



XXXIX OLIMPIADA QUÍMICA ASTURIAS – 2025

Asturias – 2025

CUESTIONES

1. De las siguientes afirmaciones:

- I. Si se duplica la temperatura en grados Celsius de un gas ideal, manteniendo constante el volumen, su presión es menor que el doble de la inicial
- II. El oxígeno gaseoso es más denso que el nitrógeno gaseoso en las mismas condiciones de presión y temperatura
- III. Se tienen dos depósitos de vidrio cerrados y con el mismo volumen, uno de ellos contiene hidrógeno y el otro dióxido de carbono, ambos a la misma presión y temperatura. En ambos hay el mismo número de gramos
- IV. Un mol de una sustancia ocupa 22,4 litros a 1 atm y 273,15 K

Son correctas:

- a. I y II
- b. I y III
- c. II y IV
- d. Todas

I es **CIERTA** ya que, a volumen constante, la presión y la temperatura **absoluta** son directamente proporcionales, pero no es cierto si la temperatura es en grados Celsius.

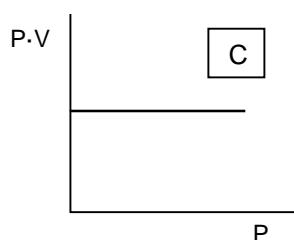
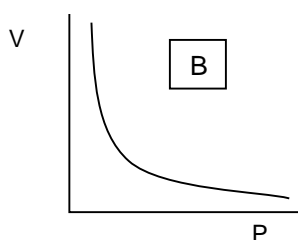
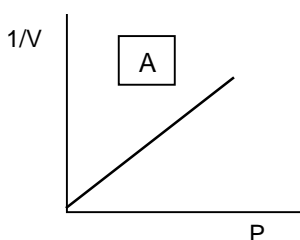
II es **CIERTA** ya que en las mismas condiciones la densidad es directamente proporcional a la masa molar que es mayor para el oxígeno ($32,00 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) que para el nitrógeno ($28,02 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$).

III es **FALSA** ya que, según la ley de Avogadro, en las condiciones descritas, tienen el mismo número de moléculas, pero al tener masa molar diferente, tendrán distinta masa.

IV es **FALSA** ya que lo indicado sólo es cierto para gases no para líquidos o sólidos.

La respuesta correcta es la **opción a**

2. ¿Cuál de las siguientes gráficas representa la variación de la presión de una masa de gas al modificar el volumen del recipiente, manteniendo constante la temperatura?



- a. Todas
- b. La A
- c. La B

d. La C

Como la temperatura es constante, se cumple que $p \cdot V = k = (n \cdot R \cdot T) = \text{constante}$, luego despejando $p = k \cdot (1/V)$, por lo que $1/V$ y p son directamente proporcionales y su gráfica es una línea recta que pasa por el origen. La gráfica (A) es correcta.

Lo mismo podemos decir de la (B) ya que la presión y el volumen son inversamente proporcionales luego la gráfica es una hipérbola.

De idéntica forma la (C) es correcta ya que el producto $p \cdot V$ es constante.

La respuesta correcta es la **opción a**

3. Suponiendo que el volumen de las disoluciones es aditivo, el volumen de agua que hay que añadir a cierto volumen de disolución de ácido sulfúrico concentrado de densidad 1,83 g/mL y del 93,2 % en masa de ácido sulfúrico, para preparar 500 mL de disolución 4,0 M del mismo ácido es:

- a. 115 mL
- b. 125 mL
- c. 385 mL**
- d. 375 mL

Para preparar 500 mL de la disolución 4,0 M de H_2SO_4 son necesarios:

$$0,5 \text{ L disolución} \cdot \frac{4 \text{ mol de } \text{H}_2\text{SO}_4}{1 \text{ L disolución}} = 2 \text{ mol de } \text{H}_2\text{SO}_4$$

La concentración del H_2SO_4 concentrado es:

$$\frac{93,2 \text{ g de } \text{H}_2\text{SO}_4}{100 \text{ g de disolución}} \times \frac{1,83 \text{ g de disolución}}{1 \text{ mL de disolución}} \times \frac{10^3 \text{ mL de disolución}}{1 \text{ L de disolución}} \times \frac{1 \text{ mol de } \text{H}_2\text{SO}_4}{98,06 \text{ g de } \text{H}_2\text{SO}_4} = 17,4 \text{ M}$$

Volumen de esta disolución que contiene 2,0 mol de H_2SO_4

$$2 \text{ mol de } \text{H}_2\text{SO}_4 \times \frac{1 \text{ L de disolución}}{17,4 \text{ mol de } \text{H}_2\text{SO}_4} = 0,115 \text{ L}$$

Por lo que debemos añadir (suponiendo volúmenes aditivos) $500 \text{ mL} - 115 \text{ mL} = 385 \text{ mL de agua}$

La respuesta correcta es la **opción c**

4. La proporción de nitrógeno en el sulfato de amonio anhidro es de:

- a. 6,04 %
- b. 12,1 %
- c. 17,6 %
- d. 21,2 %**

Como la fórmula es $(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)$ de masa molar $132,14 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, la proporción de nitrógeno será:

$$\frac{28,02 \text{ g N}}{132,14 \text{ g compuesto}} \times 100 = 21,2 \%$$

La respuesta correcta es la **opción d**

5. Una muestra de 0,243 gramos de magnesio reacciona con 0,250 gramos de nitrógeno, dando nitruro de magnesio. Después de la reacción quedan 0,159 gramos de nitrógeno. La cantidad de nitruro de magnesio que se forma, expresada en gramos es:

- a. 0,091
- b. **0,336**
- c. 0,402
- d. 0,652

La reacción que tiene lugar es: $3 \text{Mg} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Mg}_3\text{N}_2$.

Por otra parte, implícitamente nos indican que reacciona todo el magnesio y $0,250 \text{ g} - 0,159 \text{ g} = 0,091 \text{ g}$ nitrógeno, luego según la ley de la constancia de la masa, la cantidad de compuesto formado será $0,243 \text{ g Mg} + 0,091 \text{ g N}_2 = 0,334 \text{ g}$.

