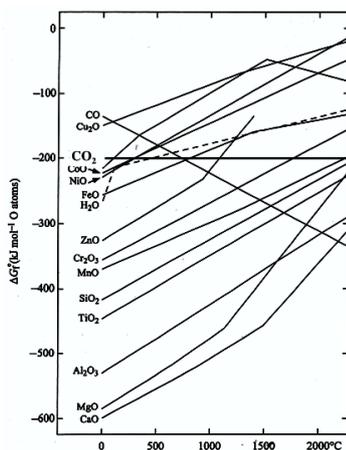
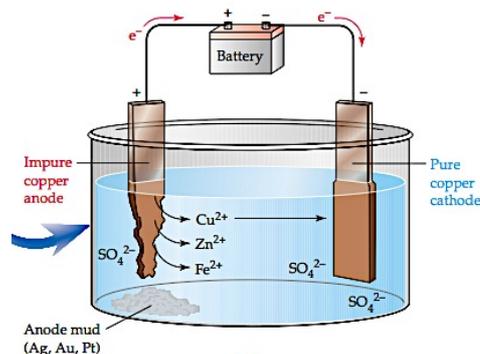




Ejercicios Tema 1. Obtención de Metales



(adaptada de: T. W. Swaddle, *Inorganic Chemistry*, Academic Press, 1997)



(adaptada de: J. McMurry, R. C. Fay, *Chemistry: Matter and Measurement*, 4<sup>th</sup> ed, Pearson, 2004)

Prof. Responsable: José María Moratal Mascarell. Catedrático de Química Inorgánica ([jose.m.moratal@uv.es](mailto:jose.m.moratal@uv.es))

Ejercicios Tema 1. Obtención Metales

1.- Cuando el carbono reacciona con el oxígeno se puede generar, en función de las condiciones, dióxido de carbono o monóxido de carbono.

a) Escribe las reacciones ajustadas, correspondientes a la formación de cada uno de los óxidos citados, y calcula  $\Delta G^\circ$  por mol de oxígeno consumido.

b) A partir de los datos de la siguiente tabla, y considerando despreciables las capacidades caloríficas de reacción, determina la temperatura a partir de la cual la formación de monóxido de carbono es más favorable que la del dióxido de carbono.

Datos:

	C(graf)	O <sub>2</sub> (g)	CO(g)	CO <sub>2</sub> (g)
$\Delta H_f^\circ$ (kJ·mol <sup>-1</sup> )	0	0	-111	-394
$S^\circ$ (J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	6	205	198	214

• **Solución: a)**



–  $\Delta H^\circ = -394 \text{ kJ}$

–  $\Delta S^\circ = 214 - (6 + 205) = +3 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}$

–  $\Delta G^\circ_1 = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ = -394 - 0,003 \cdot 298 = -394,89 \text{ kJ}$

## Ejercicios Tema 1. Obtención Metales

1.- Cuando el carbono reacciona con el oxígeno se puede generar, en función de las condiciones, dióxido de carbono o monóxido de carbono.

a) Escribe las reacciones ajustadas, correspondientes a la formación de cada uno de los óxidos citados, y calcula  $\Delta G^\circ$  por mol de oxígeno consumido.

b) A partir de los datos de la siguiente tabla, y considerando despreciables las capacidades caloríficas de reacción, determina la temperatura a partir de la cual la formación de monóxido de carbono es más favorable que la del dióxido de carbono.

Datos:

	C(graf)	O <sub>2</sub> (g)	CO(g)	CO <sub>2</sub> (g)
$\Delta H_f^\circ$ (kJ·mol <sup>-1</sup> )	0	0	- 111	- 394
S° (J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	6	205	198	214

• **Solución: a)**



–  $\Delta H^\circ = 2(-111) = -222 \text{ kJ}$

–  $\Delta S^\circ = 2 \cdot 198 - (2 \cdot 6 + 205) = +179 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

–  $\Delta G^\circ_2 = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ = -222 - 0,179 \cdot 298 = -275,34 \text{ kJ}$

3

## Ejercicios Tema 1. Obtención Metales

1.- Cuando el carbono reacciona con el oxígeno se puede generar, en función de las condiciones, dióxido de carbono o monóxido de carbono.

b) A partir de los datos de la siguiente tabla, y considerando despreciables las capacidades caloríficas de reacción, determina la temperatura a partir de la cual la formación de monóxido de carbono es más favorable que la del dióxido de carbono.

