

Nº 3 029

<i>Introducción</i>	1
1. Ensayo de los materiales	
1.1. Ensayo de los materiales. Objeto	7
1.2. Especificaciones técnicas	11
1.3. Normalización de los materiales	12
1.4. Elaboración de una norma técnica	13
1.5. Institutos de normalización	15
1.6. Laboratorios de normalización	15
1.7. Muestreo	16
1.8. Probetas	29
2. Propiedades de los materiales	
2.1. Propiedades de los materiales	31
2.1.1. Densidad. Masa específica. Peso específico	33
2.2. Propiedades mecánicas de los materiales	35
2.2.1. Tensión	35
2.2.2. Estados de tensión	37
2.3. Elongaciones	40
2.4. Representación gráfica de $\sigma - \epsilon$	42
2.4.1. Elasticidad y plasticidad	42
2.4.2. Posefecto elástico	44
2.4.3. Elasticidad	44

2.4.4.	Plasticidad	47
2.4.5.	Otras consideraciones relativas al diagrama $\sigma - \epsilon$	51
2.4.6.	Histéresis elástica	54
2.4.6.1.	Importancia práctica de la histéresis elástica. . .	56
2.4.6.2.	Histéresis	57
2.5.	Principio de superposición de Boltzmann	59
2.5.1.	Modelos mecánicos	62
2.6.	Ductilidad y fragilidad	64
2.7.	Tenacidad	66
2.8.	Rigidez	67
2.9.	Fluencia	67
2.10.	Resistencia y rotura	70
2.11.	Diagrama $\tau - \gamma$	71
2.12.	Materiales policristalinos. Diagrama $\sigma - \epsilon$. Características	71
2.13.	Rheología	75
2.14.	Fractografía	85
2.14.1.	Rotura de un prisma de hormigón por compresión . . .	89
2.14.2.	Rotura de prismas de madera	92
2.14.3.	Roturas de probetas metálicas	93
2.14.4.	Rotura por fatiga de una probeta metálica	95

3. Medición de magnitudes

3.1.	Generalidades	99
3.2.	Unidades de medida	101
3.3.	Medición de magnitudes geométricas	115
3.3.1.	Medición de longitudes	115
3.3.2.	Medición electrónica de variaciones de longitud	119
3.3.3.	Medición de superficies	121
3.3.4.	Medición de volúmenes	122
3.3.5.	Porosidad	124
3.3.6.	Determinación de la forma	125
3.3.7.	Granulometría	127
3.3.8.	Análisis de partículas finas	130
3.3.9.	Geometría de las superficies	131
3.4.	Medición de fuerzas	141
3.4.1.	Dinamómetros de gravedad	142
3.4.2.	Manómetro de Bourdon	146
3.4.3.	Dinamómetro a resorte	147
3.4.4.	Dinamómetros elásticos	148

3.4.5.	Dinamómetro a cuerda vibrante	153
3.4.6.	Dinamómetro a resistencia eléctrica	154

4. Extensómetros

4.1.	Extensometría	157
4.2.	Extensómetros mecánicos	158
4.2.1.	Deformómetro de láminas paralelas	159
4.2.2.	Extensómetro con reloj indicador	160
4.2.3.	Flexímetros	163
4.2.4.	Clinómetros	164
4.2.5.	Curvímetros	165
4.2.6.	Extensómetros para deformaciones laterales	166
4.2.7.	Extensómetro Huggenberger	167
4.2.7.1.	Colocación del extensómetro Huggenberger ...	170
4.2.7.2.	Ejemplo de aplicación del extensómetro Huggenberger	171
4.3.	Extensómetros ópticos	171
4.3.1.	Ejemplo de aplicación del extensómetro Martens	174
4.4.	Extensómetro eléctrico	175
4.4.1.	Construcción de un extensómetro eléctrico	177
4.4.2.	Tipos de extensómetros eléctricos	180
4.4.3.	Colocación del extensómetro eléctrico	181
4.4.4.	Determinación de deformaciones con el extensómetro e- léctrico	183
4.4.5.	Indicadores. Conmutadores	186
4.5.	Extensómetros electrónicos	188
4.6.	Extensómetros acústicos	191
4.6.1.	Equipos para la medición acústica de deformaciones ...	194
4.6.2.	Medición de magnitudes	196
4.6.3.	Los emisores acústicos	196
4.6.4.	Ejemplo de aplicación del extensómetro a cuerda vi- brante	198
4.7.	Empleo de los rayos X en extensometría	199