ALTERNATIVA

Nº de mol de Mg que reaccionan $0,243 \text{ g de Mg} \times \frac{1 \text{ mol de Mg}}{24,3 \text{ g de Mg}} = 0,01 \text{ mol}$

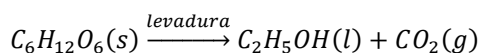
De acuerdo con la estequiometría de la reacción, se forman

$$0,01 \text{ mol de Mg} \times \frac{1 \text{ mol de Mg}_3\text{N}_2}{3 \text{ mol de Mg}} = 3,33 \times 10^{-3} \text{ mol de Mg}_3\text{N}_2$$

En masa $3,33 \times 10^{-3} \text{ mol de Mg}_3\text{N}_2 \times \frac{100,9 \text{ g de Mg}_3\text{N}_2}{1 \text{ mol de Mg}_3\text{N}_2} = 0,336 \text{ g de Mg}_3\text{N}_2$

La respuesta correcta es la **opción b**

6. La levadura *Saccharomyces cerevisiae* (levadura de panadería) convierte la glucosa en alcohol de acuerdo con la ecuación química no igualada:



El proceso tiene lugar con un rendimiento del 91 %. La cantidad de alcohol que se puede obtener de 15,5 g de glucosa mediante este proceso es:

- a. 0,722 g
- b. **7,21 g**
- c. 10,86 g
- d. 14,1 g

La ecuación química igualada es:

$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) \xrightarrow{\text{levadura}} 2 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l}) + 2 \text{CO}_2(\text{g})$$

$$15,5 \text{ g gluc} \times \frac{1 \text{ mol glu}}{180,16 \text{ g glu}} \times \frac{0,91 \times 2 \text{ mol alcohol}}{1 \text{ mol gluc}} \times \frac{46,07 \text{ g}}{1 \text{ mol alc.}} = 7,21 \text{ g alcohol}$$

La respuesta correcta es la **opción b**

7. Las sales de Epsom, sulfato de magnesio hidratado, se utilizan habitualmente en sales de baños, exfoliantes, y se adicionan, en pequeñas cantidades, a medicamentos como relajantes musculares y analgésicos. Para determinar el grado de hidratación calentamos 6,59 g de sal hidratada hasta que arroja un peso constante de 3,22 g correspondiente a la sal anhidra. El número de moléculas de agua por unidad fórmula que tiene la sal hidratada es:

- a. 2
- b. 3
- c. 5
- d. **7**

La fórmula es $MgSO_4 \cdot n(H_2O)$

$$6,59 \text{ g} \left\{ \begin{array}{l} 3,22 \text{ g } MgSO_4 \Rightarrow \frac{3,22 \text{ g}}{120,37 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0,0268 \text{ mol} \\ 6,59 - 3,22 = 3,37 \text{ g } H_2O \Rightarrow \frac{3,37 \text{ g}}{18,02 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0,187 \text{ mol} \end{array} \right\} \frac{0,187 \text{ mol } H_2O}{0,0268 \text{ mol } MgSO_4} = 6,98 \approx 7$$

La respuesta correcta es la **opción d**

8. Considere las siguientes configuraciones electrónicas:



- La II debe perder un electrón para formar el ion monopositivo
- La III y la IV cumplen el principio de exclusión de Pauli
- La I corresponde al sodio (11 electrones) y la II corresponde a un estado excitado de boro (cinco electrones)
- Las especies I y IV son isoelectrónicas

La configuración I es imposible, no puede haber 7 electrones en orbital p. Del mismo modo, la configuración II es imposible al no poder haber en orbitales s tres electrones, luego las respuestas que impliquen a estas configuraciones son falsas.

Por otra parte, el número de electrones de las otras configuraciones es correcto y cumplen el principio de exclusión de Pauli (un máximo de 2 electrones en orbital s y de 6 electrones en orbital p).

La respuesta correcta es la **opción b**

9. Para los elementos e iones que se citan se hacen las siguientes afirmaciones:

- La primera energía de ionización del magnesio es menor que la del berilio
- Los iones Mg^{2+} y el neón tienen el mismo número de electrones, por lo que sus propiedades químicas son similares.
- El ion Mg^{2+} tiene un tamaño mayor que el elemento neutro
- El magnesio tiene propiedades químicas similares al calcio ya que están en el mismo grupo del sistema periódico.

Son ciertas:

- Las I y II
- Las I y IV
- Las II y III
- Las III y IV

La I es **CIERTA** ya que las estructuras electrónicas son Mg: $[Ne] 3s^2$ y Be: $[He] 2s^2$, el tener el magnesio el electrón en la capa 3s y el berilio en la 2s, éste estará más ligado al átomo por lo que tiene una energía de ionización mayor. Los valores son, Mg: 7,643 eV y Be: 9,323 eV.

La II es **FALSA** ya que, aunque tengan el mismo número de electrones, el neón es un elemento neutro mientras que el Mg^{2+} es un ion susceptible de interactuar con otros elementos o iones dando lugar a propiedades distintas.

La III es **FALSA** ya que al ser un ion dipositivo la carga nuclear efectiva sobre cada electrón restante es mayor por lo que son más fuertemente atraídos y tendrá un menor tamaño. Los radios son: Mg: 145 pm; Mg^{2+} : 72 pm.

La **IV** es **CIERTA** ya que tienen la misma estructura electrónica más externa ($n s^2$) al estar en el mismo grupo del sistema periódico.

La respuesta correcta es la **opción b**

10. Las líneas del espectro de emisión de un elemento se deben a que los electrones:
- Saltan de un nivel de energía de un átomo a otro nivel de energía de otro átomo
 - Chocan entre sí en la órbita, elásticamente
 - Saltan de un nivel a otro de menor energía, en el mismo átomo
 - Saltan de un nivel a otro de mayor energía, en el mismo átomo

El espectro de emisión se produce cuando electrones de capas más externas pasan a otras más internas desprendiendo el exceso de energía, por lo tanto, la respuesta correcta es la **opción c**.

11. ¿Qué moléculas de las siguientes HCHO, CH₃-CH₂OH, CH₃-COOH y CH₃NH₂ pueden dar lugar a la formación de enlaces de hidrógeno?
- Todas
 - HCHO y CH₃-CH₂OH
 - HCHO y CH₃-COOH
 - CH₃-CH₂OH, CH₃-COOH y CH₃NH₂

Este enlace se produce cuando hay un átomo de hidrógeno unido covalentemente a un elemento muy electronegativo que hace que el par electrónico del enlace esté desplazado hacia el más electronegativo quedando el hidrógeno con una cierta carga positiva.

En el HCHO (metanal) los hidrógenos están unidos al carbono, elemento poco electronegativo por lo que no se generará el enlace de hidrógeno. En los tres compuestos restantes, hay un hidrógeno unido a un oxígeno (del alcohol o del ácido) o al nitrógeno (en la amina) por lo que al ser estos elementos muy electronegativos y se producirá el enlace de hidrógeno.