• **Solución: b)**

▪ En el punto de cruce:  $\Delta G_1 = \Delta G_2$

»  $-394 - 0,003 \cdot T = -222 - 0,179 \cdot T$  ;  $(0,179 - 0,003) \cdot T = -222 + 394$

»  $T = 172/0,176 = 977,3 \text{ K} \equiv 704 \text{ }^\circ\text{C}$

• **Solución: b) alternativa**



»  $\Delta H^\circ = 2(-111) - (-394) = +172 \text{ kJ}$  ;  $\Delta S^\circ = 2 \cdot 198 - (6 + 214) = +176 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

»  $T = 172/0,176 = 977,3 \text{ K} \equiv 704 \text{ }^\circ\text{C}$

» para  $T > 704 \text{ }^\circ\text{C}$  es más favorable la formación de CO

4

## Ejercicios Tema 1. Obtención Metales

2.- A partir de los datos de la siguiente tabla, y considerando despreciables las capacidades caloríficas de reacción, calcula la temperatura aproximada por encima de la cual:

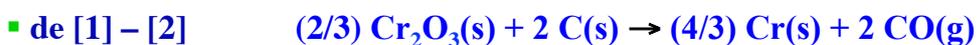
a) el carbono sería capaz de reducir el  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  a cromo metal,

b) el carbono sería capaz de reducir el  $\text{SiO}_2$  a silicio.

Datos:

	C(graf)	CO(g)	Cr(s)	$\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{s})$	Si(s)	$\text{SiO}_2(\text{cuarzo})$
$\Delta H_f^\circ$ (kJ·mol <sup>-1</sup> )	0	-110,52	0	-1139,7	0	-910,94
$S^\circ$ (J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	5,74	197,67	23,77	81,2	18,83	41,48

• **Solución:**



❖  $\Delta H_r^\circ = 2 \cdot (-110,52) - (2/3) \cdot (-1139,7) = 538,76 \text{ kJ}$

❖  $\Delta S_r^\circ = (4/3) \cdot (23,77) + 2 \cdot (197,67) - [(2/3) \cdot (81,2) + 2 \cdot (5,74)] = 361,42 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

»  $T > \Delta H_r^\circ / \Delta S_r^\circ = 538,76 / 0,36142 = 1490,68 \text{ K} \equiv 1217,53 \text{ }^\circ\text{C}$

5

## Ejercicios Tema 1. Obtención Metales

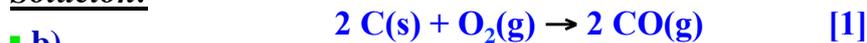
2.- Considerando despreciables las capacidades caloríficas de reacción, a partir de los datos de la siguiente tabla, calcula la temperatura aproximada por encima de la cual:

b) el carbono sería capaz de reducir el  $\text{SiO}_2$  a silicio.

Datos:

	C(graf)	CO(g)	Si(s)	$\text{SiO}_2(\text{cuarzo})$
$\Delta H_f^\circ$ (kJ·mol <sup>-1</sup> )	0	-110,52	0	-910,94
$S^\circ$ (J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	5,74	197,67	18,83	41,48

• **Solución:**



$\Delta H_r^\circ = 2 \cdot (-110,52) - (-910,94) = 689,9 \text{ kJ}$

$\Delta S_r^\circ = 18,83 + 2 \cdot (197,67) - [41,48 + 2 \cdot (5,74)] = 361,21 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

»  $T > \Delta H_r^\circ / \Delta S_r^\circ = 689,9 / 0,36121 = 1909,97 \text{ K} \equiv 1636,97 \text{ }^\circ\text{C}$

$T > 1637 \text{ }^\circ\text{C}$

6

## Ejercicios Tema 1. Obtención Metales

3.- Utilizando el diagrama de Ellingham responde, razonadamente, a las siguientes cuestiones:

a) ¿qué óxido metálico puede ser reducido a su estado metálico por simple calentamiento?

