

Auxiliar III

Diagramas CCT y ceramicos I

Gaspar Fábrega Ragni

Universidad de Chile
DIMEC

CHILE 2022.5



Contents

- 1 Preguntas Conceptuales
- 2 EJERCICIOS:
- 3 Recomendaciones bibliografía:

Preguntas Conceptuales

¿Qué es el test de Jominy?

El test de Jominy es un ensayo que se utiliza para comparar la capacidad de endurecimiento de distintos aceros.

En este ensayo, una barra de 4 pulgadas de largo y 1 pulgada de diámetro es austenizada, ubicada en un soporte, y enfriada con un flujo de agua constante por un extremo.

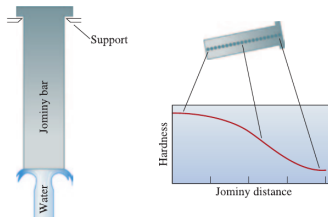


Figure 13-20 The set-up for the Jominy test used for determining the hardenability of a steel.

¿Qué es el test de Jominy?

Esto produce un rango de endurecimientos debido a las distintas velocidades de enfriamiento. En un extremo correspondiente a un templeado rápido y en el otro a un enfriamiento al aire.

La capacidad de endurecimiento se ve afectada principalmente por la cantidad de carbono.

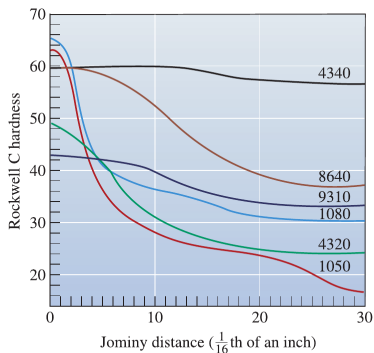


Figure 13-21 The hardenability curves for several steels.

Describe el proceso de temple y revenido

El temple es un tratamiento térmico que se utiliza para aumentar la dureza y el esfuerzo de aceros. En este proceso, el material se calienta hasta una temperatura de austenización y luego se enfría rápidamente al ponerlo en un medio conductor, este puede ser:

- Aire
- Agua
- Aceite
- otros medios...

Al controlar la tasa de enfriamiento, pueden obtenerse distintas proporciones de micro estructuras y tamaño de grano cambiando las propiedades del material (dureza y resistencia).

Describe el proceso de temple y revenido

El revenido es un tratamiento térmico que ocurre después del endurecimiento, donde se reduce la dureza y se obtiene en cambio una mejor resistencia y ductilidad del material. En este, el material se calienta durante una cantidad de tiempo por debajo de la temperatura de austenización (para no destruir la martensita formada), para eliminar esfuerzos residuales al interior del material.

Este proceso funciona al remover dislocaciones generadas por la rápida formación de martensita, sacrificando una proporción baja de esta microestructura por una mayor ductilidad y formabilidad.

¿Cómo afecta la velocidad de templado a los aceros?

La velocidad de enfriamiento permitirá la estabilización de distintas proporciones de microestructuras, lo que alterará la dureza del material en su estado final. Mientras mayor sea la proporción de microestructura que provee dureza (martensita), más duro será el material.

Por otro lado, una mayor tasa de enfriamiento genera una microestructura más fina (granos mas pequeños), lo que aumenta la resistencia y al mismo tiempo la dureza.

¿Cómo afecta la velocidad de templado a los aceros?

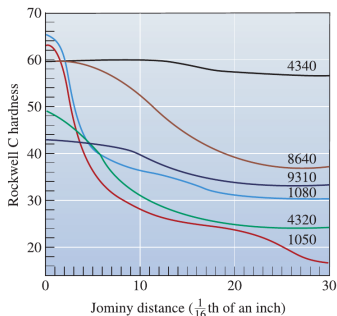


Figure 13-21 The hardenability curves for several steels.

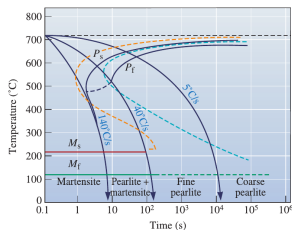


Figure 13-14 The CCT diagram (solid lines) for a 1080 steel compared with the TTT diagram (dashed lines).

