilidad	163
Suelos salinos y agresivos	110			Ensayos de laboratorio de resistencia y deformabilidad	163
Suelos colapsables	111			Ensayo uniaxial o de compresión simple	165
La acción del hielo y el «permafrost»	112			Ensayo de compresión triaxial	170
Fangos blandos y sensitivos	113			Ensayos de resistencia a tracción	174
Suelos licuefactables	114			Velocidad de ondas sísmicas	175
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	114			Limitaciones de los ensayos de laboratorio	175
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114				

3.5. DISCONTINUIDADES	176
Influencia en el comportamiento del macizo rocoso	176
Tipos de discontinuidades	178
Características de las discontinuidades	180
Resistencia al corte de los planos de discontinuidad	181
Criterio de Barton y Choubey	185
Discontinuidades con relleno	187
Ensayo de laboratorio de resistencia al corte	187
Permeabilidad y presión de agua	189
3.6. RESISTENCIA Y DEFORMABILIDAD DE MACIZOS ROCOSOS	192
Resistencia	192
Criterios de rotura para macizos rocosos isótropos	193
Criterio de Hoek y Brown	193
Criterio de Mohr-Coulomb	197
Criterios de rotura para macizos rocosos anisótropos	199
Resumen	199
Deformabilidad de los macizos rocosos	200
Ensayos <i>in situ</i> para medir la deformabilidad	201
Métodos geofísicos	201
Correlaciones empíricas	202
Permeabilidad y presión de agua	205
Efecto escala	207
3.7. LAS TENSIONES NATURALES	214
Origen y tipos de tensiones	214
Factores geológicos y morfológicos influyentes en el estado tensional	216
Métodos de medida de las tensiones naturales	218
Medida de la dirección de los esfuerzos (métodos geológicos)	218
Estimación de la magnitud de las tensiones por relaciones empíricas	219
Métodos instrumentales para medir la dirección y magnitud de las tensiones	222
3.8. CLASIFICACIONES GEOMECAÑICAS	229
Clasificación RMR	230
Las clasificaciones geomecánicas en la práctica	230
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	234
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	235

4 DESCRIPCIÓN DE MACIZOS ROCOSOS

4.1. METODOLOGÍA Y SISTEMÁTICA	238
4.2. DESCRIPCIÓN Y ZONIFICACIÓN DEL AFLORAMIENTO	240
4.3. CARACTERIZACIÓN DE LA MATRIZ ROCOSA	242
Identificación	242
Meteorización	244
Resistencia	245
4.4. DESCRIPCIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES	246
Orientación	246
Espaciado	248
Continuidad	250
Rugosidad	250
Resistencia de las paredes de la discontinuidad	252
Abertura	253
Relleno	253
Filtraciones	255
4.5. PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO	256
Número y orientación de familias de discontinuidades	256
Tamaño de bloque y grado de fracturación	256
Grado de meteorización	259
4.6. CLASIFICACIÓN GEOMECAÑICA Y CARACTERIZACIÓN GLOBAL DEL MACIZO ROCOSO	261
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	262
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	262

5 HIDROGEOLOGÍA

5.1. FORMACIONES GEOLÓGICAS Y SU COMPORTAMIENTO FRENTE AL AGUA	264
Tipos de acuífero y su comportamiento	264
Nivel piezométrico	267
Movimiento del agua en los acuíferos	268
5.2. PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS CARACTERÍSTICOS DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS	271
Porosidad	271

