

Libro de ejercicios Química General Volumen II. Como autores deseamos que este libro represente una herramienta útil para que el estudiante aprenda esta interesante y retadora ciencia y al mismo tiempo desarrolle habilidades, actitudes y valores como son: capacidad para identificar y resolver problemas, autoaprendizaje, autoevaluación, pensamiento crítico, alta capacidad de trabajo, así como el sentido del logro, entre otras necesarias de ejercer para lograr un proceso cognitivo significativo y básico en la construcción de sus competencias profesionales.

Este texto también pretende ser un apoyo importante para el profesor. Será benéfico en la medida que él lo considere y los estudiantes lo utilicen; como autores confiamos que de ser así, redundará en un eficiente y eficaz proceso de aprendizaje y entonces podremos juntos expresar ¡Misión cumplida!

ISBN: 978-607-547-780-0



9 786075 477800

Blanco A. / Avalos M. / Palacios H. / Ríos D. / Soltero S. / González I.

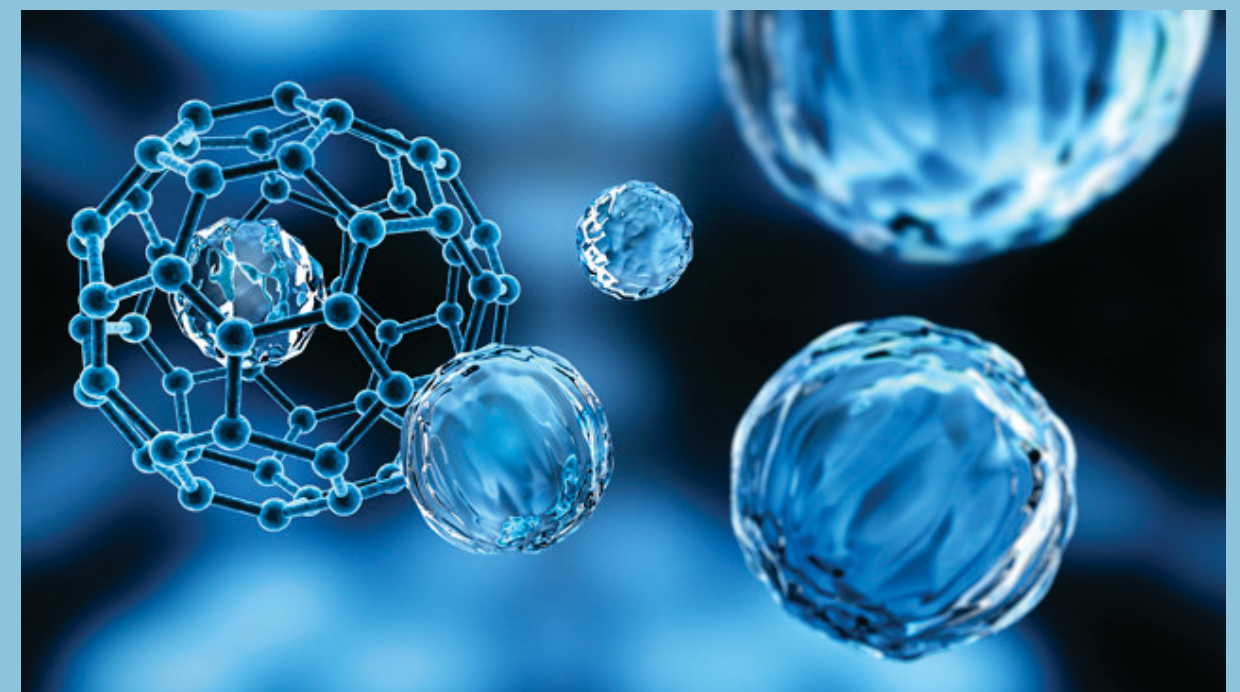
QUÍMICA GENERAL II



QUÍMICA GENERAL II

Volumen

LIBRO DE EJERCICIOS



Alicia Blanco
Teresita G. Avalos
Gabriel Palacios
Nely Ríos
Jazmín del Rocío Soltero
Karla J. Gonzalez



CENTRO UNIVERSITARIO DE
CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS



UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA

Química General

Volumen II

Libro de Ejercicios

Nombre del alumno: _____

Sección: _____

Código: _____

Carrera: _____

Ciclo escolar: _____

Titular de la asignatura: _____

Química General

Volumen II

Libro de Ejercicios

Ejercicios Resueltos
Ejercicios Propuestos con Solución
Ejercicios Integradores

Alicia Blanco
Teresita G. Avalos
Gabriel Palacios
Nely Ríos
Jazmín del Rocio Soltero
Karla J. González

Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías
División de Ciencias Básicas
Departamento de Química
2019

Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método electrónico o mecánico (INCLUYENDO EL FOTOCOPIADO, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información, sin consentimiento por escrito de los autores.

Primera edición, diciembre de 2019

D. R. ©2019 , Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías
Blvd. Marcelino García Barragán núm. 1421,
esq. Calzada Olímpica
44430 Guadalajara, Jalisco.

ISBN: 978-607-547-780-0

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico.

CONTENIDO

Al profesor	VII
Al estudiante	IX
Fuentes recomendadas	XI
1. REACCIONES OXIDACIÓN-REDUCCIÓN (REDOX)	1
1.1 Conceptos básicos	1
1.2. Balanceo de reacciones redox	15
1.3 Estequiometria de reacciones en disolución	28
2. DISOLUCIONES	47
2.1 Proceso de disolución	47
2.2 Solubilidad de sólidos en líquidos	52
2.3 Miscibilidad de líquidos en líquidos y solubilidad de gases en líquidos	67
3. PROPIEDADES COLIGATIVAS DE LAS DISOLUCIONES	75
3.1 Conceptos básicos de propiedades coligativas	77
3.2 Descripción cualitativa de las propiedades coligativas	78
3.3 Descripción cuantitativa de las propiedades coligativas	80
3.4 Disoluciones de líquidos volátiles	87
4. CINÉTICA QUÍMICA	99
4.1 Velocidad de reacción	99
4.2 Factores que afectan la velocidad de reacción	107
4.3 Estudio cinético	113
4.4 Ecuación de Arrhenius	128
4.5 Cinética donde intervienen gases y reacciones en disolución	135

5.	EQUILIBRIO QUÍMICO	147
5.1	Concepto de equilibrio químico	147
5.2	La constante de equilibrio	151
5.3	Equilibrio químico homogéneo	154
5.4	Equilibrio químico heterogéneo	162
5.5	Perturbación del estado de equilibrio	165
6.	EQUILIBRIO IÓNICO	181
6.1	Clasificación de los electrolitos	181
6.2	Autoionización del agua	187
6.3	Escala pH y pOH	189
6.4	Clasificación de ácidos y bases	193
6.5	Constante de equilibrio de electrolitos	196
6.6	Efecto del ion común	200
6.7	Disoluciones buffer, amortiguadora o tampón	202
6.8	Equilibrios de solubilidad	207
6.9	Equilibrio de compuestos complejos o de coordinación	214
	Tabla de valores de constantes de ionización	223
	Tabla de valores de K_a y pK_a	224

Al profesor

El Libro de ejercicios Química General Volumen II Como autores deseamos que este libro represente una herramienta útil e indispensable para que el estudiante aprenda esta interesante y retadora ciencia al mismo tiempo para que desarrolle habilidades, actitudes y valores como son: capacidad para identificar y resolver problemas, autoaprendizaje, autoevaluación, pensamiento crítico, alta capacidad de trabajo y sentido del logro, entre otras necesarias de ejercer para lograr un proceso cognitivo significativo; en este sentido, se tiene la premisa de que cada uno de los temas descritos en el contenido del libro, los guiarán conforme van comprendiendo los conceptos fundamentales de la química para que el estudiante adquiera las competencias necesarias para extrapolar lo que ha aprendido y que deberá de estudiar formalmente en el orden como están organizadas las siguientes secciones:

- **Revisión y aplicación de conceptos**
- **Ejercicios resueltos con estrategias de solución.**
- **Ejercicios propuestos con solución.**
- **Ejercicios integradores.**
- **Ejercicios recomendados**

Este texto también pretende ser un importante apoyo para el profesor; será útil en la medida que usted lo considere, así como en la medida que los estudiantes lo utilicen. Como autores confiamos que de ser así, redundará en un eficiente y eficaz aprendizaje de los estudiantes y entonces podremos juntos expresar ***¡Misión cumplida!***

**ALICIA BLANCO-TERESITA G. AVALOS-GABRIEL PALACIOS-NELY RÍOS-
JAZMÍN DEL ROCÍO SOLTERO-KARLA J. GONZÁLEZ**

Al estudiante

El **Libro de ejercicios Química General Volumen II** está dirigido a estudiantes que cursan las licenciaturas de Ingeniería Química, Química, Químico Farmacéutico Bilogo y otras carreras en donde se aplica esta ciencia fundamental, interesante pero también retadora; es por eso que los autores nos propusimos escribirlo como guía de apoyo en el aprendizaje de la Química General así como en el desarrollo de habilidades, actitudes y valores (**HAV's**) necesarias de ejercer para lograr un proceso cognitivo significativo; en este sentido, se tiene la premisa de que cada uno de los temas descritos en el contenido del libro se deberán de estudiar formalmente en el orden como están organizadas las siguientes secciones:

- **Revisión y aplicación de conceptos**

Primero revise en cualquiera de los libros que se describen en el apartado **Fuentes recomendadas**, el capítulo que corresponda al tema de estudio y comprenda los fundamentos que se enfatizan en el mismo. A continuación resuelva los ejercicios correspondientes a esta sección. **HAV's**: análisis síntesis y evaluación, autoaprendizaje, autoevaluación, responsabilidad del propio aprendizaje.

- **Ejercicios Resueltos**

Identifique los fundamentos que se están aplicando al resolver un ejercicio específico relacionado con el tema de estudio. **HAV's**: análisis síntesis y evaluación, autoaprendizaje, pensamiento crítico.

- **Ejercicios propuestos con solución**

Resuelva cada uno de los ejercicios aplicando los fundamentos correspondientes, persista hasta lograr el resultado, esto representará un diagnóstico positivo del aprendizaje. **HAV's**: capacidad para identificar y resolver problemas, autoaprendizaje, autoevaluación, pensamiento crítico, alta capacidad de trabajo y sentido del logro.

- **Ejercicios integradores**

Al final de cada tema resuelva estos ejercicios que tienen la finalidad de organizar e integrar el conocimiento, de esta forma éste se volverá relevante y tendrá sentido.

HAV's: capacidad para identificar y resolver problemas, autoaprendizaje, autoevaluación, pensamiento crítico, alta capacidad de trabajo y sentido del logro.

- **Ejercicios recomendados**

Haga el esfuerzo de resolver los ejercicios que se recomiendan al final de cada tema, persista hasta lograr el resultado, recuerde que practicando es como mejor se aprende **HAV's:** capacidad para identificar y resolver problemas, autoaprendizaje, autoevaluación, pensamiento crítico, alta capacidad de trabajo y sentido del logro.

Esperamos que este texto escrito con todo nuestro entusiasmo, cariño y dedicación nos permita comunicarle la emoción que sentimos de trabajar en esta área del conocimiento.

Alicia Blanco-Teresita G. Avalos-Gabriel Palacios-Nely Ríos-
Jazmín del Rocío Soltero-Karla J. González

Bibliografía base

- Brown T.**, LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), *QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL*, Decimosegunda Edición, México: Pearson Educación.
- Chang R.** y Golldsby K., (2013), *QUÍMICA*, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.
- Petrucci R.**, Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), *QUÍMICA GENERAL*, Undécima Edición, Eslovenia, Pearson Educación.
- Rosenberg J.**, Epstein L., Krieger P., (2009), *Química Serie Schaum*, Novena Edición, México, McGraw Hill/Interamericana Editores.
- Sorum C.H.**, Boikess R.S., (1999), *cómo resolver PROBLEMAS DE QUÍMICA GENERAL*, Séptima Edición, España, Editorial Paraninfo.
- Whitten K.** Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015) *QUÍMICA*, 10ª Edición, México, Cengage Learning.
- Whitten K.** Davis R., Peek M. y Stanley G., y Colaboradores (Avalos T., Blanco A., Palacios G., Ríos N.), (2011), *QUÍMICA*, 8ª Edición Especial, México, Cengage Learning.

Bibliografía complementaria

- Felder Richard M.** y Rousseau Ronald W., (2005), *PRINCIPIOS ELEMENTALES DE LOS PROCESOS QUÍMICOS*, 3ª Edición, Limusa Wiley.
- Himmelblau David M.**, (2003), *BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA*, 6ª Edición, México, Prentice Hall.
- Levine Ira N.**, (2004), *FISICOQUÍMICA*, Quinta Edición, España, Mc Graw Hill/Interamericana.
- Maron & Prutton**, (2014), *FUNDAMENTOS DE FISICOQUÍMICA*, 1ª Edición México, Editorial Limusa.
- Perry R. H. y Green D.W.**, (2008), *MANUAL DE PERRY DEL INGENIERO QUÍMICO*, 8ª. Edición, Mc Graw Hill.

Direcciones electrónicas:

Reacciones de Oxidación reducción:

Tutorial de Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=rwmvolyJvUk>

Simulaciones Interactivas de Química, PhET. Obtenido de: <https://phet.colorado.edu/es/simulations/category/chemistry>, última consulta 13/07/2017

Simulaciones Interactivas de unidades de concentración química, PhET. Obtenido de: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/concentration>, última consulta 13/07/2017

Simulaciones Interactivas de Molaridad, PhET. Obtenido de: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/molarity>, última consulta 13/07/2017

Cristalización:

Mettler-Toledo reserved, AutoChem Aplicaciones de Cristalización. Obtenido de: http://www.mt.com/mx/es/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_Crystallization/Temperature-Crystallization-Size-Shape.html, última consulta 13/07/2017

Proindustriales.blogspot.mx, Cristalización. Obtenido de: <http://proindustriales.blogspot.mx/2013/05/cristalizacion-lacristalizacion-es-un.html>, última consulta 13/07/2017

Temoa.info, Temoa: Portal de Recursos Educativos Abiertos (REA), Cristalización. Obtenido de: http://www.temoa.info/es/search/apachesolr_search/cristalizacion, última consulta 13/07/2017

Simulaciones Interactivas de Solubilidad de Sales, PhET. Obtenido de: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/soluble-salts>, última consulta 13/07/2017

Equilibrio Químico:

Educaplus, Equilibrio químico - influencia de la presión. Obtenido de: <http://www.educaplus.org/play-79-Equilibrio-qu%C3%ADmico-influencia-de-la-presi%C3%B3n.html>, última consulta 13/07/2017

Educaplus, Equilibrio químico - influencia de la temperatura. Obtenido de: <http://www.educaplus.org/play-80-Equilibrio-qu%C3%ADmico-influencia-de-la-temperatura.html>, última consulta 13/07/2017

Equilibrio Iónico:

Es.webqc.org, Calculadora de pH - Calcula pH de una solución. Obtenido de: <http://es.webqc.org/phsolver.php>, última consulta 13/07/2017

Simulaciones Interactivas de escala de pH, PhET. Obtenido de: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/ph-scale>, última consulta 13/07/2017

Simulaciones Interactivas de soluciones ácido-base, PhET. Obtenido de: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/acid-base-solutions>, última consulta 13/07/2017

Simulaciones Interactivas de buffer, PhET. Obtenido de: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/ph-scale-basics>, última consulta 13/07/2017

CAPÍTULO 1

REACCIONES DE OXIDACIÓN REDUCCIÓN (REDOX)

Las reacciones de oxidación-reducción (redox) se cuentan entre las reacciones químicas más comunes e importantes, como ejemplo se tienen: la oxidación del hierro, la manufactura y acción de los blanqueadores, la respiración y otros procesos bioquímicos de los seres vivos, la construcción y funcionamiento de las baterías o acumuladores, purificación de metales, recubrimientos electroquímicos de metales sobre superficies diversas, etc. En las reacciones redox se lleva a cabo la transferencia de electrones por lo que estas reacciones químicas en algunos casos son útiles para producir energía eléctrica y en otros casos se utiliza energía eléctrica para realizar algunos procesos, como son: la electrodeposición de metales sobre superficies determinadas o la disociación de compuestos iónicos.

1.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Contenido

- ✓ Estados de oxidación
- ✓ Reacciones redox y no redox
- ✓ Terminología de reacciones redox

REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué significa: número de oxidación (estado de oxidación)?

2. ¿Qué entiendes por carga hipotética o formal?

3. Investigar las reglas para asignación los números de oxidación y completar la siguiente tabla:

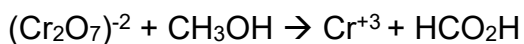
a) Para un átomo en su forma elemental, el número de oxidación siempre será:	
Ejemplos:	Fe, Ag, Na, O ₂
b) Para cualquier ion monoatómico, el número de oxidación será:	
Ejemplos:	Grupo IA:
	Grupo IIA:
	Grupo IIIA:

c) Escribir la regla para el número de oxidación de los no metales:	
Escribir la regla para el oxígeno:	
Escribir la regla para hidrógeno:	
Escribir la regla para el Flúor:	
d) Escribe la regla para la suma de los números de oxidación en un compuesto:	
Ejemplo:	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
e) Escribe la regla para la suma de los números de oxidación para un ion poliatómico:	
Ejemplos:	

4. Define los procesos de Oxidación y Reducción en términos de transferencia de electrones.

5. Define qué es un agente oxidante y un agente reductor.

6. Identifica cada uno de éstos en la siguiente reacción.



7. Escribe la semi-reacción de oxidación y la semi-reacción de reducción de la reacción química redox anterior.

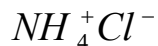
Actividad 1. Estados de oxidación

Ejemplo de la actividad 1.

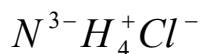
Ejemplo para compuestos

Determinar el estado de oxidación de los elementos que componen la siguiente sustancia: cloruro de amonio (NH_4Cl).

1. Asignar el estado de oxidación de los elementos que generalmente trabajan con un estado de oxidación fijo, en este caso, para el H es 1+ y para el Cl es 1-:



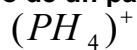
2. Realizar la suma de cargas, se tienen 4 cargas positivas, y una carga negativa, la diferencia son 3 cargas negativas, por lo que el estado de oxidación del N deberá de ser 3- para tener la misma cantidad de cargas negativas y positivas ya que el cloruro de amonio es una sustancia con carga neutra.



Para iones:

Determinar el estado de oxidación de los elementos que componen el ion fosfonio (PH_4^+).

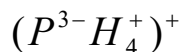
1. Separar la carga del ion por medio de un paréntesis o corchete.:



2. Asignar la carga a los elementos que trabajan con un estado de oxidación fijo.



3. Realizar la suma de cargas y restar a la carga del ion, en este caso se tienen 4 cargas positivas y el ion deberá quedar con una carga positiva, por lo tanto el fósforo deberá tener un estado de oxidación de 3-.



1. Determinar el estado de oxidación de cada uno de los elementos que intervienen en las siguientes sustancias.

a) $(\text{ClO}_3)^-$	Cl _____	O _____	
b) $\text{Ca}(\text{ClO}_2)_2$	Ca _____	Cl _____	O _____
c) N_2H_4	N _____	H _____	
d) $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$	Zn _____	N _____	H _____ Cl _____
e) CH_3COOH	C _____	H _____	O _____
f) $(\text{CO}_3)^{2-}$	C _____	O _____	
g) I_2O_5	I _____	O _____	
h) $(\text{SO}_3)^{2-}$	S _____	O _____	
i) PbH_4	Pb _____	H _____	
j) $\text{H}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$	H _____	Sb _____	O _____
k) $\text{H}_2[\text{SnCl}_6]$	H _____	Sn _____	Cl _____

2. Determinar el estado de oxidación de cada uno de los elementos que intervienen en los siguientes compuestos.

a) BaSeO_3	Ba _____	Se _____	O _____
b) SrH_2	Sr _____	H _____	
c) $\text{Fe}_2(\text{SiO}_3)_3$	Fe _____	Si _____	O _____
d) $\text{Al}_2(\text{Cr}_2\text{O}_7)_3$	Al _____	Cr _____	O _____
e) $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$	Na _____	S _____	O _____
f) $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$	Cu _____	P _____	O _____
g) CH_4	C _____	H _____	
h) $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$	Fe _____	N _____	O _____
i) AlAsO_4	Al _____	As _____	O _____
j) H_2O_2	H _____	O _____	
k) CsO_2	Cs _____	O _____	
l) H_2MoO_4	H _____	Mo _____	O _____
m) H_2MnO_4	H _____	Mn _____	O _____

n) HMnO_4	H_____	Mn_____	O_____
o) Ni(CO)_4	Ni_____	C_____	O_____
p) Fe(CO)_5	Fe_____	C_____	O_____
q) CuFeS_2	Cu_____	Fe_____	S_____
r) $[\text{Ni(CN)}_4]^{2-}$	Ni_____	C_____	N_____
s) UF_4	U_____	F_____	

3. Determinar el estado de oxidación de cada uno de los elementos que intervienen en las siguientes sustancias.

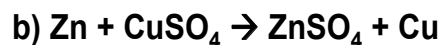
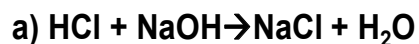
a) P_4S_3	P _____	S _____	
b) PH_3	P _____	H _____	
c) As_2S_3	As _____	S _____	
d) Bi(OH)_3	Bi _____	H _____	O _____
e) HAsO_2	H _____	As _____	O _____
f) $(\text{CrO}_4)^{2-}$	Cr _____	O _____	
g) $(\text{UO}_2)\text{SO}_4$	U _____	S _____	O _____

h) C_6H_6	C _____	H _____	
i) $[\text{Cr}(\text{OH})_4]^-$	Cr _____	H _____	O _____
j) $(\text{V}_2\text{O}_7)^{4-}$	V _____	O _____	
k) $(\text{P}_2\text{O}_7)^{4-}$	P _____	O _____	
l) N_2O_5	N _____	O _____	
m) $(\text{H}_2\text{AsO}_3)^-$	H _____	As _____	O _____

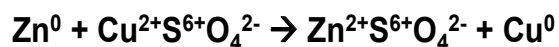
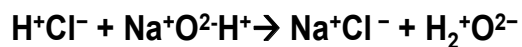
Actividad 2. Reacciones redox y no redox.

Ejemplo de la actividad 2.

Identificar ¿cuál reacción es redox y cuál no es redox?

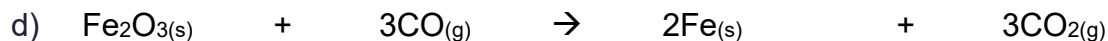
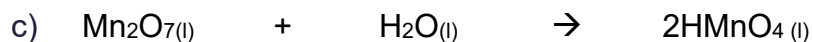
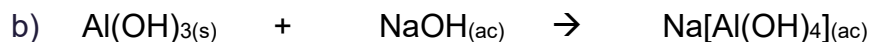
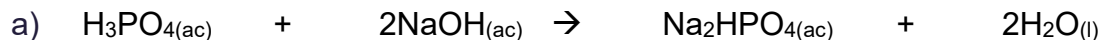


Identificar si hay cambio en el estado de oxidación en los elementos participantes:



En la primera reacción (a) no hay cambio en los estados de oxidación por lo tanto, es una reacción no redox, en la segunda reacción (b) tanto en el Zn como en el Cu cambian sus estados de oxidación por lo tanto es redox.

1. ¿Cuál de las siguientes ecuaciones **es una** reacción redox? ()



2. ¿Cuál de las siguientes ecuaciones **es una** reacción redox? ()

- a) $2\text{KHCO}_3 \rightarrow \text{K}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$
b) $(\text{CH}_3)_2\text{S} + 5\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_3$
c) $\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3$
d) $2\text{AgNO}_3 + \text{Na}_2\text{S} \rightarrow \text{Ag}_2\text{S} + 2\text{NaNO}_3$

3. ¿Cuál de las siguientes ecuaciones **no es** una reacción redox? ()

- a) $4\text{NH}_3 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{N}_2\text{H}_4$
b) $2\text{MnO}_2 + 4\text{KOH} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
c) $12\text{HClO}_4 + \text{P}_4\text{O}_{10} \rightarrow 4\text{H}_3\text{PO}_4 + 6\text{Cl}_2\text{O}_7$
d) $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

4. ¿Cuál de las siguientes ecuaciones **no es** una reacción redox? ()

- a) $2\text{NH}_3 + 2\text{Na} \rightarrow 2\text{NaNH}_2 + \text{H}_2$
b) $2\text{Al} + \text{Cr}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Cr}$
c) $\text{CaC}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{C}_2\text{H}_2$
d) $\text{P}_4 + 6\text{Cl}_2 \rightarrow 4\text{PCl}_3$

5. ¿Cuál de las siguientes ecuaciones **no es** una reacción redox? ()

- a) $3\text{H}_3\text{PO}_3 + 2\text{Al(OH)}_3 \rightarrow \text{Al}_2(\text{HPO}_3)_3 + 6\text{H}_2\text{O}$
b) $2\text{NO} + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{NOBr}$
c) $3\text{H}_2\text{S} + 2\text{HNO}_3 \rightarrow 2\text{NO} + 3\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$
d) $\text{UF}_4 + 2\text{Mg} \rightarrow \text{U} + 2\text{MgF}_2$

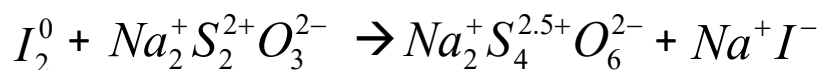
Actividad 3. Terminología de reacciones redox

Ejemplo de la actividad 3.

Determinar quién es el agente oxidante y quién el agente reductor en la siguiente reacción:



1. Determinar los estados de oxidación de los elementos que participan en la reacción:

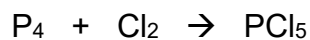


2. Identificar el agente oxidante y el agente reductor. El yodo molecular (I_2) pasa a ión yoduro (I^-) disminuye su estado de oxidación, por lo tanto se tiene una reducción y el I_2 es el agente oxidante y el yoduro de sodio (NaI) un producto reducido. El azufre está perdiendo electrones ($2+$ a $2.5+$) aumentando su estado de oxidación, por lo tanto se tiene una oxidación y el agente reductor es el tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) y el tetratiónato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$) es el producto oxidado.

1. En las siguientes ecuaciones redox, identificar y justificar con estados de oxidación cuál es el agente oxidante y cuál es el agente reductor:

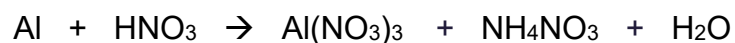
- a) $2\text{Sr} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SrO}$
- b) $2\text{Li} + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{LiH}$
- c) $2\text{Cs} + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{CsBr}$
- d) $3\text{Mg} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Mg}_3\text{N}_2$
- e) $\text{CH}_4 + 4\text{Cl}_2 \rightarrow \text{CCl}_4 + 4\text{HCl}$

2. ¿Cuántos electrones se transfieren en el proceso de oxidación, en la siguiente reacción? ()



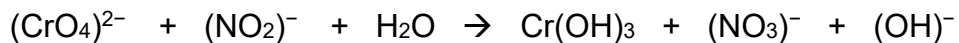
- a) 5 b) 20 c) 2 d) 1

3. ¿Cuántos electrones se transfieren en el proceso de reducción, en la siguiente reacción? ()



- a) 3 b) 1 c) 8 d) 4

4. Identificar en la siguiente reacción el agente oxidante. ()



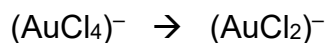
- a) $(\text{CrO}_4)^{2-}$ b) $(\text{NO}_2)^-$ c) $\text{Cr}(\text{OH})_3$ d) $(\text{NO}_3)^-$

5. Identificar en la siguiente reacción el agente reductor. ()



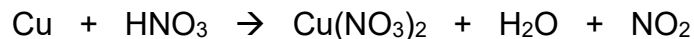
- a) Pb b) PbO_2 c) H_2SO_4 d) PbSO_4

6. Identificar el proceso que se realiza en la siguiente semi-reacción: ()



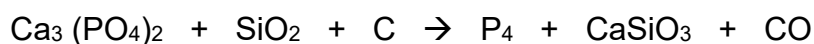
- a) Oxidación b) Reducción c) Oxidación y Reducción d) Ninguna

7. Identificar en la siguiente reacción el producto reducido. ()



- a) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ b) HNO_3 c) H_2O d) NO_2

8. Identificar en la siguiente reacción el agente oxidante y producto oxidado:()



- a) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ y P_4 b) C y CO c) SiO_2 y CaSiO_3 d) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ y CO

9. Los alcoholímetros determinan el contenido de alcohol mediante la siguiente reacción:



¿Cuál sustancia es el agente reductor y cuál sustancia es el agente oxidante? ()

- a) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, reductor; Cr^{3+} , oxidante b) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, reductor; $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, oxidante
c) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, oxidante; Cr^{3+} , reductor d) $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, reductor; no hay oxidante

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), *QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL*, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 4 ejercicios: 4.48, 4.50, 4.51, 4.52 y **Capítulo 20 ejercicios:** 20.16, 20.18

Chang R. y Golldsbey K., (2013), *QUÍMICA*, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 4 ejercicios: 4.47, 4.50

Petrucci R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), *QUÍMICA GENERAL*, Undécima Edición, Eslovenia, Pearson Educación.

Capítulo 5 ejercicios: 33, 35, 36

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015) *QUÍMICA*, 10ª Edición, México, Cengage Learning

Capítulo 5 ejercicios: 47, 49 y **Capítulo 6 ejercicios:** 51, 52

1.2 BALANCEO DE REACCIONES REDOX

Contenido

- Método del estado de oxidación (método del cambio en el número de oxidación)
- Método de ion electrón o media celda
- Método algebraico

REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

Nota: Para este tema de balanceo de reacciones redox es fundamental el apoyo del libro:

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., y Colaboradores (Avalos T., Blanco A., Palacios G., Ríos N.), QUÍMICA, 8ª Edición Especial, Cengage Learning, México, 2011 (capítulo 11 y Lectura complementaria pág. 402).

1. Indicar los diferentes métodos de balanceo de reacciones redox.

2. Para el balanceo de reacciones redox ¿cuáles son los factores que se deben de tomar en cuenta?

3. Investigar y completar los pasos del **método de estado de oxidación** para el balanceo de una reacción redox:

1.	Escribir la reacción global.
2.	
3.	
4.	
5.	Igualar el número de electrones ganados al número de electrones perdidos, utilizando un método matemático adecuado por ejemplo el mínimo común múltiplo (m.c.m).
6.	

7. Analizar los subíndices de los productos oxidados y reducidos para obtener el m.c.m. de estos. Multiplicar la ecuación obtenida en el paso 6 por dicho mínimo común múltiplo.

8. _____

9. _____

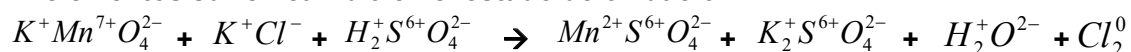
Actividad 4. Método del estado de oxidación

Ejemplo de la actividad 4.