¿Que tipos de cerámicos existen, y para que se utilizan?

Cerámicos covalentes cristalinos: No metal + No metal

Materiales cerámicos donde los enlaces entre átomos son covalentes y la estructura que tienen es alguna de las estructuras cristalinas conocidas.

Cerámicos covalentes amorfos: No metal + No metal

Materiales cerámicos donde los enlaces entre átomos son covalentes y la estructura que tienen es amorfa, ya sea debido a un rápido enfriamiento que no permite la formación de una matriz cristalina o debido a propiedades de los átomos.

Cerámicos iónicos: No metal + Metal

Materiales cerámicos cuyo enlace es iónico debido a la gran diferencia de electro negatividad entre sus componentes.

¿Que tipos de cerámicos existen, y para que se utilizan?

	Structure	Name/Lattice and Basis	Some Examples
1		<i>Sodium chloride (NaCl)</i> FCC lattice with a basis of Cl (0, 0, 0) and Na (1/2, 0, 0)	BaO, CaO, MgO, SrO, TiC, TiO
2		<i>Diamond cubic</i> FCC lattice with a basis of C (0, 0, 0) and C (1/4, 1/4, 1/4)	Diamond
3		<i>Cubic zincblende (ZnS) also known as sphalerite</i> FCC lattice with a basis of S (0, 0, 0) and Zn (1/4, 1/4, 1/4)	β -SiC
4		Fluorite (CaF_2) FCC lattice with a basis of Ca (0, 0, 0), F (1/4, 1/4, 1/4), and F (1/4, 1/4, 3/4)	BaF ₂ , CaF ₂ , CeO ₂ , ThO ₂ , UO ₂ , ZrO ₂

¿Que tipos de cerámicos existen, y para que se utilizan?

5		Hexagonal zincblende (ZnS) also known as wurtzite Hexagonal lattice with a basis of S (0, 0, 0), S (2/3, 1/3, 1/2), Zn (0, 0, 3/8), Zn (2/3, 1/3, 7/8)	α -SiC, BeO, ZnO,
6		Perovskite (CaTiO_3) Simple cubic lattice with a basis of Ca (0, 0, 0), Ti (1/2, 1/2, 1/2), and O (0, 1/2, 1/2), O (1/2, 0, 1/2), and O (1/2, 1/2, 0)	BaTiO_3 , CaTiO_3 , PbZrO_3 , SrTiO_3
7		Antifluorite (Na_2O) FCC lattice with a basis of O (0, 0, 0), Na (1/4, 1/4, 1/4), and Na (1/4, 1/4, 3/4)	K_2O , Li_2O , Na_2O

¿Que tipos de cerámicos existen, y para que se utilizan?

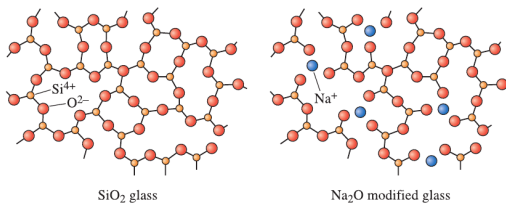


Figure 15-16 The effect of Na₂O on the silica glass network. Sodium oxide is a modifier, disrupting the glassy network and reducing the ability to form a glass.

¿Que tipos de cerámicos existen, y para que se utilizan?

Table 15-2 Properties of commonly encountered polycrystalline ceramics

Material	Melting Point (°C)	Thermal Expansion Coefficient ($\times 10^{-6}$ cm/cm)/°C
Al ₂ O ₃	2000	~6.8
BN	2732	0.57 ^a , -0.46 ^b
SiC	2700	~3.7
Diamond	3550	1.02
Mullite	1810	4.5
TiO ₂	1840	8.8
Cubic ZrO ₂	2700	10.5

^aPerpendicular to pressing direction.

^bParallel to pressing direction.

¿Que tipos de cerámicos existen, y para que se utilizan?