La respuesta correcta es la **opción d**

12. El orden creciente correcto de radios iónicos para los iones que se citan en coordinación 6 es:
- Al³⁺, K⁺, Ca²⁺
 - Al³⁺, Ca²⁺, K⁺
 - K⁺, Al³⁺, Ca²⁺
 - Ca²⁺, Al³⁺, K⁺

El radio de los iones depende de la estructura electrónica (y por tanto de la carga eléctrica). Para los iones citados la estructura electrónica es: Al³⁺: [Ne]; K⁺: [Ar]; Ca²⁺: [Ar].

Por lo tanto, los dos mayores serán el K⁺ y el Ca²⁺ al tener la estructura del argón; entre los dos, será mayor el K⁺ ya que es monopositivo mientras que el otro ion es dipositivo. El menor será el Al³⁺.

Los valores para la coordinación 6 son: Al³⁺: 54 pm; Ca²⁺: 100 pm; K⁺: 138 pm. Para las otras coordinaciones el orden es el mismo.

La respuesta correcta es la **opción b**

13. La molécula que tiene un enlace entre átomos de carbono más fuerte es:

- a. C_2H_2
- b. C_2H_4
- c. C_3H_8
- d. C_4H_{10}

La fortaleza del enlace depende, entre otros factores del orden de enlace, para las moléculas reseñadas tenemos un enlace triple en el C_2H_2 , doble en el C_2H_4 y sencillo en el resto, luego el enlace más fuerte es el del etino C_2H_2 .

La respuesta correcta es la **opción a**

14. El KF y el CaO presentan estructuras y distancias interiónicas similares, pero con relación a los puntos de fusión y solubilidad:

- a. El CaO tiene un punto de fusión más elevado y es más soluble en agua que el KF
- b. El CaO tiene un punto de fusión más bajo y es menos soluble en agua que el KF
- c. El CaO tiene un punto de fusión más elevado que el KF, pero es menos soluble en agua
- d. El CaO tiene un punto de fusión más bajo y es más soluble en agua que el KF

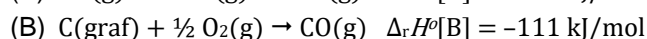
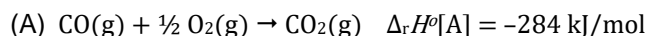
Las propiedades punto de fusión y solubilidad dependen de la fortaleza del enlace y, por tanto, de la energía de red. A mayor energía de red, mayor punto de fusión y menor solubilidad en disolventes polares. Como esta depende de las distancias (similares para los dos compuestos) y de la carga eléctrica, será mayor para el CaO (interacción entre dos cargas +2 y -2) y menor para el KF (interacción entre dos cargas 1 y -1).

La respuesta correcta es la **opción c**

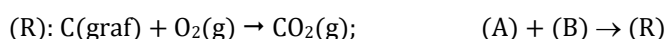
15. A 298,15 K, la variación de entalpía estándar para la combustión del monóxido de carbono es -284 kJ/mol, y la variación de entalpía estándar para su formación es -111 kJ/mol. El valor de la entalpía estándar de formación del dióxido de carbono medido en kJ/mol es:

- a. -395
- b. -173
- c. $+173$
- d. $+395$

Las reacciones indicadas y su entalpía son:



Como la requerida es:



$$\Delta_r H^\circ[R] = \Delta_r H^\circ[A] + \Delta_r H^\circ[B] = (-284) + (-111) = -395 \text{ kJ/mol.}$$

La respuesta correcta es la **opción a**

16. Calcule la entalpía de formación en condiciones estándar del amoníaco a partir de las energías de enlace de la tabla adjunta

- a. +992 kJ·mol⁻¹
 b. **-43 kJ·mol⁻¹**
 c. -287 kJ·mol⁻¹
 d. -436,5 kJ·mol⁻¹

Enlace	H-H	N-N	N=N	N≡N	H-N
E (kJ·mol ⁻¹)	436	159	458	946	390

La reacción es $\frac{1}{2} \text{N}_2(\text{g}) + \frac{3}{2} \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_3(\text{g})$. Por lo tanto, los enlaces implicados son:

Ruptura: $\frac{1}{2} \text{N}\equiv\text{N} + \frac{3}{2} (\text{H}-\text{H})$. $\Delta E = \frac{1}{2} 946 + (\frac{3}{2}) \times 436 = 1127 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

Formación: $3 \text{N}-\text{H} = 3 \times (-390) = -1170 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

Energía de formación $\Delta_f H^\circ = 1127 - 1170 = -43 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$

La respuesta correcta es la **opción b**

17. Indique la respuesta verdadera:

- a. En cualquier reacción química $\Delta U < \Delta H$.
 b. El trabajo es una función de estado
 c. El valor de ΔH de un proceso depende de si éste se realiza a presión o a volumen constante.
 d. **U y H son funciones de estado**

Opción (a): **FALSA**. La relación entre estas magnitudes depende del número de moles implicados.

Opción (b): **FALSA**. El trabajo depende del modo en que se realice, no es una función de estado.

Opción (c): **FALSA**. H solo está definida a presión constante.

Opción (d): **CIERTA**. En una transformación no dependen del modo en que se haga. Son funciones de estado.

La respuesta correcta es la **opción d**

18. En la reacción $2 \text{NO}(\text{g}) + 2 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$, en unas condiciones determinadas, la velocidad de formación de nitrógeno es $1,4 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. La velocidad de desaparición del óxido de nitrógeno(II) es:

- a. $7,0 \times 10^{-6} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
 b. $1,4 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
 c. **$2,8 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$**
 d. $4,2 \times 10^{-5} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$

Dada la estequiometría de la reacción, el $\text{N}_2(\text{g})$ se forma a la mitad de velocidad con la que el $\text{NO}(\text{g})$ desaparece.

