



Solución Hoja de Ejercicios: Equilibrio Químico

Academia de Ciencias Lógica

Ejercicio 1

a) Formulación y ajuste de la reacción: $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ $\Delta H = -92 \text{ kJ/mol}$

b) Valores de K_c y K_p a 400°C (673 K): Cantidades iniciales: $n(N_2) = 1 \text{ mol}$; $n(H_2) = 3 \text{ mol}$. $V = 10 \text{ L}$. Equilibrio: $n(NH_3) = 1 \text{ mol}$. Según la estequiometría, si se forman 1 mol de NH_3 (que es $2x$), entonces $x = 0,5 \text{ mol}$. $n(N_2)_{eq} = 1 - 0,5 = 0,5 \text{ mol} \Rightarrow [N_2] = 0,5/10 = 0,05 \text{ M}$ $n(H_2)_{eq} = 3 - 3(0,5) = 1,5 \text{ mol} \Rightarrow [H_2] = 1,5/10 = 0,15 \text{ M}$ $[NH_3]_{eq} = 1/10 = 0,1 \text{ M}$ $K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{0,1^2}{0,05 \cdot 0,15^3} = \frac{0,01}{0,00016875} = 59,26$ $K_p = K_c(RT)^{\Delta n} = 59,26 \cdot (0,082 \cdot 673)^{-2} = 59,26 \cdot (55,186)^{-2} = 0,0194$

c) Efecto de cambios: - Al aumentar la presión, el equilibrio se desplaza hacia donde hay menos moles de gas (hacia la derecha, formación de NH_3). - Al elevar la temperatura, siendo una reacción exotérmica ($\Delta H < 0$), el equilibrio se desplaza hacia la izquierda (absorción de calor), disminuyendo el rendimiento.

Ejercicio 2

$SO_2Cl_2(g) \rightleftharpoons SO_2(g) + Cl_2(g)$. $T = 350 \text{ K}$, $V = 1 \text{ L}$. Inicial: $0,75 \text{ mol}$. Equilibrio: $P(SO_2) = 1,55 \text{ atm}$.

a) K_p y K_c : $P(SO_2) = \frac{n(SO_2)RT}{V} \Rightarrow 1,55 = \frac{x \cdot 0,082 \cdot 350}{1} \Rightarrow x = 0,054 \text{ mol}$. En equilibrio: $n(SO_2) = n(Cl_2) = 0,054 \text{ mol}$; $n(SO_2Cl_2) = 0,75 - 0,054 = 0,696 \text{ mol}$. $[SO_2] = [Cl_2] = 0,054 \text{ M}$; $[SO_2Cl_2] = 0,696 \text{ M}$. $K_c = \frac{0,054^2}{0,696} = 4,19 \cdot 10^{-3}$ $K_p = K_c(RT)^1 = 4,19 \cdot 10^{-3} \cdot (0,082 \cdot 350) = 0,120$

b) Grado de disociación y presión parcial: $\alpha = \frac{x}{n_0} = \frac{0,054}{0,75} = 0,072$ (7,2%). $P(SO_2Cl_2) = \frac{0,696 \cdot 0,082 \cdot 350}{1} = 19,97 \text{ atm}$.

c) Introducir el doble de moles: Aumentar la concentración de reactivo desplaza el equilibrio hacia la derecha (productos) para consumir el exceso, según Le Chatelier.

Ejercicio 3

$2NOCl(g) \rightleftharpoons Cl_2(g) + 2NO(g)$. $T = 460^\circ\text{C} = 733 \text{ K}$, $V = 1 \text{ L}$. Inicial: $2,5 \text{ mol}$. Equil: $n(NO) = 0,78 \text{ mol}$. Si $2x = 0,78 \Rightarrow x = 0,39 \text{ mol}$. Equilibrio: $n(Cl_2) = 0,39 \text{ mol}$; $n(NOCl) = 2,5 - 0,78 = 1,72 \text{ mol}$.

a) K_c : $K_c = \frac{[Cl_2][NO]^2}{[NOCl]^2} = \frac{0,39 \cdot 0,78^2}{1,72^2} = \frac{0,2372}{2,9584} = 0,0802$

b) K_p : $K_p = 0,0802 \cdot (0,082 \cdot 733)^1 = 0,0802 \cdot 60,106 = 4,82$

c) Presión total: $n_{total} = 1,72 + 0,39 + 0,78 = 2,89 \text{ mol}$. $P = \frac{2,89 \cdot 0,082 \cdot 733}{1} = 173,7 \text{ atm}$.

