
26^a OLIMPIADA ARGENTINA DE QUÍMICA
2 DE NOVIEMBRE DE 2016
CERTAMEN NACIONAL – NIVEL 1

Utiliza la información de tu tabla periódica para obtener los datos atómicos que consideres necesarios. A menos que se indique lo contrario, puedes suponer que las sustancias en estado gaseoso se comportan idealmente.

EJERCICIO 1. Pascua-Lama es un proyecto que consiste en explotar una mina a cielo abierto de la que se extrae oro, además de plata, cobre y otros metales. Este emprendimiento se encuentra ubicado en territorio fronterizo entre Chile y Argentina. La cantidad de reservas calculadas es de 18 millones de onzas de oro, 731 millones de onzas de plata y 662 millones de libras de cobre. **26 puntos / 50 marcas**

- (a) Teniendo en cuenta que 1 *onza* equivale a 38,3495 g y que una *libra* corresponde a 453,592 g, expresa las reservas de metales del emprendimiento Pascua-Lama como número de moles de átomos de Au, Ag y Cu. *Nota: utiliza notación científica.*

$$n_{Au} = 18 \cdot 10^6 \text{ onzas} \frac{38,3495 \text{ g}}{\text{onza}} \frac{1 \text{ mol Au}}{196,97 \text{ g}}$$

$$n_{Au} = 3,5 \cdot 10^6 \text{ moles}$$

$$n_{Ag} = 731 \cdot 10^6 \text{ onzas} \frac{38,3495 \text{ g}}{\text{onza}} \frac{1 \text{ mol Ag}}{107,87 \text{ g}}$$

$$n_{Ag} = 2,6 \cdot 10^8 \text{ moles}$$

$$n_{Cu} = 662 \cdot 10^6 \text{ libras} \frac{453,592 \text{ g}}{\text{libra}} \frac{1 \text{ mol Cu}}{63,54 \text{ g}}$$

$$n_{Cu} = 4,7 \cdot 10^9 \text{ moles}$$

6 marcas

moles de átomos de Au: **$3,5 \cdot 10^6$** moles de átomos de Ag: **$2,6 \cdot 10^8$** moles de átomos de Cu: **$4,7 \cdot 10^9$**

El método empleado para su extracción consiste en formar complejos de cianuro (compuestos de dichos metales con cianuro). El cianuro es un anión de fórmula CN^- , altamente tóxico. Los complejos que forma con estos metales son: $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$, $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ y $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{2-}$, todos ellos solubles en agua.

Típicamente se emplean soluciones de cianuro de sodio (NaCN), las cuales se preparan disolviendo 300 mg de NaCN por cada litro de agua.

- (b) Calcula la concentración de la solución de NaCN empleada, expresada como moles de NaCN por cada litro de agua (concentración molar).

$$[\text{NaCN}] = \frac{300 \text{ mg}}{\text{L}} \cdot \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{49,01 \text{ g}}$$

$$[\text{NaCN}] = 6,12 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

5 marcas

Concentración de NaCN = $6,12 \cdot 10^{-3} \text{ M}$

Los metales se encuentran en pequeña proporción (0,001% p/p de metales totales en la roca del yacimiento). Para poder extraer los metales es necesario dinamitar la zona montañosa, moler la roca en finas partículas y luego someterlas a un proceso de mezclado con la solución de cianuro.

- (c) A partir de los datos suministrados en el enunciado sobre el emprendimiento Pascua-Lama, calcula la masa de roca que se dinamitará para extraer completamente las reservas de metales (oro, plata y cobre) presentes en la zona. Dado que se trata de una masa muy grande, expresa el resultado en toneladas (1 tonelada = 10^6 gramos).

*Si no pudiste calcular los moles totales de metales en el ítem a, considera los siguientes datos:
moles de átomos de Au: $3,5 \cdot 10^6$; moles de átomos de Ag: $2,6 \cdot 10^8$; moles de átomos de Cu: $4,7 \cdot 10^9$*

