

APÉNDICE

A

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Tabla A. 1 Propiedades de metales ferrosos.

Material	Densidad, kg/m ³	Módulo de elasticidad, psi × 10 ⁶ (GPa)	Resistencia a la fluencia, ksi (MPa)	Resistencia a la rotura, ksi (MPa)	Ductilidad, %AL en 2 pulg	Razón de Poisson	Conductividad térmica, W/m-°C	Coefficiente de dilatación térmica, (°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶
Hierro	7 870	30 (207)	19 (130)	38 (260)	45	0.29	80	11.8
Hierro fundido gris	7 150	Variable	—	18 (125)	—	Variable	46	10.8
Hierro fundido nodular	7 120	24 (165)	40 (275)	60 (415)	18	0.28	33	11.8
Hierro fundido maleable	7 200–7 450	25 (172)	32 (220)	50 (345)	10	0.26	51	11.9
Acero al bajo carbono (AISI 1020)	7 860	30 (207)	43 (295)	57 (395)	37	0.30	52	11.7
Acero al medio carbono (1040)	7 850	30 (207)	51 (350)	75 (520)	30	0.30	52	11.3
Acero al alto carbono (AISI 1080)	7 840	30 (207)	55 (380)	89 (615)	25	0.30	48	11.0
Aceros inoxidables								
Tipo ferrítico 446	7 500	29 (200)	50 (345)	80 (552)	20	0.30	21	10.4
Tipo austenítico 316	8 000	28 (193)	30 (207)	80 (552)	60	0.30	16	16.0
Tipo martensítico 410	7 800	29 (200)	40 (275)	70 (483)	30	0.30	25	9.9

Tabla A.2 Propiedades de metales no ferrosos.

Material	Densidad, kg/m ³	Módulo de elasticidad, psi × 10 ⁶ (GPa)	Resistencia a la fluencia, ksi (MPa)	Resistencia a la rotura, ksi (MPa)	Ductilidad, %AL en 2 pulg	Razón de Poisson	Conductividad térmica, W/m-°C	Coefficiente de dilatación térmica, (°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶
Aluminio (>99.5%)	2 710	10 (69)	2.5 (17)	8 (55)	25	0.33	231	23.6
Aleación de aluminio 2014	2 800	10.5 (72)	14 (97)	27 (186)	18	0.33	192	22.5
Cobre (99.95%)	8 940	16 (110)	10 (69)	32 (220)	45	0.35	398	16.5
Latón (70Cu-30Zn)	8 530	16 (110)	11 (75)	44 (303)	68	0.35	120	20.0
Bronce (92Cu-8Sn)	8 800	16 (110)	22 (152)	55 (380)	70	0.35	62	18.2
Magnesio (>99%)	1 740	6.5 (45)	6 (41)	24 (165)	14	0.29	122	27.0
Moibdeno (>99%)	10 220	47 (324)	82 (565)	95 (655)	35	—	142	4.9
Níquel (>99%)	8 900	30 (207)	20 (138)	70 (483)	40	0.31	80	13.3
Plata (>99%)	10 490	11 (76)	8 (55)	18 (125)	48	0.37	418	19.0
Titanio (>99%)	4 510	15.5 (107)	35 (240)	48 (330)	30	0.34	17	9.0

Tabla A.3 Propiedades de cerámicas.

Material	Densidad kg/m ³	Módulo de elasticidad, psi × 10 ⁶ (GPa)	Razón de Poisson	Dureza aproximada (Knoop)	Resistencia a la fractura, ksi (MPa)	Conductividad térmica, W/m·°C	Coefficiente de dilatación térmica (°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶
Alúmina (Al ₂ O ₃)	3 970	57 (393)	0.27	2 100	40–80 (275–550)	30	8.8 ^a
Magnesia (MgO)	3 580	30 (207)	0.36	370	15 ^b (105)	48	13.5 ^b
Espinel (MgAl ₂ O ₄)	3 550	36 (284)	—	1 600	12–32 ^b (83–220)	15.0 ^a	7.6 ^a
Zirconia ^c (ZrO ₂)	5 560	22 (152)	0.32	1 200	20–35 ^b (138–240)	2.0	10.0 ^a
Sílice fundida (SiO ₂)	2 200	11 (75)	0.16	500	16 (110)	1.3	0.5 ^a
Vidrio de sosa y cal	2 500	10 (69)	0.23	550	10 (69)	1.7	9.0 ^d
Vidrio borosilicato	2 230	9 (62)	0.20	—	10 (69)	1.4	3.3 ^d
Carburo de silicio (SiC)	3 220	60 (414)	0.19	2 500	65–75 ^b (450–520)	90	4.7
Nitruro de silicio (Si ₃ N ₄)	3 440	44 (304)	0.24	2 200	60–80 ^b (414–580)	16–33 ^a	3.6a
Carburo de titanio (TiC)	4 920	67 (462)	—	2 600	40–65 ^b (275–450)	17.2	7.4