Table 15-3 Mechanical properties of selected advanced ceramics

Material	Density (g/cm³)	Tensile Strength (psi)	Flexural Strength (psi)	Compressive Strength (psi)	Young's Modulus (psi)
Al ₂ O ₃	3.98	30,000	80,000	400,000	56 × 10 ⁶
SiC (sintered)	3.1	25,000	80,000	560,000	60 × 10 ⁶
Si ₃ N ₄ (reaction bonded)	2.5	20,000	35,000	150,000	30 × 10 ⁶
Si ₃ N ₄ (hot pressed)	3.2	80,000	130,000	500,000	45 × 10 ⁶
Sialon	3.24	60,000	140,000	500,000	45 × 10 ⁶
ZrO ₂ (partially stabilized)	5.8	65,000	100,000	270,000	30 × 10 ⁶
ZrO ₂ (transformation toughened)	5.8	50,000	115,000	250,000	29 × 10 ⁶

¿Que tipos de cerámicos existen, y para que se utilizan?

Table 15.7 Properties of ceramics

Ceramic	Cost (UK£ (US\$) tonne ⁻¹)	Density (Mg m ⁻³)	Young's modulus (GPa)	Compressive strength (MPa)	Modulus of rupture (MPa)	Weibull exponent <i>m</i>	Time exponent <i>n</i>	Fracture toughness (MPa m ^{1/2})	Melting (softening) temperature (K)	Specific heat (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	Thermal conductivity (W m ⁻¹ /K ⁻¹)	Thermal expansion coefficient (MK ⁻¹)	Thermal shock resistance (K)
<i>Glasses</i>													
Soda glass	700 (1000)	2.48	74	1000	50	Assume 10 in design	10	0.7	(1000)	990	1	8.5	84
Borosilicate glass	1000 (1400)	2.23	65	1200	55		10	0.8	(1100)	800	1	4.0	280
Pottery, etc. Porcelain	260–1000 (360–1400)	2.3–2.5	70	350	45		–	1.0	(1400)	800	1	3	220
<i>High-performance engineering ceramics</i>													
Diamond	4 × 10 ⁶ (6 × 10 ⁸)	3.52	1050	5000	–	–	–	–	–	510	70	1.2	1000
Dense alumina	Expensive at present.	3.9	380	3000	300–400	10	10	3–5	2323 (1470)	795	25.6	8.5	150
Silicon carbide	Potentially	3.2	410	2000	200–500	10	40	–	3110	–	1422	84	300
Silicon nitride	Potentially	3.2	310	1200	300–850	–	40	4	2173	–	627	17	3.2
Zirconia	350–1000	5.6	200	2000	200–500	10–21	10	4–12	2843	–	670	1.5	8
Sialons	(490–1400)	3.2	300	2000	500–830	15	10	5	–	–	710	20–25	3.2
<i>Cement, etc.</i>													
Cement	52 (73)	2.4–2.5	20–30	50	7	12	40	0.2	–	–	1.8	10–14	<50
Concrete	26 (36)	2.4	30–50	50	7	12	40	0.2	–	–	2	10–14	
<i>Rocks and ice</i>													
Limestone	Cost of mining and transport	2.7	63	30–80	20	–	–	0.9	–	–	–	8	≈ 100
Granite		2.6	60–80	65–150	23	–	–	–	–	–	–	8	
Ice		0.92	9.1	6	1.7	–	–	0.12	273 (250)	–	–	–	

¿Que tipos de cerámicos existen, y para que se utilizan?

Specific moduli: ceramics compared to metals

Material	Modulus E (GPa)	Density ρ (Mg m ⁻³)	Specific modulus E/ρ (GPa/Mg m ⁻³)
Steels	210	7.8	27
Al alloys	70	2.7	26
Alumina, Al ₂ O ₃	390	3.9	100
Silica, SiO ₂	69	2.6	27
Cement	45	2.4	19

Normalised hardness of pure metals, alloys and ceramics

Pure metal	H/E	Metal alloy	H/E	Ceramic	H/E
Copper	1.2×10^{-3}	Brass	9×10^{-3}	Diamond	1.5×10^{-1}
Aluminium	1.5×10^{-3}	Dural (Al 4% Cu)	1.5×10^{-2}	Alumina	4×10^{-2}
Nickel	9×10^{-4}	Stainless steel	6×10^{-3}	Zirconia	6×10^{-2}
Iron	9×10^{-4}	Low alloy steel	1.5×10^{-2}	Silicon carbide	6×10^{-2}
Mean, metals	1×10^{-3}	Mean, alloys	1×10^{-2}	Mean, ceramics	8×10^{-2}

¿Que tipos de cerámicos existen, y para que se utilizan?