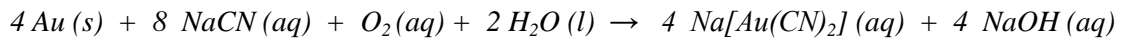
$$m_{roca} = \left(3,5 \cdot 10^6 \text{ mol} \cdot \frac{196,97 \text{ g}}{\text{mol}} + 2,6 \cdot 10^8 \text{ mol} \cdot \frac{107,87 \text{ g}}{\text{mol}} + 4,7 \cdot 10^9 \text{ mol} \cdot \frac{63,54 \text{ g}}{\text{mol}} \right) \cdot \frac{100 \%}{0,001 \%} \cdot \frac{10^{-6} \text{ t}}{\text{g}}$$

$$m_{roca} = 3,3 \cdot 10^{10} \text{ t}$$

7 marcas

Masa de roca a dinamitar = $3,3 \cdot 10^{10} \text{ t}$

Teniendo en cuenta que el oro reacciona con el cianuro de sodio de la siguiente forma:



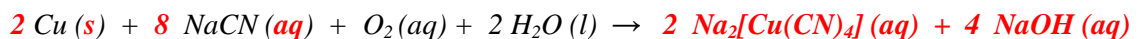
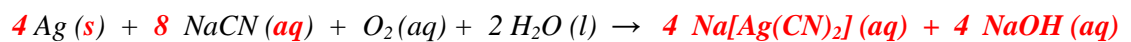
- (d) Calcula el mínimo volumen de solución de cianuro de sodio necesario para reaccionar completamente con una masa de 1,00 kg de oro. *Nota: si no pudiste resolver el ítem b, considera que la solución de NaCN tiene una concentración $5 \cdot 10^{-3} \text{ M}$.*

$$V_{\text{NaCN}} = 1000 \text{ g Au} \frac{\text{mol Au}}{196,97 \text{ g}} \frac{8 \text{ mol CN}}{4 \text{ mol Au}} \frac{1 \text{ L}}{6,12 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}$$

8 marcas

Volumen de solución NaCN = $1,66 \cdot 10^3 \text{ L}$

- (e) Completa las ecuaciones químicas que representan a las reacciones del cianuro de sodio con plata metálica y con cobre metálico:



3 marcas c/u

Otro de los problemas que genera este tipo de actividad comercial, además de la contaminación del medio ambiente, es el gran consumo de recursos tales como el agua dulce (apta para consumo humano).

- (f) Calcula el mínimo volumen de solución de NaCN que se emplea para la extracción de 1 kg de oro a partir de la roca molida. Ten en cuenta que en la roca, además de oro, hay presentes plata y cobre, los cuales también consumirán parte del cianuro de la solución.

Nota: si no pudiste resolver los ítems a y b, considera los siguientes datos:

Concentración de la solución de NaCN = $5 \cdot 10^{-3}$ M.

Cantidad total de reservas calculadas en la mina:

Moles de átomos de Au = $3,5 \cdot 10^6$; moles de átomos de Ag = $2,6 \cdot 10^8$; moles de átomos de Cu = $4,7 \cdot 10^9$

V_{NaCN}

13 marcas

Volumen de solución NaCN = $4,58 \cdot 10^6$ L

- (g) En muchos casos se utiliza cianuro de calcio en lugar de cianuro de sodio. Calcula la masa de cianuro de calcio (expresada en gramos) que será necesario disolver en 10 litros de agua para tener la misma concentración de cianuro que una solución de cianuro de sodio 0,05 % p/v.

$$m_{NaCN} = \frac{0,05 \text{ g}_{NaCN}}{0,1 \text{ L}} \frac{1 \text{ mol CN}}{49,01 \text{ g}_{NaCN}} \frac{92,12 \text{ g}_{Ca(CN)_2}}{2 \text{ mol CN}} 10 \text{ L}$$

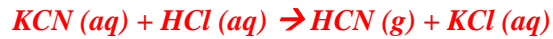
5 marcas

Masa de cianuro de calcio = 4,7 g

EJERCICIO 2. 30 puntos / 37 marcas

Las soluciones de sales de cianuro (CN⁻) son muy peligrosas, ya que al mezclarse con ácidos liberan cianuro de hidrógeno HCN (gaseoso), el cual es extremadamente tóxico.

- (a) Escribe la ecuación química que representa a la reacción que ocurrirá al mezclar una solución acuosa de cianuro de potasio con otra solución acuosa de ácido clorhídrico.



2 marcas

- (b) Calcula el volumen de HCN (g) que se producirá en la mina si accidentalmente se vuelca suficiente cantidad de ácido en una pileta de 5000 litros de solución de KCN de concentración $5 \cdot 10^{-3}$ M.

Nota: considera que el 99 % del ácido cianhídrico formado se libera en forma gaseosa.