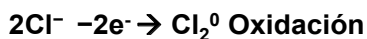
Ajustar la siguiente reacción por el método del estado de oxidación:



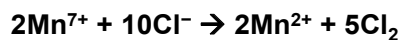
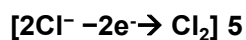
1. Determinar el número de oxidación de las especies. Enseguida identificar cuales elementos sufren cambio en el estado de oxidación:



El Mn sufre un cambio en el estado de oxidación de 7+ en el permanganato de potasio (KMnO_4) a 2+ en el sulfato de manganoso (MnSO_4). El Cl sufre un cambio en el estado de oxidación de 1- en el cloruro de potasio (KCl) a 0 en el cloro molecular (Cl_2). Entonces se escriben las semi-reacciones:



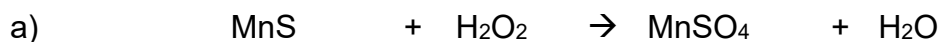
2. Ajustar el número de e^- multiplicando de manera cruzada:

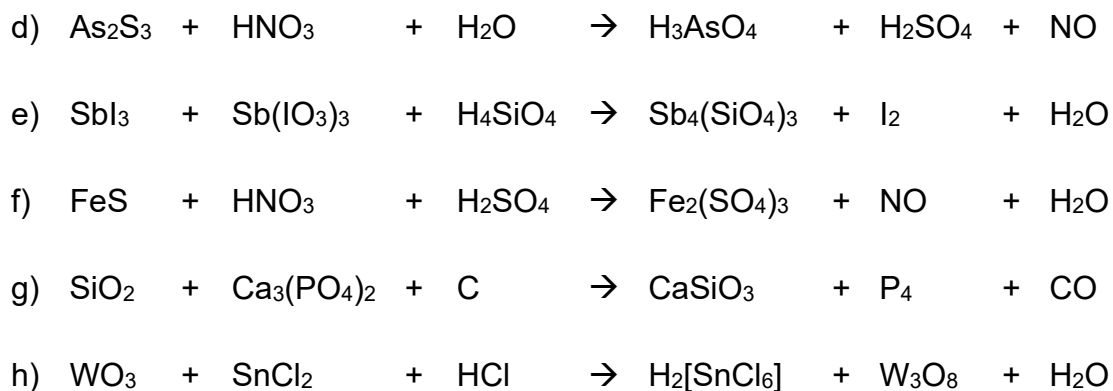


3. Trasladar estos coeficientes a la reacción original y ajustar las otras especies:

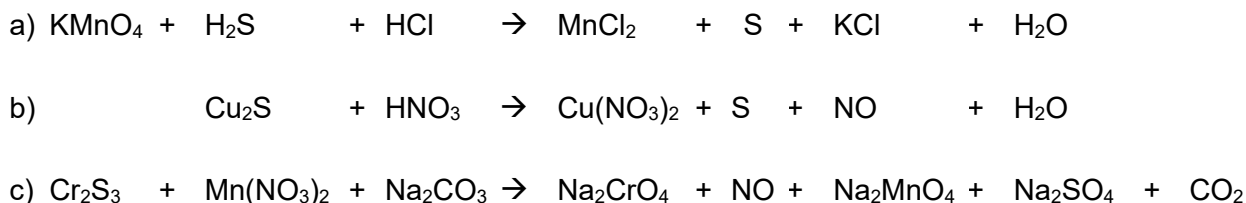


1. Balancear las siguientes reacciones por el método de estado de oxidación





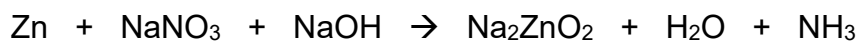
2. Balancear las siguientes reacciones por el método de estado de oxidación



Actividad 5. Método del estado de oxidación

1. ¿Cuántas moléculas de H_2O son necesarias al balancear la siguiente reacción?

()



- a) 8 b) 2 c) 6 d) 7

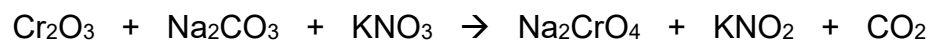
2. ¿Cuántas moléculas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) son necesarias al balancear la siguiente reacción?

()



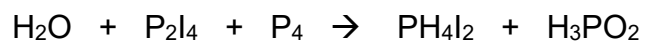
- a) 8 b) 4 c) 1 d) 6

3. ¿Cuántas moléculas de dióxido de carbono (CO₂) son necesarias al balancear la siguiente reacción? ()



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

4. ¿Cuántas moléculas de H₂O son necesarias al balancear la siguiente reacción? ()



- a) 16 b) 10 c) 8 d) 6

5. ¿Cuántas moléculas de Br₂ son necesarias al balancear la siguiente reacción? ()

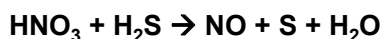


- a) 6 b) 4 c) 2 d) 3

Actividad 6. Método del ion-electrón o media celda

Ejemplo de la actividad 6.

Ajustar la siguiente reacción por medio del método de ión electrón:



1. Determinar los estados de oxidación para cada elemento que participa en la reacción e identificar los elementos que sufren cambio de estado de oxidación:

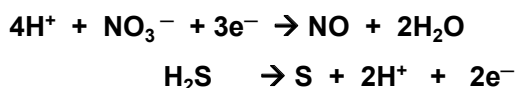


El N^{5+} cambia a N^{2+} por lo tanto se está reduciendo al ganar electrones. El S^{2-} cambia a S^0 se oxida al perder electrones.

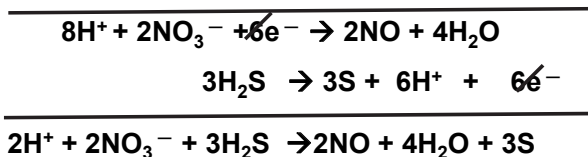
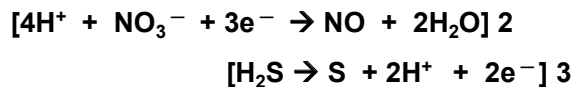
2. Definir las semi-reacciones con especies reales:



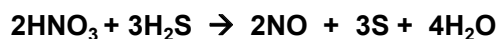
3. Ajustar cada semi-reacción agregando H_2O para completar oxígenos y del otro lado H^+ , ajustar con el número de electrones que neutralizan las cargas:



4. Igualar los electrones ganados y los electrones perdidos, realizar la suma de las dos semi-reacciones:



5. Obtener la reacción esqueleto y ajustar las especies faltantes:



1. Completar cuando sea necesario y balancear las siguientes reacciones por el método del ion-electrón.

- a) $(\text{NO}_3)^- + (\text{I})^- \rightarrow \text{NO} + \text{I}_2$ (medio ácido)
- b) $\text{I}_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{HIO}_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- c) $[\text{Cr}(\text{OH})_4]^- + \text{H}_2\text{O}_2 + \underline{\hspace{1cm}} \rightarrow (\text{CrO}_4)^{2-} + \text{H}_2\text{O}$ (medio básico)
- d) $\text{P}_4\text{S}_3 + (\text{CNO})^- + \underline{\hspace{1cm}} \rightarrow (\text{PO}_4)^{3-} + (\text{SO}_4)^{2-} + (\text{CN})^- + \underline{\hspace{1cm}}$ (medio ácido)
- e) $(\text{HPO}_3)^{2-} + (\text{BrO})^- + \underline{\hspace{1cm}} \rightarrow (\text{PO}_4)^{3-} + \text{Br}^- + \underline{\hspace{1cm}}$ (medio básico)

2. Completar cuando sea necesario y balancear las siguientes reacciones por el método del ion-electrón.

- a) $\text{KI} + \text{Ca}(\text{ClO})_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{I}_2 + \text{CaCl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$
- b) $\text{KBrO}_3 + \text{Na}_2\text{HAsO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{KBr} + \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{NaCl}$
- c) $\text{Zn} + \text{Ag}_3\text{AsO}_4 + \underline{\hspace{1cm}} \rightarrow \text{AsH}_3 + (\text{ZnO}_2)^{2-} + \text{Ag} + \text{H}_2\text{O}$ básico
- d) $\text{CoCl}_2 + \text{Na}_2\text{O}_2 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Co}(\text{OH})_3 + \text{NaCl}$
- e) $\text{HgS} + \text{Cl}^- + \underline{\hspace{1cm}} + (\text{NO}_3)^- \rightarrow \text{NO} + (\text{HgCl}_4)^{2-} + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$ ácido
- f) $\text{Cu}_2\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{S} + \text{NO} + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- g) $\text{FeHPO}_3 + (\text{ClO})^- + \underline{\hspace{1cm}} \rightarrow \text{Cl}^- + (\text{PO}_4)^{3-} + \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{O}$ básico
- h) $\text{Pb}_3\text{O}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{KCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{PbCl}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$

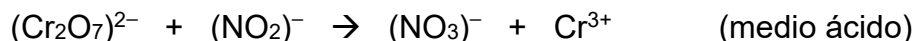
Actividad 7. Método del ion-electrón o media celda

1. ¿Cuántos iones oxhidrilo (OH^-) se necesitan y en qué lado de la ecuación deben aparecer, al completar y balancear la siguiente reacción iónica? ()



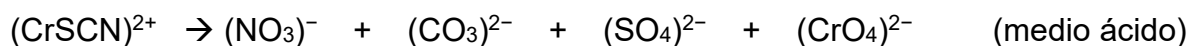
- a) 4, en el izquierdo b) 5, en el derecho c) 4, en el derecho d) 2, en el derecho

2. ¿Cuántas moléculas de H_2O se necesitan y en qué lado de la ecuación deben aparecer al completar y balancear la siguiente reacción iónica? ()



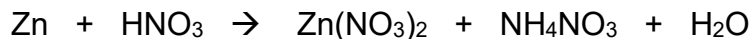
- a) 6, en el derecho b) 8, en el izquierdo c) 4, en el derecho d) 7, en el derecho

3. En la siguiente semi-reacción ¿Cuál expresión es verdadera? ()



- a) Se pierden 19e^- b) Se ganan 12e^- c) Se pierden 24e^- d) Se ganan 21e^-

4. ¿Cuántas moléculas de ácido nítrico (HNO_3) se necesitan al completar y balancear la siguiente reacción? ()



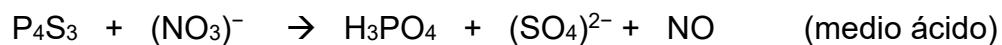
- a) 10 b) 5 c) 3 d) 1

5. ¿Cuántos iones oxhidrilo (OH^-) se necesitan y en qué lado de la ecuación deben aparecer, al completar y balancear la siguiente reacción iónica? ()



- a) 6, en el derecho b) 8, en el izquierdo c) 1, en el derecho d) 1, en el izquierdo

6. ¿Cuántas moléculas de ácido fosfórico (H_3PO_4) se necesitan al completar y balancear la siguiente reacción iónica? ()

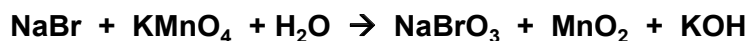


- a) 3 b) 6 c) 12 d) 1

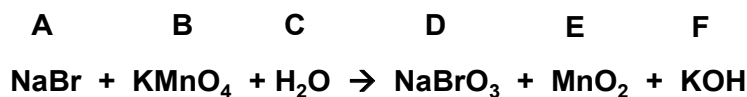
Actividad 8. Método algebraico

Ejemplo de la actividad 8.

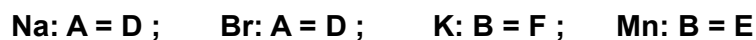
Resolver por el método algebraico la siguiente reacción:



1. Asignar una letra mayúscula a cada sustancia:



2. Determinar las ecuaciones correspondientes para cada elemento y número de grados de libertad:



Suponer que $A = 1$ por lo tanto $D = 1$, además $B = E = F$

De la ecuación para el oxígeno sustituir ($D=1$, $F=B$) de manera que solo queden 2 incógnitas:

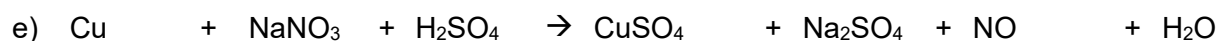
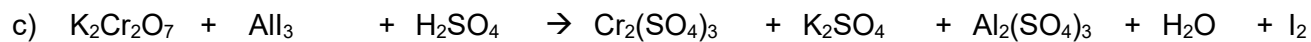


3. Relacionar esta ecuación con la anterior. Determinar el valor que deberá ser: $C = 1$ y $B = 2$.

4. Trasladar los coeficientes obtenidos de cada literal al compuesto correspondiente:



1. Balancear por el método algebraico las siguientes reacciones:



EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), *QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL*, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 20 ejercicios: 20.22, 20.24

Chang R. y Golldsbey K., (2013), *QUÍMICA*, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 18 ejercicios: 18.1, 18.2

Petrucchi R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), *QUÍMICA GENERAL*, Undécima Edición, Eslovenia, Pearson Educación.

Capítulo 5 ejercicios: 40, 77

Sorum C.H., Boikess R.S., (1999), *Cómo resolver PROBLEMAS de QUÍMICA GENERAL*, Séptima Edición, España, Editorial Paraninfo.

Capítulo 17 ejercicios: 17.12, 17.15. 17.27

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., y Colaboradores (Avalos T., Blanco A., Palacios G., Ríos N.), (2011), *QUÍMICA*, 8ª Edición Especial, México, Cengage Learning.

Capítulo 11 ejercicio: 100

1.3 ESTEQUIOMETRÍA DE REACCIONES EN DISOLUCIÓN ACUOSA

Contenido

- ✓ Ley de los equivalentes químicos
- ✓ Normalidad y Molaridad
- ✓ Cálculos estequiométricos con reacciones en disolución acuosa
- ✓ Aplicación de reacciones redox en química analítica cuantitativa

REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

Nota: Para este tema “**reacciones en disolución acuosa**” es fundamental el apoyo del libro:

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., y Colaboradores (Avalos T., Blanco A., Palacios G., Ríos N.), QUÍMICA, 8ª Edición Especial, Cengage Learning, México, 2011 (capítulo 11 y Lectura complementaria pág. 405).

1. Investigar y aplicar lo siguientes conceptos:

a) Definir normalidad y molaridad

b) Expresar la fórmula de cada concepto

$M = \text{_____}$	$N = \text{_____}$
--------------------	--------------------

2. Completar la expresión de la masa equivalente de las sustancias que participan en reacciones **no redox**, para un: a) Ácido, b) Base y c) Sal.

a) $MEq_{(ácido)} = \text{_____}$	b) $MEq_{(base)} = \text{_____}$	c) $MEq_{(sal)} = \text{_____}$
--------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------

3. Completar la siguiente tabla:

Ácido		iones liberados	mol/e.q.	MEq	g/e.q.
HCl	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow$	$\text{H}^+ + \text{Cl}^-$	1 mol HCl = 1 e.q.	$\frac{36.5 \text{ g HCl}}{1}$	36.5 g HCl/ e.q.
HCOOH	$\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons$	$\text{H}^+ + (\text{COOH})^-$	1 mol HCOOH = 1 e.q.	$\frac{46 \text{ g HCOOH}}{1}$	46 g HCO ₂ H/ e.q.
H ₂ SO ₃					
H ₃ AsO ₄					
Base		iones liberados	mol/e.q.	MEq	g/e.q.
NaOH	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow$	$\text{Na}^+ + (\text{OH})^-$	1 mol NaOH = 1 e.q.	$\frac{40 \text{ g NaOH}}{1}$	40 g NaOH/ e.q.
C ₅ H ₅ N	$\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons$	$(\text{C}_5\text{H}_5\text{NH})^+ + (\text{OH})^-$	1 mol C ₅ H ₅ N = 1 e.q.	$\frac{79 \text{ g C}_5\text{H}_5\text{N}}{1}$	79 g C ₅ H ₅ N/ e.q.
Mg(OH) ₂		$\text{Mg}^{2+} + (\text{OH})^-$			
Sb(OH) ₃					
Sal		iones liberados	mol/e.q.	MEq	g/e.q.
NaCl	$\text{H}_2\text{O} \rightarrow$	$\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$	1 mol NaCl = 1 e.q.	$\frac{58.5 \text{ g NaCl}}{1}$	58.5 g NaCl/ e.q.
K ₂ SO ₄					
Fe ₃ (PO ₄) ₂					

4. Completar la expresión de la masa equivalente de las sustancias que participan en reacciones redox, agente oxidante o agente reductor:

$$MEq_{(A.O. o A.R.) y/o (P.O. o P.R.)} = \text{—}$$

5. Dar dos ejemplos de masas equivalentes para cada sustancia que participa en una reacción redox (no simple) como: agente oxidante (A.O.) y agente reductor (A.R):

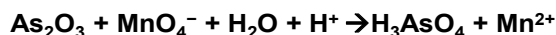
Ejemplo de Reacción química	
$\text{SbI}_3 + \text{Sb}(\text{IO}_3)_3 + \text{H}_4\text{SiO}_4 \rightarrow \text{I}_2 + \text{Sb}_4(\text{SiO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$	
Agente oxidante es: $\text{Sb}(\text{IO}_3)_3$	Agente reductor es: SbI_3
$MEq_{(A.O.)} = \frac{646.5 \text{ g}}{15} = 43.1 \text{ g Sb}(\text{IO}_3)_3$	$MEq_{(A.R.)} = \frac{502.5 \text{ g}}{3} = 167.5 \text{ g SbI}_3$
a) Reacción química _____	
Agente oxidante es: _____	Agente reductor es: _____
$MEq_{(A.O.)} =$	$MEq_{(A.R.)} =$
b) Reacción química _____	
Agente oxidante es: _____	Agente reductor es: _____
$MEq_{(A.O.)} =$	$MEq_{(A.R.)} =$

6. Investigar ¿cuál es la ley de los equivalentes químicos?

Actividad 9. Ley de los equivalentes químicos

Ejemplo de la actividad 9.

Calcular la masa (g) equivalente del óxido de arsénico (II) (As_2O_3) y la relación de equivalentes químicos (e.q.) por mol, según la siguiente reacción iónica:



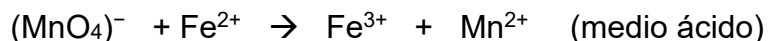
Se observa que el As pasa de 3+ a 5+



$$\text{Me.q.} = \frac{\text{Masa molar}}{(\text{e}^- \text{ totales ganados o perdidos / mol})} = \frac{198 \text{ g}}{4} = 49.5 \text{ g}$$

Se tienen 4 e.q. / mol de As_2O_3 .

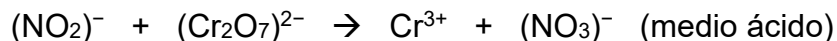
1. ¿Cuál es el agente oxidante y el agente reductor? Calcular la relación de equivalente químico/mol para el agente oxidante y para el agente reductor en la siguiente reacción iónica sin balancear:



Agente oxidante: _____ Relación: _____

Agente reductor: _____ Relación: _____

2. Se tiene una masa de 50.0 g de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) que reacciona con nitrito de sodio (NaNO_2) en la siguiente reacción iónica:



- a) ¿Cuál es la masa equivalente (Me.q.) del agente oxidante y el agente reductor?
- b) ¿Cuántos equivalentes químicos (e.q.) de NaNO_2 reaccionan con una masa de 50.0 g de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$?

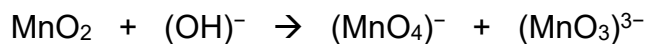
Respuesta: a) 49.0 g de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ y 34.5 g de NaNO_2 , b) 1.02 e.q.

3. ¿Cuál es la masa (g) que se necesita de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) para oxidar una masa de 100.0 g de ácido sulfhídrico (H_2S) de acuerdo a la siguiente reacción?



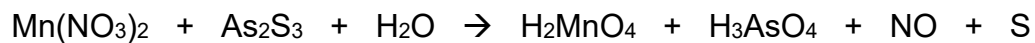
Respuesta: 288.2 g

4. Calcular la masa equivalente (Me.q.) del agente oxidante y agente reductor en la siguiente reacción iónica:



Respuesta: 87 g y 29 g

5. Calcular la masa equivalente (Me.q.) de agente oxidante y agente reductor de la siguiente reacción:

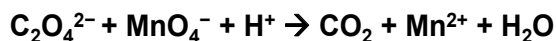


Respuesta: 89.5 g y 24.6 g

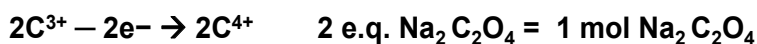
Actividad 10. Normalidad y Molaridad

Ejemplo de la actividad 10.

Se necesita un volumen de 25.12 mL de una disolución de permanganato de potasio (KMnO_4) para valorar 0.2879 g de oxalato de sodio ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) mediante una reacción redox que tiene lugar en medio ácido. ¿Cuál será la normalidad de la disolución de KMnO_4 que se utilizó?



1. Calcular el número de e.q./mol del $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ y del KMnO_4 y su masa equivalente



$$\text{Meq. } \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 = \frac{134 \text{ g de } \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}{2} = 67 \text{ g}$$

$$\text{Meq. } \text{KMnO}_4 = \frac{158 \text{ g de } \text{KMnO}_4}{5} = 31.6 \text{ g}$$

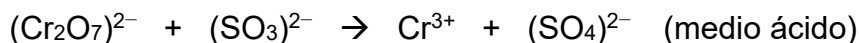
2. Calcular el número de equivalentes químicos que reaccionaron:

$$0.2879 \text{ g de } \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 \left[\frac{\text{e.q. de } \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4}{67.0 \text{ g de } \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4} \right] \left[\frac{\text{e.q. de } \text{KMnO}_4}{\text{e.q. de } \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4} \right] = 4.297 \times 10^{-3} \text{ e.q. de } \text{KMnO}_4$$

3. Calcular la normalidad:

$$\text{Normalidad (N)} = \frac{\text{e.q.}}{\text{L de disolución}} = \frac{4.297 \times 10^{-3} \text{ e.q. de } \text{KMnO}_4}{0.02512 \text{ L de } \text{KMnO}_4} = 0.1710 \text{ N de } \text{KMnO}_4$$

1. Considerar la siguiente reacción iónica:



- a) ¿Cuál es la masa equivalente (Me.q.) de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)?
- b) ¿Cuál es la normalidad y la molaridad de una disolución de ácido sulfuroso (H_2SO_3) si se requiere un volumen de 96 mL de esta disolución para reducir un volumen de 120 mL de una disolución de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0.40 N?

Respuestas: a) 49 g, b) 0.50 N y 0.25 M

2. En medio alcalino el ión acetato reacciona con el ión sulfato para producir ión sulfuro y dióxido de carbono. En un experimento reaccionó un volumen de 683 mL de una disolución de acetato de sodio con una concentración 0.0935 M y una disolución de sulfato de potasio con un volumen de 1.500 L y una concentración 0.542 N

- a) Escribir la reacción iónica que ocurre.
- b) Calcular la normalidad de la disolución de acetato de sodio.
- c) Determinar cuál sustancia es el reactivo limitante y cuál es el volumen de dióxido de carbono que se obtiene a condiciones TPN o T.P.E.
- d) % de reactivo en exceso

Respuestas: b) 0.748 N, c) 2.86 L, d) 59.2%

3. Se tiene una masa de 0.1078 g de óxido de arsénico (III) u anhídrido arsenioso (As_2O_3) que reacciona con un volumen de 22.15 mL de una disolución de permanganato de potasio (KMnO_4). ¿Cuál es la concentración de la disolución de KMnO_4 expresada en molaridad? Considerar que la reacción iónica que ocurre es la siguiente:

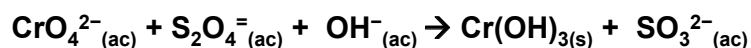


Respuesta: 0.01966 M

Actividad 11. Cálculos estequiométricos con reacciones oxidación-reducción en disoluciones acuosas

Ejemplo de la actividad 11.

Cuando se añade ditionito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) a una disolución de cromato de potasio (K_2CrO_4) uno de los productos de la reacción es el hidróxido de cromo (III), $\text{Cr}(\text{OH})_3$, en medio básico:



Se trata un volumen de 100 L de agua residual la cual tiene una concentración de 0.0126 M de CrO_4^{2-} . Calcular:

- ¿Cuántos gramos de $\text{Cr}(\text{OH})_3$ precipitan?
- ¿Cuántos gramos de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ se consumen?

1. Determinar la masa (g) equivalente de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ y de $\text{Cr}(\text{OH})_3$:

$$\text{Me.q. Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 = \frac{174 \text{ g de Na}_2\text{S}_2\text{O}_4}{2} = 87.0 \text{ g}$$

$$\text{Me.q. Cr}(\text{OH})_3 = \frac{103 \text{ g de Cr}(\text{OH})_3}{3} = 34.3 \text{ g}$$

2. Aplicar los cálculos estequiométricos:

a)

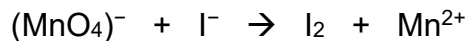
$$100 \text{ L de agua res} \left[\frac{0.0126 \text{ moles de K}_2\text{CrO}_4}{\text{L de agua res}} \right] = 1.26 \text{ moles de K}_2\text{CrO}_4$$

$$1.26 \text{ moles de K}_2\text{CrO}_4 \left[\frac{3 \text{ e.q. de K}_2\text{CrO}_4}{\text{mol de K}_2\text{CrO}_4} \right] \left[\frac{\text{e.q. de Cr}(\text{OH})_3}{\text{e.q. de K}_2\text{CrO}_4} \right] \left[\frac{34.3 \text{ g de Cr}(\text{OH})_3}{\text{e.q. de Cr}(\text{OH})_3} \right] = 130 \text{ g de Cr}(\text{OH})_3$$

b)

$$1.26 \text{ moles de K}_2\text{CrO}_4 \left[\frac{3 \text{ e.q. de K}_2\text{CrO}_4}{\text{mol de K}_2\text{CrO}_4} \right] \left[\frac{\text{e.q. de Na}_2\text{S}_2\text{O}_4}{\text{e.q. de K}_2\text{CrO}_4} \right] \left[\frac{87.0 \text{ g de Na}_2\text{S}_2\text{O}_4}{\text{e.q. de Na}_2\text{S}_2\text{O}_4} \right] = 329 \text{ g de Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$$

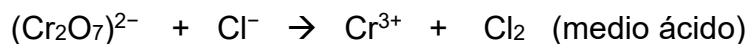
1. Considerar la siguiente reacción iónica en medio ácido:



- a) De acuerdo a la reacción anterior ¿Cuál es la masa (g) de permanganato de potasio (KMnO_4) que existe en un volumen de 475 mL de disolución con una concentración 0.137 N?
- b) Calcular la masa (g) de yoduro de sodio (NaI) que existe en un volumen de 325 mL de disolución con una concentración 0.267 N.
- c) ¿Cuál sustancia es el reactivo limitante y cuál es la masa (g) que se obtiene de ión manganeso (II) Mn^{2+} en la reacción?

Respuestas: a) 2.05 g, b) 13.0 g y c) 0.715 g

2. ¿Qué volumen (mL) de una disolución de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) con una concentración 0.40 N se necesita para liberar el cloro de una masa de 1.20 g de NaCl de acuerdo a la siguiente reacción iónica sin balancear?

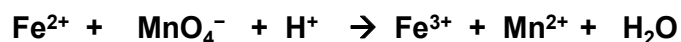


Respuesta: 51 mL

Actividad 12. Aplicación de reacciones de oxidación-reducción en química analítica cuantitativa

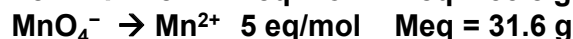
Ejemplo de la actividad 12.

Uno de los minerales más comunes que contienen hierro es la hematita (Fe_2O_3). Las etapas de análisis del mineral son: disolución de la muestra, reducción del hierro a Fe^{2+} y finalmente se realiza una titulación con una disolución oxidante. Se procesó para su análisis una masa de 0.200 g de hematita, la cual ocupó para su titulación 25.0 mL de una disolución de permanganato de potasio (KMnO_4), 0.020 M de acuerdo con la siguiente reacción iónica.



Calcular el % masa de hierro en el mineral.

1. Determinar la relación e. q./mol



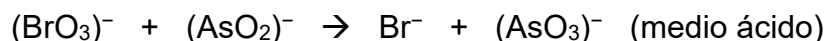
2. Realizar los cálculos estequiométricos:

$$25.0 \text{ mL de disoln. de KMnO}_4 \left[\frac{0.020 \text{ moles de KMnO}_4}{10^3 \text{ mL de disoln. KMnO}_4} \right] \left[\frac{5 \text{ e.q. de KMnO}_4}{\text{mol de KMnO}_4} \right] \left[\frac{55.8 \text{ g de Fe}^{3+}}{\text{e.q. de KMnO}_4} \right] = 0.140 \text{ g de Fe}^{3+}$$

3. Calcular el % masa en el mineral:

$$\% \text{ de Fe} = \frac{0.140 \text{ g de Fe}}{0.200 \text{ g de mineral}} \times 100 = 70.0 \% \text{ de Fe}$$

1. Una muestra de un mineral tiene una masa de 5.00 g contiene arsénico (As) y se valora con una disolución que contiene 2.50 g de bromato de potasio (KBrO_3) por litro de disolución, gastándose un volumen de 20.2 mL de esta disolución. En este sistema sucede la siguiente reacción iónica sin balancear.



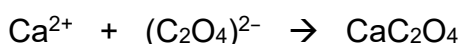
¿Cuál es el %masa de As en el mineral?

Respuesta: 1.36%

2. El ión nitrito (NO_2^-) es oxidado a ión nitrato (NO_3^-) por acción del ión dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) que pasa a ión cromo (III) o ión crómico (Cr^{3+}) en medio ácido. Un volumen de 200 mL de una disolución con una concentración 0.10 M de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) reacciona con una masa de 15 g de una mezcla de nitrito de potasio (KNO_2) y nitrato de potasio (KNO_3). Calcular la composición en % masa de esta mezcla.

Respuesta: 34% y 66%

3. El ión calcio (Ca^{2+}) se utiliza para la coagulación de la sangre y para otros procesos biológicos. Una concentración anormal de Ca^{2+} es indicativa de enfermedades severas. Para medir la concentración de Ca^{2+} , fue tratado un volumen de 1.00 mL de sangre humana con una disolución de oxalato de sodio ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) obteniéndose un precipitado de oxalato de calcio (CaC_2O_4) de acuerdo a la siguiente reacción:



El precipitado de CaC_2O_4 se disolvió en ácido sulfúrico (H_2SO_4) diluido y se valoró con permanganato de potasio (KMnO_4). Para encontrar el punto de equivalencia en la titulación se necesitó un volumen de 2.05 mL de una disolución de KMnO_4 de concentración 4.88×10^{-4} M, sucediendo la siguiente reacción:



Calcular la concentración expresada en mg de Ca^{2+} /100 mL de sangre.

Respuesta: 10.0 mg Ca^{2+} /100 mL de sangre

4. Una mezcla de cloruro de calcio (CaCl_2) y cloruro de sodio (NaCl) tiene una masa de 2.385 g. Esta muestra se disolvió en H_2O y se trató con una disolución de oxalato de sodio ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$), produciéndose un precipitado de oxalato de calcio

(CaC₂O₄). Este precipitado se filtró y se disolvió después con ácido clorhídrico (HCl) para producir ácido oxálico (H₂C₂O₄) de acuerdo a la siguiente reacción:



El ácido oxálico (H₂C₂O₄) producido se tituló con una disolución de permanganato de potasio (KMnO₄) obteniéndose dióxido de carbono (CO₂) y ión manganeso (II) o ión manganeso (Mn²⁺) como productos. La titulación requirió un volumen de 19.64 mL de disolución de KMnO₄ de concentración de 0.200 M. Calcular %masa de CaCl₂ que había en la mezcla original.

