

IChO 1969

Problemas teóricos y soluciones · Katowice, Polonia · 4 problemas teóricos con soluciones completas

eulersolve.org/icho/1969/

Problema 1: Electrólisis de una disolución de sulfato de potasio

Se disolvieron 20 g de sulfato de potasio en 150 cm³ de agua. A continuación, la disolución se sometió a electrólisis. Tras la electrólisis, el contenido de sulfato de potasio en la disolución era del 15 % en masa.

Problema:

¿Qué volúmenes de hidrógeno y oxígeno se obtuvieron a una temperatura de 20 °C y una presión de 101 325 Pa?

Enunciado traducido del texto oficial en inglés.

Respuestas

- **Problema 1:** Hidrógeno, H₂ ([H] [H]): 49.0 dm³; oxígeno, O₂ (O=O): 24.5 dm³.

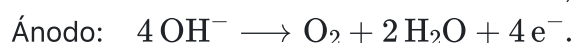
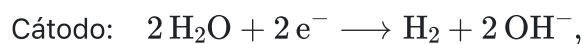
Solución

Problema 1

Supongamos una electrólisis ordinaria con electrodos inertes, una densidad del agua de 1.00 g cm⁻³, una evaporación despreciable y un comportamiento de gas ideal.

El sulfato de potasio, K₂SO₄ ([K+] · [K+] · [O-] S(=O) (=O) [O-]), actúa como electrolito y permanece en la disolución. El agua, H₂O (o), se descompone en hidrógeno y oxígeno.

Las reacciones en los electrodos, escritas utilizando iones hidróxido, OH⁻ ([OH-]), son



Al multiplicar por dos la reacción catódica y sumar ambas reacciones, se obtiene



Por tanto, la disolución pierde masa a medida que escapan los productos gaseosos, mientras que su contenido de sulfato de potasio se mantiene en 20 g.

La masa inicial de la disolución es

$$m_{\text{initial}} = 20 \text{ g} + (150 \text{ cm}^3)(1.00 \text{ g cm}^{-3}) = 170 \text{ g}.$$

Dado que la disolución final contiene un 15% de sulfato de potasio en masa,

$$0.15 = \frac{20 \text{ g}}{m_{\text{final}}}, \quad m_{\text{final}} = \frac{20}{0.15} = 133.333 \dots \text{ g}.$$

La masa de agua descompuesta es, por tanto,

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 170 - 133.333 \dots = 36.666 \dots \text{ g}.$$

Utilizando $M(\text{H}_2\text{O}) = 18.0 \text{ g mol}^{-1}$,

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{36.666 \dots \text{ g}}{18.0 \text{ g mol}^{-1}} = 2.037 \dots \text{ mol}.$$

La reacción global da

$$n(\text{H}_2) = 2.037 \dots \text{ mol}, \quad n(\text{O}_2) = 1.0185 \dots \text{ mol}.$$

A $T = 293.15 \text{ K}$ y $p = 101\,325 \text{ Pa}$, aplicamos $V = nRT/p$, con $R = 8.314 \text{ Pa m}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$:

$$V(\text{H}_2) = \frac{(2.037 \dots)(8.314)(293.15)}{101\,325} \text{ m}^3 = \boxed{49.0 \text{ dm}^3}.$$

A la misma temperatura y presión, el oxígeno ocupa la mitad del volumen del hidrógeno:

$$V(\text{O}_2) = \frac{1}{2} V(\text{H}_2) = \boxed{24.5 \text{ dm}^3}.$$

La solución se comprobó con la solución oficial.

Problema 2: Dos compuestos de potasio, nitrógeno y oxígeno

Un compuesto **A** contiene un 38.67 % de potasio, un 13.85 % de nitrógeno y un 47.48 % de oxígeno. Al calentarlo, se transforma en un compuesto **B** que contiene un 45.85 % de potasio, un 16.47 % de nitrógeno y un 37.66 % de oxígeno.

Problema:

2.1 ¿Cuáles son las fórmulas estequiométricas de los compuestos?

2.2 Escriba la ecuación química correspondiente.

Enunciado traducido del texto oficial en inglés.

Respuestas

- 2.1** **A** es nitrato de potasio, KNO_3 , SMILES $[\text{K}^+] \cdot [\text{O}^-] [\text{N}^+] (= \text{O}) [\text{O}^-]$. **B** es nitrito de potasio, KNO_2 , SMILES $[\text{K}^+] \cdot [\text{O}^-] \text{N}=\text{O}$.
- 2.2**



El gas desprendido es dioxígeno, SMILES $\text{O}=\text{O}$.

Las representaciones SMILES de las sales especifican los iones constituyentes de una unidad fórmula; no describen la red cristalina.

