

EQUILIBRIO QUÍMICO.

Concentraciones molares, presiones y constantes K_c y K_p .

- 1.- La formación del N_2O_4 se explica mediante las dos reacciones siguientes: $2 NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2 NO_2(g)$; ¿Qué relación existe entre las constantes de los dos equilibrios con la constante de equilibrio de la reacción global? 
- 2.- La constante del siguiente equilibrio: $3 H_2(g) + N_2(g) \rightleftharpoons 2 NH_3(g)$. a 150 °C y 200 atm es 0,55: ¿Cuál es la concentración de amoníaco cuando las concentraciones de H_2 y N_2 en el equilibrio son 0,20 mol/L y 0,10 mol/L respectivamente. 
- 3.- Se ha estudiado la reacción del equilibrio siguiente: $2 NOCl(g) \rightleftharpoons 2 NO(g) + Cl_2(g)$ a 735 K y en un volumen de 1 litro. Inicialmente en el recipiente se introdujeron 2 moles de NOCl. Una vez establecido el equilibrio se comprobó que se había disociado un 33 % del compuesto. **a)** Calcula K_c . **b)** ¿Hacia dónde se desplazará el equilibrio si se aumenta la presión? Razona la respuesta. 
- 4.- Para la reacción $SbCl_5(g) \rightleftharpoons SbCl_3(g) + Cl_2(g)$, K_p , a la temperatura de 182 °C, vale $9,32 \cdot 10^{-2}$. En un recipiente de 0,40 litros se introducen 0,2 moles de $SbCl_5$ y se eleva la temperatura a 182 °C hasta que se establece el equilibrio anterior. Calcula: **a)** la concentración de las especies presentes en el equilibrio; **b)** la presión de la mezcla gaseosa. (Problema Selectividad Andalucía 1998) 
- 5.- Calcula los valores de K_c y K_p a 250 °C en la reacción de formación del yoduro de hidrógeno, $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2 HI(g)$. sabiendo que el volumen del recipiente de reacción es de 10 litros y que partiendo de 2 moles de I_2 y 4 moles de H_2 , se han obtenido 3 moles de yoduro de hidrógeno. 
- 6.- Cuando 30 g de ácido acético CH_3COOH , reaccionan con 46 g de etanol CH_3CH_2OH se forman 36,96 g de acetato de etilo $CH_3COO-CH_2CH_3$ y una cierta cantidad de agua. Calcula la constante de equilibrio de la reacción de esterificación. 
- 7.- En un recipiente de 5 L se introducen a 500°C 3 moles de HI, 2 mol de H_2 y 1 mol de I_2 . Calcula la concentración de las distintas especies en equilibrio si sabemos que la constante del equilibrio $2 HI \rightleftharpoons I_2 + H_2$ a dicha temperatura es $K_c = 0,025$. 
- 8.- En un recipiente metálico de 2,0 litros se introducen 28 g de N_2 y 3,23 g de H_2 . Se cierra y se calienta a 350 °C. Una vez alcanzado el equilibrio, se encuentran 5,11 g de NH_3 . Calcular los valores de K_c y K_p de la reacción $3 H_2(g) + N_2(g) \rightleftharpoons 2 NH_3(g)$ a dicha temperatura. (Masas atómicas: N=14; H=1) 
- 9.- En un recipiente cerrado de 400 ml, en el que se ha hecho el vacío, se introducen 2,032 g de yodo y 1,280 g de bromo. Se eleva la temperatura a 150 °C y se alcanza el equilibrio: $Br_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2 BrI(g)$. Calcula: **a)** las concentraciones molares y la presión total en el equilibrio; **b)** la composición en volumen de la mezcla gaseosa en el equilibrio; **c)** K_p para este equilibrio a 150 °C. Datos: $K_c(150\text{ °C}) = 280$ (Problema Selectividad Cantabria 1997). 

Cálculo del grado de disociación.

- 10.- En un recipiente de 2,0 litros de capacidad se introduce amoníaco a una temperatura de 20 °C y a la presión de 14,7 atm. A continuación se calienta el recipiente hasta 300 °C y se aumenta la presión hasta 50 atm. Determina el grado de disociación del amoníaco a dicha presión y temperatura y las concentraciones de las tres sustancias en el equilibrio. 
- 11.- Una muestra de 2 moles de HI se introduce en un recipiente de 5 litros. Cuando se calienta el sistema hasta una temperatura de 900 K, el HI se disocia según la reacción: $2 HI \rightleftharpoons H_2 + I_2$, cuya constante es: $K_c = 3,8 \cdot 10^{-2}$. Determina el grado de disociación del HI. 
- 12.- El tetróxido de dinitrógeno se disocia parcialmente en dióxido de nitrógeno. A 60 °C y 1,0 atm la densidad de mezcla en equilibrio es de 2,24 g/L. Calcular: **a)** el grado de disociación del N_2O_4 en dichas condiciones; **b)** el grado de disociación a la misma temperatura pero a 10,0 atm. 
- 13.- A 200°C y presión de 1 atmósfera, el PCl_5 se disocia en PCl_3 y Cl_2 en 49,5 %. Calcule. **a)** K_c y K_p ; **b)** El grado de disociación a la misma temperatura pero a 10 atmósferas de presión. **c)** Explique en función del principio de Le Chatelier si el resultado obtenido en b) le parece correcto. DATOS: Masas atómicas; P = 30,97; Cl = 35,5; R = 0,082 atm·l·K⁻¹·mol⁻¹. (Problema Selectividad. Madrid Septiembre 1997). 
- 14.- A 400°C y 10 atm, el amoníaco contenido en un recipiente se encuentra disociado en sus elementos en un 80 %. Calcule: **a)** El valor de la presión en el recipiente si la disociación fuese del 50 %, sin variar el volumen ni la

temperatura. **b)** La temperatura que debería alcanzar el recipiente para que la disociación volviera a ser del 80 %, sin variar el volumen ni la presión aplicada en a). (Problema Selectividad. Madrid Septiembre 1999). ☒