La respuesta correcta será la **opción c**

19. El efecto de un catalizador positivo en una reacción es:

- a. Aumentar la energía de los reactivos
 b. Aumentar el número de colisiones entre las moléculas de los reactivos
 c. **Disminuir la energía de activación al posibilitar otro mecanismo de reacción**
 d. Disminuir la entalpía de la reacción

Un catalizador hace posible la variación (disminución o aumento) de las energías de activación, tanto del proceso directo como del inverso al posibilitar un mecanismo de reacción distinto. La respuesta correcta es la **opción c**

20. Para la reacción $\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ a $25\text{ }^\circ\text{C}$ se han recogido los datos de velocidad para determinadas concentraciones iniciales. Para esta reacción el orden total de reacción y la constante de velocidad son:

- a. 2 y $1,60 \times 10^7 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}$
b. 2 y $2,2 \times 10^7 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
 c. 3 y $2,2 \times 10^7 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}$
 d. 3 y $4,4 \times 10^7 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

Exp	$[\text{NO}(\text{g})]_{\text{inicial}} (\text{M})$	$[\text{O}_3(\text{g})]_{\text{inicial}} (\text{M})$	$v (\text{M} \cdot \text{s}^{-1})$
1	1×10^{-6}	3×10^{-6}	$6,60 \times 10^{-5}$
2	1×10^{-6}	6×10^{-6}	$1,31 \times 10^{-4}$
3	1×10^{-6}	9×10^{-6}	$1,99 \times 10^{-4}$
4	2×10^{-6}	9×10^{-6}	$3,96 \times 10^{-4}$
5	3×10^{-6}	9×10^{-6}	$5,95 \times 10^{-4}$

De las experiencias (1) y (2), al mantenerse constante la concentración de NO y duplicarse la de ozono, la velocidad se duplica, luego el orden de reacción respecto al ozono es uno.

De las experiencias (3) y (4), al mantenerse constante la concentración de ozono y duplicar la de NO, la velocidad se duplica, luego el orden de reacción respecto al NO es uno.

Por lo tanto, el orden total de reacción es dos.

La ecuación de velocidad será: $v = k \cdot [\text{NO}] \times [\text{O}_3]$, luego sustituyendo los valores de la tabla y despejando la constante de velocidad tendremos que: $k = 2,2 \times 10^7 \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

La respuesta correcta es la **opción b**

21. Para la reacción $2 \text{NO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$, a $298,15 \text{ K}$, el valor de $K_p(298,15 \text{ K}) = 2,4 \times 10^{-3}$. En un recipiente vacío de $2,5 \text{ L}$ introducimos $2,00$ moles de NO(g) a $25\text{ }^\circ\text{C}$. Una vez que se alcanza el equilibrio, la concentración de NO es:

- a. $0,05 \text{ M}$
 b. $0,28 \text{ M}$
 c. $0,50 \text{ M}$
d. $0,73 \text{ M}$

Como no hay variación en el número de moles gaseosos $K_p = K_c$, si se forman por reacción x mol de N_2 y O_2 , la cantidad que queda en el equilibrio de NO será $2-2x$. Como el volumen no influye, la constante de equilibrio cumple:

$$K_c = 2,4 \times 10^{-3} = \frac{x^2}{(2 - 2x)^2}$$

Operando se halla $x = 0,089 \text{ mol}$, con lo que la concentración pedida es:

$$[\text{NO}] = \frac{2 - 2x}{2,5} = 0,73 \text{ M}$$

La respuesta correcta es la **opción d**

22. En la reacción: $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3(\text{g})$; $\Delta_r H^\circ = -92,4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ se puede asegurar que:
- I. K_p no depende de la temperatura
 - II. K_p aumenta al aumentar la presión

- III. K_p disminuye al aumentar la temperatura
IV. Al aumentar la presión el equilibrio se desplaza en sentido opuesto al que ocurre con un aumento de la temperatura

Son ciertas:

- a. I y II
b. II y III
c. III y IV
d. II, III y IV

La I es **FALSA** ya que la constante de equilibrio depende de la temperatura

La II es **FALSA** ya que K_p solo cambia con la temperatura. al aumentar la presión cambia la composición del equilibrio, pero no el valor de K_p

La III es **CIERTA** ya que, al ser la reacción exotérmica, un aumento de temperatura hace que se desplace en sentido endotérmico (reactivos) luego K_p disminuye.

La IV es **CIERTA** ya que al aumentar la presión el equilibrio se desplaza hacia los productos (menor número de moles en fase gaseosa), mientras que al aumentar la temperatura el equilibrio se desplaza hacia el sentido endotérmico (reactivos).

La respuesta correcta es la **opción c**

23. El gas X es soluble en agua. Si una disolución acuosa de X se calienta, se observa el desprendimiento de burbujas del gas X. De este hecho, se deduce que:
- a. El proceso de disolución de X en agua es exotérmico.
b. El proceso de disolución de X en agua es endotérmico.
c. ΔG° es positivo para el proceso de disolución de X en agua.
d. ΔG° es negativo para el proceso de disolución de X en agua.

De las opciones (c) y (d) no podemos asegurar nada ya que no conocemos el valor y signo de la entalpía. También interviene el término entrópico y la temperatura.

El proceso descrito es: $X(ac) \rightarrow X(g)$. Al aumentar la temperatura el equilibrio se desplazará en sentido endotérmico, que, según el enunciado, es la liberación del gas. Por tanto, el proceso de disolución, $X(g) \rightarrow X(ac)$, es exotérmico.

La respuesta correcta es la **opción a**

24. Una muestra de 2,000 g de ácido benzoico (C_6H_5COOH) se valora con una disolución 0,120 M de hidróxido de bario. El volumen de la disolución de hidróxido necesario para la valoración es de:
- a. 68,2 mL
b. 136 mL
c. 273 mL
d. 352 mL

La reacción es: $2 C_6H_5COOH(ac) + Ba(OH)_2(ac) \rightarrow Ba[C_6H_5COO]_2(ac) + 2 H_2O(\ell)$. Por lo tanto:

$$2,000 \text{ g HBz} \times \frac{1 \text{ mol HBz}}{122,12 \text{ g HBz}} \times \frac{1 \text{ mol Ba(OH)}_2}{2 \text{ mol HBz}} \times \frac{1 \text{ L}}{0,120 \text{ mol}} \times \frac{10^3 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 68,2 \text{ mL}$$

La respuesta correcta es la **opción a**

25. El producto iónico del agua a 25 °C es $1,01 \times 10^{-14}$ y a 80 °C es $23,4 \times 10^{-14}$. Si medimos el pH del agua pura a estas dos temperaturas:
- El proceso de autoionización es exotérmico y ocurre a $\text{pH} = 7$
 - Como el agua es neutra, el pH a 80 °C tendría que ser 7
 - A 80 °C, ($\text{pH} = 6,3$) el agua es más ácida que a 25 °C ($\text{pH} = 7$)
 - Las dos aguas son neutras a las dos temperaturas, aunque la concentración de los iones sea distinta**

El producto iónico del agua no es más que una constante de equilibrio luego es afectada por la temperatura. Por lo tanto, tanto el agua pura, tanto fría como caliente, cumple que: $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$, y en todos los casos es neutra.