5. Máquinas para el ensayo de los materiales

5.1.	Máquinas para el ensayo de los materiales	201
5.1.1.	Clasificación general de las máquinas de ensayo	203
5.2.	Máquinas de accionamiento mecánico	205
5.3.	Máquinas de accionamiento hidráulico	210

5.4.	Sistemas de medición de las máquinas hidráulicas	212
5.5.	Máquinas para el ensayo de tracción	217
5.5.1.	Elementos de amarre de una máquina de tracción	222
5.5.2.	Dispositivo para mantener la carga constante	226
5.5.3.	Máquinas horizontales para el ensayo de tracción	227
5.6.	Máquinas para el ensayo de compresión	228
5.7.	Máquinas para ensayos de tracción y compresión de un solo espacio	231
5.8.	Cadenciómetro	232
5.9.	Máquinas para el ensayo de flexión	233
5.10.	Máquinas para el ensayo de torsión	234
5.11.	Ensayos bajo tensiones combinadas	236
5.12.	Máquinas para el ensayo de materiales con computadora	239
5.12.1.	Ventajas del uso de la computadora	244
5.12.2.	Características técnicas de la computadora BBC DP 700	245
5.13.	Máquinas para ensayos de fatiga	245
5.14.	Máquinas para ensayos estáticos y dinámicos que se arman sobre una losa reactiva	253
5.15.	Ensayos de fatiga por torsión	259
5.16.	Horno eléctrico para ensayos a temperaturas elevadas	260
5.17.	Ensayos a bajas temperaturas	262
5.18.	Extensómetros para altas y bajas temperaturas	263
5.19.	Verificación de las máquinas de ensayo	264
5.19.1.	Verificación de las máquinas con anillos elásticos	267
5.19.2.	Cajas elásticas de taraje a mercurio	269
5.19.3.	Ejemplo de verificación de una máquina para ensayos de tracción	270
6.	Ensayos mecánicos	
6.1.	Ensayos destructivos	273
6.2.	Ensayo de tracción estática	275
6.3.	Ensayo de tracción de los materiales metálicos	290
6.3.1.	Límite de fluencia	299
6.3.2.	Límite convencional de fluencia	302
6.3.3.	Alargamiento de rotura. Ley de semejanza	304
6.3.4.	Ensayo de tracción de los metales no ferrosos	306
6.3.5.	Diagrama real de tensiones-deformaciones	307
6.3.6.	Ensayo de tracción de los metales frágiles	311
6.3.7.	Determinación del módulo de Young	312
6.3.8.	Determinación del coeficiente de Poisson	313

6.4.	Ensayo de tracción de morteros de cemento portland	313
6.5.	Ensayo de tracción del hormigón	314
6.6.	Ensayo de tracción de maderas	318
6.6.1.	Ensayo de clivaje de la madera	320
6.7.	Velocidad en el ensayo de tracción	321
6.8.	Ensayos de tracción a bajas y altas temperaturas	321
6.9.	Ensayos de fluencia lenta	325
6.9.1.	Resultados del ensayo de fluencia lenta	330
6.10.	Ensayos de compresión	331
6.10.1.	Diagrama característico de un ensayo de compresión	332
6.10.2.	Probetas para ensayo de compresión	332
6.10.2.1.	Ensayo de compresión de metales	332
6.10.2.2.	Ensayo de compresión de maderas	333
6.10.2.3.	Ensayo de compresión de morteros y hormi- gones	334
6.11.	Ensayos de flexión	337
6.11.1.	Probetas para el ensayo de flexión	340
6.12.	Ensayo de plegado	344
6.13.	Ensayo de torsión	345
6.14.	Ensayo de corte directo	348
6.15.	Ensayos de impacto	349
6.15.1.	Máquinas para el ensayo de impacto	350
6.15.2.	Probetas para el ensayo de impacto	352
6.15.3.	Variables que inciden sobre el ensayo de impacto	355
6.16.	Ensayos de desgaste	356