Table 15-1 Functions and applications of some exemplar ceramics.

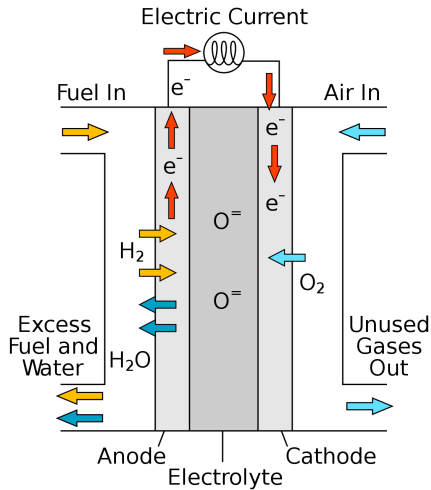
Function	Application	Examples of Ceramics
Electrical	Capacitor dielectrics	BaTiO ₃ , SrTiO ₃ , Ta ₂ O ₅
	Microwave dielectrics	Ba(Mg _{1/3} Ta _{2/3})O ₃ , Ba(Zn _{1/3} Ta _{2/3})O ₃
		BaTi ₄ O ₉ , Ba ₂ Ti ₉ O ₂₀ , Zr _x Sn _{1-x} TiO ₄ , Al ₂ O ₃
	Conductive oxides	In-doped SnO ₂ (ITO)
	Superconductors	YBa ₂ Cu ₃ O _{7-x} (YBCO)
	Electronic packaging	Al ₂ O ₃
	Insulators	Porcelain
	Solid-oxide fuel cells	ZrO ₂ , LaCrO ₃
	Piezoelectric	Pb(Zr _x Ti _{1-x})O ₃ (PZT), Pb(Mg _{1/3} Nb _{2/3})O ₃
Magnetic	Electro-optical	La-doped PZT (PLZT), LiNbO ₃
	Recording media	γ-Fe ₂ O ₃
	Ferrofluids, credit cards	Fe ₃ O ₄
	Circulators, isolators	Nickel zinc ferrite
	Inductors, magnets	Manganese zinc ferrite
Optical	Fiber optics	Doped SiO ₂
	Glasses	SiO ₂ based
	Lasers	Al ₂ O ₃ , yttrium aluminum garnate (YAG)
	Lighting	Al ₂ O ₃ , glasses
Automotive	Oxygen sensors, fuel cells	ZrO ₂
	Catalyst support	Cordierite
	Spark plugs	Al ₂ O ₃
	Tires	SiO ₂
	Windshields/windows	SiO ₂ -based glasses

¿Que tipos de cerámicos existen, y para que se utilizan?

Table 15-1 Functions and applications of some exemplar ceramics. (*continued*)

Function	Application	Examples of Ceramics
Mechanical/Structural	Cutting tools	WC-Co cermets Silicon-aluminum-oxynitride (Sialon) Al_2O_3
	Composites Abrasives	SiC , Al_2O_3 , silica glass fibers SiC , Al_2O_3 , diamond, BN, ZrSiO_4
Biomedical	Implants	Hydroxyapatite
	Dentistry Ultrasound imaging	Porcelain, Al_2O_3 PZT
Construction	Buildings	Concrete
		Glass Bathroom fixtures
Others	Defense applications Armor materials Sensors Nuclear	PZT, B_4C SnO_2 UO_2
	Metals processing	Glasses for waste disposal Alumina and silica-based refractories, oxygen sensors, casting molds, etc.
Chemical	Catalysis	Various oxides (Al_2O_3 , ZrO_2 , ZnO , TiO_2)
	Air, liquid filtration Sensors Paints, rubber	
Domestic	Tiles, bathroom fixtures, whiteware, kitchenware, pottery, art, jewelry	Clay, alumina, and silica-based ceramics, glass-ceramics, diamond, ruby, cubic zirconia, and other crystals

SOFC



EJERCICIOS:

P1:

Una pieza producida desde una aleación 0.2%C tiene una microestructura que contiene ferrita, perlita, bainita y martensita luego del templado. ¿Qué microestructura se obtendría si se usa un acero 1080 y un 4340?