Respuesta: 45.7%

Actividad 13. Ejercicios de Integración

1. Considerar la siguiente reacción sin balancear en donde el ión permanganato (MnO₄⁻) reacciona con el ión manganeso (II) o ión manganeso (Mn²⁺) y produce óxido de manganeso (IV) o dióxido de manganeso (MnO₂) en medio básico:



- a) Balancear la ecuación por el método más conveniente.
- b) Calcular la masa (g) de un equivalente químico de permanganato de potasio (KMnO₄) en la reacción dada.
- c) Calcular el volumen (mL) de la disolución de KMnO₄ de concentración 0.0780 M que se necesita para reaccionar con 30.00 mL de disolución Mn²⁺ de concentración 0.1100 M.
- d) Calcular la masa (g) que se producen de dióxido de manganeso (MnO₂).

Respuestas: b) 52.67 g, c) 28.20 mL y d) 0.4785 g

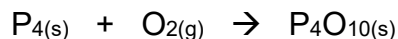
2. El ácido fosfórico (H₃PO₄), se cuenta entre las diez sustancias químicas que se producen industrialmente en mayor cantidad. Se usa en la fabricación de

fertilizantes, en el tratamiento de productos de acero, en aditivos para alimentos, en detergentes y ***ampliamente en la producción de bebidas gaseosas***. El dihidrogeno fosfato de sodio (NaH_2PO_4) se emplea en la fabricación de alimentos para controlar el grado de acidez y el dihidrógeno fosfato de calcio [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$] es el ingrediente ácido del polvo de hornear. El pentóxido de difósforo (P_2O_5) se usa para absorber agua en los desecadores de laboratorio. El compuesto tripolifosfato de sodio ($\text{Na}_4\text{P}_3\text{O}_{10}$) ha sido ampliamente utilizado en los detergentes ya que es capaz de romper y suspender manchas en la ropa durante el lavado formando complejos solubles en agua. Los compuestos de fósforo al ser desechados en lagos o ríos ocasionan serios problemas de contaminación: es lo que se conoce como proceso de eutrofización natural por causas antropogénicas, esto es lo que ha ocurrido en la llamada “zona muerta” del Golfo de México. El fosfato es un nutriente que aumenta el desarrollo de plantas que incluyen el fitoplancton, periplancton y micrófitos en los cuerpos de agua con una consiguiente disminución de oxígeno disuelto y un desequilibrio del balance ecológico, por esta razón se ha reducido el contenido de fosfatos en los detergentes. La obtención industrial del H_3PO_4 se realiza mediante el siguiente proceso de tres pasos:

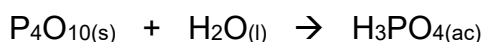
- Se hace reaccionar primero la fluorapatita [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$] con arena (SiO_2) y coque (una forma de carbono) en un horno de arco eléctrico a 2000°C , de acuerdo a la siguiente reacción:



- Una vez condensado el fósforo gaseoso, (P_4) se quema en oxígeno para formar el decóxido de tetrafósforo (P_4O_{10}):



- Reacción del P_4O_{10} con H_2O para obtener ácido fosfórico, H_3PO_4 :



- a) Balancear las ecuaciones.
- b) Calcular la masa equivalente (Meq) del agente oxidante y del agente reductor de la primera reacción.
- c) Calcular las toneladas cortas de fosfato de fluoruro de calcio, $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ que deben procesarse si se desea obtener un volumen de 2.00×10^4 L de ácido fosfórico industrial, H_3PO_4 , con una pureza del 72.0% y una densidad de 1.50 g/cm^3 . (1ton corta = 2000 lb)

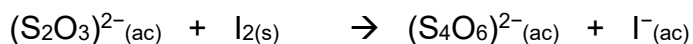
Respuestas: b) 33.6 g y 3.00 g y c) 40.8 ton

3. El ozono, un gas tóxico ligeramente azul, alótropo reactivo de oxígeno (O_3). Es un oxidante fotoquímico que se produce por la reacción química de los hidrocarburos con los óxidos de nitrógeno (NO_x) a la luz del sol. En la zona metropolitana de Guadalajara se reporta diariamente el “Índice Metropolitano de Calidad del Aire”, IMECA por la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (*SEMADET*). Este tipo de índices se utiliza en todo el mundo, siendo de los más comunes el Pollutant Standard Index (PSI), utilizado por el gobierno de EUA, (0.1 ppm de ozono = 100 IMECA). La concentración de ozono, como contaminante atmosférico promedio horario de 0.095 ppm y 0.070 ppm máximo anual del promedio móvil de 8 horas (Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014), la exposición de ozono en periodos cortos de tiempo en concentraciones superiores a unas décimas de ppm provoca dolor de cabeza, sequedad en la garganta, irritación de membranas mucosas y nariz. La exposición a altas concentraciones puede provocar edemas pulmonares, lasitud, dolor de cabeza frontal, sensación de enrarecimiento del aire, constricción u opresión, acidez en la boca y anorexia. En exposiciones más severas puede causar tos, sensación de sofocación, taquicardia, vértigo, presión sanguínea baja, severos calambres en el pecho. Estudios de cambios cromosómicos en los tejidos parece indicar que el ozono es un agente mutagénico que puede producir cáncer.

El método yodométrico se utiliza para medir concentraciones de ozono, que consiste en hacer burbujear una muestra de volumen conocido de aire dentro de una disolución de yoduro de potasio (KI). La reacción produce yodo, I₂:



El I₂ generado debe ser titulado inmediatamente con una disolución tiosulfato de sodio (Na₂S₂O₃) a un color amarillo pálido. La concentración de ozono puede ser calculada por el consumo de tiosulfato de sodio.



Se requiere un volumen de 15.00 mL de una disolución de Na₂S₂O₃ con una concentración 1.000 x10⁻⁴ M para reducir el I_{2(s)} generado en una muestra de 117 cm³ de aire (peso específico 2.144).

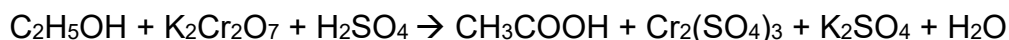
- a) Balancear las ecuaciones.
- b) Calcular la masa equivalente (g) del agente reductor y agente oxidante de la primera reacción.
- c) ¿Cuál es el índice Metropolitano de Calidad del Aire” (IMECA)?
- d) ¿Existe una contingencia ambiental?

Respuestas: b) 166 g y 24 g, c) 143.5 IMECA y d) Sí hay contingencia ambiental

4. El consumo permitido y socialmente aceptado del alcohol etílico (C₂H₅OH), sustancia de abuso utilizada en la mayor parte de las culturas, épocas y tóxico universalmente más consumido, origina una problemática que, en el caso de abuso en su consumo trasciende en lo social, sanitario, laboral y familiar. En los últimos años Jalisco, uno de los estados con el mayor número de muertes por accidentes automovilísticos en nuestro país y es el segundo lugar a nivel

nacional en el registro de accidentes viales causados por la ingesta de alcohol. El *alcoholímetro* es una herramienta que se utiliza para realizar pruebas in situ de ingesta de alcohol, esta prueba no dura más de un minuto. **Artículo 186, de la Ley de movilidad y transporte del Estado de Jalisco Estado de Jalisco vigente desde el año 2013** A las personas que conduzcan vehículos de automotor bajo el influjo de alcohol o drogas, se les sancionará de la siguiente forma: Con multa equivalente de ciento cincuenta a doscientos días de salario mínimo general, vigente en la zona económica en donde se cometa la infracción, a la persona que conduzca un vehículo automotor y se le detecte una cantidad superior de 50 a 80 **mg de alcohol/ 100 mL de sangre** o 0.25 a 0.40 **0.25 mg de alcohol/ L** de aire espirado, o bajo el influjo de droga. Los conductores de vehículos destinados al servicio de transporte de pasajeros, de transporte de carga o de transporte de sustancias tóxicas o peligrosas, ***no deben presentar ninguna cantidad de alcohol en la sangre o en aire espirado.***

Una muestra de 15.00 mL de sangre de un conductor de ***vehículo automotor*** necesitó para su titulación un volumen de 25.00 mL de una disolución de dicromato de potasio, $K_2Cr_2O_7$, de concentración 0.0180 M, de acuerdo a la siguiente reacción:

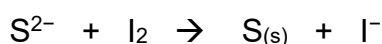


- Balancear la reacción.
- Calcular la masa equivalente (Meq) del agente oxidante (A.O.) y del agente reductor (A.R.).
- Calcular la masa (mg) de C_2H_5OH presente en 100 mL de sangre del conductor.
- ¿Podría el agente de tránsito procesar al conductor por manejar en estado de ebriedad?

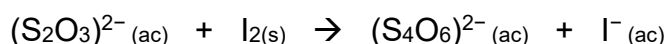
Respuestas: b) A.O. 49 g de $K_2Cr_2O_7$ y A.R. 11.5 g de C_2H_5OH , c) 207 mg $C_2H_5OH/100$ mL sangre y d) Sí se procesa.

5. En la Industria de la Curtiduría uno de los mayores problemas ambientales que provoca es la contaminación causada en el proceso de pelambre por la emisión de sulfuros (S^{2-}), uno de los contaminantes más importantes, tanto para el agua como para el aire, debido a que se desprende en forma de sulfuro de hidrógeno (H_2S), en cantidad suficientes capaz de causar serias afecciones a la salud e incluso la muerte (Poza Rica, México, noviembre de 1950. En la planta que se había instalado en esta zona petrolera para eliminar el H_2S del gas natural se produjo un accidente que hizo que dicho gas se liberara a la atmósfera. Debido a las condiciones meteorológicas el H_2S no se dispersó, lo que provocó la muerte de 22 personas por intoxicación; además 320 personas fueron hospitalizadas con dolor de cabeza, irritación de los ojos, tos y problemas respiratorios). A pesar de los problemas de contaminación que acarrea la producción de cueros, no deja de realizarse este proceso en nuestro país, por su importancia económica en este sector. En el proceso de pelambre se utilizan como reactivos, sulfuro de sodio (Na_2S), sulfuro ácido de sodio ($NaHS$), y bases como cal o hidróxido de sodio y aminas, para mantener un $pH > 11$ y otros reactivos, como enzimas, que facilitan el desprendimiento del pelo y la epidermis. En esta etapa se genera la mayor carga contaminante, además de malos olores y una gran cantidad de agua.

Una muestra de 30.00 L de aire (densidad de 1.20 g/L), se pasó a través de una torre de absorción que contiene una disolución de cadmio (II), (Cd^{2+}), en donde el H_2S se retiene como sulfuro de cadmio (II) (CdS). La muestra obtenida en medio ácido se trató con 15.00 mL de una disolución de I_2 0.0110 M. Después de completarse la reacción siguiente:



el exceso de yodo se tituló con 14.85 mL de una disolución de tiosulfato sodio, $Na_2S_2O_3$ 0.0150 M.



- a) Balancear las ecuaciones.
- b) Calcular la concentración de H₂S en ppm (la densidad de la corriente de aire es 1.20 g/L).
- c) ¿Cuál será el efecto a la salud por el límite de exposición de acuerdo al inciso anterior y la siguiente tabla? (Un hombre adulto necesita aproximadamente 15 kg de aire por día).

Límite de exposición (ppm)	Efectos a la salud
0.008-0.2	Umbral respiratorio- se detecta olor a huevo podrido
20	Olor a fuga de gas. Tolerancia durante algunas horas sin daño
20-50	Irritación ocular
50	Exposición prolongada puede causar faringitis o bronquitis
60	Exposición prolongada puede causar conjuntivitis y dolor de ojos
150+	Irritación del tracto respiratorio superior. Sensación de pérdida del olfato
250	Edema pulmonar con riesgo de muerte
500	Muy peligroso, se debe evacuar mucho antes de llegar a este nivel
1000	Pérdida de conciencia
1000-2000	Intoxicación aguda: los síntomas incluyen respiración agitada, angustia, náusea y vómito. Puede ser rápidamente seguido de pérdida de conciencia, coma y paro respiratorio
2000+	Pérdida inmediata de conciencia y alta probabilidad de muerte

(Amoore, 1983; Baxter, 2000; Faivre-Pierret y Le Guern, 1983 y sus referencias; NIOSH, 1981; Sax y Lewis, 1989; Snyder et al., 1995).

Respuestas. b) 50.6 ppm y c) faringitis o bronquitis

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Petrucci R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), *QUÍMICA GENERAL*, Undécima Edición, Eslovenia, Pearson Educación.

Capítulo 5 ejercicios: 67, 90

Rosenberg J., Epstein L., Krieger P., (2009), *Química Serie Schaum*, Novena Edición, México, McGraw Hill/Interamericana Editores.

Capítulo 13 ejercicios: 13.38, 13.39, 13.40

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015) *QUÍMICA*, 10ª Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 11 ejercicios: 67, 69, 70

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., y Colaboradores (Avalos T., Blanco A., Palacios G., Ríos N.), (2011), *QUÍMICA*, 8ª Edición Especial, México, Cengage Learning.

Capítulo 11 ejercicios: 62, 66, 93, 102, 103, 111

CAPÍTULO 2

DISOLUCIONES

Una disolución (también llamada solución) es una mezcla homogénea compuesta de una sustancia que actúa como disolvente, es decir, es el medio en donde se disuelven otras sustancias denominadas solutos. Las disoluciones incluyen combinaciones de sustancias presentes en los diferentes estados físicos (líquido, sólido y gas), su importancia radica en que estos sistemas son muy comunes, por ejemplo: en los humanos y en los animales existen diversos fluidos corporales vitales; en la naturaleza existe el aire y el mar; la industria fabrica las bebidas gasificadas, los sueros, las aleaciones metálicas etc.

2.1 PROCESO DE DISOLUCIÓN

Contenido

- Fuerzas intermoleculares
- Predicción y reglas de solubilidad

REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Las fuerzas atractivas entre las moléculas o los átomos (fuerzas intermoleculares) que componen a un sistema sea gaseoso, líquido o sólido determinan sus propiedades físicas: estado de agregación, punto de ebullición, t_b , punto de fusión t_f , presión de vapor, P_v , volatilidad etc.)
 - a) Describe y proporciona un ejemplo de cada una de las siguientes fuerzas intermoleculares que existen en sustancias y mezclas:

Fuerzas de dispersión	
Descripción	Ejemplo
Fuerzas dipolo-dipolo	
Descripción	Ejemplo
Fuerzas enlaces o puentes de hidrógeno	
Descripción	Ejemplo
Fuerzas ion-dipolo	
Descripción	Ejemplo
Fuerzas dipolo-dipolo inducido	
Descripción	Ejemplo

2. Reglas de solubilidad para compuestos iónicos comunes en agua. Obtenga la Tabla 4.2 del capítulo 4 del libro de Química del Chang (11ª edición) y la Tabla 4.1 del capítulo 4 del libro de Química la ciencia central del Brown (11ª edición), compárelas y complete el siguiente cuadro comparativo:

Compuestos solubles	
Compuestos en común	Diferentes compuestos encontrados
Compuestos insolubles	
Compuestos en común	Diferentes compuestos encontrados

Actividad 14. Fuerzas intermoleculares

1. Completar la tabla escribiendo dentro de la segunda columna la letra que corresponda al enunciado que se relacione correctamente con el concepto.
 - a) Es la fuerza que existe entre moléculas polares.
 - b) Enlace formado entre dos o más átomos que comparten electrones.
 - c) Fuerzas que son el resultado de dipolos temporales en los átomos y en las moléculas.
 - d) Enlace entre iones de carga opuesta en donde existe la transferencia de electrones.
 - e) Fuerza que existe cuando una molécula polar distorsiona la distribución electrónica de un átomo o de una molécula no polar.
 - f) Fuerza que existe entre una partícula cargada y una molécula polar.
 - g) Enlace en el que 2 átomos diferentes comparten el par electrónico de manera desigual.

- h) Tipo especial de atracción que existe entre moléculas que contienen hidrógeno unido a un elemento electronegativo, principalmente oxígeno, nitrógeno o flúor.
- i) Enlace en el que el par de electrones proviene únicamente de uno de los dos átomos que se unen.

Concepto	Inciso
Ion dipolo	
Dipolo-dipolo inducido	
Dipolo-dipolo	
Fuerzas de dispersión de London	
Puente de hidrógeno	
Enlace iónico	
Enlace covalente no polar	
Enlace covalente polar	
Enlace covalente coordinado o dativo	

Actividad 15. Predicción y reglas de solubilidad

- Investigar las reglas de solubilidad de compuestos comunes en agua y completar la siguiente tabla:

Son compuestos solubles:	Las excepciones son:
1) Casi todas las sales de: __, K^+ , $(NH_4)^+$	
2) Sales de: ____, ____, $(ClO_3)^-$, $(IO_4)^-$	
3) Casi todas las sales de: ____, Br^- , I^-	____, Pb^{2+} y Hg^{2+}

4) Compuestos que contienen F^-	Mg^{2+} , _____, Ba^{2+} , Sr^{2+} y Pb^{2+}
5) Sales de SO_4^{2-}	Mg^{2+} , Ca^{2+} , _____, Sr^{2+} , _____, Pb^{2+} y Hg^{2+}
Son compuestos insolubles:	Las excepciones son:
1) Todas las sales de $(CO_3)^{2-}$, _____, $(CrO_4)^{2-}$ y $(C_2O_4)^{2-}$	Sales de: $(NH_4)^+$ y metales alcalinos
2) La mayoría de los S^{2-} metálicos	Sulfuros de: _____ y metales alcalinos
3) La mayoría de los óxidos	Óxidos de: _____ y _____ , _____
4) La mayoría de $(OH)^-$ metálicos	Hidróxidos o bases de: _____, Ba^{2+} y metales _____: el de Ca^{2+} es ligeramente soluble

2. Caracterizar en la tabla los siguientes compuestos como solubles o insolubles en H_2O : fosfato de calcio $[Ca_3(PO_4)_2]$, carbonato de calcio ($CaCO_3$), sulfato de mercurio(II) ($HgSO_4$), hidróxido de manganeso(II) $[Mn(OH)_2]$, sulfato de zinc ($ZnSO_4$), sulfuro cobre(II) (CuS), clorato de plata ($AgClO_3$), nitrato de mercurio(II) $[Hg(NO_3)_2]$, cromato de sodio (Na_2CrO_4), sulfuro de potasio (K_2S), perclorato de amonio (NH_4ClO_4), acetato de amonio (CH_3COONH_4).

Sustancias solubles	Sustancias insolubles

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 4 ejercicios: 4.15, 4.16 **Capítulo 11 ejercicios:** 11.13, 11.26

Chang R. y Golldsbey K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 4 ejercicios: 4.19, 4.20 **y Capítulo 11 ejercicios:** 11.1, 11.10.

2.2 SOLUBILIDAD DE SÓLIDOS EN LÍQUIDOS

Contenido

- Solutos electrolitos y no electrolitos
- Formas de expresar la concentración de las Disoluciones
- Coeficientes de solubilidad
- Cristalización de sales anhidras e hidratadas

REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué entiendes por una sustancia: no electrolito, electrolito fuerte y electrolito débil?

Definición de una sustancia no electrolito	Ejemplos

Definición de un electrolito fuertes	Ejemplos
Regla para definir ácidos y bases fuertes comunes	Ejemplos

2. Resume el comportamiento electrolítico de compuestos iónicos y moleculares solubles comunes.

Compuesto	Electrolito fuerte	Electrolito débil	No electrolito
Iónico			
Molecular			

3. ¿Cuáles de los siguientes enunciados son verdaderos (V) y cuales son falsos (F)?

- a) ____ La solubilidad de un sólido en un líquido generalmente aumenta con la temperatura.
- b) ____ Se disuelve más NaCl en 100 g de H₂O que en 200 g de benceno C₆H₆.

- c) ____ Aumentando la temperatura en un líquido podemos disolver mayor cantidad de gas.
- d) ____ La solubilidad de todas las sustancias inorgánicas es la misma si el disolvente es H_2O .
- e) ____ Una disolución es exotérmica si tiene un cambio de entalpía positivo.
- f) ____ Una disolución es ideal si tiene un cambio de entalpía igual a cero.
4. Escribir las expresiones matemáticas para calcular la concentración de una disolución.

Formas de expresar la concentración de las disoluciones	
Molaridad, M	
Molalidad, m	
% masa	
% volumen	
Fracción molar	
Normalidad, N	
Partes por millón, ppm.	
Coeficiente de solubilidad	

5. Si se expresa la concentración de un soluto en una disolución, ¿cuál unidad de concentración varía si se cambia la temperatura de la disolución? ()

- a) Molaridad b) Molalidad c) Fracción molar d) % masa

6. Completa el siguiente cuadro:

¿Qué es el coeficiente de solubilidad?
¿Cuál es la tendencia general para un soluto sólido en un disolvente líquido en relación con la temperatura?
¿Cómo se clasifican las disoluciones en función del coeficiente de solubilidad? Poner tres ejemplos

Actividad 16. Solutos electrolitos y no electrolitos

1. Clasificar los siguientes solutos como electrolitos y no electrolitos: cloruro de sodio (NaCl), glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), sacarosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$), nitrato de potasio (KNO_3), perclorato de sodio (NaClO_4), sulfato de sodio (Na_2SO_4), glicerina [$\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$], etilenglicol [$\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$].

Electrolito	No electrolito

Actividad 17. Formas de expresar la concentración de las disoluciones

Ejemplo de la actividad 17.

Se tiene una masa de 155 g de una disolución acuosa de cloruro de sodio (NaCl) con una densidad de 1.159 g/mL que contiene 35.2 g de NaCl. Calcular:

- a) % en masa.
- b) fracción molar.
- c) molaridad.
- d) molalidad.
- e) ppm.

1. Si se tienen 155 g de disolución y contienen 35.2 g de NaCl, por lo tanto existen 119.8 g de agua, a partir de aquí realizar los cálculos correspondientes:

a)
$$\% \text{ de NaCl} = \frac{35.0 \text{ g de NaCl}}{155 \text{ g de disolución}} \times 100 = 22.6 \% \text{ de NaCl}$$

2. Calcular los moles de NaCl y los moles de H₂O para poder calcular las fracciones molares:

b)
$$35.2 \text{ g de NaCl} \left[\frac{1.00 \text{ mol de NaCl}}{58.5 \text{ g de NaCl}} \right] = 0.598 \text{ moles de NaCl}$$

$$119.8 \text{ g de H}_2\text{O} \left[\frac{1.00 \text{ mol de H}_2\text{O}}{18.0 \text{ g de H}_2\text{O}} \right] = 6.67 \text{ moles de H}_2\text{O}$$

$$X_{\text{del H}_2\text{O}} = \frac{6.67 \text{ moles de H}_2\text{O}}{7.27 \text{ moles totales}} = 0.917$$

$$X_{\text{del NaCl}} = \frac{0.598 \text{ moles de NaCl}}{7.27 \text{ moles totales}} = 0.0823$$

3. Calcular el volumen de la disolución:

c)

$$155 \text{ g de disoln} \left[\frac{1.00 \text{ mL de disoln}}{1.159 \text{ g de disoln}} \right] \left[\frac{1.00 \text{ L de disolución}}{10^3 \text{ mL de disolución}} \right] = 0.134 \text{ L de disoln}$$

$$M = \frac{0.598 \text{ moles de NaCl}}{0.134 \text{ L de disolución}} = 4.46 \text{ M}$$

d)

$$m = \frac{0.598 \text{ moles de NaCl}}{0.120 \text{ kg de disolvente}} = 4.98 \text{ m}$$

e)

$$10^6 \text{ g de disoln} \left[\frac{35.2 \text{ g de NaCl}}{155 \text{ g de disoln}} \right] = 2.26 \times 10^5 \text{ ppm de NaCl}$$

1. Se mezclan 225 g de glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) con una masa de 875 g de H_2O , la densidad de la disolución es 1.10 g/mL. Calcular la concentración de la disolución en: molaridad, molalidad y fracción molar de soluto.

Respuestas: 1.25 M, 1.43 m, X soluto 0.0251

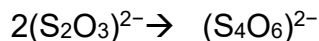
2. Se tiene 1.00 L de una disolución al 24.5% masa de cloruro de sodio (NaCl), la densidad de la disolución es 1.06 g/mL. Calcular la concentración de la disolución en: molaridad, molalidad y fracción molar de soluto.

Respuestas: 4.44 M, 5.55 m, X soluto 0.0908

3. Se mezclan 35 g de tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) con una masa de 742 g de H_2O , la densidad de la disolución resultante es 1.09 g/mL. Calcular para la disolución:

a) Molaridad, molalidad y fracción molar de soluto.

b) Normalidad suponiendo que sucede la siguiente semi-reacción:



Respuestas: a) 0.31 M, 0.30 m, X soluto 0.0054, b) 0.31 N

4. Se tiene un volumen de 670 mL de una disolución al 32.0% masa de permanganato de potasio (KMnO_4), la densidad de la disolución es 1.11 g/mL. Calcular para la disolución:

- a) Molaridad, molalidad, y fracción molar de soluto.
- b) Considerando que la disolución está en medio ácido y que el ión permanganato (MnO_4^-) pasa a ión manganeso(II) (Mn^{2+}), calcular la normalidad de la disolución.

Respuestas: a) 2.25 M, 2.98 m, X soluto 0.0509, b) 11.2 N

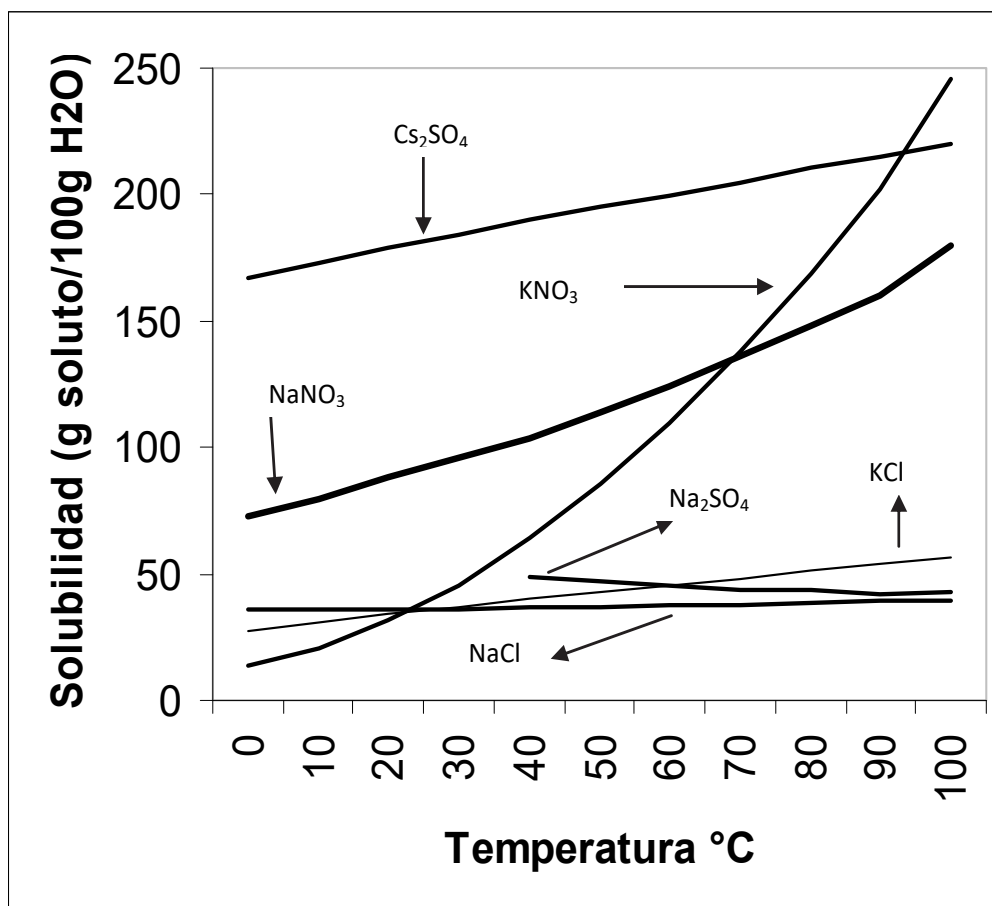
5. Se disuelven 87.5 g de sulfato de cobre (II) pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) con una masa de 625 g de H_2O , la densidad de la disolución es 1.20 g/mL. Calcular para la disolución:

- a) Molaridad, molalidad, y fracción molar de soluto.
- b) La normalidad de la disolución cuando sucede una reacción de sustitución (no redox).

Respuestas: a) 0.589 M, 0.533 m, X soluto 0.00950, b) 1.18 N

Actividad 18. Coeficientes de solubilidad

Utilizar la siguiente gráfica de solubilidades de varios compuestos iónicos en agua en función de la temperatura y contestar los siguientes ejercicios:



1. ¿Generalmente, qué sucede con la solubilidad de los sólidos en H₂O al incrementarse la temperatura? ¿aumenta o disminuye?
2. Citar un ejemplo en donde suceda lo contrario de lo que contestaste en la pregunta anterior.

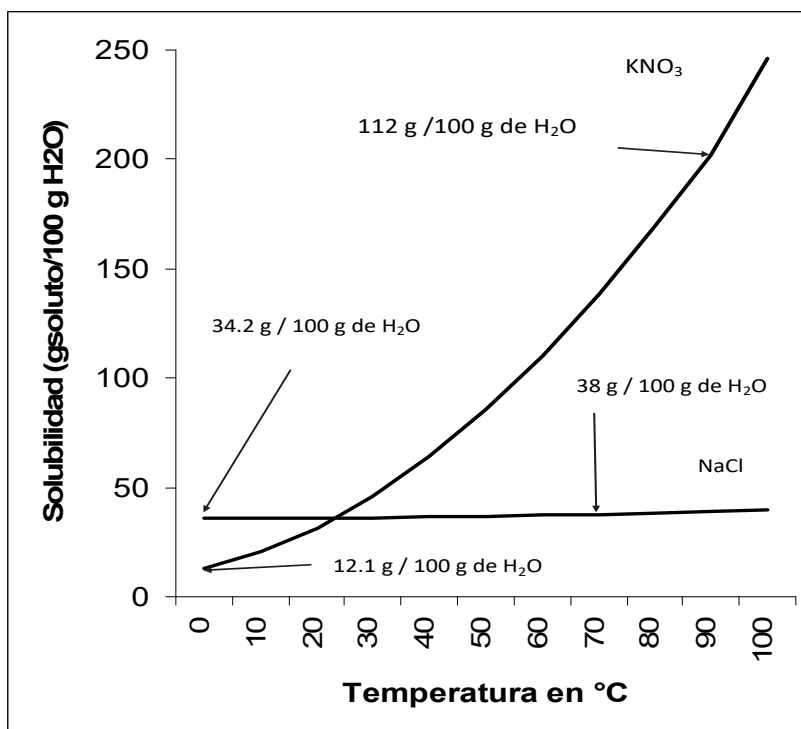
3. Se desea preparar cuatro diferentes disoluciones a una temperatura de 40 °C. Cada disolución contendrá 100 g de H₂O y 40 g de una de las siguientes sales: Determinar para cada uno de los sistemas si se produce una disolución saturada, insaturada o sobresaturada.