^a Valor medio tomado sobre el rango de temperatura 0–1 000°C.

^b Sinterizado y conteniendo aproximadamente 5% de porosidad.

^c Estabilizada con óxido de calcio.

^d Valor medio tomado sobre el rango de temperatura 0–300°C.

Tabla A.4 Propiedades de polímeros.

Polímeros	Estado	Densidad, kg/m ³	Módulo de elasticidad, ksi (GPa)	Resistencia a la rotura, ksi (MPa)	Alargamiento al rompimiento, porcentaje	Temperatura de transición del vidrio, °C	Temperatura máxima de servicio, °C	Conductividad térmica, W/m·°C	Coefficiente de dilatación térmica (°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶
Termoplásticos									
Poliétileno	Alta densidad, 70-80% cristalino	952.1-965.0	155-158 (1.07-1.09)	3.2-4.5 (22-31)	10-1 200	-90	130-137	0.48	60-110
	Baja densidad, 40-50% cristalino	917.1-932.1	25-41 (0.17-0.28)	1.2-4.5 (8.3-31.0)	100-650	-110	98-115	0.33	100-220
Politetrafluoretileno	50-70% cristalino	2 140-2 200	58-80 (0.40-0.55)	2.0-5.0 (14-34)	200-400	-90	327	0.25	70-120
Cloruro de polivinilo	Altamente amorfo	1 300-1 580	350-600 (2.4-4.1)	6.0-7.5 (41-52)	40-80	75-105	212	0.18	50-100
Polipropileno	50-60% cristalino	900-910	165-225 (1.14-1.55)	4.5-6.0 (31-41)	100-600	-20	168-175	0.12	80-100
Poliestireno	Amorfo	1 040-1 050	330-475 (2.28-3.28)	5.2-7.5 (36-52)	1.2-2.5	74-105	—	0.13	50-83
Polimetil metacrilato	Amorfo	1 170-1 200	325-470 (2.24-3.24)	7-11 (48-76)	2-10	85-105	—	0.21	50-90
Nilón 6,6 Poli (hexametileno adipamida)	30-40% cristalino	1 130-1 150	230-550 (1.58-3.79)	11-13.7 (76-94)	15-300	57	255-265	0.24	80
Poliétileno tereftalato (PET, un poliéster)	0-30% cristalino	1 290-1 400	400-600 (2.76-4.14)	7.0-10.5 (48-72)	30-300	73-80	245-265	0.14	65
Policarbonato (Polibisfenol), -A carbonato)	Amorfo	1 200	345 (2.38)	9.5 (65.5)	110	150	—	0.20	68
Termofraguados									
Epoxi	Reticula compleja, amorfo	1 110-1 140	350 (2.41)	4.0-13.0 (28-90)	3-6	—	—	0.19	45-65
Fenólico	Reticula compleja, amorfo	1 240-1 320	400-700 (2.76-4.83)	5-9 (34-62)	1.5-2.0	—	—	0.15	68
Poliéster	Reticula compleja, amorfo	1 040-1 460	300-640 (2.07-4.41)	6-13 (41-90)	<2	—	—	0.19	55-100

Tabla A.5 Propiedades de cauchos naturales. [Adaptada de *Materials Engineering*, una Penton Publication.]