Ten en cuenta que las condiciones climáticas en Pascua-Lama, por el hecho de encontrarse a 3.600 metros sobre el nivel del mar, son extremas: una presión de 483 mmHg y una temperatura de -15°C .

$$V_{\text{HCN}} = 5000 \text{ L} \frac{5 \cdot 10^{-3} \text{ mol KCN(aq)}}{1 \text{ L}} \frac{1 \text{ mol HCN(g)}}{1 \text{ mol KCN(aq)}} \frac{0,082 \text{ L atm}}{\text{K mol}} \frac{(273 - 15)\text{K}}{483 \text{ mmHg}} \frac{760 \text{ mmHg}}{1 \text{ atm}} \frac{99\%}{100\%}$$

9 marcas

Volumen de HCN (g) = 823 L

- (c) Una concentración de HCN (g) de 300 ppm es suficiente para matar a un ser humano en cuestión de minutos. Calcula el máximo volumen de aire (medido a $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 483 mmHg) que puede contaminarse (es decir, alcanzar una concentración letal de 300 ppm de HCN con la emanación de HCN (g) detallada en el ítem b). Puedes suponer que el aire se compone de un 80 % de N_2 y un 20 % de O_2 (porcentajes expresados en volumen).

Notas:

- 1) “ppm” significa “parte por millón”, es decir, $1\text{ ppm} = 1\text{ g}$ de la sustancia en cuestión en $1.000.000\text{ g}$ totales.
- 2) Si no pudiste resolver el ítem b, considera que el volumen de HCN generado es 600 L .

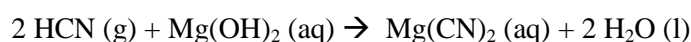
$$V_{\text{aire}} = \left(1 + \frac{999.700\text{ g}_{\text{aire limpio}}}{300\text{ g}_{\text{HCN(g)}}} \frac{1\text{ mol}_{\text{aire limpio}}}{(0,2 \cdot 32,00 + 0,8 \cdot 28,01)\text{ g}_{\text{aire limpio}}} \frac{27,03\text{ g}_{\text{HCN(g)}}}{1\text{ mol}_{\text{HCN(g)}}} \right) 823\text{ L}$$

11 marcas

Volumen de aire contaminado = $2,57 \cdot 10^6\text{ L}$

En un ensayo de laboratorio se lleva a cabo una reacción que genera HCN (g). A fin de evitar la contaminación del laboratorio, el gas emanado de dicha reacción se hace burbujear en una solución de hidróxido de magnesio. Este tipo de medidas es común en los laboratorios y el dispositivo que se utiliza para colectar el gas generado y hacerlo burbujear en una solución apropiada se lo denomina “trampa de gases”.

La siguiente ecuación representa a la reacción de neutralización que ocurre dentro de la trampa de gases:



Se prepararon 500 mL de solución de Mg(OH)_2 $1,50\text{ M}$ para colocar en la trampa de gases del laboratorio. A continuación se llevó a cabo la reacción química que genera HCN y se hizo burbujear el gas emanado de la reacción en la trampa de gases.

Una vez finalizada la reacción en estudio, se tomó una alícuota de 25,00 mL de la solución presente en la trampa de gases y se hizo reaccionar con solución de ácido clorhídrico.

- (d) Escribe la ecuación química que representa la reacción de neutralización del hidróxido de magnesio y el ácido clorhídrico.



3 marcas

- (e) Calcula los moles de HCN que fueron retenidos en la solución de la trampa de gases al finalizar el experimento, si para neutralizar completamente la alícuota de 25,00 mL fueron necesarios 23,45 mL de HCl 1,00 M.

$$n_{\text{HCN}} = \left(2 \cdot 1,50 \text{ M} - \frac{23,45 \text{ mL}_{\text{HCl}}}{25,00 \text{ mL}} \frac{1 \text{ mol}_{\text{Mg}(\text{OH})_2}}{2 \text{ mol}_{\text{HCl}}} \frac{2 \text{ mol}_{\text{CN}^-}}{\text{mol}_{\text{Mg}(\text{OH})_2}} 1,00 \text{ M} \right) \frac{500 \text{ mL}}{1000 \text{ mL/L}}$$

12 marcas

Moles de HCN = 1,03

EJERCICIO 3. Una vez extraídos los metales preciosos o semipreciosos de la roca donde se encuentran en la naturaleza, es necesario purificarlos. En primer lugar, se necesita separar el cobre (presente en mucha mayor proporción) de los metales preciosos, plata y oro, presentes en menor concentración.