Sustancia	Resultado
a) Nitrato de sodio (NaNO ₃)	
b) Cloruro de potasio (KCl)	
c) Dicromato de potasio (K ₂ Cr ₂ O ₇)	
d) Nitrato de plomo(II) [Pb(NO ₃) ₂]	

4. Se desea preparar cinco diferentes disoluciones saturadas a una temperatura de 30 °C. Para cada una se tienen 250 g de H₂O, determinar para cada disolución la masa necesaria de las siguientes sales:

Sustancia	Resultado
a) Clorato de potasio (KClO ₃)	
b) Nitrato de plomo(II) [Pb(NO ₃) ₂]	
c) Sulfato de cesio (Cs ₂ SO ₄)	
d) Sulfato de aluminio octadecahidratado [Al ₂ (SO ₄) ₃ •18H ₂ O]	
e) Cromato de sodio tetrahidratado [Na ₂ CrO ₄ •4H ₂ O]	

5. Después de analizar la siguiente gráfica contestar: ¿Cuál será otra aplicación de conocer las gráficas de solubilidad?



Actividad 19. Cristalización de sales anhidras e hidratadas

Ejemplo de la actividad 19.

Sal anhidra.

¿Cuántos gramos de sulfato de cadmio (CdSO_4) se podrán disolver en 250 g de agua a una temperatura de 20 °C ($C_s = 76.6$ g)?

$$250 \text{ g de H}_2\text{O} \left[\frac{76.6 \text{ g de CdSO}_4}{100 \text{ g de H}_2\text{O}} \right] = 192 \text{ g de CdSO}_4$$

Se necesitan 192 g de CdSO_4 .

Sal hidratada.

Calcular los gramos de sulfito de sodio heptahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) que se pueden disolver en 100 g de agua, para obtener una disolución saturada a 30 °C ($C_s = 36.0$ g)..

1. Plantear las ecuaciones que satisfacen el coeficiente de solubilidad:

$$X \text{ g de Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \left[\frac{126 \text{ g de Na}_2\text{SO}_3}{252 \text{ g de Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} \right] = 0.500 X \text{ g de Na}_2\text{SO}_3$$

$$X \text{ g de Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \left[\frac{126 \text{ g de H}_2\text{O}}{252 \text{ g de Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} \right] = 0.500 X \text{ g de H}_2\text{O}$$

$$\frac{36.0 \text{ g de Na}_2\text{SO}_3}{100 \text{ g de H}_2\text{O}} = \frac{0.500 X \text{ g de Na}_2\text{SO}_3}{100 \text{ g de H}_2\text{O} + 0.500 X \text{ g de H}_2\text{O}}$$

2. Resolver para X: $0.360 (100 + 0.500X) = 0.500X$

$$X = \frac{36.0}{0.320} = 113$$

Se necesitan 113 g de $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ para disolver en 100 g de H_2O .

1. Se tiene un volumen de 500 mL de una disolución de sulfato de cobre(II) (CuSO_4) al 5.00% masa, la densidad de la disolución es 1.05 g/mL a una temperatura de 30 °C.
- a) A esta disolución se agrega una masa de 25.0 g de CuSO_4 , calcular la molalidad y el porcentaje de saturación de la disolución resultante. Considerar temperatura constante.
 - b) A la disolución inicial se agrega una masa de 25.0 g de sulfato de cobre(II) pentahidratado [$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$], calcular la molalidad y el porcentaje de saturación de la disolución resultante. Considerar temperatura constante.

Respuestas: a) 0.644 m, 41% saturación. b) 0.522 m, 33.3% saturación.

2. Se tiene una disolución que contiene una masa de 62.0 lb de cloruro de calcio (CaCl_2) en una masa de 100 lb de H_2O . ¿Cuánta masa (lb) de esta disolución será necesaria para disolver una masa de 250 lb de cloruro de calcio hexahidratado [$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$] y obtener una disolución saturada a una temperatura de 20 °C?

Respuesta: 452 lb

3. Se preparó una masa de 900.0 lb de una disolución acuosa al 45.00% masa de perclorato de bario $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$. Calcular la masa (kg) de perclorato de bario trihidratado [$\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$] que se necesita agregar a la disolución preparada inicialmente para obtener una disolución saturada de $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$ a una temperatura de 40 °C. El coeficiente de solubilidad del $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$ es 358.7 a esta temperatura.

Respuesta: 1706 kg

4. ¿A qué temperatura se deben disolver 100.0 ton de cloruro de bario dihidratado $[\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ en una masa de 250.0 ton de H_2O para obtener una disolución saturada? Si la disolución anterior se alimenta a un cristalizador que opera a una temperatura de 0°C ¿Cuál será la masa (ton) de cristales que se obtendrá?

Respuestas: 3.53°C , 1.976 ton de cristales

5. A una temperatura de 70°C se disolvió una masa de 800.0 lb de sulfato de magnesio (MgSO_4) en una masa de 2300 lb de H_2O . Se dejó enfriar la disolución hasta una temperatura de 20°C y se mantuvo constante a esta temperatura durante 8 días. Al cabo de este tiempo, la masa de la disolución era 2200 lb y se habían precipitado cristales de sulfato de magnesio hexahidratados $[\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$. Se observó entonces que se perdió H_2O durante el enfriamiento, calcular:

- a) Masa (lb) de H_2O que se evaporó.
- b) Masa (lb) de cristales obtenidos.

Respuestas: a) 667.3 lb, b) 232.8 lb

6. Se preparó una masa de 13.0 ton de disolución acuosa con una masa de 3.71 ton de carbonato de sodio (Na_2CO_3). La disolución se enfrió a una temperatura de 10°C , perdiéndose en el proceso, por evaporación, el 30.0% de masa de H_2O inicial. Determinar:

- a) Masa (ton) de disolución saturada.
- b) Masa (ton) de cristales obtenidos.
- c) Realizar el balance de materia para este proceso.

Respuestas: a) 0.30 ton, b) 9.91 ton.

7. Resolver el siguiente problema:

- a) ¿Qué cantidad de masa (g) de H_2O se necesita agregar para disolver una masa de 100.0 kg de sulfato de aluminio octadecahidratado $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}]$ y así obtener una disolución al 80.00% de saturación a una temperatura de 20 °C?
- b) Si la disolución anterior se alimenta a un cristizador que opera a una temperatura de 10 °C ¿Qué cantidad de masa (kg) de cristales se obtendrá?

Respuestas: a) 127.8 kg, b) No se forman cristales

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Chang R. y Golldsbey K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 12 ejercicios: 12.22, 12.24, 12.27-12.29

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., y Colaboradores (Avalos T., Blanco A., Palacios G., Ríos N.), (2011), QUÍMICA, 8ª Edición Especial, México, Cengage Learning.

Capítulo 14 ejercicios: 128-130

2.3 MISCIBILIDAD DE LÍQUIDOS EN LÍQUIDOS Y SOLUBILIDAD DE GASES EN LÍQUIDOS

Contenido

- ✓ Miscibilidad de líquidos en líquidos
- ✓ Solubilidad de gases en líquidos (Ley de Henry)

REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Las variaciones de la miscibilidad o solubilidad de alcoholes en agua y hexano a 20 °C.

Compuesto	Solubilidad en H ₂ O	Solubilidad en C ₆ H ₁₄
CH ₃ OH	∞	0.12
CH ₃ CH ₂ OH	∞	∞
CH ₃ CH ₂ CH ₂ OH	∞	∞
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH	0.11	∞
CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ OH	0.030	∞

(NOTA: ∞ significa que el alcohol y el agua son completamente miscibles)

Formular una regla de miscibilidad en función de la polaridad de las sustancias de acuerdo a los datos anteriores:

2. Imprimir la tabla de miscibilidad de disolventes editada por Cienytech (investigar en Internet), y determine si son miscibles o no las siguientes mezclas:

Compuesto	Compuesto	Miscible/ inmiscible
Agua	Tolueno	
Hexano	Benceno	
Agua	Eter Dietílico	
Etanol	Cloroformo	
Acetona	Benceno	

3. ¿Qué significa en términos de polaridad la frase “sustancias similares disuelven sustancias similares”?

4. La solubilidad de un gas en un líquido se puede calcular de acuerdo a la Ley de Henry, escribir la expresión y analizar cada uno de los términos correspondientes:

5. ¿En cuál de las siguientes condiciones conseguirías tener disuelta una mayor cantidad de oxígeno en cierto líquido? ()

a) $T = -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $P = 10^{-4}\text{atm.}$

b) $T = -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $P = 10^{+4}\text{atm.}$

c) $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $P = 10^{-4}\text{atm.}$

d) $T = 30^{\circ}\text{C}$ y $P = 10^{+4}\text{atm.}$

MISCIBILIDAD DE LÍQUIDOS EN LÍQUIDOS

Actividad 20. Miscibilidad

1. La clasificación de los disolventes en base a su polaridad se realiza en función de su conductividad eléctrica, siendo la siguiente:
 - a) Polares. Son sustancias que contienen grupos oxhidrilos o carbonilos. Estos líquidos son afines al H_2O y tienen altas constantes dieléctricas, alrededor de $7.2 \text{ C}^2/\text{J m}$ hasta más de $100 \text{ C}^2/\text{J m}$.
 - b) Medianamente Polar. Son hidrocarburos clorados, los cuales tienen muy bajo punto de ebullición y constantes dieléctricas alrededor de 4.3 hasta $6.5 \text{ C}^2/\text{J m}$.
 - c) No polar. Son químicamente inertes, tienen bajas constantes dieléctricas, menores que $4 \text{ C}^2/\text{J m}$ y no son afines al agua.

De acuerdo a la información anterior, clasificar los siguientes disolventes:

Disolvente	Constante dieléctrica	Tipo de disolvente
Cloroformo (CHCl_3)	4.8	
Tolueno (C_7H_8)	2.4	
Etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)	24.6	
Ácido acético (CH_3COOH)	6.2	
Nitrometano (CH_3NO_2)	35.9	
Trietilamina ($\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$)	2.4	
Éter etílico [$(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$]	4.3	
Benceno (C_6H_6)	2.3	
Agua (H_2O)	80.2	
Hexano (C_6H_{14})	1.9	

2. ¿Cuál(es) de los siguientes pares de líquidos no será miscible? ()

- a) H_2O y butano ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$)
- b) Benceno (C_6H_6) y tetracloruro de carbono (CCl_4)
- c) H_2O y ácido acético (CH_3COOH)

3. ¿Cuáles de las siguientes sustancias serán miscibles en H_2O y cuáles en benceno C_6H_6 ? : nitrato de sodio (NaNO_3), yodo (I_2), cloruro de amonio (NH_4Cl), éter dietílico ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$), naftaleno (C_{10}H_8), glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), octano (C_8H_{18}).

Solubles en H_2O	Solubles en C_6H_6

SOLUBILIDAD DE GASES EN LÍQUIDOS

Actividad 21. Aplicación de la Ley de Henry

Ejemplo de la actividad 21.

Calcular la masa (g) oxígeno y la masa (g) de nitrógeno disueltos en un volumen de 1.00 L de agua a una temperatura de 25 °C a una presión atmosférica de 640 torr. Utilizar la composición del aire como 20% mol de oxígeno y 80% mol de nitrógeno.

1. Calcular las presiones parciales:

$$P_{O_2} = X_{O_2} P_t = 0.20 (640 \text{ torr}) = 128 \text{ torr}$$

$$P_{N_2} = X_{N_2} P_t = 0.80 (640 \text{ torr}) = 512 \text{ torr}$$

2. Calcular la concentración de O_2 y N_2 por medio de la Ley de Henry :

$$C_{O_2} = P_{O_2} K_H = (128 \text{ torr})(1.66 \times 10^{-6} \text{ M/torr}) = 2.12 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$C_{N_2} = P_{N_2} K_H = (512 \text{ torr})(8.42 \times 10^{-7} \text{ M/torr}) = 4.31 \times 10^{-4} \text{ M}$$

3. Calcular la masa para 1.00 L de agua

$$2.12 \times 10^{-4} \text{ moles de } O_2 \left[\frac{32 \text{ g de } O_2}{\text{mol de } O_2} \right] = 6.78 \times 10^{-3} \text{ g de } O_2$$

$$4.31 \times 10^{-4} \text{ moles de } N_2 \left[\frac{28 \text{ g de } N_2}{\text{mol de } N_2} \right] = 1.21 \times 10^{-2} \text{ g de } N_2$$

1. La constante de Henry para el CO_2 en agua a una temperatura de 25 °C es $4.48 \times 10^{-5} \text{ M/torr}$ ¿Cuál es la concentración (g/L) del CO_2 en H_2O cuando la presión parcial del CO_2 es 0.33 atm?

Respuesta: 0.49 g CO_2 /L

2. ¿Cuál será la concentración (g/L) de O_2 en H_2O que se encuentra en equilibrio con el aire a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y presión de 1.00 atm ? Considerar que la fracción molar de O_2 en el aire es 0.200 y la constante de Henry para el O_2 a esta temperatura es $1.66 \times 10^{-6}\text{ M/torr}$.

Respuesta: $8.07 \times 10^{-3}\text{ g }O_2/L$

3. Una bebida gaseosa sin abrir tiene una concentración de bióxido de carbono (CO_2) de 0.0516 M a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- a) ¿Cuál será la presión (atm) del CO_2 ejercida dentro del envase que contiene la bebida?
- b) Si a la misma temperatura de 25°C se abre el envase y la concentración de CO_2 es de $9.5 \times 10^{-6}\text{ M}$ ¿cuál será la presión (atm) del CO_2 ejercida dentro del envase?

Respuestas: a) 1.51 atm , b) 0.00028 atm

4. La presión parcial del oxígeno en los pulmones varía de 25 mmHg a 40 mmHg .
- a) ¿Cuál es la masa (g) de oxígeno que se podrá disolver en 1.0 L de sangre a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, si se tuviera la mayor presión parcial de oxígeno (40 mmHg)? Suponer que la densidad de la sangre y del agua es la misma.
- b) Explicar: ¿Qué sucede cuando un pulmón se colapsa?

Respuesta: a) $2.1 \times 10^{-3}\text{ g}$ de oxígeno

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 13 ejercicios: 13.29, 13.30, 13.31, 13.33

Chang R. y Golldsbby K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 12 ejercicios: 12.12, 12.36, 12.38

CAPÍTULO 3

PROPIEDADES COLIGATIVAS DE LAS DISOLUCIONES

Las disoluciones poseen propiedades muy interesantes denominadas propiedades coligativas. La palabra “coligativa” quiere decir “colección”, significa entonces que dependen sólo del número de partículas de soluto en la disolución y no de la naturaleza de las partículas del soluto. Un ejemplo de estas propiedades es la presión osmótica, que tiene influencia en diversos procesos vitales que suceden en nuestro organismo, en los sistemas de purificación de agua, en diversos procesos que suceden en la naturaleza, etc.

3. PROPIEDADES COLIGATIVAS

Contenido

- Conceptos básicos
- Descripción cualitativa y cuantitativa de las Propiedades Coligativas de las Disoluciones

REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué significa propiedad coligativa?

2. De acuerdo a la ley de Raoult escribir la expresión para calcular la presión vapor de la disolución cuando se tiene un:

a) Soluto no volátil

b) Soluto volátil

c) De acuerdo al inciso b) escribir la analogía que existe entre la ley de Raoult y la Ley de Dalton

3. Escribir las fórmulas para calcular las siguientes propiedades coligativas de las disoluciones:

Propiedad coligativa	Fórmula
Cambio en la presión de vapor, ΔP_v	
Cambio en el punto de ebullición, ΔT_b	
Cambio en el punto de fusión, ΔT_f ,	
Presión osmótica, π .	

4. Explicar el significado del factor de van't Hoff y su expresión matemática. ¿Para qué tipo de solutos se aplica?

5. Enunciar la ecuación matemática para obtener el porcentaje de ionización (% α).

6. Explicar el significado cuando el factor de van't Hoff (i) es menor a 1 y mayor de 1.
-

7. Se tienen dos disoluciones "A" y "B". Se tiene una misma temperatura, en donde la disolución "A" tiene una mayor presión osmótica que la disolución "B", por lo tanto se puede decir que: ()

- a) La disolución "A" es hipotónica b) La disolución "B" es hipertónica
c) La disolución "A" es hipertónica d) Las dos disoluciones son isotónicas

3.1 CONCEPTOS BASICOS

Contenido

- Definición de propiedades coligativas

Actividad 22. Definición de propiedad coligativa

1. Es la propiedad que depende de la cantidad de partículas de soluto presentes en una disolución ()
- a) Aditiva b) Coligativa c) Intensiva d) Extensiva
2. Es una propiedad coligativa. ()
- a) Cristalización b) Hidratación c) Presión osmótica d) Dilución

3.2 DESCRIPCIÓN CUALITATIVA DE LAS PROPIEDADES COLIGATIVAS

Actividad 23. Conceptos básicos

1. Realizar un diagrama de fases que represente una disolución que contenga H_2O como disolvente y un soluto no volátil para después identificar en el diagrama:
 - a) Un punto de fusión del componente puro.
 - b) Un punto de fusión de la disolución.
 - c) El cambio en el punto de fusión de acuerdo a los incisos a y b.
 - d) Un punto de ebullición del componente puro.
 - e) Un punto de ebullición de la disolución.
 - f) El cambio en el punto de ebullición de acuerdo a los incisos d y e.

Diagrama de fases ilustrando la elevación del punto de ebullición, ΔT_b	Diagrama de fases ilustrando la disminución del punto de congelación, ΔT_f

2. ¿Cuál es la fórmula para calcular el cambio en el punto de ebullición de una disolución cuyo soluto es no volátil? ()
- a) $\pi = MRT$ b) $\Delta T_b = K_b m$ c) $\Delta T_f = K_f m$ d) $\Delta P_v = P_v^\circ - P_{v\text{disolución}}$
3. La siguiente fórmula $\Delta T_f = K_f m$, es útil para calcular: ()
- a) Cambio en el punto de sublimación.
 b) Cambio en el punto de congelación.
 c) Cambio en el punto de deposición.
 d) Cambio en el punto de ebullición.
4. ¿Cuál es el símbolo de la constante molal ebulloscópica? ()
- a) K_f b) K_b c) P_v d) R
5. Las unidades para la constante molal crioscópica (K_f) son: ()
- a) $^\circ\text{C}/m$ b) m/L c) $^\circ\text{C}/L$ d) m/kg
6. Es la presión que ejerce un vapor en equilibrio con su líquido y solamente depende de la temperatura. ()
- a) Presión osmótica c) Presión de vapor
 b) Presión parcial d) Presión atmosférica
7. El abatimiento de la presión vapor en una disolución ideal se expresa con la Ley de: ()
- a) Raoult b) van't Hoff c) Henry d) Dalton
8. La ecuación que relaciona la presión parcial y la solubilidad de un soluto gaseoso en una disolución se expresa en términos de la ecuación $C_g = K P_g$ llamada Ley de: ()

- a) Raoult b) Antoine c) Henry d) Gases ideales

9. El factor de van't Hoff se utiliza en las disoluciones formadas con: ()

- a) Solute volátil y electrolito c) Solute no volátil y electrolito
b) Solute volátil y no electrolito d) Solute no volátil y no electrolito

10. Es el paso de manera natural a través de una membrana semipermeable de un disolvente desde un comportamiento de menor concentración hacia uno de mayor concentración hasta alcanzar el equilibrio. ()

- a) Ósmosis b) Hidratación c) Miscibilidad d) Deshidratación

3.3 DESCRIPCIÓN CUANTITATIVA DE LAS PROPIEDADES COLIGATIVAS

Contenido

- Disolución formada por disolvente volátil y soluto no volátil no electrolito
- Disolución formada por disolvente volátil, y un soluto electrolito no volátil

Actividad 24. Conceptos básicos

1. Investigar las propiedades para cada uno de los compuestos y completar la siguiente tabla:

Disolvente	Fórmula química	Punto de fusión normal	K_f	Punto de ebullición normal	K_b
Agua					
Tetracloruro de carbono					
Cloroformo					
Benceno					
Tolueno					

Actividad 25. Disolución formada por disolvente volátil y soluto no volátil no electrolito

Ejemplo de la actividad 25.

Propiedades coligativas con sustancias no electrolíticas:

Ejemplo.

El punto de congelación del alcanfor puro es 178.4 °C y su constante crioscópica (K_f) es 40.0 °C/m. Encuentre el punto de congelación de una disolución que contiene 1.50 g de un compuesto (masa molar =125 g/mol) en 35.0 g de alcanfor.

Calcular los moles del compuesto para determinar la m de la disolución:

$$1.50 \text{ g de compuesto} \left[\frac{1.00 \text{ mol de compuesto}}{125 \text{ g de compuesto}} \right] = 0.0120 \text{ moles de compuesto}$$

$$m = \frac{\text{moles}}{\text{kg de disolvente}} = \frac{0.0120 \text{ moles}}{0.0350 \text{ kg de alcanfor}} = 0.343 \text{ m}$$

$$t_{f \text{ disol'n}} = t^\circ - K_f m = 178.4 \text{ °C} - (40.0 \text{ °C/m})(0.343 \text{ m}) = 165 \text{ °C}$$

1. Cuando se disuelve una masa de 6.00 g de una sustancia no electrolito en una masa de 54.0 g de H₂O, se obtiene una disolución que tiene un punto de ebullición a una temperatura de 100.41 °C y presión de 1 atm. Calcular la masa molar (g/mol) de la sustancia. Para el H₂O la constante ebulloscópica (K_b) es igual a 0.512 °C/m.

Respuesta: 139 g/mol.

2. ¿Cuál es la masa (g) de glicerina [C₃H₅(OH)₃] (soluto no volátil, no electrolito), que debe disolverse en una masa de 600.0 g de H₂O para obtener una disolución que tiene un punto de congelación a una temperatura de -4 °C y presión de 1.0 atm?

Respuesta: 118.7 g

3. Se preparó una disolución con una masa de 50.0 g de etilenglicol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$), sustancia no electrolito y no volátil y una masa de 50.0 g de H_2O . Calcular la presión de vapor de la disolución a una temperatura de 40.0°C . La presión de vapor del H_2O pura a 40.0°C es 55.324 mmHg.

Respuesta: 42.9 mmHg.

4. La presión osmótica de la sangre es 7.65 atm a una temperatura de 37.0°C . Se desea preparar un volumen de 2.50 L de disolución de glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) para una inyección intravenosa. ¿Cuántos gramos de glucosa deberá contener para que la disolución y la sangre sean isotónicas?

Respuesta: 135 g.

5. Se tiene una mezcla de una masa de 5.0 g formada por naftaleno (C_{10}H_8) y antraceno ($\text{C}_{14}\text{H}_{10}$) disuelta en una masa de 300 g de benceno (C_6H_6). Se observa que la disolución tiene un punto de congelación a una temperatura de 4.85°C . Se conoce que a estas condiciones el benceno puro tiene un punto de congelación a una temperatura de 5.48°C y su K_f es $5.12^\circ\text{C}/\text{m}$. ¿Cuál es la masa (g) de cada soluto en la mezcla original?

Respuestas: 4.0 g naftaleno y 1.0 g de antraceno

Actividad 26. Disolución formada por disolvente volátil, y un soluto electrolito no volátil

Ejemplo de la actividad 26.

Propiedades coligativas de electrolitos fuertes y débiles:

Ejemplo:

Se determinó que el punto de congelación de una disolución acuosa de HF con concentración 0.100 m fue de $-0.24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Calcular:

a) Factor de van't Hoff.

b) Calcular el % de ionización del HF.

a) Calcular la molalidad de las partículas totales y el factor de van't Hoff:

$$t_{f\text{ disol'n}} = t^{\circ} - K_f m$$

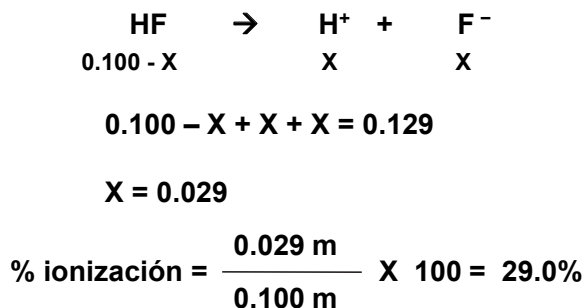
$$-0.24\text{ }^{\circ}\text{C} = 0\text{ }^{\circ}\text{C} - (1.86\text{ }^{\circ}\text{C/m})(m\text{ partículas totales})$$

$$m\text{ partículas totales} = \frac{-0.24\text{ }^{\circ}\text{C}}{-1.86\text{ }^{\circ}\text{C/m}} = 0.129\text{ m}$$

$$i = \frac{0.129\text{ m partículas totales}}{0.100\text{ m disolución}} = 1.29$$

Este valor indica que es un electrolito que no se ioniza al 100%. Enseguida se calcula cuánto es lo que se ha ionizado.

b) Calcular cuanto se ioniza el HF por medio de una ecuación basada en la reacción.



1. Ordenar las siguientes disoluciones acuosas en forma decreciente de acuerdo al punto de fusión (suponer que las sustancias se disocian al 90%): a) 0.1 m de cloruro de sodio (NaCl), b) 0.08 m de cloruro de calcio (CaCl₂), c) 0.04 m de sulfato de sodio (Na₂SO₄).
-

2. ¿Cuál es la masa (g) de nitrato de Magnesio [Mg(NO₃)₂] que está disuelta en una masa de 100 g de H₂O formando una disolución que tiene un punto de ebullición de 101.22 °C a una presión de 1.00 atm? (suponer que el Mg(NO₃)₂ se ioniza 100%).

Respuesta: 11.8 g

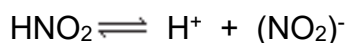
3. Una masa de 1.16 g de ácido acético (C₂H₄O₂) es disuelta en una masa de 50 g de benceno (C₆H₆), el descenso del punto de congelación de la disolución obtenida es de 1.024 °C. Para el benceno K_f es igual a 5.12 °C/m. Describir el estado del ácido acético en la disolución.

Respuesta: Se dimeriza.

4. Se prepara una disolución de una sal que tiene una masa molar de 142.1 g/mol. Se disuelve una masa de 2.84 g de la sal en una masa de 500 g de H₂O. Se observa que la disolución tiene un punto de congelación de -0.223 °C. ¿Cuál es el valor del Factor de van'tHoff (i) de la sal?

Respuesta: i = 3

5. El ácido nitroso (HNO₂) se disuelve en H₂O disociándose parcialmente según la ecuación:



Se prepara una disolución que contiene una masa de 7.05 g de HNO_2 en una masa de 1000 g de H_2O . El punto de congelación de la disolución es de -0.2929°C . Calcular el porcentaje de disociación del HNO_2 .

Respuesta: 5.00%

6. ¿Cuál es la masa (g) de cloruro de potasio (KCl) que debe disolverse en H_2O para obtener un volumen de 1.00 L de disolución que tenga una presión osmótica de 1.00 atm a una temperatura de 25.0°C ?

Respuesta: 1.52 g.

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 13 ejercicios: 13.67, 13.75, 13.77.

Chang R. y Golldsbey K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 12 ejercicios: 12.89, 12.92, 12.108, 12.111, 12.136

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015), QUÍMICA, 10ª Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 14 ejercicios: 53, 60, 62, 74, 79

3.4 DISOLUCIONES DE LÍQUIDOS VOLÁTILES

Contenido

- Aplicación de la Ley de Raoult para cada componente.
- Diagrama de presión en función de la composición de la fase líquida y fase vapor.
- Diagrama de temperatura en función de la fracción mol en fase líquida y fase vapor.
- Sistemas Reales.

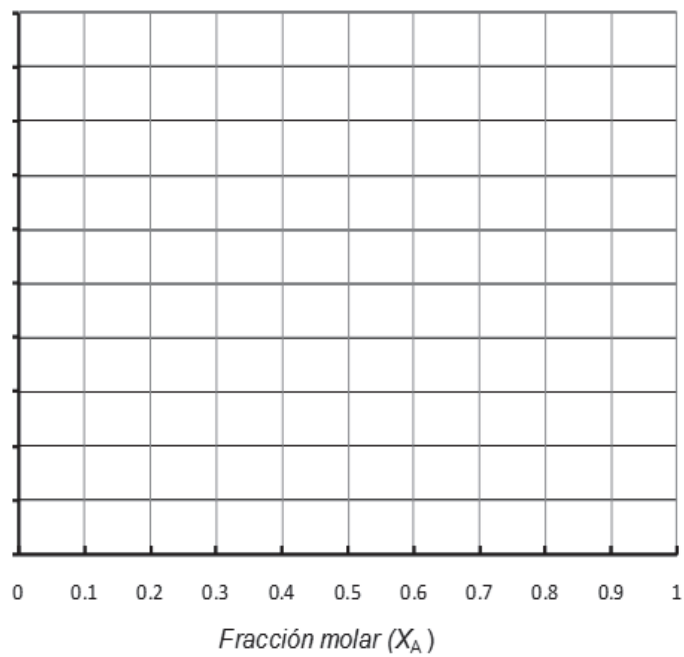
REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Escribir la expresión matemática de la Ecuación de Antoine y ¿cuál es su utilidad? (fotocopiar la tabla que contiene las constantes de Antoine).

2. Definir Azeótropo e investigar tres ejemplos.

3. Graficar en el siguiente recuadro un ejemplo de desviación positiva o negativa del punto de ebullición de una disolución de acuerdo a la Ley de Raoult.

Tb de la disolución
(°C)



Actividad 27. Aplicación de la Ley de Raoult para cada componente

Ejemplo de la actividad 27.

Presión vapor de una disolución de componentes volátiles:

Las sustancias A y B forman disoluciones ideales, se mezclaron 3 moles de A y 2 moles de B a una temperatura de 30 °C. A esta temperatura la presión de vapor de A puro es de 150 torr y la presión de vapor de B es de 225 torr. Determinar la presión de vapor de la disolución.

De la Ley de Raoult :

$$P_{\text{vdisolución}} = P_A^{\circ} X_A^L + P_B^{\circ} X_B^L$$

Calcular la fracción molar para A y B:

$$X_A = \frac{3 \text{ moles}}{5 \text{ moles}} = 0.60 \quad X_B = \frac{2 \text{ moles}}{5 \text{ moles}} = 0.40$$

$$P_{\text{v disolución}} = 150 \text{ torr} (0.60) + 225 \text{ torr} (0.40) = 180 \text{ torr}$$

1. A una temperatura de 20 °C la presión de vapor del metanol (CH₃OH) es 94 torr y la del etanol (C₂H₅OH) es 44 torr. Esta disolución sigue fielmente la Ley de Raoult en cualquier concentración. Si se mezcla una masa de 100 g de metanol con una masa de 20 g de etanol, calcular:

- a) La presión parcial de cada componente.
- b) La composición en el vapor de cada componente sobre la disolución.

Respuestas: a) 83 torr de metanol y 5.4 torr de etanol, b) $Y_{\text{metanol}} = 0.94$ y $Y_{\text{etanol}} = 0.060$

2. Una disolución preparada a una temperatura de 30 °C a partir de una masa de 50.00 g de benceno (C_6H_6) y una masa de 50.00 g de tolueno (C_7H_8) tiene una presión de vapor de 80.80 mmHg. Otra disolución a la misma temperatura, preparada a partir de una masa de 25.00 g de benceno (C_6H_6) y una masa de 75.00 g de tolueno (C_7H_8) tiene una presión de vapor de 59.90 mmHg. Calcular las presiones de vapor de las sustancias puras a una temperatura de 30 °C.

Respuestas: P_v° de C_6H_6 117.8 mmHg, P_v° de C_7H_8 37.14 mmHg

3. Una disolución de butano (C_4H_{10}) y pentano (C_5H_{12}) tiene una presión de vapor total de 3 atm a la temperatura de 37.8°C. A esta temperatura las presiones vapor de las sustancias puras son: 2650 y 830 mmHg, respectivamente. Si esta disolución sigue fielmente la ley de Raoult calcular:

a) Fracción mol del C_4H_{10} en la fase líquida

b) Fracción mol del C_4H_{10} en la fase vapor

Respuestas: a) $X_{C_4H_{10}} = 0.7967$, b) $Y_{C_4H_{10}} = 0.9258$

4. A 30°C La Presión de vapor de A y B como solventes puros son 119 Torr y 37 Torr respectivamente, si se tiene una disolución equimolar. Calcular:
- a) La presión de la disolución.
- b) La composición en la fase vapor de cada componente.