Nombre/Unidad repetida	Densidad kg/m ³	Resistencia a la rotura, ksi (MPa)	Alargamiento máximo, porcentaje	Módulo a 100% de alargamiento, psi (MPa)	Temperatura mínima de servicio, °C (°F)	Temperatura máxima de servicio, °C (°F)	Resistencia a la abrasión	Resistencia al desgarramiento	Resistencia a la oxidación
Polisopreno natural (caucho natural, NR)	920-1 037	3.5-4.6 (24-32)	500-760	480-850 (3.3-5.9)	-60 (-75)	120 (250)	Excelente	Excelente	Buena
Estireno-butadieno (SBR, GRS)	940	1.8-3.0 (12-21)	450-500	300-1 500 (2.1-10.3)	-60 (-75)	120 (250)	Excelente	Regular	Buena
Acilonitrilo-butadieno (nitrilo, Buna A, NBR)	980	1.0-3.5 (7-24)	400-600	490 (3.4)	-50 (-60)	150 (300)	Excelente	Buena	Regular-buena
Cloropreno (neopreno, CR)	1 230-1 250	0.5-3.5 (3.5-24)	100-800	100-3 000 (0.7-20)	-50 (-60)	105 (225)	Excelente	Buena	Muy buena
Polibutadieno (BR)	910	2.0-2.5 (14-17)	450	300-1 500 (2.1-10.3)	-100 (-150)	90 (200)	Excelente	Buena	Buena
Poliuretano	1 020-1 250	0.8-8.0 (5.5-5.5)	250-800	25-5 000 (0.17-34.5)	-55 (-65)	120 (250)	Excelente	Extraordinaria	Excelente
Polidimetilsiloxano (silicona)	1 100-1 600	1.5 (10)	100-800	—	-115 (-175)	315 (600)	Pobre	Regular	Excelente

Material Classes

Class	Members	Short name	
Engineering alloys (the metals and alloys of engineering)	Aluminum alloys	Al alloys	
	Copper alloys	Cu alloys	
	Lead alloys	Lead alloys	
	Magnesium alloys	Mg alloys	
	Molybdenum alloys	Mo alloys	
	Nickel alloys	Ni alloys	
	Steels	Steels	
	Tin alloys	Tin alloys	
	Titanium alloys	Ti alloys	
	Tungsten alloys	W alloys	
	Zinc alloys	Zn alloys	
	Engineering polymers (the thermoplastics and thermosets of engineering)	Epoxies	EP
		Melamines	MEL
Polycarbonate		PC	
Polyester		PEST	
Polyethylene, high density		HDPE	
Polyethylene, low density		LDPE	
Polyformaldehyde		PF	
Polymethylmethacrylate		PMMA	
Polypropylene		PP	
Polytetrafluoroethylene		PTFE	
Engineering ceramics (fine ceramics capable of load-bearing application)	Polyvinyl chloride	PVC	
	Alumina	Al ₂ O ₃	
	Diamond	C	
	Sialons	Sialons	
	Silicon carbide	SiC	
	Silicon nitride	Si ₃ N ₄	
	Zirconia	ZrO ₂	

Table 3.7 Material classes and members and short names of each member. [From Ashby (1992)].

Material Classes (cont.)

Class	Members	Short name
Engineering composites (the composites of engineering practice) A distinction is drawn between the properties of a ply (uniplies) and a laminate (laminates)	Carbon-fiber reinforced polymer	CFRP
	Glass-fiber reinforced polymer	GFRP
	Kevlar-fiber reinforced polymer	KFRP
Porous ceramics (traditional ceramics, cements, rocks, and minerals)	Brick	Brick
	Cement	Cement
	Common rocks	Rocks
	Concrete	Concrete
	Porcelain	Pcln
	Pottery	Pot
	Borosilicate glass	B-glass
Glasses (ordinary silicate glass)	Soda glass	Na-glass
	Silica	SiO ₂
Woods Separate clusters describe properties parallel to the grain and normal to it and wood products	Ash	Ash
	Balsa	Balsa
	Fir	Fir
	Oak	Oak
	Pine	Pine
	Wood products (ply, etc.)	Wood products
	Natural rubber	Rubber
Elastomers (natural and artificial rubbers)	Hard butyl rubber	Hard butyl
	Polyurethanes	PU
	Silicone rubber	Silicone
	Soft butyl rubber	Soft butyl
Polymer foams (foamed polymers of engineering)	Cork	Cork
	Polyester	PEST
	Polystyrene	PS
	Polyurethane	PU

Table 3.7 Material classes and members and short names of each member. [From Ashby (1992)].