La respuesta correcta es la **opción d**

26. ¿Cuál de las siguientes sales forma una disolución básica cuando se disuelve en agua? $K_b(\text{NH}_3) = 1,8 \times 10^{-5}$
- NH_4NO_2 ; $K_a(\text{HNO}_2) = 4,6 \times 10^{-4}$
 - NH_4CNO ; $K_a(\text{HCNO}) = 1,2 \times 10^{-4}$
 - NH_4ClO , $K_a(\text{HClO}) = 3,7 \times 10^{-8}$**
 - NH_4F ; $K_a(\text{HF}) = 7,2 \times 10^{-4}$

La naturaleza ácida o básica de la disolución de la sal vendrá dada por las fortalezas relativas de los ácido y base de las que proceden. En las opciones (a), (b) y (d) la base conjugada del ácido de procedencia es ligeramente más débil que el amoníaco, por lo que su hidrólisis se producirá en menor extensión que la del catión amonio. Luego la disolución resultante de la hidrólisis de los dos iones es ligeramente ácida.

En el caso de la opción (c) la base conjugada del ácido es notablemente más fuerte que el amoníaco, luego la disolución resultante de la hidrólisis será básica.

La respuesta correcta es la **opción c**

27. Para el sulfato de bario (BaSO_4) a cierta temperatura, la $K_{ps} = 1,1 \times 10^{-10}$, los gramos de dicha sustancia que hay en 250 mL de disolución saturada son:
- $3,0 \times 10^{-4}$
 - $6,1 \times 10^{-4}$**
 - $1,1 \times 10^{-5}$
 - $5,0 \times 10^{-5}$

El proceso es: $\text{BaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{BaSO}_4(\text{ac}) \rightarrow \text{Ba}^{2+}(\text{ac}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{ac})$; y $K_{ps} = [\text{Ba}^{2+}] \times [\text{SO}_4^{2-}] = s \cdot s = s^2$. Despejando la solubilidad se halla: $s = 1,05 \times 10^{-5}$ M. Ahora:

$$250 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} \times \frac{1,05 \times 10^{-5} \text{ mol}}{1 \text{ L}} \times \frac{233,33 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 6,1 \times 10^{-4} \text{ g}$$

La respuesta correcta es la **opción b**

28. Indique lo que ocurre si se añade 0,01 mol de la sal soluble $\text{Cu}(\text{ClO}_4)_2(\text{s})$ a 1,0 L de disolución de $\text{NaIO}_3(\text{ac})$ 0,0010 M. $K_{ps}(\text{Cu}(\text{IO}_3)_2) = 6,9 \times 10^{-8}$

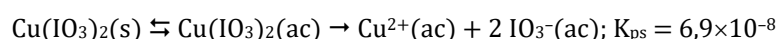
a. No se producirá ninguna precipitación

- b. Precipitará espontáneamente $\text{Cu}(\text{IO}_3)_2$ (s)
c. El valor de K_{ps} aumenta en un factor de 0,14
d. El valor de K_{ps} disminuye en un factor de 0,14

Las concentraciones de los iones respectivos serán:

$$[\text{Cu}^{2+}] = \frac{0,01 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0,01 \text{ M}; [\text{IO}_3^-] = 0,0010 \text{ M}$$

El equilibrio de disolución del yodato de cobre(II) es:



El producto de las concentraciones actuales es: $Q_{ps} = (0,01) \times (0,0010)^2 = 10^{-8}$ lo que indica que, al ser menor que el producto de solubilidad, no se producirá precipitación alguna.

La respuesta correcta es la **opción a**

29. La constante del producto de solubilidad del hidróxido de hierro (III) a 22°C es $6,0 \cdot 10^{-38}$. La masa de este compuesto, medida en gramos, que se disolverá en 100 mL de hidróxido de sodio 0,20 M, a 22°C , suponiendo que no hay formación de complejos es:

- a. $6,0 \times 10^{-39}$
b. $7,0 \times 10^{-37}$
c. $8,0 \times 10^{-35}$
d. $9,0 \times 10^{-35}$

El equilibrio es $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{OH})_3(\text{ac}) \rightarrow \text{Fe}^{3+}(\text{ac}) + 3 \text{OH}^-(\text{ac})$. La solubilidad del hidróxido en la disolución básica cumplirá: $6,0 \times 10^{-38} = s \cdot (3s + 0,20)^3$. Suponiendo que $3s + 0,2 \cong 0,2$, se obtiene $s = 7,5 \times 10^{-36}$ M. Ahora:

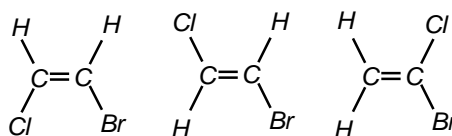
$$100 \text{ ml} \times \frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} \times \frac{7,5 \times 10^{-36} \text{ mol}}{1 \text{ L}} \times \frac{106,9 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 8,0 \times 10^{-35} \text{ g}$$

La respuesta correcta es la **opción c**

30. El número de isómeros estables del compuesto $\text{C}_2\text{H}_2\text{ClBr}$ es:

- a. 1
b. 2
c. 3
d. 4

Los posibles isómeros son los representados más abajo. El número de isómeros es tres y la respuesta correcta es la **opción c**





XXXIX OLIMPIADA QUÍMICA ASTURIAS – 2025

Asturias – 2025

PROBLEMA 1

1. Numerosos iones precipitan a partir de sus disoluciones acuosas como sulfuros poco solubles por la acción del sulfuro de hidrógeno, gas incoloro y muy tóxico, moderadamente soluble en agua (a 25°C un gramo de H₂S se disuelve en 294 mL de agua), aunque estas disoluciones no son estables debido a la absorción de oxígeno, con lo que se forma azufre elemental y las disoluciones se enturbian. En un laboratorio se dispone de una disolución acuosa que contiene los iones Zn²⁺ y Fe²⁺ en concentración 10⁻² M de cada uno, a la que se añade lentamente una disolución acuosa saturada de H₂S.