Ejercicio 4

$COCl_2 \rightleftharpoons CO + Cl_2$. $V = 0,25 \text{ L}$, $T = 300 \text{ K}$. $m_0 = 0,213 \text{ g}$ ($M_m = 99 \text{ g/mol}$) $\Rightarrow n_0 = 0,00215 \text{ mol}$.
 $P_{eq} = 230/760 = 0,3026 \text{ atm}$.

a) Grado de disociación: $n_{total} = n_0(1 + \alpha)$. $PV = n_{total}RT \Rightarrow 0,3026 \cdot 0,25 = n_{total} \cdot 0,082 \cdot 300$.
 $n_{total} = 0,003075 \text{ mol}$. $0,003075 = 0,00215(1 + \alpha) \Rightarrow \alpha = 0,43 \text{ (43\%)}$.

b) Presiones parciales: $n(COCl_2) = 0,00215(1 - 0,43) = 0,001225 \text{ mol}$; $n(CO) = n(Cl_2) = 0,000925 \text{ mol}$.
 $P(COCl_2) = \frac{0,001225}{0,003075} \cdot 0,3026 = 0,120 \text{ atm}$. $P(CO) = P(Cl_2) = \frac{0,000925}{0,003075} \cdot 0,3026 = 0,091 \text{ atm}$.

c) K_p y K_c : $K_p = \frac{0,091^2}{0,120} = 0,069$. $K_c = 0,069 \cdot (0,082 \cdot 300)^{-1} = 2,8 \cdot 10^{-3}$.

Ejercicio 5

$CO_2 + H_2 \rightleftharpoons CO + H_2O$. $T = 2073 \text{ K}$, $V = 2 \text{ L}$. $n_0(CO_2) = 92,4/44 = 2,1 \text{ mol}$. $n_0(H_2) = 3,2/2 = 1,6 \text{ mol}$.
 Equilibrio: $n(CO_2) = 0,9 \text{ mol} \Rightarrow x = 2,1 - 0,9 = 1,2 \text{ mol}$. Equilibrio: $n(H_2) = 1,6 - 1,2 = 0,4 \text{ mol}$; $n(CO) = 1,2 \text{ mol}$; $n(H_2O) = 1,2 \text{ mol}$.

a) Concentraciones: $[CO_2] = 0,45 \text{ M}$; $[H_2] = 0,2 \text{ M}$; $[CO] = 0,6 \text{ M}$; $[H_2O] = 0,6 \text{ M}$.

b) K_c y K_p : $K_c = \frac{0,6 \cdot 0,6}{0,45 \cdot 0,2} = 4$. Como $\Delta n = 0$, $K_p = K_c = 4$.

c) Disminución del volumen: No afecta al equilibrio porque el número de moles de gas es igual en ambos lados ($\Delta n = 0$).

Ejercicio 6

$Br_2 + I_2 \rightleftharpoons 2BrI$. $V = 0,4 \text{ L}$, $T = 423 \text{ K}$. $K_c = 280$. $n_0(Br_2) = 1,28/160 = 0,008 \text{ mol}$. $n_0(I_2) = 2,032/254 = 0,008 \text{ mol}$.
 Sea x los moles de Br_2 que reaccionan: $280 = \frac{(2x/0,4)^2}{(0,008-x)/0,4 \cdot (0,008-x)/0,4} = \frac{4x^2}{(0,008-x)^2} \sqrt{280} = \frac{2x}{0,008-x} \Rightarrow 16,733 = \frac{2x}{0,008-x} \Rightarrow x = 0,00714 \text{ mol}$.

a) Grado de disociación: $\alpha = 0,00714/0,008 = 0,893 \text{ (89,3\%)}$. **b) K_p :** Como $\Delta n = 0$, $K_p = K_c = 280$. **c) Gramos de yodo:** $n(I_2)_{eq} = 0,008 - 0,00714 = 0,00086 \text{ mol} \Rightarrow m = 0,218 \text{ g}$.

Ejercicio 7

$2NO + 2H_2 \rightleftharpoons N_2 + 2H_2O$. $V = 1\text{ L}$. Inicial: $0,1\text{ NO}$, $0,05\text{ H}_2$, $0,1\text{ H}_2\text{O}$. Equil: $[NO] = 0,062 \Rightarrow 0,1 - 2x = 0,062 \Rightarrow x = 0,019\text{ mol}$.

a) Concentraciones en equilibrio: $[NO] = 0,062\text{ M}$; $[H_2] = 0,05 - 2(0,019) = 0,012\text{ M}$. $[N_2] = 0,019\text{ M}$; $[H_2O] = 0,1 + 2(0,019) = 0,138\text{ M}$.

b) K_c : $K_c = \frac{0,019 \cdot 0,138^2}{0,062^2 \cdot 0,012^2} = \frac{0,0003618}{0,000000553} = 654,3$.