Solución

2.1

Tomemos una muestra de 100.00 g de cada compuesto. Las masas de los elementos en gramos coinciden entonces con los valores porcentuales dados. Utilizando las masas molares atómicas

$$M(\text{K}) = 39.10, \quad M(\text{N}) = 14.01, \quad M(\text{O}) = 16.00 \text{ g mol}^{-1},$$

calculamos cada cantidad de sustancia mediante $n = m/M$. Por ejemplo, para el potasio en **A**,

$$n(\text{K}) = \frac{38.67 \text{ g}}{39.10 \text{ g mol}^{-1}} = 0.9890 \text{ mol}.$$

Compuesto	$n(\text{K}), \text{ mol}$	$n(\text{N}), \text{ mol}$	$n(\text{O}), \text{ mol}$
A	0.9890	0.9886	2.968
B	1.173	1.176	2.354

Al dividir por la cantidad de sustancia de nitrógeno en cada compuesto, se obtienen las proporciones atómicas:

$$\mathbf{A}: \quad \text{K} : \text{N} : \text{O} \approx 1.000 : 1.000 : 3.002 \approx 1 : 1 : 3,$$

$$\mathbf{B}: \quad \text{K} : \text{N} : \text{O} \approx 0.9975 : 1.000 : 2.002 \approx 1 : 1 : 2.$$

Por tanto, las fórmulas estequiométricas son



2.2

Al calentarlo, el nitrato de potasio se descompone en nitrito de potasio y oxígeno. El cambio de fórmula conserva el potasio y el nitrógeno, mientras que se elimina un átomo de oxígeno por unidad fórmula. En consecuencia, dos unidades fórmula liberan una molécula de dióxígeno:



Ambos miembros contienen dos átomos de potasio, dos átomos de nitrógeno y seis átomos de oxígeno.

La solución se comprobó con la solución oficial.

Problema 3: Análisis por combustión de un hidrocarburo gaseoso

Una muestra de 10 cm³ de un hidrocarburo gaseoso desconocido se mezcló con 70 cm³ de oxígeno y la mezcla se encendió mediante una chispa eléctrica. Una vez finalizada la reacción y condensado el vapor de agua, el volumen final de los gases disminuyó a 65 cm³. A continuación, esta mezcla se hizo reaccionar con una disolución de hidróxido de potasio y el volumen de los gases disminuyó a 45 cm³.

Problema:

¿Cuál es la fórmula molecular del hidrocarburo desconocido si los volúmenes de los gases se midieron en condiciones estándar de temperatura y presión (STP)?

Enunciado traducido del texto oficial en inglés.

Respuestas

- 3. C_2H_2 : **etino (acetileno)**, SMILES C#C.

Solución

3. Sea C_xH_y la fórmula molecular del hidrocarburo. Su combustión completa se describe mediante



A la misma temperatura y presión, los volúmenes de los gases son proporcionales a las cantidades de sustancia expresadas en moles.

Una vez que el agua, SMILES O, se ha condensado, los gases restantes son dióxido de carbono, SMILES O=C=O, y oxígeno en exceso, SMILES O=O.

El hidróxido de potasio, SMILES [K+] . [OH-], absorbe el dióxido de carbono. Con un exceso de álcali, esta reacción es



y forma carbonato de potasio, SMILES [K+] . [K+] . [O-]C(=O)[O-].

Por tanto, el volumen de dióxido de carbono producido es

$$V_{\text{CO}_2} = (65 - 45) \text{ cm}^3 = 20 \text{ cm}^3.$$

Cada mol de hidrocarburo produce x moles de dióxido de carbono, por lo que

$$x = \frac{20 \text{ cm}^3}{10 \text{ cm}^3} = 2.$$

El gas que queda después de la absorción es oxígeno sin consumir. Por tanto,

$$V_{\text{O}_2, \text{consumido}} = (70 - 45) \text{ cm}^3 = 25 \text{ cm}^3.$$

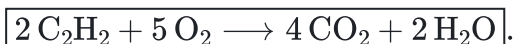
La ecuación de combustión da entonces

$$x + \frac{y}{4} = \frac{25 \text{ cm}^3}{10 \text{ cm}^3} = 2.5.$$

Sustituyendo $x = 2$,

$$2 + \frac{y}{4} = 2.5 \implies y = 2.$$

Así pues, el hidrocarburo es **etino (acetileno)**, C_2H_2 , SMILES C#C, cuya ecuación de combustión ajustada es



Como comprobación, 10 cm^3 de etino consumen 25 cm^3 de oxígeno y producen 20 cm^3 de dióxido de carbono. Tras la condensación, el volumen de gas es $45 + 20 = 65 \text{ cm}^3$; la absorción del dióxido de carbono deja 45 cm^3 , lo que concuerda con ambas observaciones.

La solución se comprobó con la solución oficial.

Problema 4: Productos que pueden obtenerse a partir de carburo de calcio y agua

El carburo de calcio y el agua son las materias primas básicas en la producción de:

- a) etanol
- b) ácido acético
- c) etileno y polietileno
- d) cloruro de vinilo
- e) benceno

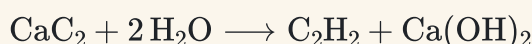
Problema:

Escriba las ecuaciones químicas básicas de cada reacción mediante la cual puedan obtenerse los compuestos mencionados anteriormente.