Ductile σ - ϵ diagram

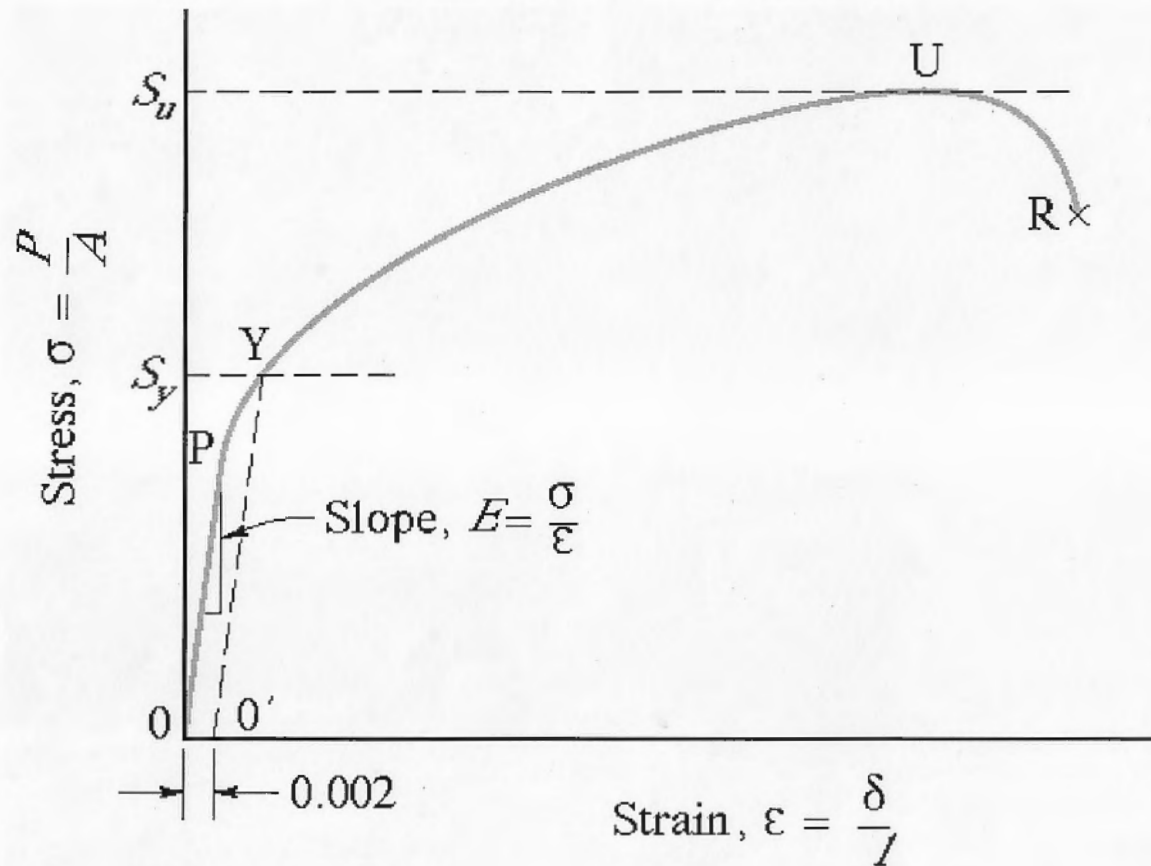


Figure 3.5 Stress-strain diagram for a ductile material.