- 15.- La reacción: $\text{CO(g)} + \text{H}_2\text{O(g)} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{(g)} + \text{CO}_2\text{(g)}$, tiene una constante K_C de 8,25 a 900 °C. En un recipiente de 25 litros se mezclan 10 moles de CO y 5 moles de H_2O a 900 °C. Calcule en el equilibrio: **a)** Las concentraciones de todos los compuestos; **b)** La presión total de la mezcla. Datos: $R=0,082 \text{ atm}\cdot\text{l}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. (Problema Selectividad. Madrid Septiembre 1999). ☒

Principio de Le Chatelier. Desplazamientos del equilibrio.

- 16.- **a)** Factores que influyen en la velocidad de una reacción. **b)** Factores que influyen en el equilibrio químico. Principio de Le Chatelier. ☒

- 17.- Dado el proceso en fase gaseosa $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C}$, **a)** establece la relación entre las constantes de equilibrio K_C y K_P ; **b)** si el proceso es endotérmico, ¿qué influencia ejerce sobre el mismo un aumento de temperatura?; **c)** si el proceso es exotérmico, ¿qué influencia ejerce sobre el mismo un aumento de presión? (Cuestión Selectividad COU Alcalá, 1998). ☒

- 18.- En la reacción: $2 \text{H}_2\text{S (g)} + 3 \text{O}_2 \text{(g)} \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O (g)} + 2 \text{SO}_2 \text{(g)}$; $\Delta H = -1036 \text{ kJ}$, justifica cómo afectarán los siguientes cambios al desplazamiento del equilibrio: **a)** Aumentar el volumen del recipiente a temperatura constante. **b)** Extraer SO_2 . **c)** Aumentar la temperatura manteniendo el volumen constante. ☒

- 19.- Sabiendo que la reacción de disociación del tetróxido de dinitrógeno en dióxido de nitrógeno es exotérmica, explica razonadamente cómo afectará al equilibrio **a)** un aumento de la presión del recipiente; **b)** un aumento en la concentración de hidrógeno; **c)** una disminución de la temperatura. ☒

- 20.- La síntesis de amoníaco tiene lugar según la reacción: $\text{N}_2 \text{(g)} + 3 \text{H}_2 \text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_3 \text{(g)}$ $\Delta H = -92,4 \text{ kJ/mol}$. Justifica cuales serán las condiciones más favorables de presión y temperatura para obtener el máximo rendimiento. En la industria (proceso Haber) se suele trabajar a unos 450 °C y hasta 1000 atmósferas, utilizando, además, catalizadores; ¿porqué se hace así? ☒

- 21.- Para la siguiente reacción en equilibrio: $4 \text{HCl (g)} + \text{O}_2 \text{(g)} \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O (g)} + 2 \text{Cl}_2 \text{(g)}$; ($\Delta H < 0$) Justifica cuál es el efecto sobre la concentración del HCl en el equilibrio en los siguientes casos: **a)** aumentar $[\text{O}_2]$; **b)** disminuir $[\text{H}_2\text{O}]$; **c)** aumentar el volumen; **d)** reducir la temperatura; **e)** añadir un gas inerte como He; **f)** introducir un catalizador. ☒

- 22.- El amoníaco se obtiene industrialmente a partir de nitrógeno e hidrógeno, de acuerdo con la siguiente reacción: $\text{N}_2 \text{(g)} + 3\text{H}_2 \text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_3 \text{(g)}$; $\Delta H^\circ = -92 \text{ kJ}$ **a)** Explique las razones por las que en esta síntesis se utilizan presiones elevadas y temperatura lo más baja posible. **b)** Razone la necesidad de utilizar catalizadores, ¿ejercen algún efecto sobre el equilibrio? **c)** Indique cual es la expresión de la constante K_p para dicha reacción. **d)** A la salida de los reactores, el amoníaco formado ha de separarse, del nitrógeno e hidrógeno no reaccionados. ¿Sería posible realizar dicha separación mediante un filtro? (Cuestión Selectividad. Madrid Septiembre 1998). ☒

- 23.- Dada la siguiente reacción: $\text{N}_2 \text{(g)} + \text{O}_2 \text{(g)} \rightleftharpoons 2 \text{NO (g)}$; $\Delta H = 90,4 \text{ kJ/mol}$, $\Delta G = 86,7 \text{ kJ/mol}$. Justifica cuales de las siguientes afirmaciones son ciertas: **a)** La reacción es espontánea de izquierda a derecha. **b)** La reacción es exotérmica de derecha a izquierda y un aumento de temperatura desplaza el equilibrio a la derecha. **c)** El equilibrio se desplaza a la izquierda aumentando su presión. **d)** $K_p = p_{\text{NO}}/p_{\text{N}_2} p_{\text{O}_2}$ (Cuestión Selectividad. Madrid Previo 1998) ☒