Respuestas: a) 78 Torr b) $Y_A = 0.76$ $Y_B = 0.24$

5. Se desea preparar una disolución de benceno (C_6H_6) y tolueno (C_7H_8) que tenga un punto de ebullición de 90 °C, a una presión atmosférica de 640 mmHg. Las presiones de vapor a 90 °C para los componentes puros son 1000 mmHg y 410 mmHg respectivamente. Calcular:

- a) Fracción mol en fase líquida
b) Fracción mol en la fase vapor en equilibrio.

Respuestas: a) $X_{C_6H_6} = 0.39$ y $X_{C_7H_8} = 0.61$, b) $Y_{C_6H_6} = 0.61$ y $Y_{C_7H_8} = 0.39$

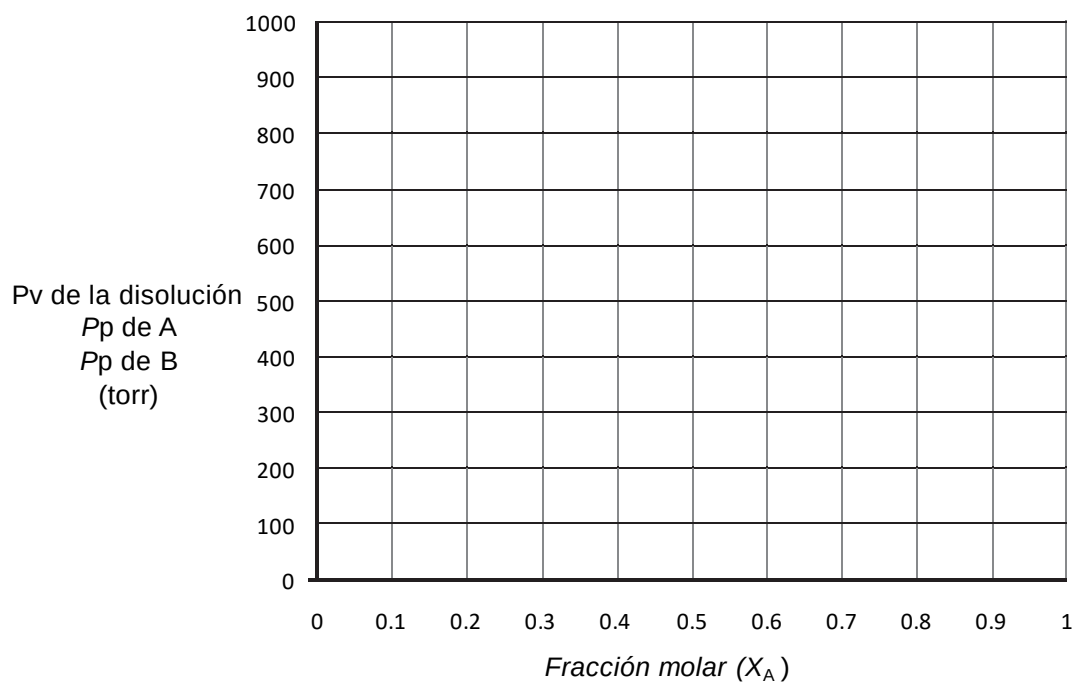
Actividad 28. Diagrama de presión en función de la composición de la fase líquida y fase vapor

1. Suponiendo que a temperatura constante se prepara una disolución ideal con sustancias líquidas volátiles “A” y “B”, completar la siguiente tabla:

X_A	X_B	P_A (mmHg)	P_B (mmHg)	P_{Total} (mmHg)	Y_A	Y_B
0.0			400 mmHg			
0.2						
0.4						
0.6						
0.8						
1		1000 mmHg				

- a) Con los datos de la tabla anterior construir un diagrama presión vs. fracción mol (en fase líquida y fase vapor) que contenga:

- Presión parcial de A vs. fracción mol de A en fase líquida
- Presión parcial de B vs. fracción mol de B en la fase líquida.
- Presión de la disolución vs. fracción mol de A en fase líquida y vapor.



b) Obtener gráficamente la presión de vapor de la disolución cuando la fracción mol de “B” en la fase líquida es 0.7.

c) Comparar con la presión de vapor obtenida utilizando el modelo matemático.

Actividad 29. Diagrama de temperatura en función de la fracción mol en fase líquida y fase vapor

- La mezcla de benceno-tolueno (C_6H_6 - C_7H_8) forma disoluciones ideales en cualquier concentración. Utilizando la ecuación de Antoine, la Ley de Raoult y la Ley de Dalton, completar la siguiente tabla a nivel del mar:

Temperatura (°C)	P° (C_6H_6) torr	P° (C_7H_8) torr	X (C_6H_6)	Y (C_6H_6)
80.1	760 torr			
86				
90				
94				
96				
98				
100				
104				
108				
110.6		760 torr		

- Con los datos obtenidos en la tabla anterior construir un diagrama (Punto de ebullición vs. fracción mol del benceno en fase líquida y en fase vapor), y utilizar la gráfica para resolver los siguientes ejercicios:

a) ¿Cuál será el punto de ebullición cuando se mezcla una masa de 50 g de benceno con una masa de 50 g de tolueno?

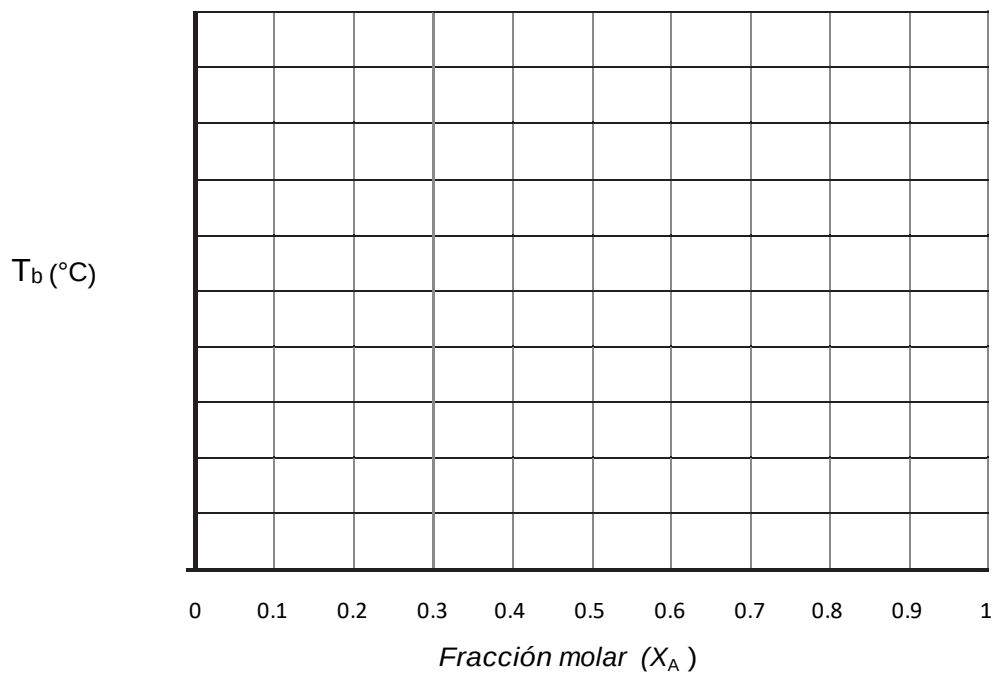
b) ¿Cuál será el punto de ebullición de una disolución equimolar en benceno-tolueno?

- c) ¿Cuál será la composición mol de ambos componentes en la fase líquida y fase vapor en equilibrio a una temperatura de 95 °C?

Actividad 30. Sistemas Reales

1. Escribir tres ejemplos de disoluciones de líquidos que no sigan la Ley de Raoult (disoluciones azeotrópicas o reales).

2. Investigar un diagrama de azeótropos o un sistema real (temperatura de ebullición vs. fracción mol en fase líquida y en fase vapor en el equilibrio).



EJERCICIOS RECOMENDADOS

Chang R. y Golldsby K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 12 ejercicios: 12.53, 12.86, 12.128, 12.129

Petrucci R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), *QUÍMICA GENERAL*, Undécima Edición, Eslovenia, Pearson Educación.

Capítulo 14 ejercicios: 53, 55, 57.

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015), QUÍMICA, 10ª Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 14 ejercicios: 37, 38.

Actividad 31. Ejercicios de Integración

1. Se tiene un volumen de 250 mL de una disolución acuosa que contiene 25.0% en masa de glucosa ($C_6H_{12}O_6$). La densidad de la disolución es 1.11 g/cm^3 . Calcular:
- a) Temperatura de ebullición de la disolución a la presión de 1 atm.
 - b) Temperatura de congelación de la disolución a la presión de 1 atm.
 - c) Presión osmótica de la disolución a una temperatura de 37°C .
 - d) Presión de vapor de la disolución a una temperatura de 37°C . La presión de vapor del agua pura a la temperatura de 37°C es 47.1 torr.

Respuestas: a) 100.948°C , b) -3.44°C , c) 39.213 atm , d) 45.6 torr .

2. Las feromonas son compuestos secretados por las hembras de muchas especies de insectos para atraer a los machos. Uno de estos compuestos contiene 80.80% de C, 13.50% de H, y 5.700% de O. Una disolución contiene una masa de 1.000 g de feromona disuelta en una masa de 8.500 g de benceno y se congela a una temperatura de 3.370°C . La temperatura de fusión del benceno puro es 5.500°C y su K_f es 5.120°C/m . Calcular:
- a) Masa molar de la feromona.
 - b) Fórmula empírica y fórmula molecular de la feromona.

Respuestas: a) 282.8 g/mol , b) $C_{19}H_{38}O$

3. A una temperatura de 25°C una disolución acuosa que tiene una concentración 1.25 m de $SrCl_2$ se ioniza 80% y su densidad es 1.25 g/cm^3 . Calcular:
- a) Temperatura de ebullición de la disolución a nivel del mar.
 - b) Temperatura de congelación de la disolución a nivel del mar.
 - c) Presión osmótica de la disolución a la temperatura de 25°C .

d) Presión de vapor de la disolución a la temperatura de 25 °C. La presión de vapor del agua pura a temperatura de 25 °C es 23.76 torr.

Respuestas: a) 101.664 °C, b) -6.045 °C, c) 82.90 atm, d) 22.4467 torr.

4. Las disoluciones acuosas de propilenglicol son utilizadas para diversas aplicaciones: como anticongelante, humectante, plastificante, fluido hidráulico, solvente, agente transmisor de calor en tubos refrigerantes y electrónicos, usado en la síntesis de fibras poliéster, productos cosméticos, lacas, tintas de imprenta, para madera y para cueros, entre otras cosas. Cuando se utiliza como anticongelante las disoluciones deben ser al 60% volumen para que tenga efectividad (densidad 1.055g/cm³). Si se requiere preparar 10 L de anticoagulante. Calcular:

a) La masa (g) de propilenglicol (C₃H₈O₂) necesaria para los 10 L. (densidad del C₃H₈O₂ igual a 1.036 g/cm³).

b) La molaridad (M) del anticongelante.

c) El punto de fusión y el punto de ebullición del anticongelante a nivel del mar.
¿El anticongelante podrá funcionar en Alaska donde se llegan a tener temperaturas mínimas de hasta -62 °C?

Respuesta: a) 6.2 x10³ g; b) 8.2 M; c) 110 °C, -35 °C, no funciona

5. El método de "fertirriego" combina la aplicación de agua de riego con los fertilizantes, es decir, los nutrientes son aplicados en forma exacta y uniforme solamente al volumen radicular humedecido, donde están concentradas las raíces activas. El control preciso de la tasa de aplicación de los nutrientes optimiza la fertilización, reduciendo el potencial de contaminación del agua subterránea causado por el lixiviado de fertilizantes. Un pre-requisito esencial para el uso de fertilizantes sólidos en fertirriego es su completa disolución en agua. Los agricultores pueden preparar sus disoluciones madre nutritivas disolviendo y mezclando dichos fertilizantes simples, obteniendo así

formulaciones "a medida" con distintas concentraciones y relaciones N: P:K, de acuerdo a las necesidades nutricionales de cada cultivo y de cada etapa fisiológica.

Si se tiene una disolución madre saturada de KCl a una temperatura promedio de 40°C. Calcular:

- a) El % masa de la disolución madre (C_s 40.0 g /100 g de H_2O a 40 °C).
- b) La masa (kg) necesaria de disolución madre, para preparar 10 kg de disolución que aporte el 20% de potasio.
- c) Las disoluciones fertilizantes preparadas en el verano y almacenadas durante el otoño forman precipitados debido a la reducción de la solubilidad con la disminución de la temperatura. Por eso se recomienda diluir las disoluciones almacenadas a fines del verano. ¿Qué masa (g) de H_2O deberá agregarse por cada 100 g de disolución madre para evitar la cristalización en el invierno? (tome como referencia una temperatura promedio de 10 °C, C_s 31 g/100 g de H_2O).

Respuesta: a) 28.6%; b) 13.4 kg disolución madre; c) 92.2 g

CAPÍTULO 4

CINÉTICA QUÍMICA

El campo de la química que estudia la velocidad de las reacciones se denomina Cinética Química. Por medio de las reacciones químicas se convierten sustancias con propiedades establecidas, en otras sustancias con propiedades diferentes. Algunas reacciones suceden en fracciones de segundo como las explosiones, sin embargo, otras se completan en miles o incluso millones de años como la formación de diamantes u otros minerales de la corteza terrestre. Este tema es de gran importancia pues tiene aplicación en todas las áreas del conocimiento, como por ejemplo: la rapidez con la que un medicamento actúa, la formación o el agotamiento del ozono, el crecimiento de un microorganismo, el tiempo en el que fragua un empaste dental, la caducidad de un alimento o un medicamento, etc. Por otro lado, en los sistemas donde se lleva a cabo una reacción química, como en todo proceso, resulta indispensable mejorar su productividad; por lo que es inminente conocer cuáles son los factores que están involucrados en la velocidad de la reacción y cómo podemos manipularlos para obtener una mejor eficiencia en el proceso.

4.1 VELOCIDAD DE REACCIÓN

Contenido

- Conceptos básicos de velocidad de reacción
- Velocidad media de reacción
- Velocidad de reacción y la estequiometría

REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué estudia la cinética química?

2. Escribe los factores que afectan la velocidad de una reacción.

3. ¿Qué entiendes por velocidad de reacción? ¿Cuál es la ecuación que describe la velocidad media de reacción? ¿Cuáles son las unidades utilizadas en su medición?

4. ¿Qué entiendes por velocidad instantánea de una reacción?

5. Escriba la expresión de velocidad para cada uno de los reactivos y productos de la siguiente reacción química:



6. Escribir la expresión matemática para la ley de velocidad en función de concentraciones. ¿Qué significan los exponentes m , n , etc., que aparecen en la ecuación de velocidad de una reacción?

7. ¿Cómo se llama y qué significa la constante k , que aparece en la ecuación de velocidad de una reacción?

8. Si en una reacción: $A \rightarrow P$, se observa que cuando se duplica la concentración inicial de A, la velocidad inicial de la reacción permanece constante ¿Cuál es el orden de reacción de A? ()

A) Cero B) Primer C) Segundo A) Tercer

9. Si en una reacción: $A \rightarrow P$, se observa que cuando se duplica la concentración inicial de A, la velocidad inicial de la reacción también se duplica ¿Cuál es el orden de reacción de A?

A) Cero B) Primer C) Segundo B) Tercer

10. Completar el resumen de la siguiente tabla con respecto a la Ley de Velocidad

- a) **La ley de velocidad** expresa la relación de la velocidad de una reacción con:

la _____ y la _____

- b) El orden de un reactivo **no está** relacionado con los _____
_____ del reactivo en la ecuación balanceada.

Actividad 32. Conceptos básicos de velocidad de reacción

Ejemplo de la actividad 32.

La descomposición del pentóxido de dinitrógeno, N_2O_5 , ocurre de acuerdo a la siguiente reacción:



En un experimento donde se descompone 0.160 moles/L de N_2O_5 se ha encontrado que a los 4 minutos de iniciada la reacción se tiene una concentración de 0.120 M de NO_2 .

Calcular la velocidad media de descomposición y la velocidad de la reacción.

Por estequiometría calculamos la concentración final del N_2O_5 :

si tomamos como base 1.0 L :

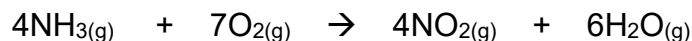
$$0.120 \text{ moles de NO}_2 \left[\frac{2 \text{ moles de N}_2\text{O}_5}{4 \text{ moles de NO}_2} \right] = 0.060 \text{ moles de N}_2\text{O}_5 \text{ han reaccionado}$$

$$\text{Velocidad de descomposición} = - \left[\frac{[\Delta \text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t} \right] = \left[\frac{(0.160 - 0.100) \text{ M}}{(0 - 4) \text{ min}} \right] = 1.5 \times 10^{-2} \text{ Mmin}^{-1}$$

Para la velocidad de la reacción:

$$\text{Velocidad de reacción (r)} = \frac{1}{4} \left[\frac{[\Delta \text{NO}_2]}{\Delta t} \right] = \frac{1}{4} \left[\frac{0.120 \text{ M}}{4 \text{ min}} \right] = 7.5 \times 10^{-3} \text{ Mmin}^{-1}$$

1. ¿Cuál sustancia aparece o desaparece a mayor velocidad en la siguiente reacción? ()



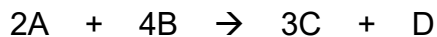
a) NH_3

b) O_2

c) NO_2

d) H_2O

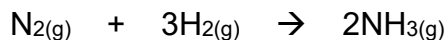
2. Para la siguiente reacción: ()



¿Cuál expresión de la velocidad de reacción es correcta?

a) $r = -(1/2) \frac{d[A]}{dt}$ b) $r = -(1/3) \frac{d[C]}{dt}$ c) $r = -\frac{d[D]}{dt}$ d) $r = (1/4) \frac{d[B]}{dt}$

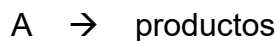
3. En la siguiente reacción:



la velocidad de formación del amoníaco (NH₃) es 1.54 M/min. ¿La velocidad de desaparición del hidrógeno (H₂) es? ()

a) 1.54 M/min b) 2.31 M/min c) 3.08 M/min d) 4.62 M/min

4. Se tienen los siguientes datos para la reacción:



t (s)	0	5	10	15	20
[A] M	0.20	0.14	0.10	0.071	0.050

¿Cuál es la velocidad promedio del reactante A en el intervalo de tiempo 10 s y 20 s? ()

a) 0.005 M/s b) 0.006 M/s c) 0.008 M/s d) 0.002 M/s

Actividad 33. Velocidad media de una reacción

Ejemplo de la actividad 33.

En un experimento donde:



Se determinó que la ley de velocidad es $r = k[A]^2$

Que sucederá si:

- a) Se duplica la concentración de A
- b) Se triplica la concentración de A y la concentración de B.

Solución:

- a) Si se duplica A de acuerdo con la ley de velocidad tenemos:

$$\begin{aligned} r &= k[A]^2 \\ r_2 &= k[2A]^2 = 4k[A]^2 \end{aligned}$$

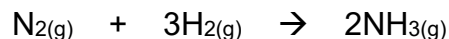
entonces la velocidad aumenta en un factor de 4

- b) si se triplican las concentraciones de A y B, de acuerdo a la ley de velocidad esta no depende de B, solo de A por lo tanto:

$$\begin{aligned} r &= k[A]^2 \\ r_2 &= k[3A]^2 = 9k[A]^2 \end{aligned}$$

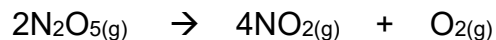
entonces la velocidad aumenta en un factor de 9.

1. Completar las afirmaciones siguientes con relación a la producción de amoníaco (NH_3) por el proceso Haber, de acuerdo a la reacción global:



- a) La velocidad de desaparición del nitrógeno (N_2) es ____ veces la velocidad de desaparición del hidrógeno (H_2);
- b) La velocidad de formación del amoníaco (NH_3) es ____ veces la velocidad de desaparición del hidrógeno (H_2).
- c) La velocidad de formación del amoníaco (NH_3) es ____ veces la velocidad de desaparición del nitrógeno (N_2).

2. Completar las siguientes afirmaciones para la reacción:



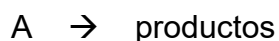
- a) La velocidad de desaparición del pentóxido de dinitrógeno (N_2O_5) es ____ veces la velocidad de formación del oxígeno (O_2).
- b) La velocidad de formación de dióxido de nitrógeno (NO_2) es ____ veces la velocidad de desaparición del pentóxido de dinitrógeno (N_2O_5).
- c) La velocidad de formación del oxígeno (O_2) es ____ veces la velocidad de desaparición del pentóxido de dinitrógeno (N_2O_5).

3. En la siguiente reacción:



- a) La velocidad de formación del ión cloruro (Cl^-) es 3.6 M/s. ¿Cuál es la velocidad de formación del ión clorato (ClO_3^-)?
- b) ¿Cuál es la velocidad de desaparición del ión hipoclorito (ClO^-)?
- c) ¿Cuál es la velocidad total de reacción?

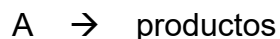
4. Para la siguiente reacción:



se encuentra que la concentración de A tiene un valor de 0.485 M cuando el tiempo transcurrido es 71.5 s y de 0.474 M cuando el tiempo transcurrido es 82.4 s. ¿Cuál será la velocidad media de la reacción durante este intervalo de tiempo?

Respuesta: 1.01×10^{-3} M/s

5. Para la siguiente reacción:



inicialmente la concentración de A es 0.1565 M, después de 1.0 min de iniciada la reacción la concentración de A es 0.1498 M y después de 2.0 min de iniciada la reacción la concentración de A es 0.1433 M.

- a) Calcular la velocidad media de la reacción durante el primer minuto y durante el segundo minuto.
- b) ¿Por qué no son iguales estas dos velocidades?

Respuestas: a) 6.7×10^{-3} M/min. y 6.5×10^{-3} M/min.

6. En la siguiente reacción:



la velocidad de reacción es igual a 1.76×10^{-5} M/min en el momento en el cual la concentración de A es igual a 0.3580 M.

- a) ¿Cuál es la velocidad de formación de C?
- b) ¿Cuál es el valor de la concentración de A a 1.00 minutos después de iniciada la reacción?
- c) Suponer que la velocidad se mantiene en 1.76×10^{-5} M/min. ¿Cuánto tiempo será necesario para que la concentración de A cambie de 0.3580 M a 0.3500 M?

Respuestas: a) 3.52×10^{-5} M/min, b) 3.58×10^{-1} M y c) 455 min.

4.2 FACTORES QUE AFECTAN LA VELOCIDAD DE REACCIÓN

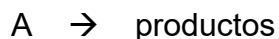
Contenido

- Ley de velocidad de reacción
- Orden de reacción
- Determinación del orden de reacción por el método de la velocidad inicial

Actividad 34. Ley de la velocidad de reacción

1. Las unidades de la constante de velocidad dependen de: ()
- a) El orden global de reacción.
 - b) La concentración de los reactantes.
 - c) La temperatura.
 - d) La energía de activación.

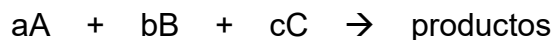
2. Se tiene la siguiente reacción:



la cual es de segundo orden. Si se incrementa la concentración de A en un factor de 3, entonces la velocidad de reacción: ()

- a) Se incrementa en un factor de 3.
- b) Se incrementa en un factor de 6.
- c) Se incrementa en un factor de 27.
- d) Se incrementa en un factor de 9.

3. Para la siguiente reacción:



la Ley de velocidad de reacción está dada por:

$$r = k [A]^{1/2} [B]^2 [C]^{-3/2}$$

el orden global de la reacción es de: ()

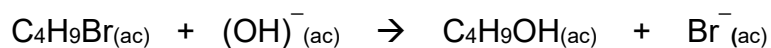
- a) Segundo orden b) Tercer orden c) Primer orden d) Orden cero

Actividad 35. Orden de reacción

1. Determinar las unidades de la constante de velocidad cuando las concentraciones están en molaridad y el tiempo en segundos:

- a) Reacciones de orden cero.
- b) Reacciones de orden $\frac{1}{2}$.
- c) Reacciones de primer orden.
- d) Reacciones de segundo orden.
- e) Reacciones de tercer orden.

2. Cuando la concentración del bromuro de butilo (C_4H_9Br) se duplica, la velocidad de la siguiente reacción:



aumenta por un factor de 2. Cuando ambas concentraciones: bromuro de butilo [C_4H_9Br] y del ion oxidrilo [$(OH)^-$] se duplican, el aumento de la velocidad es el mismo, un factor de 2.

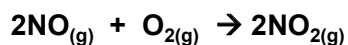
Determinar:

- a) El orden de reacción de cada uno de los reactantes.
- b) El orden global de la reacción.
- c) Las unidades de la constante de velocidad (k) si la velocidad se expresa en M/s.

Actividad 36. Determinación del orden de reacción por el método de la velocidad inicial

Ejemplo de la actividad 36.

Se midió la velocidad de la reacción entre el monóxido de nitrógeno, NO, y el oxígeno, O₂, a diferentes concentraciones de los reactantes de acuerdo a la siguiente reacción:



Obteniéndose los siguientes resultados:

[NO] (M)	[O ₂] (M)	r(moles/L s)
0.020	0.010	0.028
0.020	0.020	0.057
0.040	0.020	0.227
0.010	0.020	0.014

- Encontrar el orden de la reacción con respecto a cada reactante.
- El orden total de la reacción.
- El valor de la constante de velocidad de la reacción (k).

a) De $r = k[\text{A}]^\alpha[\text{B}]^\beta$

1. Relacionar 2 velocidades para resolver β :

$$r_1 = k[0.020]^\alpha[0.010]^\beta = 0.028 \text{ y } r_2 = k[0.020]^\alpha[0.020]^\beta = 0.057$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{k[0.020]^\alpha[0.010]^\beta}{k[0.020]^\alpha[0.020]^\beta} = \frac{0.028}{0.057}$$

$$\frac{[0.010]^\beta}{[0.020]^\beta} = \frac{0.028}{0.057}$$

$$[0.500]^\beta = 0.500$$

Por lo tanto $\beta = 1$

2. Relacionar r_1 con r_2 para resolver α :

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{k[0.040]^\alpha[0.020]^\beta}{k[0.010]^\alpha[0.020]^\beta} = \frac{0.227}{0.014}$$

$$\frac{[0.040]^\alpha}{[0.010]^\alpha} = \frac{0.227}{0.014}$$

$$[4]^\alpha = 16.2$$

Por lo tanto $\alpha = 2$

La reacción es de segundo orden para el monóxido de nitrógeno (NO) y de primer orden para el oxígeno molecular (O_2)

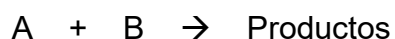
b) el orden total de la reacción será $2 + 1 = 3$

c)

$$k = \frac{r}{[A]^2[B]^1}$$

$$k = \frac{0.028 \text{ mol/Ls}}{[0.020 \text{ mol/L}]^2[0.010 \text{ mol/L}]^1} = 7.00 \times 10^3 \text{ L}^2 / \text{mol}^2 \text{ s}^1$$

1. La velocidad inicial de la siguiente reacción:



se determinó a diferentes concentraciones iniciales, obteniéndose los resultados:

Experimento	$[A]_0 \text{ M}$	$[B]_0 \text{ M}$	$r_0(\text{M/s})$
1	0.370	0.266	3.35×10^{-4}
2	0.370	0.532	1.35×10^{-3}
3	0.740	0.266	6.75×10^{-4}
4	0.740	0.532	2.70×10^{-3}

- ¿Cuál es el orden de reacción con respecto a A y con respecto a B?
- ¿Cuál es el orden de reacción total?
- ¿Cuál es el valor de la constante de velocidad (k)?

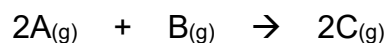
2. Se han encontrado las siguientes velocidades iniciales de reacción para:



Experimento	[A] ₀ M	[B] ₀ M	r ₀ (M/s)
1	1.00	3.00	4.2 x 10 ⁻³
2	3.00	3.00	1.3 x 10 ⁻²
3	6.00	6.00	5.2 x 10 ⁻²

¿Cuál es la ecuación de la Ley de velocidad de reacción?

3. Se han encontrado las velocidades iniciales para la siguiente reacción:



Experimento	[A] ₀ M	[B] ₀ M	r ₀ (M/min)
1	0.0125	0.0255	2.27 x 10 ⁻⁵
2	0.0125	0.0510	4.55 x 10 ⁻⁵
3	0.0250	0.0255	9.08 x 10 ⁻⁵

¿Cuál es la ecuación de la Ley de velocidad de reacción?

4. La velocidad inicial para la reacción:



se determinó a diferentes concentraciones iniciales de reactivos, obteniéndose los siguientes resultados.

Experimento	[A] ₀ M	[B] ₀ M	[C] ₀ M	r ₀ (M/s)
1	2.80	2.80	2.00	R ₁
2	1.40	2.80	2.00	R ₂ = ½ R ₁
3	1.40	1.40	2.00	R ₃ = ¼ R ₂
4	2.80	2.80	1.00	R ₄ = 16R ₃
5	1.40	1.40	1.00	R ₅

a) ¿Cuál es el orden de reacción con respecto a: A, B y C?

b) ¿Cuál es el valor de R₅, en función de R₁?

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), *QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL*, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 14 ejercicios: 14.20, 14.24, 14.31, 14.34, 14.38

Petrucci R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), *QUÍMICA GENERAL*, Undécima Edición, Eslovenia, Pearson Educación.

Capítulo 20 ejercicios: 5, 9, 11, 12

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015) *QUÍMICA*, 10ª Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 16 ejercicios: 13, 19, 21, 23.

4.3 ESTUDIO CINÉTICO

Contenido

- ✓ Reacción de orden cero y de primer orden
- ✓ Vida media para reacciones de orden cero y primer orden
- ✓ Reacciones de segundo orden
- ✓ Ecuación cinética integrada para reacciones de orden cero, primer orden y segundo orden
- ✓ Vida media para reacciones de diferente orden

REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué significa vida media de una reacción?

2. La vida media de una reacción de orden cero, ¿depende de la concentración inicial del reactivo involucrado en la misma? _____ Escribe la ecuación correspondiente.

$$t_{1/2} = \text{---}$$

3. En una reacción de orden cero, la representación gráfica de la concentración en función del tiempo para la reacción: $aA \rightarrow \text{Productos}$; es una línea recta cuya pendiente es igual: _____

4. Escribe la ecuación de la vida media para la reacción $aA \rightarrow \text{Productos}$; de primer orden:

$$t_{1/2} = \text{---}$$

5. Completar la tabla para la siguiente reacción:



Orden de reacción			
	Cero	Primero	Segundo
Expresión de la ley de velocidad			
Ecuación integrada para la constante de velocidad			
Ecuación para la concentración de "A" a un tiempo "t"			

Actividad 37. Reacción de orden cero y de primer orden

Ejemplo de la actividad 37.