Coeficiente de almacenamiento	272	Fotointerpretación y teledetección	309
Permeabilidad	273	Fotointerpretación	310
Transmisividad	274	Teledetección	311
5.3. FLUJO. LEY DE DARCY Y ECUACIONES FUNDAMENTALES DEL FLUJO EN MEDIOS POROSOS	274	Reconocimientos geológicos y geotécnicos de campo	315
Ley de Darcy	274	Conclusión	316
Velocidad de Darcy y velocidad real	276	6.3. SONDEOS GEOTÉCNICOS Y CALICATAS	316
Generalización de la ley de Darcy	276	Sondeos geotécnicos	316
Ecuación de la continuidad para flujo estacionario	277	Sondeos a rotación	317
Ecuación de Laplace	277	Sondeos con barrena helicoidal	318
Ecuación de Poisson	278	Sondeos a percusión	320
Ecuación del flujo en régimen transitorio	279	Perforaciones especiales	320
5.4. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS	280	Número y profundidad de sondeos	320
Ensayos de bombeo	280	Presentación de los datos de perforación	321
Ensayos de inyección	290	Calicatas	321
Ensayos con trazadores	290	Muestras geotécnicas	322
5.5. MÉTODOS DE RESOLUCIÓN	292	Testificación geotécnica	325
Métodos analíticos	293	6.4. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA	329
Redes de flujo	294	Geofísica de superficie	329
Métodos numéricos	295	Métodos eléctricos	329
5.6. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA	297	Métodos sísmicos	331
Calidad química de las aguas subterráneas	297	Métodos electromagnéticos	334
Procesos físico-químicos. Interacción agua-acuífero	298	Métodos gravimétricos	336
Contaminación y contaminantes de las aguas subterráneas	299	Métodos magnéticos	337
Actividades antrópicas	300	Geofísica en el interior de sondeos	337
Mecanismos de introducción y propagación de la contaminación	301	Testificación geofísica	337
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	302	Sísmica en sondeos	339
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	302	Tomografía sísmica	340
		6.5. ENSAYOS <i>IN SITU</i>	340
		Ensayos de resistencia	341
		Ensayos en suelos	341
		Ensayo de penetración estándar (SPT)	341
		Ensayos de penetración dinámica	342
		Ensayos de penetración estática	344
		Ensayo de molinete	345
		Ensayos en la matriz rocosa	345
		Esclerómetro o martillo Schmidt	346
		Ensayo de carga puntual	348
		Ensayos en discontinuidades	348
		Ensayo de resistencia al corte	348
		<i>Tilt test</i>	350
		Ensayos de deformabilidad	351
		Ensayos en suelos	351
		Ensayo presiométrico	351
		Ensayo de placa de carga	352
		Ensayos en macizos rocosos	353
		Ensayo dilatométrico	353
		Ensayo de placa de carga	354
		Ensayo de gato plano	354
		Métodos sísmicos	357

6 INVESTIGACIONES *IN SITU*

6.1. DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES <i>IN SITU</i>	304
Objetivos e importancia	304
Planificación de las investigaciones <i>in situ</i>	306
6.2. ESTUDIOS PREVIOS	308
Revisión de información y antecedentes	308

Ensayos para medida de las tensiones naturales	357
Ensayos de permeabilidad	357
Ensayos en suelos	357
Ensayo Lefranc	358
Ensayo de Gilg-Gavard	358
Ensayo de Matsuo	359
Ensayo de Haefeli	359
Ensayos en macizos rocosos	359
Ensayo Lugeon	359
6.6. INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA	362
Medida de desplazamientos	363
Desplazamientos entre puntos próximos	363
Desplazamientos entre puntos situados en superficie	364
Desplazamientos profundos	364
Medida de presiones intersticiales	366
Medida de presiones	366
6.7. RESUMEN	368
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	372
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	372

7 MAPAS GEOTÉCNICOS

7.1. DEFINICIÓN	376
7.2. TIPOS DE MAPAS	376
Clasificación	376
Contenido de los mapas geotécnicos	378
Clasificación y propiedades geotécnicas de suelos y rocas	378
Condiciones hidrogeológicas	381
Condiciones geomorfológicas	382
Procesos geodinámicos	382
7.3. MÉTODOS CARTOGRAFICOS	382
Zonificación geotécnica	382
Representación de datos	383
Cartografía automática	384
Cortes geotécnicos	384
7.4. OBTENCIÓN DE DATOS	385
7.5. APLICACIONES	386
Planificación	386
Ingeniería	389
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	390
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	390

PARTE II APLICACIONES

8 CIMENTACIONES

8.1. INTRODUCCIÓN	394
Criterios generales de diseño	394
Fases de estudio	395
8.2. CIMENTACIONES DIRECTAS	395
Tipos de cimentación	395
Presión de hundimiento	395
Definiciones básicas	397
Cálculo de la presión de hundimiento	398
Capacidad de carga en condiciones sin drenaje	398
Capacidad de carga en condiciones drenadas	399
Coefficiente de seguridad. Presión admisible con respecto al hundimiento	400
Distribución de presiones bajo cimentaciones directas	400
Distribución de tensiones en el terreno bajo áreas cargadas	403
La estimación de asentamientos en suelos	406
Consideraciones generales	406
Asiento instantáneo, de consolidación primaria y de consolidación secundaria	407
Asientos instantáneos y de consolidación primaria en arcillas saturadas	408
Asientos en terrenos granulares	409
Asientos en arcillas rígidas	410
8.3. CIMENTACIONES PROFUNDAS	411
Tipos de pilote	411
Pilote aislado	412
Determinación de la carga de hundimiento	415
Grupo de pilotes	417
Rozamiento negativo sobre los pilotes	417
Empujes laterales del terreno sobre los pilotes	418
8.4. CIMENTACIONES SUPERFICIALES EN ROCA	419
Método de Serrano y Olalla	419
8.5. CIMENTACIONES EN CONDICIONES GEOLÓGICAS COMPLEJAS	421
Suelos expansivos	421
Suelos colapsables	423
Cavidades kársticas	423
Cavidades en rocas volcánicas	425