- A. (4 puntos) Calcule la concentración de aniones sulfuro que debe existir en la disolución para que comience la precipitación de cada sal, indicando el orden de precipitación
- B. (5 puntos) Calcule el porcentaje en disolución del ion que precipita primero cuando comience a precipitar el otro
- C. (6 puntos) Determine el pH necesario para llevar a cabo esta precipitación fraccionada

D. (5 puntos) Disponemos de sistemas químicos para ajustar el pH de una disolución. Utilizando los datos de la tabla y asumiendo iguales las molaridades del ácido y de su base conjugada en la disolución, indique cuál de los sistemas propuestos será efectivo para fijar el pH requerido en la precipitación fraccionada estudiada. Escriba las correspondientes ecuaciones y explique el mecanismo de regulación del pH

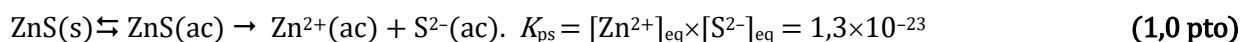
Especie química	K _b
Amoníaco (NH ₃)	1,8×10 ⁻⁵
Ion nitrito (NO ₂ ⁻)	1,4×10 ⁻¹¹

Datos:

$$K_{ps}(\text{ZnS}) = 1,3 \times 10^{-23}; K_{ps}(\text{FeS}) = 3,7 \times 10^{-19}; \text{ para la disociación global del H}_2\text{S, } K_a \approx 10^{-21}$$

SOLUCIÓN

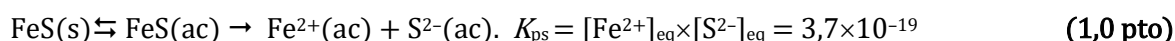
A. La reacción que representa el equilibrio de solubilidad-precipitación del ZnS(s) es:



La concentración de anión sulfuro necesaria para que comience a precipitar el ZnS(s) en las condiciones de la disolución es:

$$[\text{S}^{2-}]_{\text{eq,ZnS}} = \frac{K_{ps}(\text{ZnS})}{[\text{Zn}^{2+}]_{\text{eq}}} = \frac{1,3 \cdot 10^{-23}}{10^{-2}} = 1,3 \cdot 10^{-21} \text{ M} \quad (1,0 \text{ pto})$$

La reacción que representa el equilibrio de solubilidad-precipitación del FeS(s) es



La concentración de anión sulfuro necesaria para que comience a precipitar el FeS(s) en las condiciones de la disolución es:

$$[\text{S}^{2-}]_{\text{eq,FeS}} = \frac{K_{ps}(\text{FeS})}{[\text{Fe}^{2+}]_{\text{eq}}} = \frac{3,7 \cdot 10^{-19}}{10^{-2}} = 3,7 \cdot 10^{-17} \text{ M}$$

Por lo que precipitará primero del ZnS al necesitar una concentración menor del anión sulfuro

(1,0 pto)

- B. Cuando comienza a precipitar el FeS, $[S^{2-}]_{eq,FeS} = 3,7 \times 10^{-17} M$, luego la concentración de Zn^{2+} en equilibrio en esas condiciones es **(2,0 pts)**

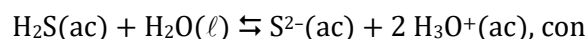
$$[Zn^{2+}]_{eq,FeS} = \frac{K_{ps}(ZnS)}{3,7 \times 10^{-17}} = 3,51 \times 10^{-7} M \quad (2,0 \text{ pts})$$

Lo que supone un porcentaje de:

$$\%Zn^{2+} = \frac{3,51 \times 10^{-7}}{10^{-2}} \times 100 = 0,0035\% \quad (1,0 \text{ pts})$$

Prácticamente todos los iones Zn^{2+} han precipitado

- C. El proceso global de transferencia de protones en el $H_2S(ac)$ es:



$$K_a = \frac{[S^{2-}]_{eq} \times [H_3O^+]_{eq}^2}{[H_2S]_{eq}} \approx 10^{-21} \quad (1,0 \text{ pts})$$

El bajo valor de K_a indica que el equilibrio está muy desplazado hacia la izquierda, de tal manera que se puede considerar que $[H_2S]_{eq}$ es igual a la concentración inicial derivada de su solubilidad

$$[H_2S]_{eq} = [H_2S]_i = \frac{1 \text{ g } H_2S}{294 \text{ mL}} \times \frac{1 \text{ mol } H_2S}{34 \text{ g}} \times \frac{10^3 \text{ mL}}{1 \text{ L}} = 0,10 M \quad (2,0 \text{ pts})$$

La $[S^{2-}]_{eq}$ es la necesaria para precipitar todo el $ZnS(s)$, que corresponde a la necesaria para que comience a precipitar el $FeS(s)$ e igual a $3,7 \cdot 10^{-17} M$ **(2,0 pts)**

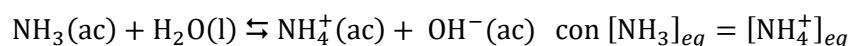
La concentración de oxidanio necesaria para que precipiten todos los Zn^{2+} es:

$$[H_3O^+]_{eq} = \sqrt{\frac{[H_2S]_{eq} \cdot K_a}{[S^{2-}]_{eq}}} = \sqrt{\frac{(0,1) \cdot (10^{-21})}{3,7 \cdot 10^{-17}}} = 1,6 \cdot 10^{-3} M$$

El pH será: $pH = -\log[H_3O^+] = -\log(1,6 \cdot 10^{-3}) = 2,79$ **(1,0 pts)**

- D. Como se ha determinado en el apartado anterior, la precipitación fraccionada se produce a un pH ácido, luego necesitaremos utilizar una disolución reguladora que genere un pH ácido.

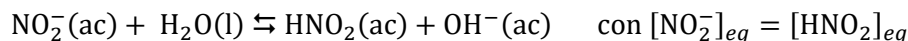
El pH del sistema NH_3/NH_4^+ en disolución acuosa está determinado por el equilibrio



Lo que supone que

$$[OH^-]_{eq} = K_b(NH_3) = 1,8 \cdot 10^{-5} ; \text{ pOH} = 4,74 \text{ y pH} = 9,26 \quad (2,0 \text{ pts})$$

Para el sistema NO_2^-/HNO_2 el equilibrio en disolución acuosa es



Lo que supone que

$$[OH^-]_{eq} = K_b(NO_2^-) = 1,4 \cdot 10^{-11} ; \text{ pOH} = 10,85 \text{ y pH} = 3,15$$

En consecuencia, utilizaría el sistema NO_2^-/HNO_2 **(2,0 pts)**

En cuanto al mecanismo de regulación del pH, la adición de una pequeña cantidad de ácido a la disolución reguladora será neutralizada en su totalidad por el componente básico del sistema (NH_3 ó NO_2^-), por lo que el pH de la disolución prácticamente no variará. La adición de una pequeña cantidad de base a la disolución reguladora será neutralizada por el componente ácido de la misma (NH_4^+ ó HNO_2), por lo que el pH de la disolución prácticamente no variará. **(1,0 pts)**

PROBLEMA 2

2. En 1928 F. Wöhler sintetizó la urea (sustancia orgánica) a partir de cianato de amonio (sustancia inorgánica) según la reacción: $(\text{NH}_4)(\text{O}-\text{C}\equiv\text{N}) \rightarrow (\text{NH}_2)_2\text{C}=\text{O}$, con lo que se puso fin a la teoría vitalista de J.J. Berzelius y se comenzó a tratar a las sustancias orgánicas como cualquier otra sustancia química (realmente fue la segunda sustancia orgánica obtenida artificialmente, la primera fue el oxalato de amonio).