Observando el gráfico, podemos rescatar que la velocidad de enfriamiento para nuestro acero deberá encontrarse en el intervalo 10-20 [C°/s]

(para que existan las cuatro microestructuras mencionadas)

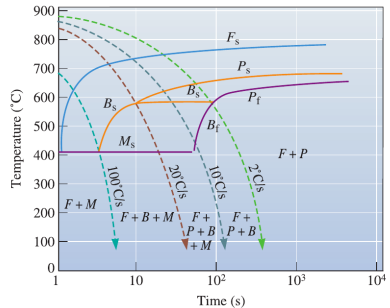


Figure 13-15 The CCT diagram for a low-alloy, 0.2% C steel.

P1:

Para nuestro acero 1080, en el mismo rango de velocidades de enfriamiento, obtendremos:

Perlita Fina

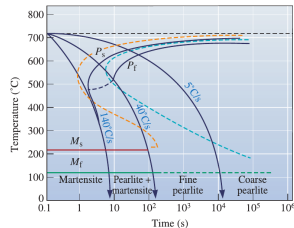
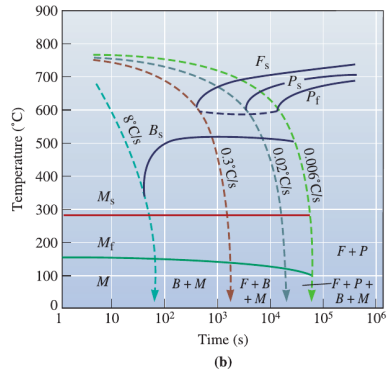


Figure 13-14 The CCT diagram (solid lines) for a 1080 steel compared with the TTT diagram (dashed lines).

P1:

Para nuestro acero 4340, en el mismo rango de velocidades de enfriamiento, obtendremos:

Martensita



P2:

P2: Se desea obtener una dureza DRC 40 en un acero templado ¿Qué intervalo de rapidez de enfriamiento se tendría que obtener para los siguientes aceros:

- 4340
- 9310
- 1080
- 8640

P2:

- 4340: No es posible
- 9310: 10/16
- 1080: 6/16
- 8640: 17/16

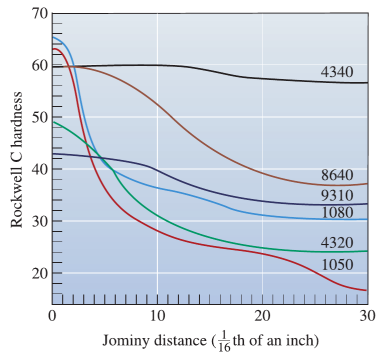


Figure 13-21 The hardenability curves for several steels.

P2:

- 4340: No es posible
- 9310: 10 °C/s
- 1080: 22 °C/s
- 8640: 3-5 °C/s

Table 13-3 The relationship between cooling rate and Jominy distance

Jominy Distance (in.)	Cooling Rate (°C/s)
$\frac{1}{16}$	315
$\frac{2}{16}$	110
$\frac{3}{16}$	50
$\frac{4}{16}$	36
$\frac{5}{16}$	28
$\frac{6}{16}$	22
$\frac{7}{16}$	17
$\frac{8}{16}$	15
$\frac{10}{16}$	10
$\frac{12}{16}$	8
$\frac{16}{16}$	5
$\frac{20}{16}$	3
$\frac{24}{16}$	2.8
$\frac{28}{16}$	2.5
$\frac{36}{16}$	2.2

P3:

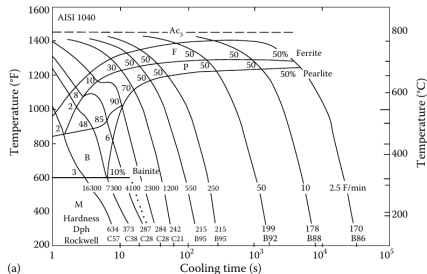
P3: Se tiene un acero 1040 y se desea obtener una dureza de al menos 28RC. Diseñe un tratamiento térmico y determine la microestructura.