- 24.- El dióxido de nitrógeno, de color pardo rojizo, reacciona consigo mismo (se dimeriza) para dar el tetraóxido de dinitrógeno, gas incoloro. Una mezcla en equilibrio a 0°C es casi incolora y a 100 °C tiene un color pardo rojizo. **a)** Escriba el equilibrio químico correspondiente a la reacción de dimerización. **b)** ¿Es exotérmica o endotérmica la reacción de dimerización? **c)** ¿Qué ocurrirá si a 100 °C se aumenta la presión del sistema? **d)** Escriba la expresión de la constante de equilibrio K_P en función del grado de disociación y de la presión total. (Cuestión Selectividad. Madrid Reserva 1998). ☒

- 25.- Dado el equilibrio: $4 \text{HCl(g)} + \text{O}_2 \text{(g)} \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{O(g)} + 2\text{Cl}_2 \text{(g)}$; $\Delta H < 0$ Razone cual de las cuatro situaciones propuestas en la tabla adjunta daría lugar a un mayor rendimiento en la preparación de cloro. (Cuestión Selectividad. Madrid Previo 1997). ☒

	Presión	Temperatura
1ª	↓	↑
2ª	↑	↓
3ª	↑	↑
4ª	↓	↓

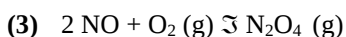
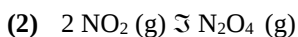
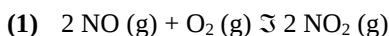
- 26.- A partir de la reacción: $4 \text{NH}_3 \text{(g)} + 5 \text{O}_2 \text{(g)} \rightleftharpoons 4 \text{NO(g)} + 6 \text{H}_2\text{O(g)}$: **a)** Escriba las expresiones de las constantes K_C y K_P de la reacción; **b)** Establezca la relación

entre los valores de K_C y K_P de la reacción; **c)** Razone cómo influiría en el equilibrio un aumento de presión; **d)** Si se aumentase la concentración de O_2 , explique en qué sentido se desplazaría el equilibrio ¿Se modificaría la constante de equilibrio? (Cuestión Selectividad. Madrid Junio 1999). ☒

- 27.-** Se considera el siguiente equilibrio: $C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2 CO(g)$; $\Delta H = 119,9 \text{ kJ}$. Contesta razonadamente a las siguientes preguntas: **a)** ¿Cómo se desplaza el equilibrio al aumentar la cantidad de carbono?; **b)** ¿y al retirar monóxido de carbono?; **c)** ¿y al disminuir la presión?; **d)** ¿podrá formarse monóxido de carbono espontáneamente a altas temperaturas? (Cuestión Selectividad. Cantabria Junio 1997). ☒

SOLUCIONES (Equilibrio Químico)

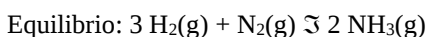
1.- ☒



$$K_{C1} = \frac{[NO_2]^2}{[NO]^2 \cdot [O_2]}; K_{C2} = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}; K_{C3} = \frac{[N_2O_4]}{[NO]^2 \cdot [O_2]}$$

$$K_{C1} \cdot K_{C2} = \frac{[NO_2]^2 \cdot [N_2O_4]}{[NO]^2 \cdot [O_2] \cdot [NO_2]^2} = \frac{[N_2O_4]}{[NO]^2 \cdot [O_2]} = K_{C3}$$

2.- ☒



$$K_C = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \cdot [H_2]^3} = \frac{[NH_3]^2}{0,2 \text{ M} \cdot (0,10 \text{ M})^3} = 0,55$$

Despejando: **$[NH_3] = 0,01 \text{ M}$**

3.- ☒



Conc inic. (M) 2 0 0

Conc equil. (M) 2(1-0,33) 2·0,33 0,33

$$K_C = \frac{[NO]^2 \cdot [Cl_2]}{[NOCl]^2} = \frac{(0,67 \text{ M})^2 \cdot (0,33 \text{ M})}{(1,33 \text{ M})^2} = \mathbf{0,083 \text{ M}}$$

- b)** El equilibrio se desplazará hacia la izquierda pues existen menos moles en los reactivos (2) que en los productos (2+1) y según el principio de L'Chatelier al aumentar la presión el equilibrio se desplazará hacia donde se produzca un descenso de la misma, es decir, hacia donde menos moles haya.

4.- ☒



$c_{inic}(\text{mol/l})$ 0,2/0,4 0 0

$c_{equil}(\text{mol/l})$ 0,5(1- α) 0,5 α 0,5 α

$$K_C = \frac{[SbCl_3] \cdot [Cl_2]}{[SbCl_5]} = \frac{0,5 \alpha \cdot 0,5 \alpha}{0,5(1-\alpha)} = 9,32 \cdot 10^{-2}$$