Un método que puede utilizarse es la deposición electroquímica del cobre sobre un electrodo de acero inoxidable (el cual es inerte). **28 puntos /38 marcas**

En este proceso se parte de una solución acuosa de $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{2-}$, que también contiene muy bajas concentraciones de $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ y $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$.

(a) ¿Cuál es el número de oxidación del cobre, el oro y la plata en estos compuestos? *Especifica el signo “+” o “-”*

Número de oxidación de Cu: Número de oxidación de Ag: Número de oxidación de Au:
1 marca c/u

Las condiciones en las cuales se realiza la electrólisis se ajustan para que solamente se deposite cobre sobre el electrodo de acero. Los compuestos de oro y plata no reaccionan. La solución de $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{2-}$ utilizada también contiene hidróxido de sodio en alta concentración y en el otro electrodo se genera oxígeno gaseoso.

(b) Escribe las hemirreacciones de reducción y de oxidación y la reacción global del proceso

(hemirreacción de reducción) $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{2-}(\text{aq}) + 2 e^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s}) + 4 \text{CN}^-(\text{aq})$ **2 marcas**

(hemirreacción de oxidación) $4 \text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow \text{O}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 4 e^-$ **2 marcas**

(reacción global) $2[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{2-}(\text{aq}) + 4 \text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow 2 \text{Cu}(\text{s}) + 8 \text{CN}^-(\text{aq}) + \text{O}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
1 marca

(c) ¿Puede extraerse energía eléctrica a partir del sistema descrito en el ítem b? Marca con una “X” todas las opciones que consideres correctas: **2 marcas**

Sí, puede extraerse energía ya que se trata de una oxidación.

Sí, puede obtenerse energía ya que se trata de una reducción.

No puede obtenerse energía ya que se trata de una reacción de óxido-reducción.

No puede obtenerse energía ya que se trata de una electrólisis, es decir, un proceso en el cual se emplea energía para forzar una reacción química que no se produce en forma espontánea.

Ninguna de las opciones anteriores es correcta.

- (d) Si el electrodo de acero inoxidable tiene una superficie de 500 cm^2 y se hace circular una corriente de 100 A durante 24 horas, ¿Qué espesor tendrá la capa de cobre metálico formada sobre la superficie?

Dato: densidad del cobre metálico = $8,96 \text{ g cm}^{-3}$

10 marcas

$$\text{Espesor}_{\text{Cu}} = 100 \text{ A} \cdot 24 \text{ h} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ mol}_{e^-}}{96.485 \text{ C}} \cdot \frac{1 \text{ mol}_{\text{Cu}}}{2 \text{ mol}_{e^-}} \cdot \frac{63,54 \text{ g}_{\text{Cu}}}{1 \text{ mol}_{\text{Cu}}} \cdot \frac{1 \text{ cm}^3}{8,96 \text{ g}_{\text{Cu}}} \cdot \frac{1}{500 \text{ cm}^2}$$

Espesor de la capa de Cu = 0,64 cm

- (e) Para emplear como electrolito en la cuba, se necesita preparar un volumen de 12,5 litros de solución de NaOH 3,00 M. ¿Qué masa de NaOH sólido con un 98,5 % de pureza será necesaria?

5 marcas

$$\text{Masa}_{\text{NaOH}} = 12,5 \text{ L} \cdot \frac{3,00 \text{ mol}_{\text{NaOH}}}{\text{L}} \cdot \frac{100 \%}{98,5 \%} \cdot \frac{40,0 \text{ g}_{\text{Cu}}}{\text{mol}_{\text{NaOH}}}$$

Masa de NaOH: 1.523 g

- (f) Calcula la concentración exacta de la solución de hidróxido de sodio preparada en el ítem (e), si para neutralizar completamente 2,00 mL de esta solución se gastan 23,10 mL de HCl 0,250 M

6 marcas

$$[OH^-] = \frac{23,10 \text{ mL}_{HCl}}{2,00 \text{ mL}} \frac{1 \text{ mol}_{NaOH}}{1 \text{ mol}_{HCl}} 0,250 \text{ M}$$

Concentración real de la solución de NaOH: 2,89 M

- (g) Calcula el pH de la solución de HCl 0,250 M

3 marcas

$$pH = -\log 0,250$$

pH de la solución de HCl 0,250 M: 0,60

- (h) Calcula el pH de una solución de NaOH preparada a partir de diluir 5,00 mL de la solución concentrada de NaOH en 250 mL.