Ejercicio 8

$2SO_3 \rightleftharpoons 2SO_2 + O_2$. $V = 0,8\text{ L}$. Equil: $n(O_2) = 2\text{ mol} \Rightarrow [O_2] = 2,5\text{ M}$. Si se forman 2 moles de O_2 , se forman 4 moles de SO_2 . $K_c = \frac{[SO_2]^2 [O_2]}{[SO_3]^2} \Rightarrow 0,22 = \frac{(4/0,8)^2 \cdot 2,5}{[SO_3]^2} = \frac{5^2 \cdot 2,5}{[SO_3]^2}$. $[SO_3] = \sqrt{62,5/0,22} = 16,85\text{ M}$.

a) Concentraciones: $[O_2] = 2,5\text{ M}$; $[SO_2] = 5\text{ M}$; $[SO_3] = 16,85\text{ M}$. **b) Grado de disociación:** $n_0(SO_3) = 16,85 \cdot 0,8 + 4 = 17,48\text{ mol}$. $\alpha = 4/17,48 = 0,229\text{ (22,9\%)}$.

Ejercicio 9

$SbCl_3(ac) + H_2O(l) \rightleftharpoons SbOCl(s) + 2HCl(ac)$. (Ajustada: $SbCl_3 + H_2O \rightleftharpoons SbOCl + 2HCl$). **a)** Aumentar HCl desplaza el equilibrio a la izquierda, disminuye $SbOCl$. **b)** Aumentar $SbCl_3$ desplaza el equilibrio a la derecha, aumenta $SbOCl$. **c)** $K_c = \frac{[HCl]^2}{[SbCl_3]}$. (El agua líquida y el sólido no entran en la expresión).

Ejercicio 10

$N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$. $T = 333\text{ K}$, $K_p = 2,49$. **a)** $K_c = K_p(RT)^{-1} = 2,49 \cdot (0,082 \cdot 333)^{-1} = 0,0912$. **b)** α **a 1 atm:** $K_p = \frac{4\alpha^2}{1-\alpha^2} P_{total} \Rightarrow 2,49 = \frac{4\alpha^2}{1-\alpha^2} \cdot 1$. $2,49 - 2,49\alpha^2 = 4\alpha^2 \Rightarrow \alpha^2 = 0,383 \Rightarrow \alpha = 0,619\text{ (61,9\%)}$.

Ejercicio 11

$NH_4CN(s) \rightleftharpoons NH_3(g) + HCN(g)$. $T = 284\text{ K}$. $P = 0,3\text{ atm}$. **a)** K_p y K_c : $P(NH_3) = P(HCN) = 0,15\text{ atm}$. $K_p = 0,15 \cdot 0,15 = 0,0225$. $K_c = 0,0225 \cdot (0,082 \cdot 284)^{-2} = 4,15 \cdot 10^{-5}$. **b) Masa máxima:** $n = PV/RT = (0,3 \cdot 2)/(0,082 \cdot 284) = 0,0257\text{ mol}$ de gas total. Moles descompuestos de $NH_4CN = 0,0257/2 = 0,01285\text{ mol}$. $m = 0,01285 \cdot 44 = 0,565\text{ g}$.

Ejercicio 12

$N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$. $V = 5\text{ L}$, $n_0 = 0,4$, $P_{total} = 4,92\text{ atm}$. **a) α :** $PV = n_{total}RT$. Como no dan T , se asume 300 K si es estándar o se deduce del equilibrio. Sin T no es posible calcular un valor exacto de α a menos que se use la P dada: $n_{total} = 0,4(1 + \alpha)$. Si suponemos $T \approx 300\text{ K} \implies 4,92 \cdot 5 = 0,4(1 + \alpha) \cdot 0,082 \cdot 300 \implies 24,6 = 9,84(1 + \alpha) \implies \alpha = 1,5$ (Imposible). Revisando datos: T debe ser tal que $RT = PV/n(1 + \alpha)$. El enunciado sugiere que el equilibrio se alcanza por calentamiento. Asumiendo que es un problema donde hay que hallar T o α es dato implícito. Si calculamos para 400 K : $24,6 = 0,4(1 + \alpha)13,12 \implies \alpha = 0,875$.

c) Aumento de volumen: El equilibrio se desplaza hacia la derecha (donde hay más moles de gas).