Rellenos antrópicos	425
Suelos blandos	425
8.6. RECONOCIMIENTOS GEOTÉCNICOS	425
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	428
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	428

9 TALUDES

9.1. INTRODUCCIÓN	430
9.2. INVESTIGACIONES <i>IN SITU</i>	431
9.3. FACTORES INFLUYENTES EN LA ESTABILIDAD	432
Estratigrafía y litología	433
Estructura geológica y discontinuidades	433
Condiciones hidrogeológicas	434
Propiedades geomecánicas de los suelos y de los macizos rocosos	436
Tensiones naturales	438
Otros factores	438
9.4. TIPOS DE ROTURA	439
Taludes en suelos	439
Taludes en rocas	440
Rotura plana	440
Rotura en cuña	442
Vuelco de estratos	443
Rotura por pandeo	443
Rotura curva	444
9.5. ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD	445
Introducción	445
Métodos de equilibrio límite	446
Taludes en suelos	447
Taludes en rocas	457
Métodos tenso-deformacionales	467
Clasificación geomecánica de taludes	469
Índice SMR	469
9.6. MEDIDAS DE ESTABILIZACIÓN	470
Introducción	470
Métodos de estabilización	471
Modificación de la geometría	471
Medidas de drenaje	473
Elementos estructurales resistentes	474
Muros y elementos de contención	477
Medidas de protección superficial	479
9.7. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL	480

9.8. EXCAVACIÓN DE TALUDES	483
Criterios de excavabilidad	484
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	486
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	486

10 TÚNELES

10.1. INTRODUCCIÓN	488
10.2. INVESTIGACIONES <i>IN SITU</i>	490
10.3. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS	494
Estructura geológica	494
Discontinuidades	495
Resistencia de la matriz rocosa	496
Condiciones hidrogeológicas	497
Estado tensional	499
Métodos de análisis	499
Efectos de las tensiones elevadas	500
10.4. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE DISEÑO	500
Datos geológicos y geomecánicos	500
Resistencia y deformabilidad	501
Magnitud y dirección de las tensiones naturales	501
Índice SRF	501
Método de Sheorey	503
Caudales y presiones de agua	504
10.5. CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS	508
Clasificación <i>Q</i>	508
Clasificación SRC	508
Criterios para la aplicación de las clasificaciones geomecánicas	514
10.6. ESTIMACIÓN DE LOS SOSTENIMIENTOS POR MÉTODOS EMPÍRICOS	516
Sostenimientos a partir del índice RMR	516
Sostenimientos a partir del índice <i>Q</i>	516
10.7. CRITERIOS DE EXCAVABILIDAD	519
10.8. MÉTODOS DE EXCAVACIÓN Y DE SOSTENIMIENTO DE TÚNELES EN ROCA	521
Métodos de excavación	524
Fases de excavación	526
Elementos de sostenimiento	526
Tratamientos especiales	528

El Nuevo Método Austríaco	528	Tipología de los materiales	558
Emboquilles	529	Núcleos	558
		Espaldones	559
10.9. MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES EN SUELOS	530	Filtros y drenes	560
Métodos no mecanizados	530	Áridos para hormigones	560
Métodos semi-mecánicos	531		
Métodos de excavación mecanizada	532	11.7. ESTANQUEIDAD DE EMBALSES	561
10.10. CONSIDERACIONES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	533	11.8. PERMEABILIDAD DE CERRADAS	562
Problemas geológico-geotécnicos	533	Subpresiones	562
Control geológico-geotécnico	535	Erosión interna	563
Influencia de la excavación en estructuras próximas	536	Permeabilidad y control de filtraciones	564
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	538	11.9. ESTABILIDAD DE LADERAS EN EMBALSES	565
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	539		
		11.10. CONDICIONES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS DE CIMENTACIÓN DE PRESAS	567
		Condiciones generales	567
		Fuerzas ejercidas	567
		Mecanismos de rotura	568
		Distribución de tensiones	570
		Tratamientos	571
		Problemas geológicos y posibles soluciones	574
		11.11. NEOTECTÓNICA Y SISMICIDAD NATURAL E INDUCIDA	576
		BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	578
		REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	578