De donde: $\alpha = 0,348$

$$[SbCl_5] = 0,5 \text{ M} \cdot (1 - 0,348) = \mathbf{0,326 \text{ M}}$$

$$[SbCl_3] = 0,5 \text{ M} \cdot 0,348 = \mathbf{0,174 \text{ M}}$$

$$[\text{Cl}_2] = 0,5 \text{ M} \cdot 0,348 = \mathbf{0,174 \text{ M}}$$

$$\mathbf{b)} c_{\text{total}} = 0,326 \text{ M} + 0,174 \text{ M} + 0,174 \text{ M} = 0,674 \text{ M}$$

$$p_{\text{total}} = c_{\text{total}} \cdot R \cdot T = 0,674 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot 455 \text{ K}$$

$$\mathbf{p_{\text{total}} = 25 \text{ atm}}$$

5.-



Equilibrio:	$\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{HI}(\text{g})$		
$n_{\text{inic}}(\text{mol})$	4	2	0
$n_{\text{equil}}(\text{mol})$	2,5	0,5	3
$c_{\text{equil}}(\text{mol/l})$	0,25	0,05	0,30

$$K_C = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2] \cdot [\text{I}_2]} = \frac{(0,30 \text{ M})^2}{(0,25 \text{ M}) \cdot (0,05 \text{ M})} = \mathbf{7,2}$$

$$K_P = K_C \cdot (R \cdot T)^{\Delta n} = 7,2 \cdot (0,082 \cdot 523)^0 = \mathbf{7,2}$$

6.-



Equilibrio: $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}-\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

$n_{\text{inic}}(\text{mol})$	$30/60 = 0,5$	$46/46 = 1$	0	0
$n_{\text{equil}}(\text{mol})$	$0,5 - 0,42$	$1 - 0,42$	$36,96/88 = 0,42$	0,42
$c_{\text{equil}}(\text{mol/l})$	$0,08/\text{V}$	$0,58/\text{V}$	$0,42/\text{V}$	$0,42/\text{V}$

$$K_C = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}-\text{CH}_2\text{CH}_3] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}] \cdot [\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}]} = \frac{(0,42/\text{V}) \cdot (0,42/\text{V})}{(0,08/\text{V}) \cdot (0,58/\text{V})} = \mathbf{3,80}$$

7.-



Equilibrio:	$2 \text{HI}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$		
$c_{\text{inic}}(\text{mol/l})$	$3/5$	$2/5$	$1/5$

$$Q = \frac{[\text{H}_2]_0 \cdot [\text{I}_2]_0}{([\text{HI}]_0)^2} = \frac{0,4 \cdot 0,2}{(0,6)^2} = 0,22 > K_C$$

Luego el equilibrio se desplazará hacia la izquierda

$c_{\text{equil}}(\text{mol/l})$	$0,6 + 2x$	$0,4 - x$	$0,2 - x$
----------------------------------	------------	-----------	-----------

$$K_C = \frac{[\text{H}_2] \cdot [\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} = \frac{(0,4 - x) \cdot (0,2 - x)}{(0,6 + 2x)^2} = 0,025$$

Resolviendo la ecuación de segundo grado se obtiene que: $x = 0,131$

$$\mathbf{[HI] = 0,6 + 2x = 0,6 + 2 \cdot 0,131 = 0,862 \text{ M}}$$

$$\mathbf{[H_2] = 0,4 - x = 0,4 - 0,131 = 0,269 \text{ M}}$$

$$\mathbf{[I_2] = 0,2 - x = 0,2 - 0,131 = 0,069 \text{ M}}$$

8.-



Equilibrio: $3 \text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3(\text{g})$

$n_{\text{inic}}(\text{mol})$	$3,23/2 = 1,63$	$28/28 = 1$	0
$n_{\text{equil}}(\text{mol})$	$1,63 - 0,45$	$1 - 0,15$	$5,11/17 = 0,30$
$c_{\text{equil}}(\text{mol/l})$	0,588	0,43	0,15

$$K_C = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2] \cdot [\text{H}_2]^3} = \frac{(0,15 \text{ M})^2}{0,43 \text{ M} \cdot (0,588 \text{ M})^3} = 0,257 \text{ M}^{-2}$$

$$K_P = K_C \cdot (R \cdot T)^{\Delta n} = 0,257 \cdot (0,082 \cdot 623)^{-2} \text{ atm}^{-2} = \mathbf{9,85 \cdot 10^{-5} \text{ atm}^{-2}}$$

9.- 

a) Equilibrio: $\text{Br}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{BrI}(\text{g})$

$$n_0(\text{mol}) \quad 1,280/159,8 \quad 2,032/253,8 \quad 0$$

$$c_0(\text{mol/l}) \quad 0,0080/0,4 \quad 0,0080/0,4 \quad 0$$

$$c_{\text{equil}}(\text{mol/l}) \quad 0,020 - x \quad 0,020 - x \quad 2x$$

$$K_C = \frac{[\text{BrI}]^2}{[\text{Br}_2] \cdot [\text{I}_2]} = \frac{4x^2}{(0,020 - x)^2} = 280 \Rightarrow x_1 = 0,0179; x_2 = 0,0227$$

$$[\text{Br}_2] = 0,020 \text{ M} - 0,0179 \text{ M} = \mathbf{0,0021 \text{ M}}$$

$$[\text{I}_2] = 0,020 \text{ M} - 0,0179 \text{ M} = \mathbf{0,0021 \text{ M}}$$

$$[\text{BrI}] = 2 \cdot 0,0179 \text{ M} = \mathbf{0,0358 \text{ M}}$$

$$c_{\text{total}} = 0,0021 \text{ M} + 0,0021 \text{ M} + 0,0358 \text{ M} = 0,040 \text{ M}$$

$$p_{\text{total}} = c_{\text{total}} \cdot R \cdot T = 0,040 \cdot 0,082 \cdot 423 \text{ atm} = \mathbf{1,39 \text{ atm}}$$

$$\text{b) } \%_{\text{vol}}(\text{Br}_2) = \frac{V(\text{Br}_2)}{c_{\text{total}}} \cdot 100 = \frac{[\text{Br}_2]}{0,04 \text{ M}} \cdot 100 = \frac{0,0021 \text{ M}}{0,04 \text{ M}} \cdot 100 = \mathbf{5,25 \%}$$