7. Ensayos de fatiga. Ensayos de dureza

7.1.	Fatiga	363
7.1.1.	Diversas teorías relativas a la fatiga	363
7.1.2.	Solicitaciones que originan la fatiga	366
7.1.3.	Probetas para el ensayo de fatiga	368
7.1.4.	Ensayo de fatiga según Wöhler	369
7.1.4.1.	Tipos de ensayos de fatiga	370
7.1.5.	Trazado de la curva de Wöhler	372
7.1.6.	Diagrama de fatiga	375
7.1.6.1.	Otros métodos de representación	378
7.1.7.	Influencia de la forma sobre la fatiga	380
7.1.8.	Influencia de la temperatura sobre la fatiga	384
7.1.9.	Influencia de la corrosión sobre la fatiga	384

7.2.	Ensayos de fatiga por alta frecuencia	386
7.2.1.	Objeto de los vibróforos	387
7.2.2.	Principio y descripción de los vibróforos	387
7.2.3.	Probetas y dispositivos de amarre	389
7.3.	Ensayos de dureza	394
7.3.1.	Generalidades	394
7.3.2.	Dureza Brinell	395
7.3.2.1.	Ley de semejanza para el ensayo Brinell	399
7.3.2.2.	Penetradores	400
7.3.2.3.	Determinación de la dureza Brinell	401
7.3.2.4.	Microscopio para medir la impresión de dureza	403
7.3.2.5.	Cómo se indica la dureza Brinell	405
7.3.2.6.	Determinación de la dureza Brinell sobre la base de la profundidad de la penetración	406
7.3.2.7.	Relación entre la dureza Brinell y la resistencia a la tracción	407
7.3.3.	Dureza Rockwell	412
7.3.3.1.	Método de dureza Rockwell para materiales metálicos	412
7.3.3.2.	Dureza Rockwell de probetas cilíndricas	418
7.3.3.3.	Tamaño relativo de las impresiones de dureza	420
7.3.3.4.	Máquinas para el ensayo Rockwell	420
7.3.4.	Dureza Vickers	422
7.3.4.1.	Procedimiento a seguir para realizar el ensayo de dureza Vickers	424
7.3.5.	Dureza Knoop y Grodzinski	426
7.3.6.	Microdureza	432
7.3.7.	Otros métodos para medir la dureza	436
7.3.8.	Durómetros portátiles basados en los métodos Brinell y Rockwell	440
7.3.9.	Accesorios para las máquinas de ensayo de dureza	442
7.3.10.	Máquinas especiales para el ensayo de dureza	442
7.3.11.	Dureza de los materiales plásticos	444
7.3.12.	Dureza de las maderas	445
7.3.13.	Conversión de los valores de dureza	448
7.3.14.	Calibración de las máquinas de dureza	455

8. Ensayos no destructivos

8.1.	Introducción	457
8.1.1.	Importancia de los ensayos no destructivos	459
8.1.2.	Clasificación de los ensayos no destructivos	459
8.2.	Detección de fallas por medio de ensayos no destructivos	460
8.3.	Descripción de algunos ensayos no destructivos simples	461
8.3.1.	La inspección ocular	461
8.3.2.	El ensayo de martillo	462
8.3.2.1.	Ensayo no destructivo del hormigón por impacto	463
8.3.3.	Metrología	465
8.3.4.	Ensayos mecánicos llevados a límites no destructivos	465
8.3.5.	Procesos de fabricación que involucran un control no destructivo de la calidad	466
8.4.	Ensayos macroscópicos	467
8.5.	Ensayos magnéticos para detectar fallas en materiales ferrosos	469
8.5.1.	Procedimientos de magnetización	470
8.5.2.	Polvo magnético	475
8.5.3.	Magnetización de las piezas a ensayar	476
8.5.4.	Desmagnetización de las piezas ensayadas	476
8.6.	Ensayos electromagnéticos	479
8.6.1.	Detección de fallas con corrientes parásitas	479
8.6.2.	Detección de fallas en rieles	482
8.6.3.	Medición de la profundidad de las grietas	482
8.7.	Método ultrasónico para la detección de fallas	484
8.7.1.	Ondas sónicas	485
8.7.1.1.	Propagación de las ondas sonoras	485
8.7.1.2.	Las ondas sónicas en superficies límites	490
8.7.2.	Magnitudes principales del campo sónico	493
8.7.3.	Generación del ultrasonido	494
8.7.3.1.	Elección de la frecuencia más apropiada	497
8.7.4.	Equipos para ensayos con ultrasonido	497
8.7.4.1.	Aparato básico	497
8.7.4.2.	Intensidad de emisión y de impulso (energía)	499
8.7.4.3.	Sensibilidad y amplificación o ganancia	499
8.7.4.4.	Regulador del valor de umbral y supresión de ecos parásitos	499
8.7.4.4.1.	Regulación no lineal del valor de umbral	499
8.7.4.4.2.	Regulación lineal del valor de umbral	500