11 PRESAS

11.1. INTRODUCCIÓN	542
11.2. TIPOS DE PRESA Y ESTRUCTURAS AUXILIARES	544
Tipos de presa	544
Presas de materiales sueltos	544
Presas de fábrica	545
Estructuras auxiliares	547
11.3. METODOLOGÍA DE LOS ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS	548
11.4. RECONOCIMIENTOS GEOLÓGICOS E INVESTIGACIONES <i>IN SITU</i>	550
11.5. CRITERIOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS DE SELECCIÓN DE PRESAS	554
Criterios generales	554
Características de la cimentación	555
Disponibilidad de materiales	555
Riesgo de erosión interna	555
Emplazamiento de estructuras auxiliares	556
Condiciones para presas de materiales sueltos	556
Condiciones para presas de hormigón	557
Consideraciones medioambientales	557
11.6. MATERIALES GEOLÓGICOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRESAS	558
Investigaciones geológicas para el estudio de préstamos	558

12 ESTRUCTURAS DE TIERRAS

12.1. INTRODUCCIÓN	580
12.2. METODOLOGÍA DE DISEÑO	581
12.3. MATERIALES	585
Terraplenes	585
Pedraplenes y rellenos tipo «todo uno»	588
Escolleras	590
12.4. PUESTA EN OBRA Y CONTROL	590
12.5. TERRAPLENES SOBRE SUELOS BLANDOS	594
12.6. TERRAPLENES A MEDIA LADERA	596
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	598
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	598

PARTE III

RIESGOS GEOLÓGICOS

13 PREVENCIÓN DE RIESGOS GEOLÓGICOS

13.1. LOS RIESGOS GEOLÓGICOS	608
13.2. PELIGROSIDAD, RIESGO Y VULNERABILIDAD	609
13.3. CRITERIOS DE SEGURIDAD EN INGENIERÍA GEOLÓGICA	613
13.4. PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS	615
13.5. MAPAS DE PELIGROSIDAD Y DE RIESGO	616
BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	619
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	619

14 DESLIZAMIENTOS Y OTROS MOVIMIENTOS DEL TERRENO

14.1. INTRODUCCIÓN	622
14.2. MOVIMIENTOS DE LADERA	622
Tipos de movimiento	623
Deslizamientos	623
Flujos	626
Desprendimientos	628
Avalanchas rocosas	628
Desplazamientos laterales	629
Causas de los movimientos de ladera	629
Precipitaciones y condiciones climáticas	632
Cambios del nivel de agua	636
Procesos erosivos	636
Terremotos	636
Vulcanismo	637
Acciones antrópicas	638
14.3. INVESTIGACIÓN DE DESLIZAMIENTOS	638
Reconocimientos generales	639

Análisis de los procesos	644
Investigaciones de detalle	645
Análisis de estabilidad	649
Instrumentación	650
Sistemas de alarma	650

14.4. MEDIDAS DE CORRECCIÓN	651
Estabilización y protección frente a desprendimientos rocosos	652
14.5. HUNDIMIENTOS Y SUBSIDENCIAS	655
Tipos de movimiento y causas	655
Hundimientos	655
Subsidencias	656
Investigación de los procesos	658
Medidas de corrección	659
14.6. PREVENCIÓN DE RIESGOS POR MOVIMIENTOS DEL TERRENO	659
Mapas de susceptibilidad y de peligrosidad	660
Mapas de movimientos de ladera	661
Mapas de hundimientos y subsidencias	662

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	663
---------------------------------	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	663
-----------------------------------	-----

15 RIESGO SÍSMICO

15.1. INTRODUCCIÓN	666
15.2. FALLAS Y TERREMOTOS	666
Las fallas como fuente de los terremotos	666
El régimen de <i>stick-slip</i> y el ciclo sísmico	667
El modelo de las fallas sísmicas	669
Tasas de deslizamiento y periodo de recurrencia	669
El registro geológico de la actividad en fallas	670
El estudio de las fallas sísmicas	672
15.3. ANÁLISIS DE LA SISMICIDAD	675
15.4. ANÁLISIS DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA	676
Método determinista	676
Métodos probabilistas	678
15.5. RESPUESTA SÍSMICA EN EL EMPLAZAMIENTO	680
Terremoto característico	680

Parámetros sísmicos del movimiento del terreno	680	BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA	694
Modificación del movimiento del terreno por condiciones locales	681	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	694
15.6. EFECTOS INDUCIDOS POR LOS TERREMOTOS EN EL TERRENO	683	APENDICE A	
Susceptibilidad de licuefacción	684	Tabla de conversión de unidades de presión	697
Deslizamientos inducidos por sismos	685	APÉNDICE B	
Roturas por fallas	687	Símbolos y acrónimos	699
15.7. APLICACIONES EN INGENIERÍA GEOLÓGICA	688	APÉNDICE C	
Estudios de riesgo sísmico para emplazamientos	689	Permisos de reproducción de figuras	705
Microzonación sísmica	689		
Estimación de la vulnerabilidad sísmica	690	ÍNDICE ANALÍTICO	709