Nota: si no pudiste calcular el ítem f, supón que la solución concentrada es 2,7 M.

4 marcas

$$pH = 14 + \log \left(\frac{5,00 \text{ mL}}{250 \text{ mL}} 2,89 \right)$$

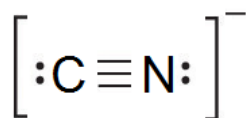
pH de la solución diluida de NaOH: 12,76

EJERCICIO 4. 16 puntos / 24 marcas

(a) Escribe una estructura de Lewis aceptable para cada una de estas especies: CN^- (anión cianuro), PCl_5 (pentacloruro de fósforo), ClO_2^- (anión clorito) y ClO_2 (dióxido de cloro).

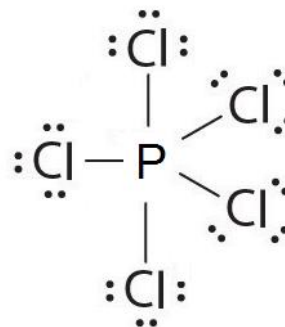
CN^-

4 marcas



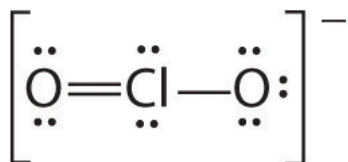
PCl_5

4 marcas



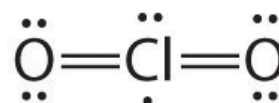
ClO_2^-

4 marcas



ClO_2

4 marcas



De las siguientes proposiciones referidas al anión cianuro (CN^-), marca con “X” todas las opciones que consideres correctas: **2 marcas**

- La TREPEV predice una geometría lineal para esta especie.
- La TREPEV predice una geometría electrónica que no coincide con la geometría molecular.
- A partir de la estructura de Lewis puede decirse que el nitrógeno no cumple la “regla del octeto”.
- A partir de la estructura de Lewis puede decirse que el CN^- es un “radical libre” (presenta un electrón desapareado)
- Ninguna de las proposiciones anteriores es correcta.

De las siguientes proposiciones referidas a la molécula de pentacloruro de fósforo (PCl_5), marca con “X” todas las opciones que consideres correctas: **2 marcas**

- La TREPEV predice una geometría molecular plana en torno al átomo central de P.
- La TREPEV predice una geometría molecular bipiramidal de base triangular en torno al átomo de P.
- A partir de la estructura de Lewis del PCl_5 puede decirse que el fósforo no cumple la “regla del octeto”.
- A partir de la estructura de Lewis del PCl_5 puede decirse que el cloro no cumple la “regla del octeto”
- Ninguna de las proposiciones anteriores es correcta.

De las siguientes proposiciones referidas al anión clorito (ClO_2^-), marca con “X” todas las opciones que consideres correctas: **2 marcas**

- La TREPEV predice una geometría molecular angular.
- La TREPEV predice una geometría electrónica tetraédrica en torno al átomo central de Cl.
- A partir de la estructura de Lewis puede decirse que el ClO_2^- es un “radical libre” (presenta un electrón desapareado).
- A partir de la estructura de Lewis del ClO_2^- puede decirse que el cloro no cumple la “regla del octeto”
- Ninguna de las proposiciones anteriores es correcta.

De las siguientes proposiciones referidas a la molécula de dióxido de cloro (ClO_2), marca con “X” todas las opciones que consideres correctas: **2 marcas**

- La TREPEV predice una geometría molecular bipiramidal de base triangular en torno al átomo de Cl.
- A partir de la estructura de Lewis del ClO_2 puede decirse que el cloro no cumple la “regla del octeto”.
- A partir de la estructura de Lewis puede decirse que el ClO_2 es un “radical libre” (presenta un electrón desapareado)
- Ninguna de las proposiciones anteriores es correcta.

Datos:

$$PV = nRT$$

$$R = 8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 0,08206 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

$$q = i \cdot t$$

$$W_{el} = -q \cdot \Delta E$$

$$F = 96.484 \text{ C mol}^{-1}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$$

$$1 \text{ J} = 1 \text{ V} \cdot \text{C}$$