V_{total}

$$\text{Análogamente: } \%_{\text{vol}}(\text{I}_2) = \mathbf{5,25 \%} \text{ y } \%_{\text{vol}}(\text{BrI}) = \mathbf{89,5 \%}$$

$$\text{c) } K_P = K_C \cdot (R \cdot T)^{\Delta n} = 280 \cdot (0,082 \cdot 423)^0 = \mathbf{280}$$

10.- 

$$[\text{NH}_3]_0 = \frac{n_0(\text{NH}_3)}{V} = \frac{p}{R \cdot T} = \frac{14,7}{0,082 \cdot 293} \text{ mol/l} = 0,612 \text{ M}$$

Equilibrio: $2 \text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons 3 \text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g})$

$$c_{\text{inic}}(\text{mol/l}) \quad 0,612 \quad 0 \quad 0$$

$$c_{\text{equil}}(\text{mol/l}) \quad 0,612 (1-\alpha) \quad 0,612 \cdot 3\alpha/2 \quad 0,612 \cdot \alpha/2$$

$$c_{\text{TOTAL}} = 0,612 (1-\alpha) + 0,612 \cdot 3\alpha/2 + 0,612 \cdot \alpha/2 = 0,612 (1 + \alpha)$$

$$c_{\text{TOTAL}} = \frac{n_{\text{TOTAL}}}{V} = \frac{p}{R \cdot T} = \frac{50}{0,082 \cdot 573} \text{ mol/l} = 1,064 \text{ M}$$

$$\text{Igualando ambas expresiones: } 1,064 \text{ M} = 0,612 (1 + \alpha)$$

$$\text{se obtiene que: } \alpha = \mathbf{0,739}$$

$$[\text{NH}_3] = 0,612 \text{ M} \cdot (1 - 0,739) = \mathbf{0,160 \text{ M}}$$

$$[\text{H}_2] = 0,612 \text{ M} \cdot 3 \cdot 0,739/2 = \mathbf{0,678 \text{ M}}$$

$$[\text{N}_2] = 0,612 \text{ M} \cdot 0,739/2 = \mathbf{0,226 \text{ M}}$$

11.- 

Equilibrio: $2 \text{HI}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$

$$c_0(\text{mol/l}) \quad 2/5 \quad 0 \quad 0$$

$$c_{\text{equil}}(\text{mol/l}) \quad 0,4 (1-\alpha) \quad 0,4 \cdot \alpha/2 \quad 0,4 \cdot \alpha/2$$

$$K_C = \frac{[\text{H}_2] \cdot [\text{I}_2]}{[\text{HI}]^2} = \frac{(0,4 \cdot \alpha/2)^2}{0,4 (1-\alpha)} = \frac{0,1 \alpha^2}{1-\alpha} = 0,038$$

$$\text{Resolviendo la ecuación de segundo grado se obtiene que: } \alpha = \mathbf{0,455}$$

12.-

a) Equilibrio: $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$

$$\begin{array}{ccc} n_0(\text{mol}) & n_0 & 0 \\ n_{\text{equil}}(\text{mol}) & n_0(1-\alpha) & 2 n_0 \alpha \end{array}$$

$$n_{\text{TOTAL}} = n_0(1-\alpha) + 2 n_0 \alpha = n_0(1+\alpha)$$

$$p \cdot V = n_{\text{TOTAL}} \cdot R \cdot T = n_0(1+\alpha) \cdot R \cdot T = \frac{m}{M(\text{N}_2\text{O}_4)} \cdot (1+\alpha) \cdot R \cdot T$$

$$\alpha = \frac{p \cdot M(\text{N}_2\text{O}_4)}{(m/V) \cdot R \cdot T} - 1 = \frac{1,0 \cdot 92}{2,24 \cdot 0,082 \cdot 333} - 1 = \mathbf{0,5}$$

b) Primero calcularemos K_p a partir de los datos anteriores, para lo cual necesitamos conocer las presiones parciales de cada gas:

$$p(\text{N}_2\text{O}_4) = \frac{n_0(1-\alpha)}{n_0(1+\alpha)} \cdot p = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} \cdot p = \frac{0,5}{1,5} \cdot 1 \text{ atm} = 0,33 \text{ atm}$$

$$p(\text{NO}_2) = \frac{2 n_0 \alpha}{n_0(1+\alpha)} \cdot p = \frac{2\alpha}{1+\alpha} \cdot p = \frac{1}{1,5} \cdot 1 \text{ atm} = 0,67 \text{ atm}$$

$$K_p = \frac{p(\text{NO}_2)^2}{p(\text{N}_2\text{O}_4)} = \frac{(0,67 \text{ atm})^2}{0,33 \text{ atm}} = 1,33 \text{ atm}$$

$$K_p = \frac{p(\text{NO}_2)^2}{p(\text{N}_2\text{O}_4)} = \frac{[(2\alpha/1+\alpha) \cdot p]^2}{(1-\alpha/1+\alpha) \cdot p} = \frac{4\alpha^2}{1-\alpha^2} \cdot 10 \text{ atm} = 1,33 \text{ atm}$$