El proceso fundamental de fabricación es el de Bosh–Meiser que transcurre en dos pasos.

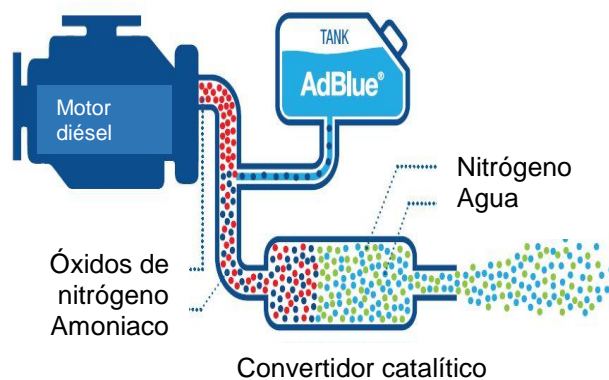
- (1) Reacción casi instantánea entre amoniaco líquido y dióxido de carbono para producir carbamato de amonio ($\text{H}_2\text{N}-\text{COONH}_4$). Un proceso exotérmico que libera 117 kJ/mol carbamato de amonio, a 110 atm y 160 °C
- (2) Descomposición del carbamato de amonio en urea y agua. Un proceso endotérmico que absorbe 15,5 kJ/mol de carbamato de amonio a 160 °C

- A. (3 puntos) Escriba las ecuaciones químicas ajustadas que representan los dos procesos descritos
- B. (3 puntos) Escriba la ecuación química correspondiente al proceso global y calcule la variación de entalpía asociada a ese proceso

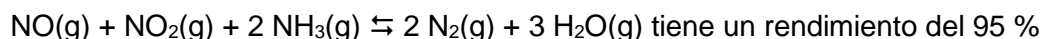
Entre las muchas aplicaciones que tiene la urea (fertilizantes, plásticos, industria cosmética, etc.) últimamente ha destacado como componente indispensable del AdBlue®, aditivo que se inyecta en la salida de los gases de escape de motores diesel y que, por reacción con los óxidos de nitrógeno producidos en la combustión del gasoil, los elimina y produce nitrógeno. La reacción está catalizada por óxidos de metales como molibdeno, vanadio, etc.

El AdBlue® es una disolución acuosa de urea al 32,5% en masa y densidad 1,087 g·mL⁻¹.

- C. (8 puntos) Calcule la masa de urea y el volumen de agua necesarios para preparar 2,000 L de AdBlue® a 20 °C y explique con detalle el procedimiento experimental. (Densidad del agua a 20 °C = 0,99829 g·mL⁻¹)



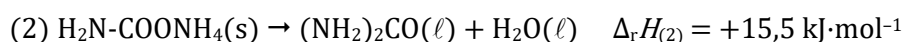
Al inyectar el AdBlue®, a una temperatura elevada, la urea se descompone en amoniaco y dióxido de carbono. Este amoniaco es el que reacciona con los óxidos de nitrógeno para dar nitrógeno y agua, según diferentes reacciones con un rendimiento elevado. Por ejemplo, la reacción



- D. (6 puntos) La reacción anterior se realiza en un reactor de 2,00 L en el que introducimos 1 mol de cada uno de los óxidos de nitrógeno y 2 moles de amoniaco. Calcule la constante de equilibrio a la temperatura del proceso si el rendimiento es el indicado

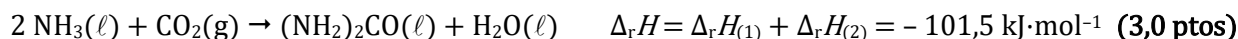
SOLUCIÓN

- A. Las reacciones son:



(3,0 pts)

B. Proceso global (R) = (1) + (2):



C. Cálculo de las cantidades de urea y de agua:

$$2,000 \text{ L AdBlue} \times \frac{1,087 \text{ g AdBlue}}{10^{-3} \text{ L AdBlue}} \times \frac{32,5 \text{ g urea}}{100 \text{ g AdBlue}} = 706,6 \text{ g urea} \quad (2,0 \text{ pts})$$

$$2,000 \text{ L AdBlue} \times \frac{1,087 \text{ g AdBlue}}{10^{-3} \text{ L AdBlue}} \times \frac{(100-32,5) \text{ g agua}}{100 \text{ g AdBlue}} \times \frac{1 \text{ mL}}{0,99829 \text{ g}} = 1470,0 \text{ mL de agua} \quad (2,0 \text{ pts})$$

Para prepararla realizaremos los siguientes pasos:

- Pesar en una balanza analítica sobre un vidrio de reloj previamente tarado 706,6 g de urea
- Añadir esta cantidad de urea a un matraz aforado de 2,000 L
- Añadir al matraz aproximadamente la mitad del agua necesaria y agitar hasta disolución de la urea.
- Completar con agua hasta el enrase del matraz (4,0 pts)

D. Si la cantidad que reacciona es $x = 0,95$, las cantidades en el equilibrio serán las de la tabla adjunta.

Por tanto, la constante de equilibrio en función de las concentraciones será:

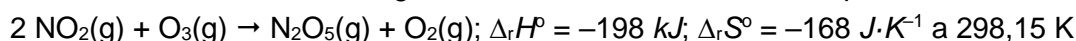
(4,0 pts)

	NO	NO ₂	NH ₃	N ₂	H ₂ O
n(iniciales) (mol)	1	1	2	--	--
n(reaccionan) (mol)	x	x	2x	2x	3x
n(equilibrio) (mol)	1-x	1-x	2-2x	2x	3x
	0,05	0,05	0,10	1,90	2,85
c(mol·L ⁻¹)	0,025	0,025	0,05	0,95	1,425

$$K_c = \frac{[\text{N}_2]_{\text{eq}}^2 \cdot [\text{H}_2\text{O}]_{\text{eq}}^3}{[\text{NO}]_{\text{eq}} \cdot [\text{NO}_2]_{\text{eq}} \cdot [\text{NH}_3]_{\text{eq}}^2} = \frac{0,95^2 \times 1,425^3}{0,025 \times 0,025 \times 0,05^2} = 1,67 \times 10^6 \quad (2,0 \text{ pts})$$