• R: HgO ( $t^a > 450\text{ }^\circ\text{C}$ )

b) a alta  $t^a$  es posible reducir uno de estos óxidos metálicos con carbón ¿cuál es este óxido?

• R: MgO

c) ¿qué óxido metálico no puede ser reducido al metal por medio de la reducción con carbono?

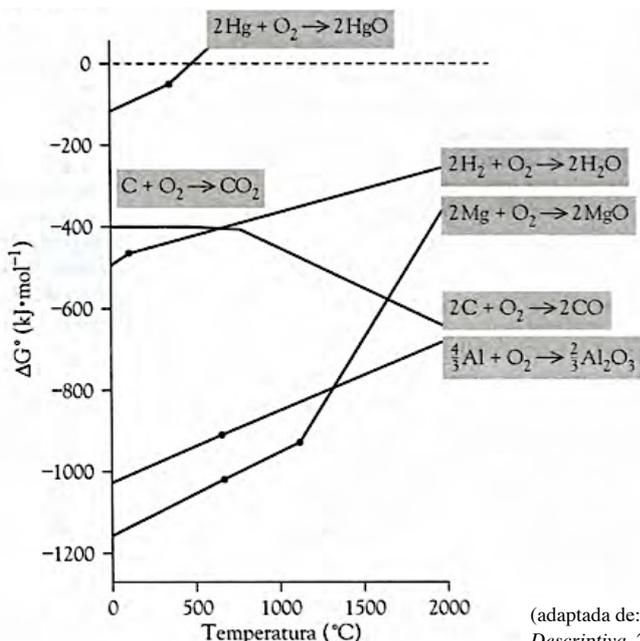
• R: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

d) ¿por qué la pendiente Mg–MgO cambia tan drásticamente después del segundo cambio de fase?

• R:  $\Delta S^\circ$  más desfavorable [Mg(g)]



▪ p. e. (Mg) = 1090°C; [p. f. = 649°C]



(adaptada de: G. Rayner-Canham, *Química Inorgánica Descriptiva*, 2ª ed, Pearson Educación, 2000)

7

## Ejercicios Tema 1. Obtención Metales

4.- Utilizando el diagrama de Ellingham responde, razonadamente, a las siguientes cuestiones:

a) ¿se podría obtener magnesio por reducción de su óxido con aluminio? ¿a partir de qué temperatura?

• R: Se puede a  $T > 1620\text{ }^\circ\text{C}$

b) ¿se podría obtener cromo por reducción del óxido de Cr(III) con carbón? ¿a partir de qué temperatura?

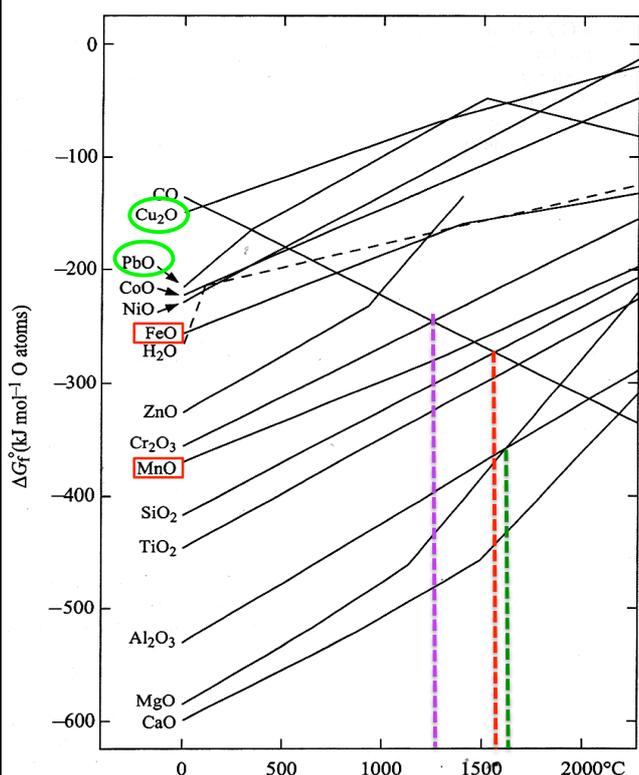
• R: Se puede a  $T > 1255\text{ }^\circ\text{C}$

c) de los óxidos MnO, Cu<sub>2</sub>O, PbO, FeO, ¿cuáles se podría reducir con H<sub>2</sub> para obtener el metal?