Deberemos:

- Austenizar a 1450°F
- Enfriar a aproximadamente 4100 °F/min

Obtendremos:

- 8% Ferrita
- 85% Perlita
- 6% Bainita
- 1% Martensita



Preguntas:

- P4: Tenemos dos barras de cermet de níquel / YSZ (40% en peso de Ni-60% en peso de YSZ) llamadas B1 y B2. Mediante el uso de la información obtenida por diferentes pruebas dadas en la tabla.

Dato	Barra 1	Barra 2
Dimension	$50 \times 5.5 \times 4.9$	$49 \times 5 \times 4.8$
Peso	6.5	7.2
F_{max} (4 point bending)	1250	1380
ρ_{Ni}	8.9	$[g\ cm^{-3}]$
ρ_{YSZ}	5.8	$[g\ cm^{-3}]$

Calcula: *densidad teórica, densidad aparente, porosidad, esfuerzo.*

P4:

a) densidad teórica.

Para calcular esta densidad, necesitamos la fracción en volumen de cada componente. En un g de material:

$$m_{Ni} = 1 \cdot 0.4 = 0.4$$

$$m_{YSZ} = 1 \cdot 0.6 = 0.6$$

lo que implica:

$$V_{Ni} = \frac{0.4}{\rho_{Ni}} = 0.0449$$

$$V_{YSZ} = \frac{0.6}{\rho_{YSZ}} = 0.1034$$

$$V_t = 0.1483 \quad \Rightarrow$$

P4:

$$f_{Ni} = \frac{0.0449}{0.1483} = 0.303$$
$$f_{YSZ} = \frac{0.1034}{0.1483} = 0.697$$

$$\begin{aligned}\rho_c &= f_{Ni}\rho_{Ni} + f_{YSZ}\rho_{YSZ} \\ &= 0.303 \cdot 8.9 + 0.697 \cdot 5.8 \\ &= 6.7393 \text{ [g cm}^{-3}\text{]}\end{aligned}$$

P4:

O podemos utilizar el inverso de la densidad (el volumen específico). Para calcular la densidad compuesta:

$$\begin{aligned}\frac{1}{\rho_c} &= \nu_c = x_{Ni} \nu_{Ni} + x_{YSZ} \nu_{YSZ} \\ &= \frac{0.4}{8.9} + \frac{0.6}{5.8} \quad \Rightarrow \\ \rho_c &= \frac{1}{0.1484} = 6.7430 \text{ [g cm}^{-3}\text{]}\end{aligned}$$

P4

b): densidad aparente

$$\rho_{\text{bulk}} = \frac{m}{V}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{bulk } 1} &= \frac{6.5}{5 \cdot 0.55 \cdot 0.49} \\ &= 4.823\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{bulk } 2} &= \frac{7.2}{4.9 \cdot 0.5 \cdot 0.48} \\ &= 6.122\end{aligned}$$

P4

c) porosidad

La porosidad se calcula como la proporción de vacíos respecto al volumen con material. Esto podemos encontrarlo con la razón de densidad teórica:

$$\begin{aligned}\%P &= (1 - TD)100\% \\ &= \left(1 - \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{terica}}\right) 100\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\%P_1 &= \left(1 - \frac{4.823}{6.74}\right) 100\% \\ &= 28.4\%\end{aligned}$$

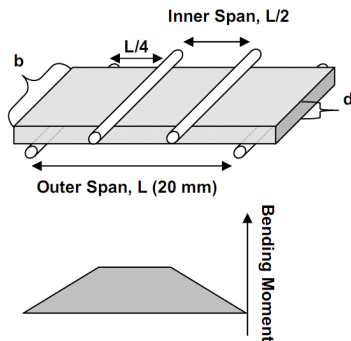
P4

$$\begin{aligned}\%P_2 &= \left(1 - \frac{6.122}{6.74}\right) 100\% \\ &= 9.2\%\end{aligned}$$

La barra 2, al tener una densidad real mas cercana a la densidad teórica, tendrá como consecuencia una menor porosidad.