El disulfuro de carbono, CS_2 , se descompone de acuerdo a la siguiente reacción



El valor de la constante de velocidad (k) a una temperatura de 1000°C es de $2.8 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$.

Calcular el tiempo (s) que tardará una muestra con una concentración 0.026 M en descomponerse hasta quedar 0.001 M .

Solución:

Con las unidades de la k se conoce que la reacción es de primer orden.

$$t = \frac{1}{ak} \ln \left[\frac{[\text{A}]_0}{[\text{A}]_f} \right]$$

$$t = \frac{1}{2.8 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}} \ln \left[\frac{0.026 \text{ M}}{0.001 \text{ M}} \right] = 1.16 \times 10^7 \text{ s}$$

1. Se tiene la reacción de primer orden:

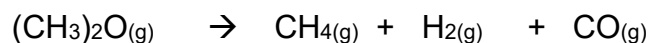


Indicar cuáles de las siguientes proposiciones son verdaderas y cuáles son falsas, justificando la respuesta.

- a) La velocidad de reacción disminuye al formarse cantidades crecientes de B y de C. _____
- b) El tiempo necesario para que reaccione la mitad de la concentración de A es directamente proporcional a la concentración de A presente inicialmente. _____

- c) Al graficar la concentración de A contra el tiempo nos da una línea recta. _____
- d) La velocidad de reacción es la mitad de la velocidad de desaparición de A. _____

2. La siguiente reacción de primer orden tiene una vida media de 180 s:



- a) ¿Qué porcentaje de una muestra de dimetil éter, $(\text{CH}_3)_2\text{O}_{(g)}$ no ha reaccionado transcurridos 900 s de iniciada la reacción?
- b) ¿Cuál es la velocidad de reacción cuando la concentración de $(\text{CH}_3)_2\text{O}_{(g)}$ es 0.50 M?

Respuesta: a) 3.13%, b) 1.93×10^{-3} M/s

3. La vida media de un fármaco es de 30.0 min. ¿Cuánto tiempo transcurrirá desde el inicio de la reacción hasta que la conversión sea del 75%? si:

- a) La reacción es de orden cero.
- b) La reacción es de primer orden.

Respuesta: a) 44.9 min, b) 60.0 min

4. Para la siguiente reacción de primer orden:



se conoce que la constante de velocidad es de 5.74 h^{-1} . Calcular el tiempo necesario para que la concentración de A disminuya a:

- a) Un octavo de la concentración inicial de A.
- b) Cinco por ciento de la concentración inicial de A.
- c) Un décimo de la concentración inicial de A.

Respuestas: a) 0.362 h, b) 0.522 h, c) 0.401 h

5. Para la siguiente reacción de primer orden:



se tiene que cuando la concentración inicial de A es 0.015 M, la concentración de B aumenta a 0.018 M en 3.0 min.

- a) ¿Cuál es la constante de velocidad para la reacción expresada como la velocidad de desaparición de A?
- b) ¿Cuánto tiempo será necesario para que la concentración de B aumente a 0.030 M?

Respuestas: a) 0.170 min⁻¹, b) 6.45 min

Actividad 38. Vida media para reacciones de orden cero y primer orden

Ejemplo de la actividad 38.

La vida media de una reacción de primer orden donde $A \rightarrow \text{productos}$ es de 726 s. Si la concentración inicial de A es de 0.600 M. Calcular la concentración de A después de transcurrir 1452 s.

Calcular la constante de velocidad de reacción (k) y enseguida aplicar la ecuación para calcular la concentración final de A a ese tiempo.

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{726 \text{ s}} = 9.55 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

$$[A_f] = [A_o]e^{-kt}$$

$$[A_f] = (0.600 \text{ M})e^{-(9.55 \times 10^{-4} \text{ /s})(1452 \text{ s})} = 0.150 \text{ M}$$

1. La reacción de desintegración radiactiva del isótopo molibdeno 99 es de primer orden y su vida media es 1584 h. ¿Cuánto tiempo necesita una muestra del isótopo para disminuir su radiactividad en un 90%?

Respuesta: 5262 h.

2. La siguiente reacción de primer orden tiene una vida media de 19.8 min:



¿Cuál es la velocidad de la reacción cuando la concentración de A es 0.632 M?

Respuesta: 0.0221 M/min

3. La sustancia A se descompone de acuerdo a una reacción de primer orden. La concentración inicial de A es igual a 2.00 M y después de 126 min de iniciada la reacción la concentración de A es igual a 0.250 M. Calcular:

- a) Vida media.
- b) El valor de la constante de velocidad k.

Respuestas: a) 42.0 min, b) 0.0165 min⁻¹

4. En la siguiente reacción de primer orden:



la concentración inicial de A es igual a 1.632 M y transcurridos 16 min la concentración de A es igual a 1.264 M.

- a) ¿Cuál es el valor de la constante de velocidad k?
- b) ¿Cuál es la vida media de esta reacción?

Respuestas: a) 0.0160 min⁻¹, b) 43.3 min

Actividad 39. Reacciones de segundo orden

Ejemplo de la actividad 39.

En un experimento se obtuvieron los siguientes datos de la descomposición en fase gaseosa del yoduro de hidrógeno (HI):



Tiempo (horas)	0	2	4	6
[HI] M	1.00	0.50	0.33	0.25

Determinar el orden de reacción de descomposición del HI.

Solución

Calcular la constante de velocidad de la reacción promedio (k) tomando en consideración la hipótesis de que la reacción es de segundo orden donde $2\text{A} \rightarrow \text{prod.}$

$$k_{\text{HI}} = \frac{\left[\frac{1}{[\text{A}_t]} - \frac{1}{[\text{A}_0]} \right]}{a(\Delta t)}$$

$$k_1 = \frac{\left[\frac{1}{[0.50]} - \frac{1}{[1.00]} \right]}{(2)(2)} = 0.25 \text{ L/mol hora}$$

$$k_2 = \frac{\left[\frac{1}{[0.33]} - \frac{1}{[1.00]} \right]}{(2)(4)} = 0.25 \text{ L/mol hora}$$

$$k_3 = \frac{\left[\frac{1}{[0.25]} - \frac{1}{[1.00]} \right]}{(2)(6)} = 0.25 \text{ L/mol hora}$$

La reacción es de segundo orden porque la k calculada para cada dato es igual .

1. La siguiente reacción:



es de segundo orden en A y de orden cero en B. El valor de la constante de velocidad k es igual a $0.0206 \text{ M}^{-1}\text{min}^{-1}$ ¿Cuál es la velocidad de reacción cuando la concentración de A es igual a 0.232 M y la concentración de B es igual a 7.66 M ?

Respuesta: $1.109 \times 10^{-3} \text{ M/min}$.

2. Determinar las constantes de velocidad para las siguientes reacciones de segundo orden:

- a) $2A \rightarrow B + 2C$ la concentración inicial de A es de $2.50 \times 10^{-3} \text{ M}$ y cuando el tiempo transcurrido es 100 min la concentración disminuye a $1.25 \times 10^{-3} \text{ M}$.
- b) $3A \rightarrow C + 2D$ si la concentración inicial de A es igual a 0.300 M y cuando el tiempo que ha transcurrido es de 200 s la concentración de C es igual a 0.010 M .

En cada caso expresar los resultados en términos de la Ley de velocidad de reacción para la desaparición de A.

Respuestas: a) 2.00 L/mol-min , b) $6.18 \times 10^{-4} \text{ L/mol-s}$

3. La siguiente reacción es de segundo orden:



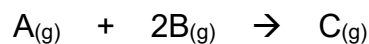
Cuando la concentración inicial de A es 0.100 M , la vida media tiene un valor de $2.08 \times 10^4 \text{ s}$. Calcular:

- a) Tiempo que debe transcurrir para que reaccione el 80.0% de A.

- b) Si el tiempo que ha transcurrido es 1 hora. ¿Cuál es la concentración de A?

Respuestas: a) 8.32×10^4 s, b) 0.0852 M

4. La siguiente reacción es de segundo orden:



se tiene que inicialmente la concentración de A y la concentración de B son igual a 0.100 M. Cuando han transcurrido 600 segundos de iniciada la reacción se tiene un 25.0% de conversión.

- a) Calcular el valor de la constante de velocidad, k.
- b) ¿Cuánto tiempo tardará para que la reacción llegue al 60.0% de conversión?
- c) ¿Cuál es la presión en el recipiente en el tiempo calculado en el inciso (a) si la temperatura es 25 °C?

Respuestas: a) 2.57×10^{-3} , b) 2177 s, c) 4.28 atm

Actividad 40. Ecuación cinética integrada para reacciones de orden cero primer orden y segundo orden

Ejemplo de la actividad 40.

La reacción de descomposición del pentóxido de dinitrógeno (N_2O_5) da como productos dióxido de nitrógeno (NO_2) gas y oxígeno molecular (O_2) gas.



Se han obtenido los siguientes datos de la descomposición en función del tiempo.

$[\text{N}_2\text{O}_5] \text{ M}$	0.160	0.080	0.040	0.020
Tiempo (min)	0	2.0	4.0	6.0

a) Orden de la reacción.

b) El tiempo necesario para que la concentración disminuya de 0.160 M a 0.100 M.

Solución

a) Si la reacción fuera de cero orden: $k = \frac{[A]_0 - [A]_f}{at}$

$$k_1 = \frac{0.160 \text{ M} - 0.080 \text{ M}}{(2 \text{ min})} = 0.04 \text{ M min}^{-1}$$

$$k_2 = \frac{0.160 \text{ M} - 0.040 \text{ M}}{(4 \text{ min})} = 0.03 \text{ M min}^{-1}$$

$$k_3 = \frac{0.160 \text{ M} - 0.020 \text{ M}}{(6 \text{ min})} = 0.02 \text{ M min}^{-1}$$

No es de orden cero

Si fuera de primer orden: $k = \frac{1}{at} \ln \frac{[A]_0}{[A]_f}$

$$k_1 = \frac{1}{(2 \text{ min})} \ln \left[\frac{0.160 \text{ M}}{0.080 \text{ M}} \right] = 0.35 \text{ min}^{-1}$$

$$k_2 = \frac{1}{(4 \text{ min})} \ln \left[\frac{0.160 \text{ M}}{0.040 \text{ M}} \right] = 0.35 \text{ min}^{-1}$$

$$k_3 = \frac{1}{(6 \text{ min})} \ln \left[\frac{0.160 \text{ M}}{0.020 \text{ M}} \right] = 0.35 \text{ min}^{-1}$$

La reacción es de primer orden y su k tiene un valor promedio de 0. 0.35 min⁻¹

b) Para determinar el tiempo: $t = \frac{1}{ak} \ln \frac{[A]_0}{[A]_f}$

$$t = \frac{1}{(0.35 \text{ min}^{-1})} \ln \left[\frac{0.160 \text{ M}}{0.100 \text{ M}} \right] = 1.34 \text{ min}$$

1. Para la siguiente reacción:



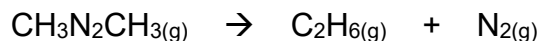
se han obtenido los siguientes datos de concentración de A en función del tiempo:

Tiempo (s)	0	100	200	300	400	600	1000
[A] (M)	0.600	0.497	0.413	0.344	0.285	0.198	0.094

- Determinar el orden de reacción.
- ¿Cuál es el valor de la constante de velocidad?
- ¿Cuál es el valor de la concentración de A cuando el tiempo que ha transcurrido son 750 s?

Respuestas: a) primer orden, b) $1.861 \times 10^{-3} \text{ 1/s}$, c) 0.149 M

2. La descomposición del azo-metano ($\text{CH}_3\text{N}_2\text{CH}_3$) en etano (C_2H_6) y nitrógeno (N_2) gaseosos fue investigada para conocer su orden de reacción, obteniéndose los siguientes datos experimentales:



Tiempo (min)	0	10	20	33	46	65
Concentración de $\text{CH}_3\text{N}_2\text{CH}_3$ (M)	1.210	1.040	0.888	0.706	0.575	0.434
X (M) que ha reaccionado de $\text{CH}_3\text{N}_2\text{CH}_3$						

- Demostrar que esta reacción es de primer orden.
- Cuando el tiempo transcurrido es 100 min ¿Cuál es la concentración de $\text{CH}_3\text{N}_2\text{CH}_3$?
- ¿Cuánto tiempo será necesario para que reaccione el 85% del $\text{CH}_3\text{N}_2\text{CH}_3$ inicial?

Respuestas: a) es de primer orden, b) 0.249 M, c) 120. min

Actividad 41. Vida media para reacciones de diferente orden

1. La vida media para reacciones de segundo orden y de orden cero dependen de la concentración inicial del reactivo y de la constante de velocidad, k . Al aumentar la concentración inicial, la vida media en una de las reacciones aumenta, mientras que en la otra reacción disminuye. Indicar de cuál reacción se trata en ambos casos y por qué no coinciden ambas situaciones.

2. Considerar tres reacciones hipotéticas:



que tienen el mismo valor numérico de la constante de velocidad. Una de las reacciones es de orden cero, otra de primer orden y otra de segundo orden. Calcular la concentración inicial de A si la vida media coincide para:

- a) La de orden cero y la de primer orden.
- b) La de orden cero y la de segundo orden.
- c) La de primer orden y la de segundo orden.

Respuestas: a) 1.386 M; b) 1.414 M; c) 1.443 M

3. La vida media para una reacción de segundo orden de una sustancia A es de 50.5 s, cuando la concentración inicial de A es 0.84 M. Calcular el tiempo necesario para que la concentración final de A sea:

- a) Un dieciseisavo de la concentración inicial de A.
- b) Un cuarto de concentración inicial de A.
- c) Un quinto de la concentración inicial de A.

Respuestas: a) 757 s; b) 151 s; c) 202 s

4. La vida media para la descomposición de primer orden de una sustancia A es igual a 355 s. Calcular el tiempo (s) que debe transcurrir para que la concentración de A pueda reaccionar:

- a) Un cuarto de la concentración inicial de A.
- b) El 15% de la concentración inicial de A.
- c) Un noveno de la concentración inicial de A.

Respuestas: a) 147 s, b) 83.2 s, c) 60.3 s

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), *QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL*, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 14 ejercicios: 14.101, 14.104, 14.106, 14.109.

Petrucci R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), *QUÍMICA GENERAL*, 11.^a Edición, Madrid, Pearson Educación.

Capítulo 20 ejercicios: 20, 24, 26, 35.

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015) *QUÍMICA*, 10^a Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 16 ejercicios: 32, 41, 44, 79.

4.4 ECUACIÓN DE ARRHENIUS

Contenido

- Conceptos Básicos para ecuación de Arrhenius
- Efecto de la temperatura en la velocidad de reacción
- Reacciones reversible, consecutiva y paralela

REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué supone el modelo de colisiones?

2. Definir la energía mínima necesaria para que una reacción se lleve a cabo.

3. Dibujar y rotular los diagramas hipotéticos que relacione la energía potencial vs. progreso de reacción que representan un:

Proceso exotérmico	Proceso endotérmico

4. Escribir la expresión matemática de la ecuación de Arrhenius y define cada término involucrado en la misma.

5. Dibujar y rotular los diagramas hipotéticos que relacione la energía potencial vs. progreso de reacción que representan una:

Reacción con catalizador	Reacción sin catalizador

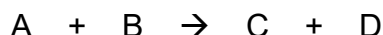
6. Escribir por lo menos dos efectos que se tendrán en una reacción al utilizar un catalizador

7. Citar dos ejemplos de procesos de transformación química en donde se utilice un catalizador.

8. Citar dos ejemplos de procesos bioquímicos en donde se utilice un catalizador.

Actividad 42. Conceptos Básicos para ecuación de Arrhenius

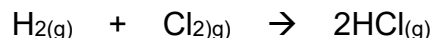
1. Para la siguiente reacción:



la energía de activación hacia la derecha es de 110 kJ/mol y el cambio de entalpía de reacción (ΔH_{Rxn}) hacia la derecha es de -21 kJ/ mol. ¿Cuál es la energía de activación para la reacción que ocurre hacia la izquierda? ()

- a) 89 kJ/mol b) 110 kJ/ mol c) 131 kJ/ mol d) 21 kJ/mol

2. Para la siguiente reacción:



la energía de activación hacia la derecha es de 50 kcal/mol y la energía de activación hacia la izquierda es de 78 kcal/mol ¿Cuál es el cambio de entalpía de reacción ΔH_{Rxn} ? ()

- a) 28 kcal/mol b) 128 kcal/mol c) -28 kcal/mol d) -128 kcal/mol

3. Para una reacción de primer orden si la temperatura aumenta, la vida media de la reacción: ()

- a) Disminuye b) Aumenta c) No cambia d) Se duplica

4. La presencia de un catalizador en una reacción química, cuando los demás factores permanecen constantes proporciona: ()

- a) Un aumento en la temperatura.
- b) Una disminución en la energía de activación.
- c) Un incremento en el factor pre-exponencial.
- d) Un cambio en la concentración de los reactantes.

Actividad 43. Efecto de la temperatura en la velocidad de reacción

Ejemplo de la actividad 43.

Una reacción tiene una energía de activación (E_a) igual a 83.7 kJ/mol y una constante de velocidad de $5.1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$ a los 300 K. Calcular la constante de velocidad de reacción a 400 K.

De la ecuación:

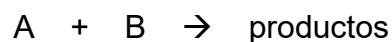
$$\ln \left[\frac{k_2}{k_1} \right] = \frac{E_a}{R} \left[\frac{T_2 - T_1}{(T_2)(T_1)} \right]$$

Despejamos k_2

$$k_2 = \left[e^{\frac{E_a}{R} \left[\frac{T_2 - T_1}{(T_2)(T_1)} \right]} \right] (k_1)$$

$$k_2 = \left[e^{\frac{83,700 \text{ J/mol}}{8.31 \text{ J/mol K}} \left[\frac{(400 \text{ K} - 300 \text{ K})}{(300 \text{ K})(400 \text{ K})} \right]} \right] (5.1 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}) = 225 \text{ s}^{-1}$$

1. La siguiente reacción:



es de segundo orden y la constante de velocidad k está dada por la ecuación de Arrhenius. Se preparó una disolución cuya concentración es: 0.05 M en A y 0.05 M en B y se dejó reaccionar. Se encontró que a los 20 min de iniciada la reacción se obtuvo un 40% de conversión a la temperatura de 50 °C y un 90% de conversión cuando la temperatura es de 110 °C. Calcular:

- a) La energía de activación en J/mol.
- b) El factor preexponencial.

Respuestas: a) 44,615 J/mol, b) 1.092×10^7 L /mol-min

2. La siguiente reacción:



es de segundo orden. Si la concentración inicial de A es 1.0×10^{-2} M y la constante de velocidad está dada por la ecuación de Arrhenius, en donde se conoce que el factor preexponencial (A) es 4.8×10^{14} L/mol-s y la energía de activación (E_a) es 56,800 cal/mol. Calcular:

- a) Temperatura a la cual ha reaccionado el 10% de A cuando el tiempo transcurrido es 1.0 s.
- b) Tiempo que se necesita para obtener un 90% de rendimiento considerando la temperatura calculada en el inciso anterior.

Respuestas: a) 910 K, b) 81 s

3. La siguiente reacción es de primer orden:



a una temperatura de 293 K la vida media es de 1344 min y a una temperatura de 313 K la vida media es de 750 min. Calcular:

- a) La temperatura a la cual la vida media es de 360 min.
- b) El % de disociación del pentóxido de nitrógeno (N_2O_5) cuando el tiempo transcurrido es de 60 min a la temperatura de 333 K.

Respuestas: a) 69 °C, b) 8.9%

Actividad 44. Ejemplos de reacciones reversibles, consecutivas y paralelas

1. Suponer que una sustancia X se descompone en A y B en trayectorias paralelas, con las siguientes constantes de velocidad:

$$k_A = 1.0 \times 10^{15} e^{-30,000/RT}$$

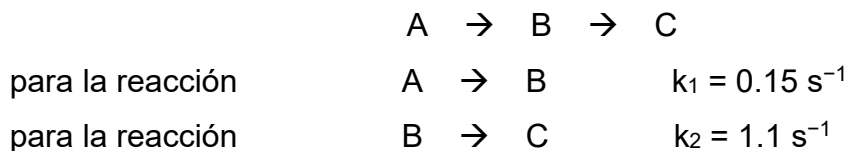
$$k_B = 1.0 \times 10^{13} e^{-20,000/RT}$$

en donde la energía de activación (E_a) está en cal/mol.

- a) ¿A qué temperatura se formarán los dos productos a la misma velocidad?
- b) ¿A qué temperatura el producto A se formará 10 veces más rápido que el producto B?
- c) ¿A qué temperatura el producto B se formará 10 veces más rápido que el producto A?

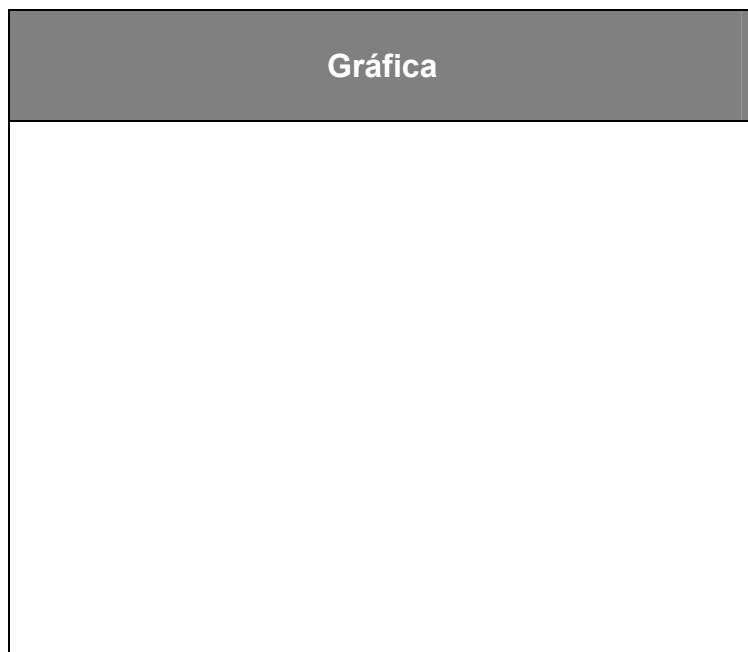
Respuestas: a) 1093 K, b) 2186 K, c) 73 K

2. Para las siguientes reacciones consecutivas de primer orden:



en donde la concentración inicial de A es igual a 1.00 M y la concentración inicial de B y de C es igual a cero.

Trazar las curvas que indican las concentraciones de A, B y C en función del tiempo.



EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), *QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL*, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 14 ejercicios: 14.111, 14.120, 14.122 (a)

Petrucci R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), *QUÍMICA GENERAL*, 11ª Edición, Madrid, Pearson Educación.

Capítulo 20 ejercicios: 51, 54, 55, 98.

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015) *QUÍMICA*, 10ª Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 16 ejercicios: 47, 53, 54, 57, 59.

4.5 CINÉTICA DONDE INTERVIENEN GASES Y REACCIONES EN DISOLUCIÓN

Contenido

- Cálculos cinéticos en función de la presión total y presiones parciales cuando se tiene algún gas como reactante
- Cálculos cinéticos utilizando volumetría, cuando la reacción se lleva a cabo en disolución

REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Cómo se define presión parcial de una sustancia presente en una mezcla gaseosa?

2. ¿Enunciar la ley de Dalton? Escribir la fórmula correspondiente.

3. ¿Cuál es la presión parcial de una sustancia sólida o líquida en función de la presión parcial de un gas?

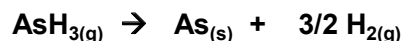
4. Definir presión de vapor.

5. ¿Cuál es la expresión de la relación de presiones parciales en función de fracciones molares?

Actividad 45. Cálculos cinéticos en función de la presión total y de las presiones parciales cuando se tiene algún gas como reactante o producto

Ejemplo de la actividad 45.

El arsénico puede obtenerse de la descomposición de la arsina mediante la siguiente reacción:



En un experimento que se realizó se encontró que a una temperatura de 653 K la presión total del sistema varía con el tiempo como se muestra en la tabla:

Tiempo (min)	0	3.65	16	24	37.66
Presión total (torr)	39.2	40.3	43.65	45.35	48.05

Calcular el orden de la reacción y el valor de la constante de velocidad (k) a 653 K.

Solución:

Calcular lo que ha reaccionado de la arsina en (X) basada en la estequiometría de la reacción. Recordar que la presión total es la suma de presiones parciales.

La presión de la AsH_3 entonces es la $P_o - X$

La presión del As tiende a 0 porque es un sólido

La presión del H_2 es $1.5X$

por lo tanto la presión total será:

$$P_{\text{total}} = P_{\text{AsH}_3} + P_{\text{H}_2} = P_o - X + 1.5 X = P_o + 0.5 X$$

$$\text{Resolviendo para } X = (P_{\text{total}} - P_o) / 0.5$$

Si suponemos que la reacción es de primer orden calculamos el valor de la k:

$$k = \frac{1}{t} \ln \left[\frac{P_o}{P_o - X} \right]$$

$$k_1 = \frac{1}{3.65 \text{ h}^{-1}} \ln \left[\frac{39.2 \text{ torr}}{(39.2 - 2.2) \text{ torr}} \right] = 1.59 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$$

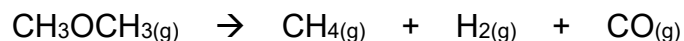
$$k_2 = \frac{1}{16 \text{ h}^{-1}} \ln \left[\frac{39.2 \text{ torr}}{(39.2 - 8.4) \text{ torr}} \right] = 1.61 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$$k_3 = \frac{1}{24 \text{ h}^{-1}} \ln \left[\frac{39.2 \text{ torr}}{(39.2 - 12.3) \text{ torr}} \right] = 1.57 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$$k_4 = \frac{1}{37.66 \text{ h}^{-1}} \ln \left[\frac{39.2 \text{ torr}}{(39.2 - 17.7) \text{ torr}} \right] = 1.59 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$$

El valor promedio de k es $1.59 \times 10^{-2} \text{ h}^{-1}$ y la reacción es de primer orden

1. La pirolisis del éter metílico sigue una cinética de reacción de primer orden. La siguiente reacción se llevó a cabo en un reactor a una temperatura de 552 °C:

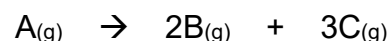


a un reactor, inicialmente vacío, se le añadió éter metílico hasta que la presión llegó a 420 torr. A los 5 min de iniciada la reacción la presión total en el reactor es de 1054 torr. Calcular:

- La constante de velocidad de reacción.
- A los 20 min de iniciada la reacción ¿Cuál es el % de conversión?
- ¿Cuál es la presión total en el reactor a los 20 minutos de iniciada la reacción?

Respuestas: a) 0.281 min^{-1} , b) 99.6%, c) 1257 torr

2. En un reactor sucede la siguiente reacción de segundo orden:



y a la temperatura de 690 K se alimenta la sustancia A pura, después de 40 min la presión total en el reactor es de 17.5 atm, después de un tiempo muy grande la presión total en el reactor es de 35 atm.

- a) Calcular el tiempo que debe transcurrir para que la presión total en el reactor sea de 25.0 atm.
- b) ¿Cuál es la presión total en el reactor cuando el tiempo es de 80 min?

Respuestas: a) 120 min, b) 22.3 atm

Actividad 46. Cálculos cinéticos utilizando volumetría, cuando la reacción se lleva a cabo en disolución

Ejemplo de la actividad 46.

La hidrólisis de un éster se estudio extrayendo muestras de la disolución a diferentes tiempos para titularlas con una base.

Tiempo (min)	0	27	60	∞
Volumen gastado (mL)	0	18.1	26.1	29.7

Si se conoce que la reacción es de primer orden. Calcular:

- Vida media de la reacción.
- El volumen gastado (V_g) a los 2500 s.



- Calcular el valor de k y enseguida la vida media:

$$k = -\frac{1}{t} \ln \left[\frac{V_{g_0} - V_{g_t}}{V_{g_0}} \right]$$

$$k_1 = -\frac{1}{27 \text{ min}} \ln \left[\frac{(29.7 - 18.1) \text{ mL}}{29.7 \text{ mL}} \right] = 0.0348 \text{ min}^{-1}$$

$$k_2 = -\frac{1}{60 \text{ min}} \ln \left[\frac{(29.7 - 26.1) \text{ mL}}{29.7 \text{ mL}} \right] = 0.0352 \text{ min}^{-1}$$

la k promedio es 0.0350 min^{-1}

La vida media de esta reacción es:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{\ln 2}{0.0350 \text{ min}^{-1}} = 19.8 \text{ min}$$

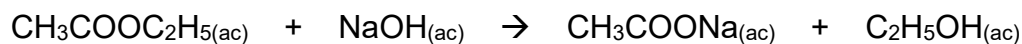
- Despejar el volumen gastado a un tiempo

$$V_{g_t} = V_{g_0} - [\ln(-kt)] V_{g_0}$$

$$2500 \text{ s} \left[\frac{1.00 \text{ min}}{60.0 \text{ s}} \right] = 41.7 \text{ min}$$

$$V_{g_t} = 29.7 \text{ mL} - [\ln(-0.0350 \text{ min}^{-1})(41.7 \text{ min})] 29.7 \text{ mL}$$

1. La reacción entre el acetato de etilo ($\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$) y el hidróxido de sodio (NaOH) se llama saponificación y está representada por la siguiente reacción:

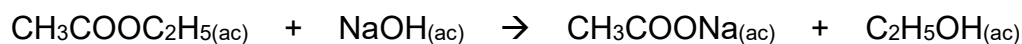


se conoce que esta reacción es de segundo orden total: de primer orden para el acetato de etilo y de primer orden para el hidróxido de sodio. Se preparó una disolución de acetato de etilo e hidróxido de sodio, la cual tenía inicialmente una concentración de $5.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ de acetato de etilo y $8.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ de hidróxido de sodio. Después de 400 s de iniciada la reacción a la temperatura de 25°C se encontró que 25 mL de la disolución reaccionante se neutralizaban con 33.3 mL de ácido clorhídrico (HCl) $5.0 \times 10^{-3} \text{ M}$. Calcular:

- a) La constante de velocidad de reacción, k .
- b) Tiempo que se necesita para que solamente se gasten 20 mL de la disolución de ácido clorhídrico.
- c) Cuando el tiempo que ha transcurrido es de 600 s ¿Cuántos mL de ácido clorhídrico se requieren para neutralizar 25 mL de disolución reaccionante?

Respuestas: a) 0.1072 L/mol-s , b) 2849 s , c) 31 mL

2. La saponificación del acetato de etilo es una reacción de segundo orden, la constante de velocidad k , está dada por la ecuación de Arrhenius, en donde la energía de activación (E_a) es igual a $14,700 \text{ cal/mol}$ y el factor preexponencial (A) es igual a $7.9 \times 10^5 \text{ L/mol-s}$. La reacción que ocurre es la siguiente:



- a) Calcular el tiempo que se necesita para producir 20.00 g de alcohol etílico ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) a partir de 1.0 L de disolución 0.500 M en acetato de etilo

(CH₃COOC₂H₅) y 0.800 M en hidróxido de sodio (NaOH) a la temperatura de 120 °C.

- b) Calcular el volumen (mL) de una disolución 0.50 M en ácido clorhídrico (HCl) necesarios para que reaccionen con 25 mL de la disolución reaccionante después de 1 h de iniciada la reacción a la temperatura de 120 °C.