• R: Cu<sub>2</sub>O, PbO

d) ¿a partir de qué temperatura se podría reducir SiO<sub>2</sub> con carbón?

• R: Se puede a  $T > 1570\text{ }^\circ\text{C}$



(adaptada de: T. W. Swaddle, *Inorganic Chemistry*, Academic Press, 1997)

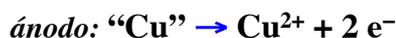
8

## Ejercicios Tema 1. Obtención Metales

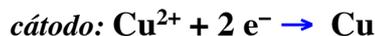
5.- El cobre se purifica mediante electrolisis. En una celda electrolítica, cuyo ánodo de cobre impuro tiene una masa de 5,00 kg, y en la que se utiliza una intensidad de corriente de 37,8 A, ¿durante cuánto tiempo (en horas) debería pasar la corriente para que se disuelva dicho ánodo y se electrodeposite el cobre en el cátodo? Se supone que la celda tiene una eficiencia 100%.

Datos.- Carga elemental:  $1,602 \times 10^{-19}$  C;  $\mathcal{F} = 96485$  C·mol<sup>-1</sup>,  $A_r(\text{Cu}) = 63,55$ .

• Solución:



$$\blacksquare I = Q / t ;$$



$$\blacksquare \text{ moles de Cu impuro} \approx \text{ moles de Cu}^{2+} \text{ a depositarse} = 5 \cdot 10^3 / 63,55 = 78,678_2 \text{ moles}$$

$$\blacksquare \text{ moles de } e^- \text{ necesarios} = 2 \cdot \text{ moles de Cu} = 2 \cdot 78,678_2 = 157,356_4 \text{ moles}$$

$$\blacksquare Q = (\text{ moles de } e^-) \cdot 96485 \text{ C/mol de } e^- = 157,356_4 \cdot 96485 = 15,1825 \cdot 10^6 \text{ C}$$

$$\blacksquare I = Q / t ; t = Q / I = 15,1825 \cdot 10^6 \text{ C} / 37,8 \text{ (C/s)} = 401,654 \cdot 10^5 \text{ s}$$

$$\blacksquare t(\text{horas}) = (401,654 \cdot 10^5 \text{ s}) / (3600 \text{ s/h}) = 111,57 \text{ horas}$$

— **R: 111,57 hr**

9

## Ejercicios Tema 1. Obtención Metales

6.- Calcula los kWh de electricidad necesarios para producir 10<sup>3</sup> kg de Aluminio, mediante la electrolisis de un compuesto de aluminio fundido si la f.e.m. aplicada es 4,50 V.

Datos:  $A_r(\text{Al}) = 27,0$  ;  $\mathcal{F} = 96485$  C/mol  $e^-$ .



$$\blacksquare \omega = n \cdot \mathcal{F} \cdot \Delta E_{\text{ext}} = Q \cdot \Delta E_{\text{ext}}$$

$$\blacksquare \text{ moles de } e^- = 3 \cdot \text{ moles de Aluminio ; moles de Aluminio} = 10^6 \text{ g} / 27 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} ;$$

$$\blacksquare \text{ moles de } e^- = 3 \cdot 10^6 \text{ g} / 27 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\blacksquare Q = n \cdot \mathcal{F}$$

$$\blacksquare Q = (3 \cdot 10^6 / 27) \cdot 96485 = 1,72 \cdot 10^{10} \text{ C}$$

$$\blacksquare \omega = Q \cdot \Delta E_{\text{ext}} = 1,72 \cdot 10^{10} \cdot 4,50 = 4,824 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

$$\blacksquare 1 \text{ kWh} = 1000 \text{ (J/s)} \cdot 3600 \text{ s} \rightarrow 3,6 \cdot 10^6 \text{ J/kWh}$$

$$\blacksquare \text{ n}^\circ \text{ de kWh} = 4,824 \cdot 10^{10} / 3,6 \cdot 10^6 = 1,34 \cdot 10^4 \text{ kWh}$$

10