Brittle and Ductile Metal Comparison

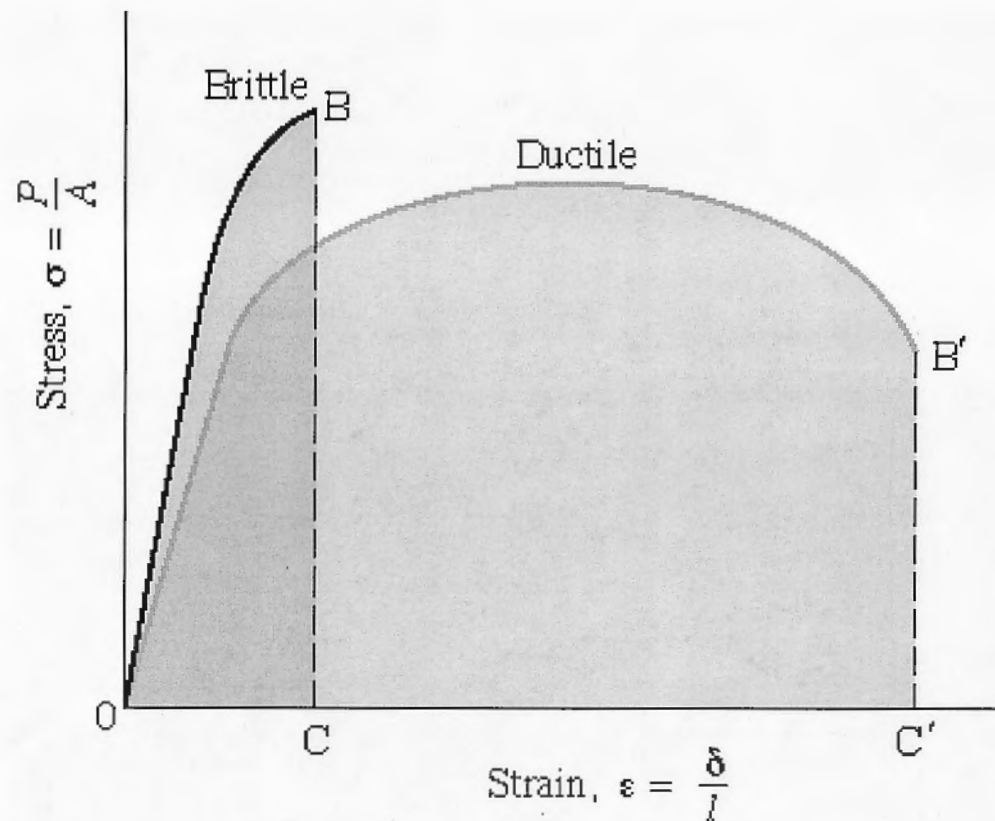


Figure 3.7 Typical tensile stress-strain diagrams for brittle and ductile metals loaded to fracture.