Respuestas: a) 792 s, b) 15 mL

Actividad 47. Ejercicios de Integración.3

1. Para tres reacciones de orden diferente:



se llevaron a cabo los siguientes experimentos:

Experimento 1		Experimento 2		Experimento 3	
Tiempo (s)	[A] M	Tiempo (s)	[A] M	Tiempo (s)	[A] M
0	2.00	0	2.00	0	2.00
25	1.56	25	1.5	25	1.60
50	1.22	50	1.00	50	1.34
75	0.94	75	0.50	75	1.14
100	0.74	100	0.00	100	1.00
150	0.44			150	0.80
200	0.28			200	0.66
250	0.16			250	0.58

- a) ¿Cuál de estos conjuntos de datos corresponden a una reacción de orden cero?

- b) ¿Cuál de estos conjuntos de datos corresponden a una reacción de primer orden?
- c) ¿Cuál de estos conjuntos de datos corresponden a una reacción de segundo orden?
- d) ¿Cuál es el valor de la constante de velocidad para la reacción de primer orden?
- e) ¿Cuál es la vida media para la reacción de orden cero?
- f) ¿Cuál es la velocidad inicial de la reacción de segundo orden?
- g) ¿Cuál es la velocidad de reacción a los 75 s de iniciada la reacción de orden cero, primer orden y segundo orden?
- h) ¿Cuál es la concentración de A después de 110 s para la reacción de: orden cero, primer orden y segundo orden?

Respuestas: d) $9.94 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, e) 50 s, f) $9.95 \times 10^{-3} \text{ M/s}$, g) 0.01 M/s, $4.67 \times 10^{-3} \text{ M/s}$, $3.23 \times 10^{-3} \text{ M/s}$, cero, 0.335 M, 0.477 M;

2. La reacción de descomposición del peróxido de hidrógeno (H_2O_2) es de primer orden de acuerdo a la siguiente reacción:



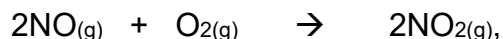
En un experimento donde se tiene un volumen de 750 cm^3 de disolución de H_2O_2 al descomponerse produce 560 cm^3 de oxígeno (O_2) medidos a condiciones normales. En las mismas condiciones un volumen de 750 cm^3 de la disolución reaccionante produce 326 cm^3 de O_2 a TPE (C.N) en un tiempo de 35 minutos. Calcular:

- a) El tiempo (min) para que 750 cm^3 de la disolución reaccionante produzca 245 cm^3 de O_2 a TPE.

- b) Cuando el tiempo que ha transcurrido son 130 minutos que volumen (cm^3) de O_2 medido a condiciones normales se producen, a partir de 750 cm^3 de disolución de H_2O_2 .

Respuestas: a) 23.1 min, b) 538 cm^3

3. El dióxido de nitrógeno (NO_2) es un componente del smog fotoquímico y se produce mediante la siguiente reacción:



se conoce que esta reacción es de tercer orden, de segundo orden con respecto al Monóxido de nitrógeno (NO) y de primer orden con respecto al oxígeno (O_2). Su constante de velocidad sigue la ecuación de Arrhenius. En un recipiente de 10.0 L se añadieron 5.0×10^{-2} moles de $\text{NO}_{(\text{g})}$ y 2.5×10^{-2} moles de $\text{O}_{2(\text{g})}$ después de 1.5 horas de iniciada la reacción se tiene que: a una temperatura de 50°C el % de conversión de la reacción es del 65% y a una temperatura de 120°C el % de conversión de la reacción es del 90%. Calcular:

- a) Tiempo (h) que se necesita para que la reacción llegue a un 78% de conversión, a la temperatura de 150°C .
- b) ¿Cuál es el % de conversión de la reacción a la temperatura de 150°C a un tiempo 2 horas.
- c) ¿Cuál es la vida media para cada reactante a la temperatura de 150°C .

Respuestas: a) 6.39 h, b) 53.2% de conversión, c) 1.76 h

4. La desintegración de isótopos radiactivos sigue una cinética de primer orden. El isótopo Einstenio (${}_{99}\text{Es}^{253}$) (masa molar de 253.08636 g/mol) tiene una vida media de 20 días y el isótopo Radón (${}_{86}\text{Rn}^{222}$) (masa molar de 222.01757 g/mol) tienen una vida media de 3.82 días y se desintegran emitiendo una partícula alfa, en ambas reacciones de desintegración el isótopo producido se desintegra

emitiendo una partícula beta negativa con una vida media muy grande. Las reacciones que ocurren son:



Si una masa de 5.00 g de cada uno de los isótopos ${}_{99}\text{Es}^{253}$ y ${}_{86}\text{Rn}^{222}$, se colocan en un recipiente de 22,4 L a la temperatura de 0 °C. Calcular:

- La presión en el recipiente a los 15 días de iniciada la reacción.
- La concentración de cada isótopo en molaridad después de 10 vidas medias.
- ¿Cuántas vidas medias deben transcurrir para que la concentración de cada isótopo se reduzca en un 99.0 %?
- ¿En qué proporción se deben mezclar ${}_{99}\text{Es}^{253}$ y ${}_{86}\text{Rn}^{222}$ para preparar 100 g de muestra, en el recipiente de 22.4 L y temperatura de 0 °C. para que la presión sea de 250 torr en un tiempo de 15 días.

Respuestas: a) 25.3 torr, b) $[{}_{99}\text{Es}^{253}] = 8.61 \times 10^{-7}$ y $[{}_{86}\text{Rn}^{222}] = 9.82 \times 10^{-7}$, c) 6.56 vidas medias para cada reactante. 41.9% de ${}_{99}\text{Es}^{253}$ y d) 58.1 % de ${}_{86}\text{Rn}^{222}$

- Para llevar a cabo las funciones metabólicas, el oxígeno se une a la hemoglobina (Hb) para formar la oxihemoglobina (HbO_2), de acuerdo a la siguiente reacción:



Se conoce que esta reacción sigue una cinética de segundo orden y su constante de velocidad es igual a $2.2 \times 10^6 \text{ (m s)}^{-1}$, a la temperatura de 37 °C.

Para un adulto promedio, las concentraciones de Hb y O₂ en la sangre de los pulmones son de $8.0 \times 10^{-6} \text{ M}$ y $1.5 \times 10^{-6} \text{ M}$ respectivamente.

Calcular:

- a) La velocidad de formación de la HbO₂
- b) La velocidad de consumo del O₂
- c) Si la velocidad de formación de HbO₂ se incrementa a $1.4 \times 10^{-4} \text{ M/s}$ durante el ejercicio que realiza una persona, para satisfacer la demanda de la velocidad incrementada del metabolismo y suponiendo que la concentración de la Hb se mantiene constante. ¿Cuál será la concentración de O₂ para soportar esta velocidad de formación de HbO₂?

Resultados: a) $2.64 \times 10^{-5} \text{ M/s}$, b) $2.64 \times 10^{-5} \text{ M/s}$, c) $[\text{O}_2] = 9.4 \times 10^{-6} \text{ M/s}$

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), *QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL*, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.
Capítulo 14 ejercicios: 14.47, 14.48, 14.119

Chang R. y Golldsbey K., (2013), *QUÍMICA*, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 13 ejercicios: 13.19, 13.20, 13.80, 13.112

Petrucci R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), *QUÍMICA GENERAL*, Undécima Edición, Eslovenia, Pearson Educación.

Capítulo 20 ejercicios: 26, 81, 90

CAPÍTULO 5

EQUILIBRIO QUÍMICO

La condición en la cual las concentraciones de todos los reactivos y productos en un sistema cerrado dejan de cambiar con el tiempo se denomina Equilibrio Químico, mismo que se establece cuando las reacciones opuestas (directa e inversa) avanzan a velocidades iguales. Los equilibrios químicos explican un gran número de fenómenos naturales y desempeñan importantes papeles en la mayoría de los procesos industriales. Es importante conocer la posición del equilibrio de una reacción en términos cualitativos y cuantitativos, así como los factores que afectan a este fenómeno para poder determinar y manipular las concentraciones de las sustancias en el equilibrio, predecir y calcular la factibilidad y eficiencia de una reacción dada. Para el estudio de este tema se proponen los siguientes subtemas, objetivos específicos y actividades:

5.1 CONCEPTO DE EQUILIBRIO QUÍMICO

Contenido

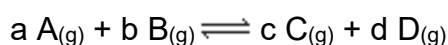
- Equilibrio dinámico
- Equilibrio homogéneo

REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. ¿Qué entiendes por equilibrio químico?

2. Citar por lo menos dos conocimientos prácticos (aplicaciones) que se buscan al estudiar el equilibrio químico de un sistema.

3. Se tiene la siguiente reacción (observa que se trata de un sistema homogéneo):



- a) Expresar la ecuación que corresponde a la constante de equilibrio en función de las concentraciones, K_c .

- b) Escribir la ecuación que corresponde a la constante de equilibrio en función de las presiones, K_p

4. Se tiene la siguiente reacción (observa que se trata de un sistema heterogéneo):



- a) Expresar la ecuación que corresponde a la constante de equilibrio en función de las concentraciones, K_c

b) Escribir la ecuación que corresponde a la constante de equilibrio en función de las presiones, K_p

5. Si a cierta temperatura una reacción en equilibrio se perturba y el valor del cociente de reacción, Q , es mayor que su constante de equilibrio, entonces sucederá que el equilibrio: ()

a) Permanecerá
constante

b) Se desplazará a la
derecha

c) Se desplazará a la
izquierda

6. Describir el enunciado que corresponde al principio de Le'Châtelier

7. ¿Cuáles son las tres formas que se tienen para perturbar el equilibrio de un sistema?

8. Citar al menos un beneficio práctico que se tendría al aplicar en un sistema el principio de Le'Châtelier

Actividad 48. Equilibrio dinámico

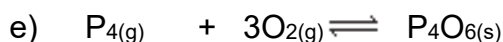
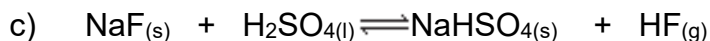
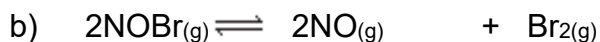
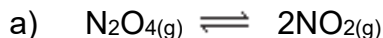
En el renglón escribir una “V” para los enunciados que sean verdaderos y “F” para los enunciados falsos.

En el equilibrio químico:

- a) ___ Las reacciones se completan, es decir, el reactivo limitante se consume totalmente.
- b) ___ Estará presente una mezcla de reactivos y productos.
- c) ___ Se tendrán concentraciones molares iguales tanto de reactivos como de productos.
- d) ___ Las constantes cinéticas de la reacción directa y de la reacción inversa serán iguales.
- e) ___ Las velocidades de la reacción directa y de la reacción inversa serán iguales.
- f) ___ La relación de las constantes cinéticas de la reacción directa y de la reacción inversa serán iguales si no cambia la temperatura.
- g) ___ Pueden cambiar las concentraciones de reactivos y productos pero la relación de las constantes cinéticas de la reacción directa y de la reacción inversa serán iguales si no cambia la temperatura.
- h) ___ La relación de las constantes cinéticas de la reacción directa y de la reacción inversa será igual a la constante de equilibrio.
- i) ___ En un sistema cerrado, la velocidad de evaporación del H_2O es menor que la velocidad de condensación del H_2O .
- j) ___ Las concentraciones de reactivos y productos no dependen de la cantidad de sustancias al inicio de la reacción.
- k) ___ La relación de las concentraciones de reactivos y productos, si no cambia la temperatura, será siempre igual a pesar de la cantidad de sustancias existentes al inicio de la reacción.

Actividad 49. Equilibrio homogéneo

1. Identificar los sistemas que se encuentran en equilibrio homogéneo:



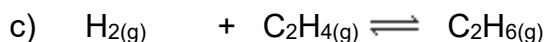
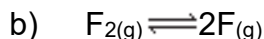
5.2 LA CONSTANTE DE EQUILIBRIO

Contenido

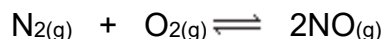
- Expresión para la constante de equilibrio químico en términos de concentraciones de los productos y de los reactivos (sistema homogéneo).
- Propiedades de la constante de equilibrio químico

Actividad 50. Expresión para la constante de equilibrio químico en términos de concentraciones de los productos y de los reactivos (sistema homogéneo)

1. Escribir la expresión de K_c para cada una de las siguientes reacciones en el equilibrio:

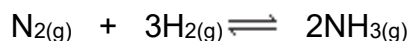


2. Se tiene la siguiente reacción:



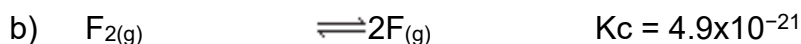
para la cual se conoce que K_c es igual a 1×10^{-30} a la temperatura de 25°C .
Predecir cualitativamente si a esta temperatura la reacción de obtención de monóxido de nitrógeno (NO) en el equilibrio es favorable.

3. Se tiene la siguiente reacción:



para la cual se conoce que K_c es igual a 5×10^8 a la temperatura de 25°C .
Predecir cualitativamente si a esta temperatura la reacción de obtención de amoníaco (NH_3) en el equilibrio es favorable.

4. Ordenar las siguientes reacciones según su tendencia creciente a transcurrir a la temperatura de 298 K y presión de 1 atm, en el sentido en que están escritas:



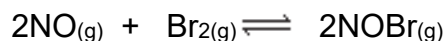
5. En general:

a) Si $K_c \gg 1$ ¿hacia dónde está desplazado el equilibrio? _____

b) Si $K_c \ll 1$ ¿hacia dónde está desplazado el equilibrio? _____

Actividad 51. Propiedades de la constante de equilibrio químico

1. La constante de equilibrio K_c para la reacción:



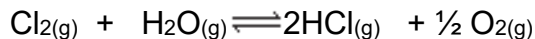
es igual a 1.30×10^{-2} a la temperatura de 1000 K. Calcular K_c a la misma temperatura pero para la reacción inversa: $2\text{NOBr}_{(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{(g)} + \text{Br}_{2(g)}$

Respuesta: 76.9

2. La constante de equilibrio K_c para la reacción:

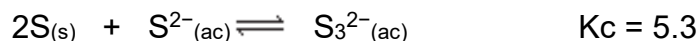
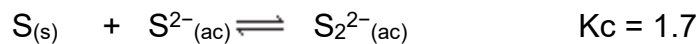


es igual a 0.0752 a la temperatura de 480 °C. Calcular K_c a la misma temperatura pero para la reacción:

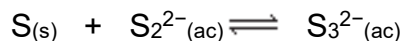


Respuesta: 0.274

3. Se tienen las siguientes reacciones para las cuales se conocen sus constantes de equilibrio:



Calcular K_c para la reacción:



Respuesta: 3.1

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 15 ejercicios: 15.13, 15.15, 15.21

Chang R. y Golldsbey K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 14 ejercicios: 14.7-14.9

Petrucchi R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), *QUÍMICA GENERAL*, 11.^a Edición, Madrid, Pearson Educación.

Capítulo 16 ejercicios: 4, 5, 6

5.3 EQUILIBRIO QUÍMICO HOMOGÉNEO

Contenido

- Aplicación de la constante de equilibrio en función de la concentración K_c
- Aplicación de la constante de equilibrio en función de presiones (K_p) y de fracciones molares (K_x)
- Predicción del sentido de una reacción química. Aplicación de Q
- Expresión para la constante de equilibrio químico heterogéneo
- Aplicación de K_c , K_p y K_x

Actividad 52. Aplicación de la constante de equilibrio en función de la concentración K_c

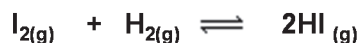
Ejemplo de la actividad 52.

Calcular % de conversión que ocurre a una temperatura de 527 °C para la formación del yoduro de hidrógeno (HI) conociendo que la constante de equilibrio K_c a esa temperatura tiene un valor de 16.43 y partiendo de:

a) 1.00 mol de H_2 y 1.00 mol de I_2 .

b) 1.00 moles de H_2 y 2.00 mol de I_2 .

La reacción de formación del HI es la siguiente:



$$K_c = \frac{[HI]^2}{[I_2][H_2]} = 16.43$$

Completar la siguiente tabla que permitirá visualizar la ecuación para determinar lo que ha reaccionado (X) y sustituir en la ecuación anterior:

Nota: Cuando el $\Delta n(g) = 0$ el volumen no se toma en cuenta para calcular el valor de “ K_c ”

a)

	I_2	H_2	HI
Moles iniciales	1.00	1.00	
Moles que reaccionan	X	X	
Moles formados			2X
Moles en equilibrio	1.00 - X	1.00 - X	2X

$$\frac{\left[\frac{[2X]}{V} \right]^2}{\left[\frac{[1.00 - X]}{V} \right] \left[\frac{[1.00 - X]}{V} \right]} = 16.43$$

$$\frac{\left[\frac{4X^2}{\cancel{V^2}} \right]}{\frac{[1.00 - X]^2}{\cancel{V^2}}} = 16.43$$

$$\sqrt{\frac{4X^2}{[1.00 - X]^2}} = \sqrt{16.43}$$

$$\frac{2X}{1.00 - X} = 4.053$$

$$X = 0.670$$

$$\% \text{ conversión} = \frac{0.670}{1.00} \times 100 = 67.0 \%$$

b) En este caso el reactivo limitante es el H_2

	I_2	H_2	HI
Moles iniciales	2.00	1.00	
Moles que reaccionan	X	X	
Moles formados			2X
Moles en equilibrio	2.00 - X	1.00 - X	2X

$$\frac{\left[\frac{[2X]}{V}\right]^2}{\left[\frac{[2.00 - X]}{V}\right]\left[\frac{[1.00 - X]}{V}\right]} = 16.43$$

$$\frac{\left[\frac{4X^2}{\cancel{V^2}}\right]}{\frac{[X^2 - 3X + 2]}{\cancel{V^2}}} = 16.43$$

$$4X^2 = 16.43 (X^2 - 3X + 2)$$

$$12.43 X^2 - 49.29 X + 32.86 = 0$$

$$X_1 = 0.85 ; X_2 = 3.12$$

El valor correcto es $X_1 = 0.850$

$$\% \text{ conversión} = \frac{0.850}{1.00} \times 100 = 85.0 \%$$

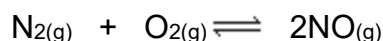
1. Se tiene la siguiente reacción:



para la cual se conoce que K_c es igual a 0.36 a la temperatura de 100 °C. Supongamos que a esta temperatura se inicia la reacción con una concentración de 0.100 M de tetróxido de dinitrógeno (N_2O_4). Calcular las concentraciones en el equilibrio.

Respuestas: $[\text{N}_2\text{O}_4] = 0.040 \text{ M}$, $[\text{NO}_2] = 0.12 \text{ M}$

2. Se tiene la siguiente reacción:



para la cual se conoce que K_c es igual a 1.0×10^{-30} a la temperatura de 25 °C. Supongamos que una mezcla se encuentra a esta temperatura y las concentraciones en el equilibrio son: 0.0400 M de nitrógeno (N_2) y 0.010 M de oxígeno (O_2). Calcular la concentración de monóxido de nitrógeno (NO) en el equilibrio.

Respuesta: $2.0 \times 10^{-17} \text{ M}$

3. Para la siguiente reacción:



se conoce que K_c es igual a 0.534 a la temperatura de 700 °C. En un recipiente rígido con volumen de 10 L inicialmente vacío, se calienta a la temperatura de 700 °C una mezcla de 0.300 moles de monóxido de carbono (CO) y 0.300 moles de H_2O . Calcular los moles de hidrógeno (H_2) que se formarán en el equilibrio.

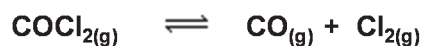
Respuesta: 0.173 moles H_2

Actividad 53. Aplicación de la constante de equilibrio en función de presiones (Kp) y de fracciones molares (Kx)

Ejemplo de la actividad 53.

Una mezcla gaseosa en equilibrio formada por fosgeno (COCl_2), monóxido de carbono (CO) y cloro molecular (Cl_2) tiene una densidad de 1.207 g/L a una temperatura de 327 °C y presión de 1.00 atm. Si partimos del COCl_2 puro a 327 °C. Calcular Kc, Kp y Kx para la descomposición del COCl_2 .

La reacción de descomposición es la siguiente:



1. Tomar como base 1.00 L de mezcla, por lo tanto hay 1.207 g de la mezcla. De la ley de la conservación de la masa esa cantidad de masa es la inicial, por lo tanto corresponde al COCl_2 .
2. Determinar los moles iniciales y con la ecuación general de los gases los moles totales y enseguida completar la tabla:

$$1.207 \text{ g de } \text{COCl}_2 \left[\frac{1.00 \text{ mol de } \text{COCl}_2}{99.0 \text{ g de } \text{COCl}_2} \right] = 0.0122 \text{ moles de } \text{COCl}_2$$

$$n_t = \left[\frac{PV}{RT} \right] \left[\frac{(1.00 \text{ atm})(1.00 \text{ L})}{(0.0821 \text{ Latm/Kmol})(600 \text{ K})} \right] = 0.0200 \text{ moles totales}$$

	COCl_2	CO	Cl_2
Moles iniciales	0.0122		
Moles que reaccionan	X		
Moles formados		X	X
Moles en equilibrio	0.0122-X	X	X

1. Se tiene un recipiente rígido con un volumen de 3.00 L a la temperatura de 250 °C. Inicialmente contiene cloro (Cl₂) a una presión de 0.500 atm. Después se añaden 0.100 moles de pentacloruro de fósforo (PCl₅) y sucede la siguiente reacción:



Se conoce que K_p es igual a 1.78 cuando las presiones están medidas en atm. Calcular:

- a) K_c
- b) Concentraciones en el equilibrio.
- c) % de disociación del pentacloruro de fósforo (PCl₅)

Respuestas: a) 0.0415, b) [PCl₅] = 0.0143 M, [PCl₃] = 0.0191 M, [Cl₂] = 0.0308 M y c) 57.4%

2. Se tiene la siguiente reacción:



para la cual K_p es igual a 1.05 cuando las presiones están medidas en atm a la temperatura de 205 °C. Se conoce que en el equilibrio existen las siguientes presiones parciales: 0.875 atm para el pentacloruro de fósforo (PCl₅) y 0.403 atm para el tricloruro de fósforo (PCl₃).

- a) ¿Cuál es la presión parcial para el cloro (Cl₂) en el equilibrio?
- b) ¿Cuál es el valor de K_c?

Respuestas: a) 2.28 atm, b) 0.0268

3. Se tiene la siguiente reacción:



Considerar que un recipiente rígido contiene tetróxido de dinitrógeno (N_2O_4) a una temperatura de 46°C y una presión inicial de 0.500 atm . Se conoce K_p es igual a 0.670 cuando las presiones están medidas en atm. Calcular el % de disociación del tetróxido de dinitrógeno (N_2O_4) en el equilibrio.

Respuesta: 43.6%

4. Se tiene la siguiente reacción:



para la cual K_c tiene un valor de 3.750×10^{-5} a la temperatura de 1000 K .

Calcular:

- a) Composición % mol en el equilibrio cuando la presión total en el equilibrio es 100.0 atm .
- b) Si la presión en el equilibrio cambia a 1.00 atm , ¿cuál es la composición de la mezcla?

Respuestas: a) 0.55% mol y 99.45% mol; b) 5.0% mol y 95% mol

Actividad 54. Predicción del sentido de una reacción química.

Aplicación de Q_c

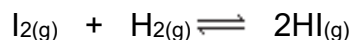
1. Suponer que el cociente de reacción (Q_c) se encuentra sustituido por presiones parciales o por concentraciones iniciales de reactivos y productos. Escribir hacia donde se desplazará el equilibrio de una reacción si:

b) $Q_c > K_c$ _____

c) $Q_c < K_c$ _____

d) $Q_c = K_c$ _____

2. Considerar la siguiente reacción:



A una temperatura de 229 °C en un recipiente rígido de volumen de 1 L se establece el equilibrio midiéndose las siguientes concentraciones: $[\text{HI}] = 0.490 \text{ M}$, $[\text{H}_2] = 0.0800 \text{ M}$ y $[\text{I}_2] = 0.0600 \text{ M}$.

- a) Calcular la constante de equilibrio, K_c .
- b) Si se añaden 0.300 moles de ácido yodhídrico (HI), calcular Q_c .
- c) ¿Hacia dónde se desplazará el equilibrio?
- d) ¿Cuáles serán las concentraciones en el nuevo estado de equilibrio?

Respuestas: a) 50.0, b) 130, c) izquierda, d) $[\text{HI}] = 0.724 \text{ M}$, $[\text{H}_2] = 0.113 \text{ M}$, $[\text{I}_2] = 0.0929 \text{ M}$.

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.
Capítulo 15 ejercicios: 15.33, 15.66, 15.69

Chang R. y Golldsbey K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.
Capítulo 14 ejercicios: 14.64, 14.72, 14.82

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015), QUÍMICA, 10ª Edición, México, Cengage Learning.
Capítulo 17 ejercicios: 44, 47, 71, 79

5.4 EQUILIBRIO QUÍMICO HETEROGÉNEO

Contenido

- Aplicación de la constante de equilibrio en función de la concentración K_c
- Aplicación de la constante de equilibrio en función de presiones (K_p) y de fracciones molares (K_x)
- Predicción del sentido de una reacción química. Aplicación de Q
- Expresión para la constante de equilibrio químico heterogéneo
- Aplicación de K_c , K_p y K_x

Actividad 55. Expresión para la constante de equilibrio químico heterogéneo

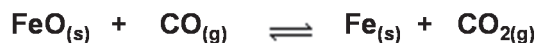
1. Escribir las expresiones de K_c , K_p y K_x para las siguientes reacciones en el equilibrio y calcular el cambio de moles en estado gaseoso, Δn_g .

- a) $2\text{SO}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{SO}_{3(g)}$
- b) $2\text{NH}_{3(g)} + \text{H}_2\text{SO}_{4(l)} \rightleftharpoons (\text{NH}_4)_2\text{SO}_{4(s)}$
- c) $\text{S}_{(s)} + \text{H}_2\text{SO}_{3(ac)} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}_2\text{O}_{3(ac)}$
- d) $\text{H}_2\text{O}_{(g)} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_{(l)}$
- e) $\text{F}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{F}_{(g)}$
- f) $\text{C}_{(\text{grafito})} + \text{O}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_{2(g)}$
- g) $\text{H}_{2(g)} + \text{C}_2\text{H}_{4(g)} \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_{6(g)}$

Actividad 56. Aplicación de Kc, Kp y Kx

Ejemplo de la actividad 56.

La constante de equilibrio Kp a la temperatura de 1000 °C para la reacción:



tiene un valor de 0.403 (medida en atm). En un reactor que contiene óxido ferroso sólido (FeO) a una temperatura de 1000 °C, se hace pasar lentamente una mezcla gaseosa (20.0 % mol de CO y 80.0% mol de N₂). Calcular la composición de la mezcla gaseosa que sale del reactor (% mol).

a) 1. Calcular las presiones parciales:

$$K_p = \frac{[P_{\text{CO}_2}]}{[P_{\text{CO}}]} = 0.403$$

$$P_{\text{CO}} = (P_t)(X_{\text{CO}}) = 0.200 P_t$$

xP_t es lo que disminuye la presión parcial del CO para llegar al equilibrio

$$P_{\text{CO}} = P_o - xP_t = 0.200 P_t - xP_t = [0.200 - x] P_t$$

$$P_{\text{CO}_2} = xP_t$$

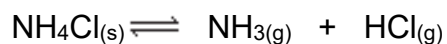
2. Sustituir en Kp :

$$0.403 = \frac{[x] \cancel{P_t}}{[0.200 - x] \cancel{P_t}}$$

$$0.403 (0.200 - x) = x$$

$$x = 0.0570$$

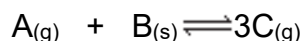
1. Se tiene la siguiente reacción:



En un recipiente rígido de volumen de 5.00 L a la temperatura de 500 °C, se ha encontrado que el equilibrio está formado por: 2.00 moles de amoníaco (NH₃), 2.00 moles de ácido clorhídrico (HCl) y 1.00 mol de cloruro de amonio (NH₄Cl). Calcular: K_c, K_p (medida en atm) y K_x, para este sistema.

Respuestas: 0.160, 643 y 0.250

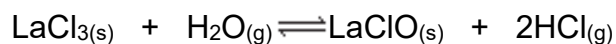
2. En un recipiente rígido de volumen de 80 L se lleva a cabo la siguiente reacción:



A la temperatura de 300 °C se calientan inicialmente: 1.00 mol de A y 2.00 moles de B y se encuentra que la presión en el equilibrio es 1.48 atm. Calcular: K_c, K_p (medida en atm) y K_x.

Respuestas: 7.79 x10⁻³, 17.2 y 7.29

3. En un recipiente se tiene H₂O a la presión de 1.5 atm; sin cambiar la temperatura ni el volumen, se añadió cloruro lantánico (LaCl₃) y se formó hipoclorito lantanoso (LaClO) y ácido clorhídrico (HCl). En el equilibrio se midió una presión de 2.0 atm. Calcular K_p (medida en atm) para la siguiente reacción:



Respuesta: 1.0

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 15 ejercicios: 15.61, 15.66, 15.70

Petrucci R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), *QUÍMICA GENERAL*, 11.^a Edición, Madrid, Pearson Educación.

Capítulo 16 ejercicios: 50, 51, 52

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015), QUÍMICA, 10^a Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 17 ejercicios: 75, 77, 92.

5.5 PERTURBACIÓN DEL ESTADO DE EQUILIBRIO

Contenido

- Principio de Le Châtelier
- Efecto en el equilibrio de los cambios de concentración de reactivos y productos
- Efecto de los cambios de volumen y presión
- Efecto de los cambios de temperatura

Actividad 57. Principio de Le Châtelier

El siguiente enunciado corresponde al principio de Le Châtelier: *“Si un sistema en equilibrio es perturbado de alguna manera, el sistema se desplazará en el sentido en que sea disminuido el efecto perturbador”*

- Efectos perturbadores del equilibrio:
 - ✓ Añadiendo o extrayendo un reactivo o producto se conserva el valor de K_c , solamente cambia la relación de productos y reactivos.
 - ✓ Cambiando el volumen del sistema se conserva el valor de K_c , solamente cambia la relación de productos y reactivos.
 - ✓ Cambiando la temperatura, cambia el valor de K_c , de la siguiente manera:

Si la reacción directa ($\rightarrow$) es endotérmica; K_c aumenta cuando la temperatura aumenta.

Si la reacción directa ($\rightarrow$) es exotérmica; K_c disminuye cuando la temperatura aumenta.

- Apliquemos estas reglas:

1. Considerar la siguiente reacción:



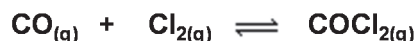
¿En qué dirección se desplazará el equilibrio? si:

- a) Se añaden átomos de I _____
- b) Se extraen átomos de I _____
- c) Se añaden moléculas de I_2 _____
- d) Se comprime el sistema _____
- e) Se aumenta la temperatura _____

Actividad 58. Efecto en el equilibrio de los cambios de concentración de reactivos y productos

Ejemplo de la actividad 58.

La siguiente reacción llega al equilibrio:



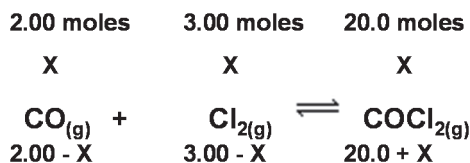
Se determinó que las concentraciones en el equilibrio fueron de 2.00 M para el monóxido de carbono (CO), 2.00 M para el cloro molecular (Cl_2) y de 20.0 M para el fosgeno (COCl_2). Determinar las concentraciones de estas especies en el nuevo equilibrio si :

- Se añaden 1.00 moles/L de Cl_2 .
 - Duplicamos el volumen del recipiente de acuerdo al inciso (a).
- a) De acuerdo al principio de Le'Châtelier sí se perturba el equilibrio con $\text{Cl}_{2(g)}$ este se tiene que consumir, por lo tanto la reacción sigue igual (directa).