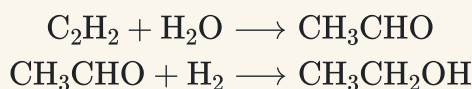
Enunciado traducido del texto oficial en inglés.

Respuestas

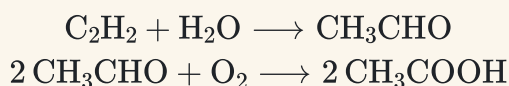
Todas las rutas comienzan con la formación de acetileno (etino), $\text{C}\equiv\text{C}$:



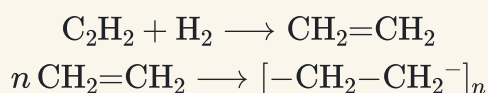
- **a) Etanol**, CCO : hidratar el acetileno para obtener etanal y, a continuación, hidrogenarlo.



- **b) Ácido acético**, $\text{CC}(=\text{O})\text{O}$: hidratar el acetileno para obtener etanal y, a continuación, oxidarlo.

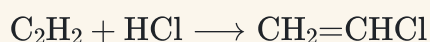


- **c) Etileno (eteno)**, $\text{C}=\text{C}$, y **polietileno**, con SMILES de la unidad repetitiva $[\text{*}]\text{CC}[\text{*}]$: hidrogenar parcialmente el acetileno y, a continuación, polimerizar el etileno.



Los asteriscos en el SMILES de la unidad repetitiva indican las conexiones con la continuación de la cadena; un SMILES molecular completo requeriría especificar la longitud de la cadena y los grupos terminales.

- **d) Cloruro de vinilo (cloroeteno)**, C=CCl: adicionar cloruro de hidrógeno al acetileno.



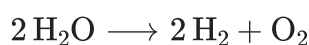
- **e) Benceno**, c1ccccc1: ciclotrimerizar el acetileno.



Solución

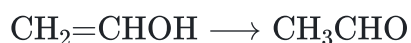
La reacción inicial común es la hidrólisis del carburo de calcio. El agua protona su componente acetiluro, liberando acetileno y dejando hidróxido de calcio. Las sustancias son carburo de calcio, [Ca+2].[C-]#[C-]; agua, O; e hidróxido de calcio, [Ca+2].[OH-].[OH-]. Los SMILES de las sales con componentes desconectados representan unidades fórmula iónicas, no moléculas discretas.

El hidrógeno, [H][H], y el oxígeno, O=O, son reactivos auxiliares en las rutas que se presentan a continuación. También pueden obtenerse a partir del agua mediante electrólisis:



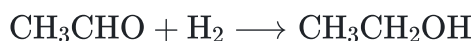
a) Etanol

La hidratación del acetileno en disolución acuosa ácida, catalizada por iones de mercurio(II), [Hg+2], produce etanal (acetaldehído), CC=O. El enol formado inicialmente es el alcohol vinílico (etenol), C=CO, que se reorganiza mediante tautomería ceto-enólica:



Por tanto, la ecuación neta de hidratación es C2H2 + H2O -> CH3CHO.

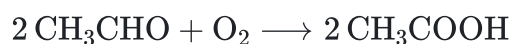
La hidrogenación catalítica del etanal, por ejemplo sobre níquel, reduce su grupo carbonilo a un alcohol primario:



Se conserva el esqueleto de dos átomos de carbono, dando lugar a etanol.

b) Ácido acético

Primero se prepara etanal mediante la misma reacción de hidratación que en (a). La oxidación convierte su grupo aldehído en un grupo carboxilo:



Cada molécula de etanal gana un átomo de oxígeno, por lo que una molécula de oxígeno oxida dos moléculas de etanal.

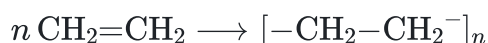
c) Etileno y polietileno

La hidrogenación catalítica selectiva adiciona una molécula de hidrógeno a una parte del triple enlace del acetileno:



El catalizador y las condiciones de reacción deben favorecer que la reacción se detenga en el etileno.

A continuación, el etileno experimenta una polimerización por adición, por ejemplo a temperatura y presión elevadas con iniciación radicalaria:



Los dobles enlaces se convierten en enlaces simples a medida que los monómeros se unen formando una cadena. Cada monómero aporta una unidad repetitiva $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$, sin eliminación de una molécula pequeña.

d) Cloruro de vinilo

El cloruro de hidrógeno, HCl , se adiciona al triple enlace del acetileno. Un catalizador convencional es el cloruro de mercurio(II), $\text{Cl}_2[\text{Hg}]\text{Cl}_2$:



La adición de un equivalente da lugar a un doble enlace con un sustituyente cloro: cloruro de vinilo. El cloruro de hidrógeno aporta el cloro, que no está presente en las dos materias primas básicas.

e) Benceno

Al calentar sobre un catalizador adecuado, como el carbón activado, tres moléculas de acetileno experimentan una ciclotrimerización:



Sus seis átomos de carbono forman el anillo aromático de seis miembros del benceno. Se conservan los seis átomos de hidrógeno y no se requiere ningún coproducto.

La solución se comprobó con la solución oficial.