Despejando se obtiene que: $\alpha = \mathbf{0,180}$

13.-

a) Equilibrio: $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$

$$\begin{array}{ccc} c_0(\text{mol/l}) & c_0 & 0 & 0 \\ c_{\text{equil}}(\text{mol}) & c_0(1-\alpha) & c_0 \alpha & c_0 \alpha \\ & 0,505 c_0 & 0,495 c_0 & 0,495 c_0 \end{array}$$

$$c_{\text{total}} = c_0(1+\alpha) = 1,495 c_0$$

$$c_{\text{total}} = \frac{p_{\text{total}}}{R \cdot T} = \frac{1}{0,082 \cdot 473} \text{ M} = 2,58 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

$$c_0 = \frac{c_{\text{total}}}{1,495} = \frac{2,58 \cdot 10^{-2} \text{ M}}{1,495} = 1,72 \cdot 10^{-2} \text{ M}$$

$$[\text{PCl}_5] = 0,505 \cdot 1,72 \cdot 10^{-2} \text{ M} = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{PCl}_3] = 0,495 \cdot 1,72 \cdot 10^{-2} \text{ M} = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$[\text{Cl}_2] = 0,495 \cdot 1,72 \cdot 10^{-2} \text{ M} = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$K_C = \frac{[\text{PCl}_3] \cdot [\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]} = \frac{(8,5 \cdot 10^{-3} \text{ M})^2}{8,7 \cdot 10^{-3} \text{ M}} = \mathbf{8,4 \cdot 10^{-3} \text{ M}}$$

$$K_p = K_C \cdot (R \cdot T)^{\Delta n} = 8,4 \cdot 10^{-3} \cdot (0,082 \cdot 473)^1 = \mathbf{0,325 \text{ atm}}$$

$$\text{b) } p(\text{PCl}_5) = \frac{1-\alpha}{1+\alpha} p_{\text{total}}; p(\text{PCl}_3) = p(\text{Cl}_2) = \frac{\alpha}{1+\alpha} p_{\text{total}}$$

$$0,325 \text{ atm} = \frac{p(\text{PCl}_3) \cdot p(\text{Cl}_2)}{p(\text{PCl}_5)} = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha) \cdot (1+\alpha)} \cdot 10 \text{ atm}$$

Despejando “ α ” queda: **$\alpha = 0,177$**

c) Es lógico que al aumentar la presión el equilibrio se desplace hacia donde menos moles gaseosas haya con objeto de compensar dicho aumento (en este caso hacia la izquierda) lo que conlleva una menor disociación.

14.- 

$$c_{\text{total}} = \frac{n_{\text{total}}}{V} = \frac{p_{\text{total}}}{R \cdot T} = \frac{10}{0,082 \cdot 473} \text{ mol/l} = 0,258 \text{ M}$$

Equilibrio: $2 \text{ NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons 3 \text{ H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g})$

$n_{\text{ic}}(\text{mol})$	n_0	0	0
$n_{\text{quil}}(\text{mol})$	$n_0 (1-\alpha)$	$n_0 \cdot 3\alpha/2$	$n_0 \cdot \alpha/2$
	0,2 n_0	1,2 n_0	0,4 n_0

$$n_{\text{total}} = n_0 (1-\alpha) + n_0 \cdot 3\alpha/2 + n_0 \cdot \alpha/2 = n_0 (1+\alpha) = 1,8 n_0$$

$$K_P = \frac{(1,2/1,8)^3 \cdot (0,4/1,8)}{(0,2/1,8)^2} \cdot (10 \text{ atm})^2 = 106,7 \text{ atm}^2$$

a) $n_{\text{quil}}(\text{mol})$	$n_0 (1-\alpha)$	$n_0 \cdot 3\alpha/2$	$n_0 \cdot \alpha/2$
	0,5 n_0	0,75 n_0	0,25 n_0

$$106,7 \text{ atm}^2 = \frac{(0,75/1,5)^3 \cdot (0,25/1,5)}{(0,5/1,5)^2} \cdot p_{\text{total}}^2 = 0,167 p_{\text{total}}^2$$

De donde: **$p_{\text{total}} = 25,3 \text{ atm}$**

b) Si “ α ” vuelve a ser 0,8 “ c_{total} ” volverá a valer 0,258 M ya que no ha cambiado el volumen, y por tanto, tampoco la concentración inicial del amoníaco.

$$c_{\text{total}} = \frac{n_{\text{total}}}{V} = \frac{p_{\text{total}}}{R \cdot T} = \frac{25,3}{0,082 \cdot T} \text{ mol/l} = 0,258 \text{ M}$$