Stress-Strain Diagram for a Ceramic

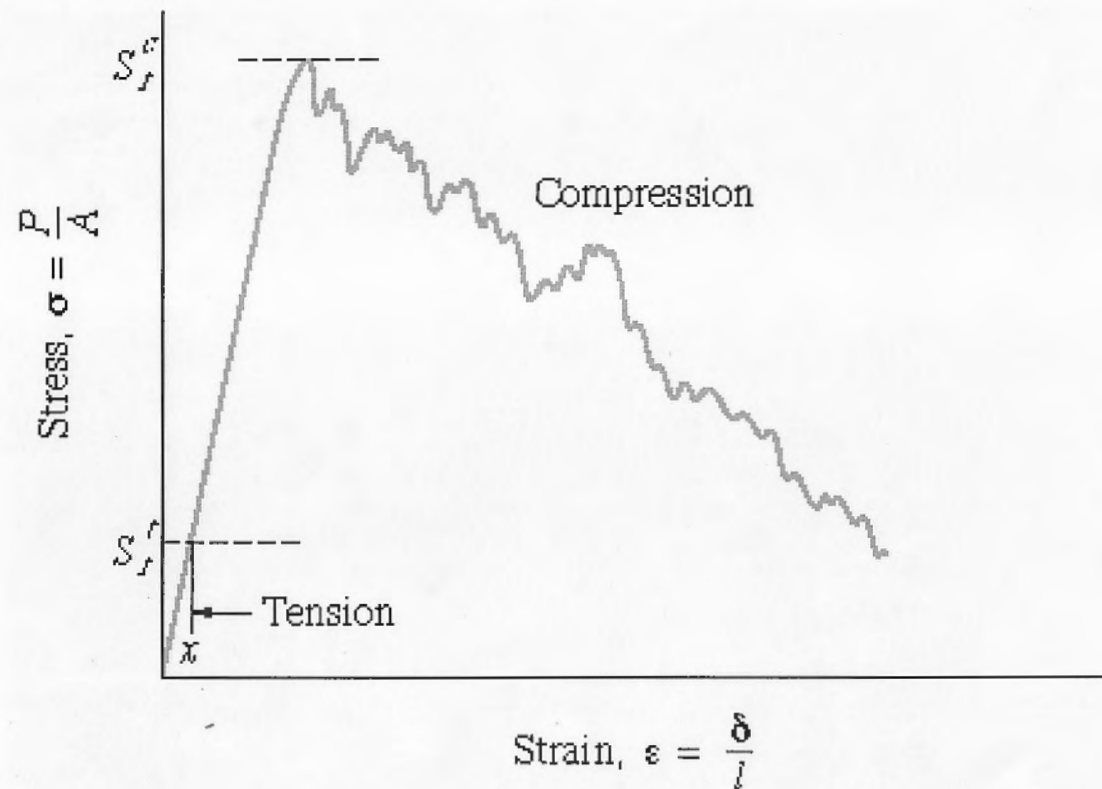


Figure 3.8 Stress-strain diagram for a ceramic in tension and in compression.

Stress-Strain Diagram for Polymers

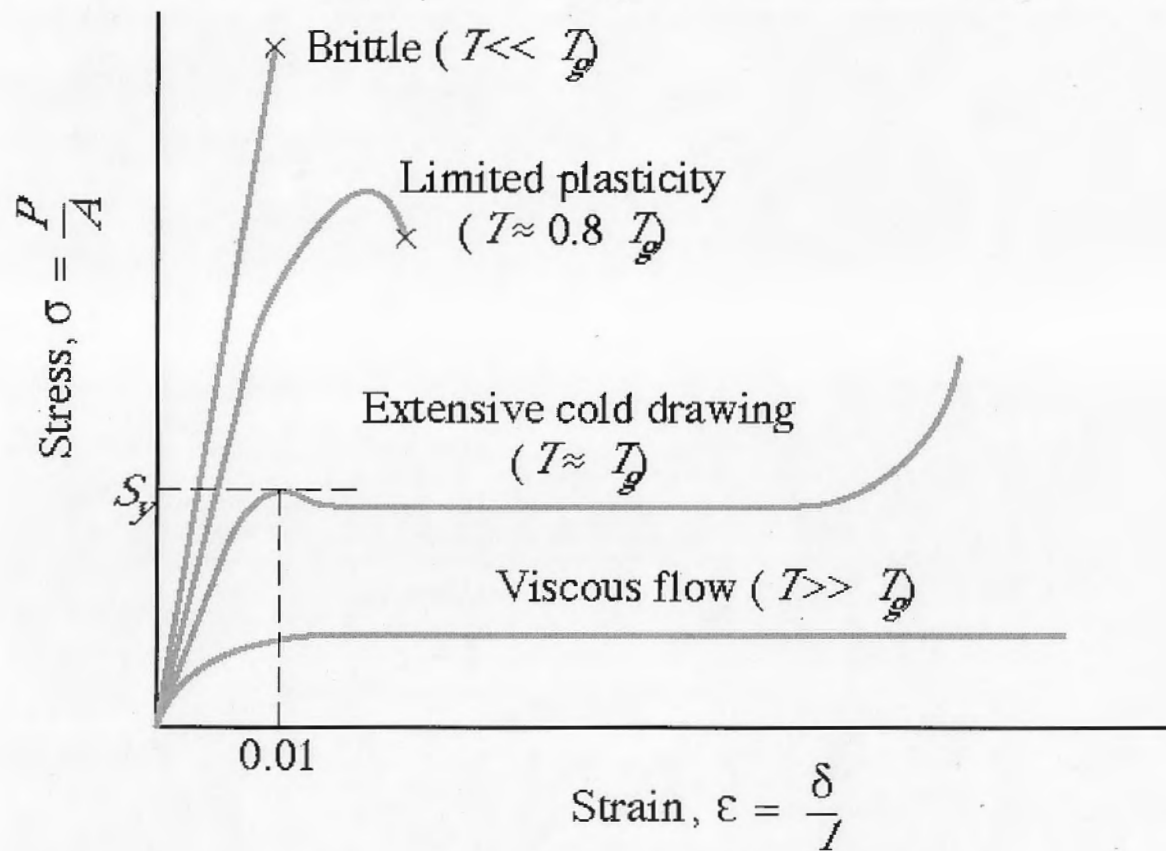


Figure 3.10 Stress-strain diagram for polymer below, at, and above its glass transition temperature T_g .