P4:

c) esfuerzo



$$\sigma = \frac{3}{2} \frac{F(L_o - L_i)}{bh^2} \quad L_o = 40 \text{ [mm]} \quad \wedge \quad L_o = 20 \text{ [mm]}$$

P4:

$$\sigma_1 = \frac{3}{2} \frac{1250(40 - 20)}{5.5 \cdot (4.9^2)} = 283.97 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_2 = \frac{3}{2} \frac{1380(40 - 20)}{5 \cdot (4.8^2)} = 359.37 \text{ [MPa]}$$

P5:

El parámetro de red del SrTiO_3 es de 3,988 [Å]. Determinar la densidad teórica, densidad aparente (bulk), porcentaje de densidad teórica y porcentaje de porosidad. Para ello utilice los siguientes datos:

PA(Sr)	87.62	[g mol ⁻¹]
PA(O)	16	[g mol ⁻¹]
PA(Ti)	47.87	[g mol ⁻¹]
m	10	[g]
v_i	$1.203 \cdot 10^{-4}$	[m ³]
v_f	$1.2286 \cdot 10^{-4}$	[m ³]

Table: Datos P5

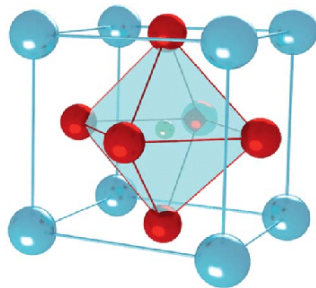
P5:

a) densidad teórica:

Este compuesto corresponde a una perovskita, de composición ABO_3 .

Debemos confirmar si este compuesto corresponde a una perovskita cubica, para determinar si hay que corregir o no el parámetro de celda:

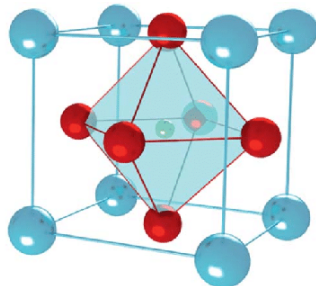
$$\begin{aligned}
 t &= \frac{r_{Sr} + r_O}{\sqrt{(r_{Ti} + r_O)}} \\
 &= \frac{1.44 + 1.4}{\sqrt{2}(0.605 + 1.4)} \\
 &= 1.0
 \end{aligned}$$



P5:

El factor de tolerancia es 1, por lo que corresponde a una perovskita cúbica. Con esto, podemos calcular la densidad teórica:

$$\begin{aligned}\rho_t &= \frac{PA_A + PA_B + 3PA_X}{na \cdot a^3} \\ &= \frac{87.62 + 47.87 + 3 \cdot 16}{6.02 \cdot 10^{23} \cdot (3.988 \cdot 10^{-10})^3} \cdot \frac{1}{1000} \\ &= 4803.24 \left[\frac{kg}{m^3} \right]\end{aligned}$$



P5:

b) densidad bulk:

Ahora, utilizamos los datos de la muestra para calcular su densidad real:

$$V = V_f - V_i = 2.5 \cdot 10^{-6} [m^3]$$

$$\rho_{bulk} = \frac{m}{V} = \frac{0.01}{2.5 \cdot 10^{-6} [m^3]} = 3906.2 [kg \ m^{-3}]$$

P5:

Ahora, utilizamos los resultados para encontrar la razón de densidad:

$$\begin{aligned}\% \rho_t &= \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{teorica}} \cdot 100 \\ &= \frac{3906.2}{4803.24} \cdot 100 \\ &= 81.3\%\end{aligned}$$

P5:

y con esto, obtenemos la porosidad:

$$\begin{aligned}\%P &= 100 - 81.3 \\ &= 18.7\%\end{aligned}$$

Recomendaciones bibliografía:

Capítulos:

- Ref 1 –Ashby: “Engineering materials 2”
 - Cap 12:
 - Cap 13:
 - Cap 17:
 - Cap 18:
- Ref 2 - Askeland: “The Science and Engineering of Materials”
 - Cap 2:
 - Cap 4:
 - Cap 5:
 - Cap 13:
 - Cap 15:
- Ref 3 - Porter “Phase Transformations in Metals and Alloys”
 - Cap 2:
 - Cap 5:
 - Cap 6:

SUERTE!