De donde **$T = 1196 \text{ K}$**

15.- 

a) Equilibrio: $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$

$n_{\text{ic}}(\text{mol})$	10	5	0	0
$n_{\text{quil}}(\text{mol})$	$10-x$	$5-x$	x	x
$c_{\text{quil}}(\text{mol/l})$	$(10-x)/25$	$(5-x)/25$	$x/25$	$x/25$

$$K_C = \frac{(x/25) \cdot (x/25)}{[(10-x)/25] \cdot [(5-x)/25]} = \frac{x^2}{(10-x) \cdot (5-x)} = 8,25 \Rightarrow x_1 = 4,54; x_2 = 12,5$$

$$[\text{CO}] = [(10-4,54)/25] \text{ M} = \mathbf{0,2184 \text{ M}}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = [(5-4,54)/25] \text{ M} = \mathbf{0,0184 \text{ M}}$$

$$[\text{H}_2] = (4,54/25) \text{ M} = \mathbf{0,1816 \text{ M}}$$

$$[\text{CO}_2] = (4,54/25) \text{ M} = \mathbf{0,1816 \text{ M}}$$

$$\text{b) } c_{\text{total}} = 0,2184 \text{ M} + 0,0184 \text{ M} + 0,1816 \text{ M} + 0,1816 \text{ M} = 0,600 \text{ M}$$

$$p_{\text{total}} = c_{\text{total}} \cdot R \cdot T = 0,600 \cdot 0,082 \cdot 1123 \text{ atm} = \mathbf{55,25 \text{ atm}}$$

16.- ☒

a) Temperatura, grado de pulverización de reactivos sólidos o concentración en los reactivos en disolución, presencia de catalizadores.

b) [Ver teoría](#)

17.- ☒

a) $n(\text{reactivos}) = 2$; $n(\text{productos}) = 1$; $\Delta n = 1 - 2 = -1$: $\mathbf{K_P = K_C \times (RT)^{-1}}$

b) Desplazará el equilibrio hacia la derecha, que es hacia donde se consume calor.

c) Desplazará el equilibrio hacia la izquierda, que es donde menos moles gaseosos hay.

18.- ☒

$2 \text{ H}_2\text{S} (g) + 3 \text{ O}_2 (g) \rightleftharpoons 2 \text{ H}_2\text{O} (g) + 2 \text{ SO}_2 (g)$; $\Delta H = -1036 \text{ kJ}$,

a) Al aumentar el volumen disminuirá la presión y se desplazará el equilibrio hacia la izquierda, que es donde mas moles gaseosos hay.

b) Se desplazará el equilibrio hacia la derecha, que para volver a aumentar la concentración de productos.

c) Se desplazará el equilibrio hacia la izquierda, que es hacia donde se consume calor.

19.- ☒

$\text{N}_2\text{O}_4 (g) \rightleftharpoons 2 \text{ NO}_2 (g)$; $\Delta H < 0$

a) Al aumentar la presión y se desplazará el equilibrio hacia la izquierda, que es donde mas moles gaseosos hay.

b) Al no intervenir en la reacción, al no variar las presiones parciales ni de reactivos ni de productos, no afecta al equilibrio, a pesar de que se produce un aumento en la presión total.

c) Se desplazará el equilibrio hacia la derecha, que es hacia donde se produce calor.

20.- ☒

$\text{N}_2 (g) + 3 \text{ H}_2 (g) \rightleftharpoons 2 \text{ NH}_3 (g)$; $\Delta H = -92,4 \text{ kJ/mol}$

[Ver teoría.](#)

Soluciones a los ejercicios de los apuntes:

A.- $\langle \boxtimes \rangle$

a) $K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$ b) $K_c = \frac{[NOCl]^2}{[NO]^2 \times [Cl_2]}$ c) $K_c = [CO_2]$ d) $K_c = [CO_2] \times [H_2O]$

B.- $\langle \boxtimes \rangle$

Equilibrio: $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

Moles inic.: $\frac{3}{208,2}$ 0 0

Moles equil. $0,0144 - x$ x x

conc. eq(mol/l) $\frac{0,0144 - x}{0,25}$ $\frac{x}{0,25}$ $\frac{x}{0,25}$

$$K_c = \frac{[PCl_3] \times [Cl_2]}{[PCl_5]} = \frac{\frac{x}{0,25} \times \frac{x}{0,25}}{\frac{0,0144 - x}{0,25}} = 0,48 \Rightarrow x = 0,0130$$

Moles equil. 0,0014 0,013 0,013

C.- $\langle \boxtimes \rangle$

De la ecuación de los gases podemos deducir:

$$[N_2O_4]_{inic} = \frac{p}{R \times T} = \frac{10 \text{ atm} \cdot \text{mol} \cdot K}{0,082 \text{ atm} \cdot L \cdot 318 K} = 0,38 M$$

Equilibrio: $N_2O_4 \rightleftharpoons 2 NO_2$

conc. Inic. (M) 0,38 0

conc. Equil. (M) $0,38 - x$ $2x$

$$K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{4x^2}{0,38 - x} = 0,671 \Rightarrow x = 0,18$$

Equilibrio: $N_2O_4 \rightleftharpoons 2 NO_2$

conc. Inic. (M) 0,38 0

conc. Equil. (M) $0,20$ $0,36$

$$p_{TOTAL} = ([N_2O_4]_{eq} + [NO_2]_{eq}) \times R \times T = (0,20 M + 0,36 M) = 0,082 \frac{\text{atm} \times L}{\text{mol} \times K} \times 318 K = \mathbf{14,6 atm}$$