Ejercicio 13

$2NaHCO_3(s) \rightleftharpoons Na_2CO_3(s) + CO_2(g) + H_2O(g)$. $V = 25\text{ L}$, $T = 383\text{ K}$. $P = 1,65\text{ atm}$. **a) Masa restante:** $P(CO_2) = P(H_2O) = 0,825\text{ atm}$. $n(gas) = \frac{1,65 \cdot 25}{0,082 \cdot 383} = 1,313\text{ mol}$. Moles de $NaHCO_3$ consumidos $= n(gas) = 1,313\text{ mol}$. $m_{consumida} = 1,313 \cdot 84 = 110,3\text{ g}$. Quedan $200 - 110,3 = 89,7\text{ g}$. **b) K_p y K_c :** $K_p = 0,825 \cdot 0,825 = 0,68$. $K_c = 0,68 \cdot (0,082 \cdot 383)^{-2} = 6,8 \cdot 10^{-4}$.

Ejercicio 14

$2NO + 2H_2 \rightleftharpoons N_2 + 2H_2O$. $T = 750\text{ K}$, $P = 10,9\text{ atm}$. $\alpha = 0,7$. Inic: 1 mol NO , 1 mol H_2 . Equil: $1 - 0,7 = 0,3\text{ NO}$; $1 - 0,7 = 0,3\text{ H}_2$; $0,35\text{ N}_2$; $0,7\text{ H}_2O$. $n_{total} = 0,3 + 0,3 + 0,35 + 0,7 = 1,65\text{ mol}$. **a) Presiones:** $P(NO) = P(H_2) = \frac{0,3}{1,65} \cdot 10,9 = 1,98\text{ atm}$; $P(N_2) = 2,31\text{ atm}$; $P(H_2O) = 4,62\text{ atm}$. **b) K_p y K_c :** $K_p = \frac{2,31 \cdot 4,62^2}{1,98^2 \cdot 1,98^2} = 3,21$. $K_c = 3,21 \cdot (0,082 \cdot 750)^{-2} = 197,4$.

Ejercicio 15

$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$. Equil: 3, 1, 1 moles. $P = 1\text{ atm}$. $n_{total} = 5$. **a) K_p :** $P(N_2) = 0,6$; $P(H_2) = 0,2$; $P(NH_3) = 0,2$. $K_p = \frac{0,2^2}{0,6 \cdot 0,2^3} = 8,33$. **b) Añadir 0,1 mol N_2 :** $n_{total} = 5,1$. $Q_p = \frac{(1/5,1)^2}{(3,1/5,1) \cdot (1/5,1)^3} = \frac{0,0384}{0,0046} = 8,22$. **c) $Q_p < K_p$:** El equilibrio se desplaza hacia la derecha (productos).

Ejercicio 16

$C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$. $V = 10\text{ L}$, $T = 1123\text{ K}$, $K_c = 0,153$. $n_0(CO_2) = 4,4/44 = 0,1\text{ mol}$. $0,153 = \frac{(2x/10)^2}{(0,1-x)/10} = \frac{4x^2}{10(0,1-x)} \implies 1,53 - 15,3x = 4x^2 \implies x = 0,083\text{ mol}$. **a) Masa CO_2 :** $m = (0,1 - 0,083) \cdot 44 = 0,748\text{ g}$. **b) Presiones:** $P(CO) = \frac{2 \cdot 0,083 \cdot 0,082 \cdot 1123}{10} = 1,52\text{ atm}$. $P_{total} = \frac{0,183 \cdot 0,082 \cdot 1123}{10} = 1,68\text{ atm}$.

Ejercicio 17

$N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$. $V = 10$, $T = 2300$, $K_c = 1,7 \cdot 10^{-3}$. $Q_c = \frac{(0,006)^2}{0,025 \cdot 0,025} = 0,0576$. Como $Q_c > K_c$, va a la izquierda. $0,0017 = \frac{(0,006-2x)^2}{(0,025+x)^2} \implies 0,0412 = \frac{0,006-2x}{0,025+x} \implies x = 0,0024$. **a) Concentraciones:** $[N_2] = [O_2] = 0,0274 M$; $[NO] = 0,0012 M$. **b) Presiones:** $P(N_2) = P(O_2) = 5,17 atm$; $P(NO) = 0,226 atm$. **c) Desplazamiento a la derecha.**

Ejercicio 18

$A \rightleftharpoons 2B$. **a)** K_p disminuye al aumentar T , por lo que es **exotérmica**; aumentar T favorece reactivos (aumenta P_A). **b) Fracciones a 789K ($\alpha = 0,4$):** $X_A = \frac{1-0,4}{1+0,4} = 0,43$; $X_B = \frac{0,8}{1,4} = 0,57$. **c) P_{total} :** $K_p = \frac{X_B^2}{X_A} P_{total} \implies 0,956 = \frac{0,57^2}{0,43} P_{total} \implies P_{total} = 1,26 atm$. **d) Helio a V constante:** No altera las presiones parciales ni el equilibrio.