PROBLEMA 3

3. El ozono reacciona con dióxido de nitrógeno de acuerdo con la ecuación química



- A. (5 puntos) Calcule la entalpía de formación del NO₂(g), a 298,15 K, si las del ozono y del pentóxido de dinitrógeno, a esa temperatura, son 143 y 11 kJ·mol⁻¹, respectivamente, y calcule el valor de Δ_rG° a 298,15 K
- B. (1 punto) Justifique el signo negativo de la variación de entropía de la reacción
- C. (2 puntos) Indique y explique cómo variará la espontaneidad de esta reacción con el aumento de la temperatura

Cuando se estudia la cinética de la reacción se obtienen los siguientes valores experimentales de velocidad para diferentes concentraciones iniciales

	[NO ₂ (g)] _i (M)	[O ₃ (g)] _i (M)	v (M·s ⁻¹)
Exp I	0,0015	0,0025	4,8×10 ⁻⁸
Exp II	0,0022	0,0025	7,2×10 ⁻⁸
Exp III	0,0022	0,0050	1,4×10 ⁻⁷

- D. (5 puntos) Deduzca la ley de velocidad, el orden de reacción para cada reactivo y calcule la constante de velocidad
- E. (5 puntos) Se han propuesto los siguientes mecanismos para esta reacción. Discuta la idoneidad de cada uno de ellos en relación con la ley de velocidad obtenida experimentalmente

Mecanismo I	Mecanismo II
$\text{NO}_2(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_3(\text{g}) + \text{NO}(\text{g})$ lenta	$\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NO}_3(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ rápida
$\text{NO}_3(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ rápida	$\text{NO}_3(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ lenta
$\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_3(\text{g}) \rightarrow \text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ rápida	

F. (2 puntos) Describa y explique cualquier cambio esperado en la velocidad de esta reacción a medida que aumenta la temperatura

SOLUCIÓN

A. Por aplicación de la ley de Hess a la ecuación dada:

$$\Delta_r H^\circ = \{\Delta_f H^\circ[\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})] + \Delta_f H^\circ[\text{O}_2(\text{g})]\} - \{\Delta_f H^\circ[\text{O}_3(\text{g})] + 2 \times \Delta_f H^\circ[\text{NO}_2(\text{g})]\} \quad (2,0 \text{ pts})$$

con lo que sustituyendo valores y despejando tendremos:

$$\Delta_f H^\circ[\text{NO}_2(\text{g})] = \frac{1}{2} \{-\Delta_r H^\circ + \Delta_f H^\circ[\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})] + \Delta_f H^\circ[\text{O}_2(\text{g})] - \Delta_f H^\circ[\text{O}_3(\text{g})]\} = \frac{1}{2} \times [-(-198) + 11 + 0 - 143] = 33 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1} \quad (1,0 \text{ pto})$$

$$\text{Como } \Delta_r G^\circ = \Delta_r H^\circ - T \Delta_r S^\circ \quad \Delta_r G^\circ = -198 - 298,15 \times (-168 \times 10^{-3}) = -147,9 \text{ kJ} \quad (2,0 \text{ pts})$$

B. El signo es negativo ya que se produce una disminución en el número de moles totales en fase gaseosa al avanzar la reacción, desde tres moles (reactivos) a dos moles (productos). (1,0 pto)

C. Puesto que $\Delta_r S^\circ < 0$, el término $-T \Delta_r S^\circ$ es positivo. Al aumentar la temperatura, este término será más positivo y, en consecuencia, $\Delta_r G^\circ$ será menos negativo, o más positivo, lo que supone que la tendencia a la espontaneidad disminuye. (2,0 pts)

D. La ley de velocidad tiene la forma: $v = k \cdot [\text{NO}_2]^\alpha \cdot [\text{O}_3]^\beta$.

Experiencias I y II:

$$\frac{v_{II}}{v_I} = \frac{7,2 \times 10^{-8}}{4,8 \times 10^{-8}} = 1,5 = \frac{k \times 0,0022^\alpha \times 0,0025^\beta}{k \times 0,0015^\alpha \times 0,0025^\beta} = 1,5^\alpha; \text{ de donde } \alpha = 1$$

Experiencias II y III:

$$\frac{v_{III}}{v_{II}} = \frac{1,4 \times 10^{-7}}{7,2 \times 10^{-8}} = 2,0 = \frac{k \times 0,0022^\alpha \times 0,0050^\beta}{k \times 0,0022^\alpha \times 0,0025^\beta} = 2,0^\beta; \text{ de donde } \beta = 1$$

(3,0 pts)

La ecuación de velocidad obtenida experimentalmente es

$$v = k \cdot [\text{NO}_2] \times [\text{O}_3] \quad (1,0 \text{ pto})$$

Sustituyendo en esta expresión los valores de velocidad inicial y de las concentraciones de las tres experiencias en la ecuación de velocidad se obtiene que los valores de la constante de velocidad son 0,0128; 0,0131 y 0,0127 para las tres experiencias. Considerando el valor medio

$$k = 0,013 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1} \quad (1,0 \text{ pto})$$

E. Cuando una reacción ocurre en varios pasos, la velocidad de la reacción deducida del mecanismo propuesto está determinada por la velocidad de la etapa lenta. En el mecanismo I la ecuación de velocidad deducida es $v = k \cdot [\text{NO}_2]^2$, incoherente con la ecuación obtenida experimentalmente en el apartado anterior. (2,0 pts)

Para el mecanismo II se obtiene

$$v = k \cdot K_{eq} \cdot [\text{NO}_2]^2 \cdot [\text{O}_3] \cdot [\text{O}_2]^{-1}$$

también incoherente con la ecuación obtenida experimentalmente. **(2,0 ptos)**

En conclusión, ninguno de los mecanismos propuestos es posible en la reacción considerada.

(1,0 pto)

- F. Al aumentar la temperatura aumentará la energía de las partículas, por lo que una mayor proporción de las mismas podrán alcanzar, en sus colisiones, una energía superior a la de activación con lo que la velocidad de reacción aumentará. **(2,0 ptos)**