D.- $\langle \boxtimes \rangle$

Equilibrio: $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

Conc. inic.: $\frac{2}{5}$ 0 0

conc. eq(mol/l) $0,4(1-\alpha)$ $0,4 \cdot \alpha$ $0,4 \cdot \alpha$

$$K_c = \frac{[PCl_3] \cdot [Cl_2]}{[PCl_5]} = \frac{0,4\alpha^2}{1-\alpha} = 0,042$$

En este caso y dado el valor de la constante no debe despreciarse a frente a 1, por lo que deberíamos resolver el sistema:
 $\alpha = 0,276$

$$[PCl_5] = 0,4 \text{ mol/l} \times (1 - 0,276) = 0,29 \text{ mol/l}$$

$$[PCl_3] = 0,4 \text{ mol/l} \times 0,276 = 0,11 \text{ mol/l}$$

$$[Cl_2] = 0,4 \text{ mol/l} \times 0,276 = 0,11 \text{ mol/l}$$

$$\begin{aligned}
 n(\text{PCl}_5) &= 0,29 \text{ mol/l} \times 5 \text{ l} = \mathbf{1,45 \text{ moles}} \\
 n(\text{PCl}_3) &= 0,11 \text{ mol/l} \times 5 \text{ l} = \mathbf{0,55 \text{ moles}} \\
 n(\text{Cl}_2) &= 0,11 \text{ mol/l} \times 5 \text{ l} = \mathbf{0,55 \text{ moles}}
 \end{aligned}$$

E.- 

$$\begin{array}{rcccl}
 & 2 \text{ NH}_3 (g) & \rightleftharpoons & \text{N}_2 (g) & + & 3 \text{ H}_2 (g) \\
 \text{n inic. (mol)} & n & & 0 & & 0 \\
 \text{n equil. (mol)} & n(1-\alpha) & & n\alpha/2 & & 3n\alpha/2 \\
 & 0,043 n & & 0,4785 n & & 1,4355 n
 \end{array}$$

$$n_{\text{total}} = 0,043 n + 0,4785 n + 1,4355 n = 1,957 n$$

La presión parcial depende de la fracción molar:

$$p(\text{NH}_3) = \frac{n(\text{NH}_3)}{n_{\text{total}}} \times p_{\text{total}} = \frac{0,043 n}{1,957 n} \times 10 \text{ atm} = 0,22 \text{ atm}$$

Análogamente:

$$p(\text{N}_2) = \frac{0,4785}{1,957} \times 10 \text{ atm} = 2,445 \text{ atm} \quad ; \quad p(\text{H}_2) = \frac{1,4355}{1,957} \times 10 \text{ atm} = 7,335 \text{ atm}$$

$$K_p = \frac{p(\text{H}_2)^3 \times p(\text{N}_2)}{p(\text{NH}_3)^2} = \frac{(7,335 \text{ atm})^3 \times 2,445 \text{ atm}}{(0,22 \text{ atm})^2} = \mathbf{1,99 \times 10^4 \text{ atm}^2}$$

$$K_c = \frac{K_p}{(RT)^2} = \frac{1,99 \times 10^4 \text{ atm}^2}{(0,082 \text{ atm} \cdot \text{M}^{-1} \times \text{K}^{-1})^2 \times (723 \text{ K})^2} = \mathbf{5,66 \text{ M}^2}$$

También puede resolverse:

$$\begin{array}{rcccl}
 & 2 \text{ NH}_3 (g) & \rightleftharpoons & \text{N}_2 (g) & + & 3 \text{ H}_2 (g) \\
 \text{Conc inic. (M)} & c & & 0 & & 0 \\
 \text{Conc. Equil. (M)} & c(1-\alpha) & & c\alpha/2 & & 3c\alpha/2 \\
 & 0,043 c & & 0,4785 c & & 1,4355 c
 \end{array}$$

La presión total depende del nº de moles total, y por tanto, de la concentración total:

$$c_{\text{total}} = 0,043 c + 0,4785 c + 1,4355 c = 1,957 c$$

Aplicando la ley de los gases:

$$c_{\text{total}} = \frac{p}{R \cdot T} = \frac{10 \text{ atm}}{(0,082 \text{ atm} \times \text{l} \times \text{mol}^{-1} \times \text{K}^{-1}) \times 723 \text{ K}} = 0,169 \text{ M} \Rightarrow c = \frac{c_{\text{total}}}{1,957} = 0,086 \text{ M}$$

$$[\text{NH}_3] = 0,043 \cdot 0,086 \text{ M} = 3,7 \cdot 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{Igualmente: } [\text{N}_2] = 4,1 \cdot 10^{-2} \text{ M y } [\text{H}_2] = 0,123 \text{ M}$$

$$K_c = \frac{[\text{H}_2]^3 \times [\text{N}_2]}{[\text{NH}_3]^2} = \frac{(0,123 \text{ M})^3 \times 4,1 \times 10^{-2} \text{ M}}{(3,7 \times 10^{-3} \text{ M})^2} = \mathbf{5,6 \text{ M}^2}$$

$$K_p = K_c (RT)^{\Delta n} = 5,6 \text{ M}^2 \times (0,082 \text{ atm} \times \text{M}^{-1} \times \text{K}^{-1} \times 723 \text{ K})^2 = \mathbf{2,0 \times 10^{-4} \text{ atm}^2}$$