8.7.4.5.	Curva envolvente o forma de eco	500
8.7.4.6.	Regulador de la longitud de medición y escala de presentación	500
8.7.4.7.	Desplazamiento y punto cero	501
8.7.4.8.	Regulador de la velocidad de sonido	501
8.7.4.9.	Lupa de profundidad	501
8.7.5.	Palpadores	508
8.7.6.	Monitores	514
8.7.7.	Calibración del aparato de detección de fallas	517
8.7.7.1.	Calibración del aparato para examen con ondas longitudinales	519
8.7.7.2.	Calibración del instrumento para examen con ondas transversales	519
8.7.7.2.1.	Calibración con cabezal normal...	519
8.7.7.2.2.	Calibración con cabezal angular, con una probeta de forma circular ...	522
8.7.7.3.	Determinación del punto de partida del ultrasonido en cabezales angulares	524
8.7.7.4.	Control del ángulo del cabezal	525
8.7.7.5.	Ajuste de sensibilidad en el caso de incidencia oblicua	526
8.7.8.	Modo de operar en un ensayo con ultrasonido	526
8.7.8.1.	Medición de espesores y ensayos de chapas...	527
8.7.8.2.	Detección de fallas en chapas	528
8.7.8.3.	Fallas transversales detectadas con ondas longitudinales	529
8.7.8.4.	Empleo de las ondas transversales	530
8.7.8.5.	Empleo de ondas superficiales	531
8.7.9.	Resultado de un ensayo ultrasónico	531
8.7.10.	Ensayo ultrasónico por inmersión	532
8.7.11.	Informe de un ensayo con ultrasonido	532
8.8.	Ensayo del hormigón con ultrasonido	534
8.8.1.	Aparatos para la prueba ultrasónica del hormigón ...	536
8.9.	Rayos X y rayos γ	543
8.9.1.	Obtención de una radiografía	545
8.9.2.	Detección de fallas con rayos X	546
8.9.3.	Equipos de rayos X	547
8.9.4.	Gammagrafía	552
8.9.4.1.	Equipos de rayos	553

8.9.5.	Neutrongrafía	555
8.9.6.	Ejecución de una radiografía	556
8.9.6.1.	Penetrómetros	558
8.9.7.	Interpretación de una radiografía	560

9. Análisis experimental de tensiones

9.1.	Análisis de tensiones sobre modelos	563
9.2.	Principios de similitud	564
9.3.	Aparatos de medida para el estudio sobre modelos	566
9.4.	Rosetas de tensión	566
9.4.1.	Estado de deformación plana	569
9.4.2.	Relación entre tensiones y deformaciones	571
9.5.	Rosetas de deformación	572
9.5.1.	Soluciones gráficas para las diversas rosetas	573
9.6.	Fotoelasticidad	576
9.6.1.	Polarización	578
9.6.2.	Leyes ópticas fundamentales de la fotoelasticidad	580
9.6.3.	Polariscopios	585
9.6.4.	Interpretación de una imagen fotoelástica	588
9.6.4.1.	Líneas isoclinas	588
9.6.4.2.	Trayectorias de tensión	590
9.6.4.3.	Líneas isocromáticas	590
9.6.4.4.	Calibración de las isocromáticas	591
9.6.5.	Materiales para la fotoelasticidad	597
9.7.	Fotoelasticidad tridimensional	599
9.8.	La holografía en el estudio experimental de tensiones	599
9.8.1.	Principio de funcionamiento	600
9.9.	Analogías	603
9.10.	Otros métodos para el análisis experimental de tensiones	604
9.10.1.	Modelos de materiales frágiles	604
9.10.2.	Lacas frágiles	604

10. Ejecución e informe de un ensayo

10.1.	Ejecución de un ensayo	607
10.2.	Informe de un ensayo	608
10.3.	Elaboración de los resultados de un ensayo	617

10.4. Análisis estadístico de los resultados de ensayos	618
10.5. Observaciones indirectas de más de una cantidad desconocida	625
<i>Apéndice</i>	628
Institutos de normalización	628
Laboratorios para el ensayo de los materiales	630
<i>Bibliografía</i>	634