1. Determinar el valor de K_c :

$$K_c = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}][\text{Cl}_2]} = \frac{[20.0 \text{ M}]}{[2.00 \text{ M}][2.00 \text{ M}]} = 5.00$$

2. Tomar como base un volumen de 1.00 L



3. Sustituir en K_c para calcular el valor de X:

$$K_c = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}][\text{Cl}_2]} = \frac{[20.0 + X]}{[2.00 - X][3.00 - X]} = 5.00$$

$$(5.00)([2.00 - X][3.00 - X]) = 20.0 + X$$

$$X_1 = 4.782$$

$$X_2 = 0.418$$

$$[\text{COCl}_2] = 20.0 + 0.418 = 20.4 \text{ M}$$

$$[\text{CO}] = 2.00 - 0.418 = 1.52 \text{ M}$$

$$[\text{Cl}_2] = 3.00 - 0.418 = 2.58 \text{ M}$$

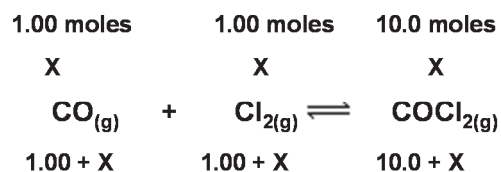
b) 1. Tomar como volumen 2.00 L y calcular la molaridad:

$$[\text{CO}] = \frac{[2.00 \text{ moles}]}{2.00 \text{ L}} = 1.00 \text{ M}$$

$$[\text{COCl}_2] = \frac{[20.0 \text{ moles}]}{2.00 \text{ L}} = 10.0 \text{ M}$$

$$[\text{Cl}_2] = \frac{[2.00 \text{ moles}]}{2.00 \text{ L}} = 1.00 \text{ M}$$

La reacción se desplaza a la izquierda



$$K_c = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}][\text{Cl}_2]} = \frac{[10.0 - X]}{[1.00 + X][1.00 + X]} = 5.00$$

$$X_1 = 0.387$$

$$X_2 = -0.387$$

$$[\text{COCl}_2] = 10.0 - 0.387 = 9.62 \text{ M}$$

$$[\text{CO}] = 1.00 + 0.387 = 1.38 \text{ M}$$

$$[\text{Cl}_2] = 1.00 + 0.387 = 1.38 \text{ M}$$

1. Se tiene la siguiente reacción:



En un recipiente rígido con volumen de 1.00 L, se han encontrado las siguientes concentraciones en el equilibrio: $[\text{SO}_2] = 0.800 \text{ M}$, $[\text{NO}_2] = 0.100 \text{ M}$, $[\text{SO}_3] = 0.600$

M y $[\text{NO}] = 0.400 \text{ M}$. Manteniendo la temperatura y el volumen constante, ¿cuántos moles de monóxido de nitrógeno (NO) se tendrán que añadir al sistema para aumentar la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2) en el equilibrio hasta 0.300 M ?

Respuesta: 2.05 moles.

2. Se tiene la siguiente reacción:



Un recipiente rígido cuyo volumen es de 1.0 L se encuentra a cierta temperatura y se miden las siguientes concentraciones en el equilibrio: 0.20 M , 0.80 M , 0.40 M y 0.10 M , respectivamente al orden en que aparecen las sustancias en la reacción. A temperatura constante se perturba el equilibrio agregando moles de dióxido de carbono (CO_2) y se conoce que la nueva concentración del H_2O en el equilibrio es 0.50 M .

- a) Calcular las otras concentraciones molares en el nuevo equilibrio.
- b) Moles de dióxido de carbono (CO_2) añadidos.
- c) ¿Es correcto el desplazamiento del equilibrio? Justifica.

Respuestas: a) $[\text{H}_2] = 0.10 \text{ M}$, $[\text{CO}_2] = 4.0 \text{ M}$, $[\text{H}_2\text{O}] = 0.50 \text{ M}$ y $[\text{CO}] = 0.20 \text{ M}$, b) 3.3 moles

Actividad 59. Efecto de los cambios de volumen y presión

1. ¿En cuál(es) de las siguientes reacciones, un aumento de la presión no afectará el equilibrio? ()



2. Se tiene la siguiente reacción:



En un recipiente rígido cuyo volumen es de 1.00 L a la temperatura de 22 °C se tienen las siguientes concentraciones en el equilibrio son: $[\text{N}_2\text{O}_4] = 0.770 \text{ M}$ y $[\text{NO}_2] = 0.0600 \text{ M}$. Si el volumen se reduce a la mitad y la temperatura es constante, ¿cuáles serán las nuevas concentraciones en el equilibrio?

Respuestas: $[\text{NO}_2] = 0.0852 \text{ M}$, $[\text{N}_2\text{O}_4] = 1.57 \text{ M}$

Actividad 60. Efecto de los cambios de temperatura

1. Para la siguiente reacción:



Se conoce que $\Delta H > 0$, es de esperar que K_c : ()

- a) Aumente al aumentar la temperatura
- b) Disminuya al aumentar la temperatura
- c) No se modifique al aumentar la temperatura

2. Para la siguiente reacción:



Se conocen: K_p igual a 1.5 (medida en atm) a la temperatura de 900 K y K_p igual a 10 (medida en atm) a la temperatura de 1100 K. Para conseguir una reducción más eficiente de óxido estánico (SnO_2) deberán utilizarse: ()

- a) Temperaturas elevadas
- b) Temperaturas bajas
- c) Altas presiones
- d) Bajas presiones

3. Se tiene la siguiente reacción:



para la cual ΔH es 160.3 kJ/mol. En el equilibrio se conoce que la presión parcial del dióxido de carbono (CO_2) es 1 atm a la temperatura de 897 °C. En un recipiente rígido inicialmente vacío se coloca una masa de 60 g de carbonato de calcio (CaCO_3). ¿Cuál deberá de ser la temperatura del sistema para que la presión en el equilibrio sea?:

- a) 3.8 atm
- b) 5.0 atm

Respuestas: 1274 K, b) No hay equilibrio porque se agota el CaCO_3

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 15 ejercicios: 15.51, 15.55

Chang R. y Golldsbey K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 14 ejercicios: 14.54, 14.62

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015), QUÍMICA, 10ª Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 17 ejercicios: 62, 66, 68

Actividad 61. Ejercicios de Integración

1. Considerar que se tiene un recipiente rígido cuyo volumen es de 1.00 L y que a la temperatura de 800 °C se lleva a cabo la siguiente reacción:



A esta temperatura se conoce que la reacción tiene una Kp de 14.1 (medida en atm).

- a) ¿Cuáles serán las presiones parciales en el equilibrio si inicialmente se alimentó carbono (C) y 0.100 moles de H₂O?
- b) ¿Cuál es la cantidad mínima de carbono (C) necesaria para alcanzar el equilibrio en estas condiciones?
- c) ¿Cuál es la presión total en el recipiente cuando se alcance el equilibrio?
- d) Si a la temperatura de 25 °C el valor de Kc es 1.70×10^{-21} . ¿Es endotérmica o exotérmica la reacción?
- e) Para hacer más eficiente la producción de monóxido de carbono (CO) y de hidrógeno (H₂) en el equilibrio, ¿se debe aumentar o disminuir la presión del sistema?

Respuestas: a) 6.14 atm, 6.14 atm y 2.67 atm, b) 0.0697 moles, c) 14.95 atm; d) endotérmica; e) disminuir

2. En el *smog* se han identificado diversas sustancias, por ejemplo: NO, NO₂, O₃, y gran variedad de compuestos orgánicos derivados de los hidrocarburos de las gasolinas que se han desechado al medio ambiente sin haber sido quemados, por ejemplo: en el motor de combustión interna de los automóviles se alimenta el oxígeno (O₂) a través del aire y éste contiene aproximadamente el 79% mol o volumen de nitrógeno (N₂) mismo que a temperaturas altas, es inevitable que se convierta a óxidos de nitrógeno (NO_x) que ocasionan, además del **smog**, otros

problemas ambientales. Resulta de suma importancia que los gases de escape reaccionen a través de un convertidor catalítico que realiza dos funciones diferentes: 1) La oxidación del monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos (C_xH_y) a dióxido de carbono (CO_2) y H_2O ; 2) la reducción de los óxidos de nitrógeno (NO y NO_2) a N_2 . En el cilindro de un automóvil, durante el ciclo donde se realiza la etapa de combustión de la gasolina, la temperatura es 2400 K y existe un exceso de aire, por lo que sucede la siguiente reacción:



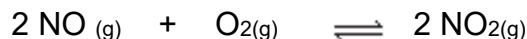
A la temperatura del sistema, la constante de equilibrio en función de presiones, K_p tiene un valor de 1.0×10^{-2} . De acuerdo al valor de ΔH de la reacción:

- a) ¿La temperatura alta favorece o no favorece a la formación de monóxido de nitrógeno?

Después de la combustión, los gases se enfrían rápidamente, a la temperatura de 1,000 K, se conoce que K_p es igual a 1×10^{-5} , bajo estas circunstancias:

- b) Al disminuir la temperatura ¿hacia dónde se desplazará el equilibrio? ¿favorece o no favorece a la formación de monóxido de nitrógeno?
- c) Cuando se desplaza el equilibrio y la temperatura es baja ¿cómo es la velocidad de esta reacción?
- d) Bajo estas condiciones, ¿es significativa la conversión de monóxido de nitrógeno?; por lo que la concentración de NO en los gases de escape será ¿alta o baja?

Otra de las reacciones que suceden en este proceso es la siguiente:



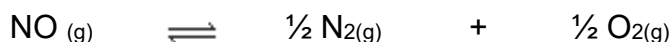
La cual es de segundo orden con respecto al NO y de primer orden con respecto al O_2 . Suponer que a cierto tiempo se analizan los gases de escape de un

automóvil y se encuentra que cuando la concentración de monóxido de nitrógeno (NO) es de 0.040 M y la del oxígeno molecular (O₂) es de 0.035 M, la velocidad de desaparición del NO es 9.3x10⁻⁵ M/s:

- e) Para este tiempo, ¿cuál es la velocidad de desaparición del O₂ y de aparición del NO₂?
- f) ¿Cuál es el orden global de la reacción?
- g) ¿Cuáles serán las unidades de la constante cinética de reacción?

Respuestas: e) - 4.65x10⁻⁵ M/s, + 9.3x10⁻⁵ M/s, f) tercer orden, g) M⁻²s⁻¹

3. Una de las reacciones que se realizan en el convertidor catalítico del automóvil es la siguiente:



Para la cual se conocen las constantes cinéticas de reacción: k igual a 0.0796 M⁻¹s⁻¹ a 737 °C y k igual 0.0815 M⁻¹s⁻¹ a 947 °C

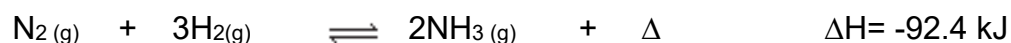
- a) ¿Cuál es el orden de reacción?
- b) ¿Cuál es el valor de la energía de activación (kJ/mol)?

Respuestas: h) segundo orden, i) 1.15 kJ/mol

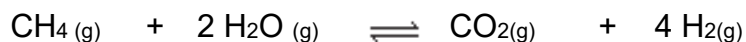
De acuerdo a la funcionalidad de un convertidor catalítico de automóvil, éste consta de dos catalizadores heterogéneos; uno tiene una eficiencia aproximada del 96% para la reacción de oxidación, sin embargo, no es eficiente para la reacción de reducción; por lo cual se utiliza otro diferente, mismo que tiene aproximadamente una eficiencia del 76%:

- c) ¿Cuáles son las sustancias utilizadas como catalizadores para cada una de las reacciones oxidación-reducción? ¿Cada uno, son más caros o menos caros que el oro?

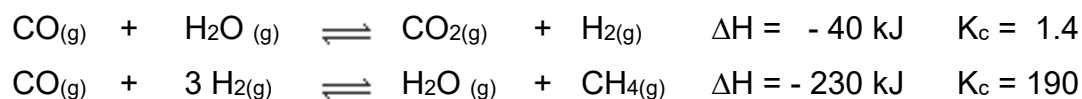
- d) ¿Cuál es la causa principal por la que podría afectarse la funcionalidad de este convertidor catalítico?
- e) ¿Cuáles sustancias analizarías en los gases de escape de un automóvil para verificar la eficiencia del convertidor catalítico?
4. A principios del siglo XX, en el área de la Química, aún no se había podido producir industrialmente amoníaco gaseoso (NH_3) a partir del nitrógeno molecular, (N_2) existente en forma abundante en el aire (aproximadamente 79% mol o volumen). En los primeros años del siglo XX, **Fritz Haber** diseñó y patentó este proceso, después **Carl Bosch** lo comercializó industrialmente; motivo por lo cual cada uno, fueron galardonados con el Premio Nobel de Química. La reacción principal que se lleva a cabo en el proceso Haber-Bosch para la obtención de NH_3 gaseoso, utilizando un catalizador heterogéneo, es la siguiente:



El H_2 gaseoso se obtiene a partir de la conversión del metano (CH_4). Suponer que a $T=1000 \text{ K}$, un reactor de 1000 L es alimentado con 100 moles de CH_4 y 100 moles de H_2O , llevándose a cabo la siguiente reacción principal, misma que alcanza el equilibrio:



Para $T=1000 \text{ K}$, se tiene la siguiente información:



Con estos datos calcular para la reacción principal:

- a) La constante de equilibrio en función de concentraciones, K_c .
- b) El cambio de entalpía, ΔH .

- c) De acuerdo al valor de ΔH obtenido en el inciso b), beneficia a la producción de H_2 , ¿bajar o aumentar la temperatura del sistema?

Respuestas: a) 7.4×10^{-3} , b) 190 kJ.

Se conoce que cuando la reacción principal alcanza el equilibrio, la presión parcial del CH_4 es 6.314 atm,

Calcular:

- d) La constante de equilibrio en función de presiones, K_p
e) Número de moles de las sustancias en el equilibrio.
f) Concentraciones (M) de las sustancias en el equilibrio.
g) Escribir la expresión que corresponde a K_c y sustituir para su comprobación los valores obtenidos en los incisos a) y f).

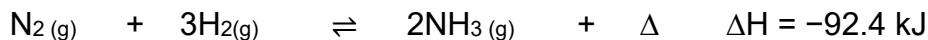
Respuestas: d) 1.1×10^{-6} , e) 77.0, 54.0, 23.0 y 92.0 moles, f) 0.077 M, 0.054 M, 0.023 M y 0.092 M.

Para producir amoníaco (NH_3) los moles de H_2 obtenidos en el inciso e), reaccionarán con N_2 , proveniente del aire; considerando la estequiometría de la reacción correspondiente, calcular:

- h) Número de moles de aire que se requiere suministrar al proceso **Haber-Bosch**.

Respuesta: 38.8 moles.

Suponer que después de varias etapas del proceso, los moles de H_2 y N_2 gaseosos obtenidos como reactivos, son alimentados a un reactor de 1500 L que opera a la temperatura de 723.15 K y presión de 300 bar; entonces sucede la siguiente reacción que alcanza el equilibrio:



A. Para conseguir un alto rendimiento de NH_3 , el equilibrio: ()

- a) Debe desplazarse a la izquierda b) No debe desplazarse
- c) Debe desplazarse a la derecha d) No es función del equilibrio

B. Para conseguir un alto rendimiento de NH_3 en el equilibrio y considerando el valor de ΔH de esta reacción el proceso se debería de realizar a: ()

- a) Temperaturas bajas b) Temperaturas medianas
- c) Temperaturas altas d) No influye la temperatura

C. Si la reacción se lleva a cabo a temperaturas bajas, la velocidad de reacción y por lo tanto el rendimiento de NH_3 resultaría: ()

- a) Alto b) Bajo
- c) La temperatura no influye en la cinética de reacción. d) La temperatura solamente influye en el equilibrio.

D. Para conseguir un alto rendimiento de NH_3 en el equilibrio, de acuerdo a los coeficientes y estado físico de las sustancias, esta reacción se debería de realizar a: ()

- a) Presiones bajas. b) La presión no influye en el equilibrio.
- c) No existen datos para poder predecir. d) Presiones altas.

E. Considerando las respuestas a los puntos anteriores, sería recomendable operar este proceso a: ()

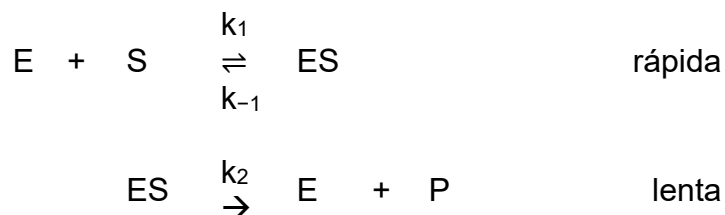
- a) T altas y P bajas b) T bajas y P altas

c) T altas y P altas

d) T medianas y P altas

5. La mayoría de las reacciones que ocurren en los sistemas vivos son catalizadas por proteínas conocidas con el nombre de *enzimas*, su estructura es muy compleja, reciben su nombre en función de su actividad específica, por ejemplo, la enzima *ureasa* cataliza con eficiencia la hidrólisis de la urea, deducir la actividad específica de: la enzima proteasa y la enzima amidasa.

Los mecanismos de reacción de las enzimas son muy complejos, implicando un número de etapas elementales cada una de las cuales puede incluir interacciones entre varios grupos de las moléculas de la **enzima** y el **sustrato** (sustancia sobre la cual actúa la enzima). Considerar el siguiente mecanismo:



En donde se expresan las concentraciones: E (enzima); S (sustrato); ES (complejo activado) y P (producto). Considerar que en el equilibrio: $k_1 = k_{-1}$:

- a) Escribir la ecuación de velocidad que relacione [E] y [S]

Suponiendo que para una reacción enzimática se obtuvieron los siguientes datos:

[S] M	t (min)
1.00	0
0.90	20
0.70	60
0.50	100

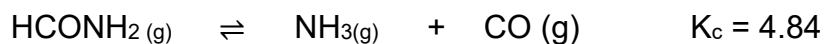
- b) ¿Cuál es el orden de reacción con respecto al sustrato en este intervalo de concentraciones?

Con respecto a [E] y a [S], se ha experimentado que cuando para éste se tienen concentraciones bajas, generalmente las velocidades de reacción

son de primer orden, sin embargo, cuando las [S] son elevadas, el orden respectivo es cero:

- c) Investigar este tipo de comportamiento que fue explicado por Michaelis-Menten.
- d) Con relación al modelo cinético investigado en el inciso c), evaluar y discutir los resultados obtenidos en el inciso b).

Por otra parte, es indiscutible la utilización de sustancias químicas para la formulación de medicamentos, se tiene por ejemplo la formamida, HCONH_2 , misma que a temperaturas altas (400 K) se puede descomponer de acuerdo a la siguiente reacción:



Suponiendo que se cuenta con una $[\text{HCONH}_2] = 0.50 \text{ M}$ inicial, calcular:

- e) Concentraciones en el equilibrio.
- f) Composición % masa en el equilibrio.
- g) Masa molar de la mezcla en el equilibrio.
- h) Constante de equilibrio en función de presiones, K_p (atm).

CAPÍTULO 6

EQUILIBRIO IONICO

Los ácidos, las bases y las sales, son compuestos indispensables, se encuentran en la naturaleza y sirven para diversos fines, por ejemplo: en el “jugo gástrico” del estómago se encuentra el ácido clorhídrico, la sangre humana y la mayoría de los componentes acuosos de las células son ligeramente básicos, la sal denominada cloruro de calcio se emplea para fundir el hielo y el hidróxido de sodio que es una base, se utiliza para fabricar jabón. Existe una gran cantidad de aplicaciones prácticas de las reacciones ácido-base, en las cuales es necesario cuantificar la concentración de una disolución, a estas reacciones se les denomina reacciones de neutralización y el método de cuantificación utilizado es el de titulación. Por otro lado, existen sustancias que en disolución acuosa se disocian casi totalmente (electrolitos fuertes) o se disocian parcialmente (electrolitos débiles), por lo que es necesario conocer la constante de equilibrio correspondiente a la sustancia que se está disociando o ionizando así como resolver el o los sistemas de ecuaciones que definen este estado, a fin de conocer las concentraciones de las sustancias involucradas en estos sistemas químicos mismos que involucran sustancias tanto iónicas como moleculares. Calcular estas concentraciones será importante también porque influyen en el pH y pOH de los sistemas que se estén estudiando. Para el estudio de este tema se proponen los siguientes subtemas, objetivos específicos y actividades.

6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTROLITOS

Contenido

- Electrolitos fuertes y débiles

REVISIÓN Y APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Dar un ejemplo de cada especie:		
Ion monoatómico _____		
Ion poliatómico _____		
Ion complejo _____		
2. Con relación a las siguientes especies, indicar cuál es un “ electrolito fuerte ” (EF), cuál es un “ electrolito débil ” (ED) y cuál es “ no electrolito ” (NE).		
NaCl _____	KCN _____	CH ₃ OH _____ C ₆ H ₁₂ _____
HCl _____	HCN _____	H ₂ O _____ AgCl _____
3. Describir la reacción que representa la autoionización del H ₂ O, así como la ecuación y el valor que corresponde a su constante, Kw a 25 °C		
4. Escribir las ecuaciones correspondientes para calcular pH ⁺ y pOH ⁻		
5. Enunciar qué es un: ácido y base según las teorías de:		
	Ácido	Base
Arrhenius		

Bronsted–Lowry		
Lewis		
6. Definir ácidos y bases fuertes y débiles y dar ejemplos de cada uno.		
Ácido fuerte		Ejemplo
Ácido débil		Ejemplo
Base fuerte		Ejemplo
Base débil		Ejemplo
7. ¿Qué es un par conjugado ácido- base? Escribe un ejemplo.		
8. Definir ácidos y bases mono y polipróticos (mono ácidos, mono bases, poli ácidos, poli bases). Dar ejemplos de cada uno.		
Monoácido		Ejemplo
Poliácido		Ejemplo

Monobase	Ejemplo
Polibase	Ejemplo
9. Se tiene la siguiente reacción:	
$\text{HF}_{(\text{ac})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{ac})} + \text{F}^{-1}_{(\text{ac})}$	
Escribir la ecuación útil para obtener la constante de equilibrio K_a , del ácido fluorhídrico, HF.	
10. Se tiene la siguiente reacción:	
$\text{NH}_{3(\text{ac})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+_{(\text{ac})} + \text{OH}^-_{(\text{ac})}$	
Escribir la ecuación útil para obtener la constante de equilibrio K_b , del amoníaco, NH_3 .	
11. Explicar la definición o concepto de anfótero (anfolito):	

12. Investigar que es una disolución buffer, tampón o amortiguadora. Escribe un ejemplo.	
	Ejemplo
13. ¿Qué es precipitación?, ¿Qué es un precipitado? ¿Qué es solubilidad?	
14. Investigar qué es solubilidad intrínseca.	
15. Indicar qué es el producto iónico y expresar la ecuación matemática para calcularlo.	
16. Escribir la expresión matemática para calcular la constante de producto de solubilidad (Kps).	
17. Definir la especie denominada ion complejo y escribir un ejemplo.	

Actividad 62. Electrolitos fuertes y débiles

1. De los compuestos siguientes, subrayar cuáles son electrolitos débiles:

a) HCOOH	g) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	m) HI
b) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	h) $\text{Ca}(\text{OH})_2$	n) NH_3
c) CH_3COONa	i) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	o) $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$
d) NH_4Cl	j) MnO_2	p) FeS
e) H_3PO_4	k) N_2H_4	q) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
f) H_2S	l) CH_3CN	r) KOH

2. Calcular las concentraciones molares de las especies en disolución cuando se mezclan:

1. Una masa de 5 g de hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con un volumen de 700 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) de concentración 0.02 M.
2. Una masa de 3.2 g de ácido fórmico (HCOOH) con un volumen de 540 mL de disolución de hidróxido de litio (LiOH) de concentración 0.2 M.
3. Un volumen de 63 mL de disolución de ácido perclórico (HClO_4) de concentración 0.03 M con un volumen de 45 mL de disolución de amoníaco (NH_3) de concentración 0.02 M.

Respuestas: a) $[\text{Ca}^{2+}] = 0.097 \text{ M}$, $[\text{OH}^-] = 0.154 \text{ M}$, $[\text{SO}_4^{2-}] = 0.02 \text{ M}$, b) $[\text{HCOO}^-] = 0.13 \text{ M}$, $[\text{Li}^+] = 0.20 \text{ M}$, $[\text{OH}^-] = 0.07 \text{ M}$ y c) $[\text{NH}_4^+] = 8.4 \times 10^{-3} \text{ M}$, $[\text{ClO}_4^-] = 1.8 \times 10^{-2}$, $[\text{H}^+] = 9.3 \times 10^{-3} \text{ M}$.

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 16 ejercicios: 16.43, 16.44

Chang R. y Golldsbey K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 15 ejercicios: 15.33, 15.34

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015), QUÍMICA, 10ª Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 18 ejercicios: 2, 9

6.2 AUTOIONIZACIÓN DEL AGUA

Contenido

- Conducta iónica del agua
- Constante de ionización del agua
- Constante del producto iónico del agua

Actividad 63. Conducta iónica del agua

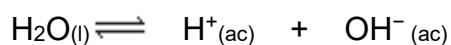
1. Investigar una forma de comprobar el carácter iónico del agua.

2. En la siguiente tabla subrayar las sustancias que favorecen la ionización del agua.

a) $(\text{CH}_3)_2\text{O}$	d) Aceite comestible	g) SiO_2
b) CH_3OH	e) HBrO	h) AgCl
c) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	f) NaNO_3	i) CaCO_3

Actividad 64. Constante de ionización del agua

1. Expresar y calcular la constante de equilibrio de disociación del H_2O a temperatura de 25°C .



2. Investigar la constante de equilibrio de disociación del H_2O a diferentes temperaturas

Actividad 65. Constante del producto iónico del agua

1. ¿Cuál es la concentración de iones H^+ del H_2O a temperatura de 37°C si el producto iónico del H_2O a esa temperatura es de 2.4×10^{-14} ?

Respuesta: 1.4×10^{-7}

2. ¿Cuál es el pH del H_2O a la temperatura de 10°C si el producto iónico del H_2O a esa temperatura es de 2.9×10^{-15} ?

Respuesta: 7.3

6.3 ESCALA DE pH y pOH

Contenido

- Escala de pH y pOH
- Acidez, alcalinidad y neutralidad de un sistema

Actividad 66. Escala de pH y pOH

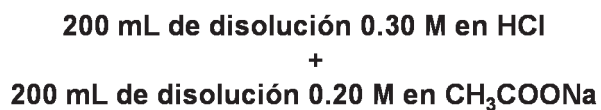
Completar la siguiente tabla:

$[H^+]$	$[OH^-]$	pH	pOH
10^{-3}			
	10^{-7}		
1.3×10^{-3}			
	10^{-8}		
5×10^{-3}			
		5.0	
			4.0
		6.5	
			11.4
6.2×10^{-9}			
	4.5×10^{-10}		

Actividad 67. Acidez, alcalinidad y neutralidad de un sistema

Ejemplo de la actividad 71.

Un volumen de 200 mL de una disolución 0.30 M en HCl se mezcló con 200 mL de una disolución 0.20 M de acetato de sodio (CH_3COONa). Calcular las concentraciones de todas las especies químicas presentes, el pH y pOH.



400 mL de disolución 0.15 M en HCl y 0.10 M de CH_3COONa



El HCl reacciona con el CH_3COONa :

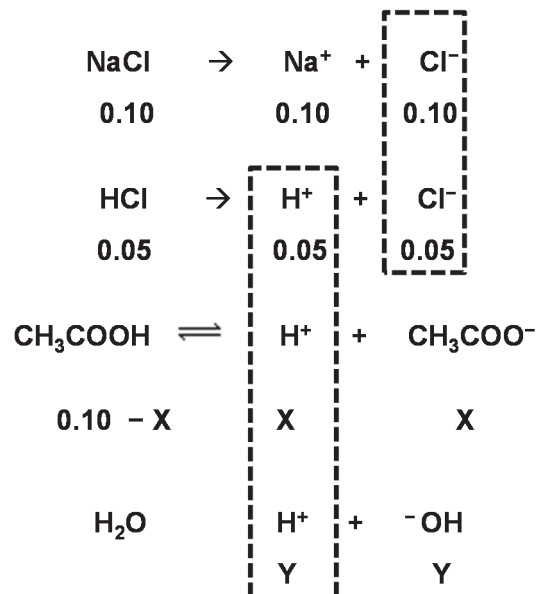


Moles iniciales: 0.15 0.10

Moles que reaccionan 0.10 0.10

Moles Formados 0.10 0.10

En disolución queda:



$$K_i = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} = 1.8 \times 10^{-5}$$

$$\frac{[0.05 + \cancel{X} + \cancel{Y}][X]}{[0.10 - X]} = 1.8 \times 10^{-5}$$

$$X = \frac{(1.8 \times 10^{-5})(0.10)}{0.05} = 3.6 \times 10^{-5}$$

$$K_w = 1.0 \times 10^{-14} = [H^+][^-OH]$$

$$1.0 \times 10^{-14} = [0.05 + \cancel{X} + \cancel{Y}][Y]$$

$$Y = 2.0 \times 10^{-13}$$

En el equilibrio se tienen las siguientes especies con sus respectivas concentraciones:

$$[Na^+] = 0.10 \text{ M}$$

$$[Cl^-] = 0.15 \text{ M}$$

$$[H^+] = 0.05 \text{ M}$$

$$[^-OH] = 2.0 \times 10^{-13}$$

$$[CH_3COOH] = 0.10 \text{ M}$$

$$pH = -\log [H^+]$$

$$pH = -\log (0.05) = 1.3$$

$$pOH = -\log [^-OH]$$

$$pOH = -\log (2.0 \times 10^{-13}) = 12.7$$

1. Escribir las ecuaciones iónicas y moleculares de las siguientes reacciones:

- Ácido yodhídrico más acetato de calcio
- Hidróxido de aluminio más ácido perbrómico
- Acetato de amonio más hidróxido de bario
- Acetato de amonio más ácido fluorhídrico
- Ácido hipocloroso más cianuro de potasio

2. Calcular el pH de una disolución que se obtiene al disolver un volumen de 25 mL de ácido clorhídrico (HCl), 37 % de pureza y densidad de 1.18 g/mL en 400 mL de H₂O.

Respuesta: 0.13

3. Se disuelve una masa de 0.14 g de hidróxido de potasio (KOH) en H₂O hasta obtener un volumen de 25 mL de disolución. Calcular el pH de la disolución resultante.

Respuesta: 13

4. A un volumen de 1.00 L de disolución de ácido clorhídrico (HCl) de concentración 0.01 M se agregan 0.009 moles de hidróxido de sodio (NaOH). Calcular el pH de la disolución resultante.

Respuesta: 3

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 16 ejercicios: 16.29, 16.34, 16.40, 16.45 ,16.48

Chang R. y Goldsby K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 15 ejercicios: 15.15, 15.20, 15.26, 15.43, 15.50

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015), QUÍMICA, 10ª Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 18 ejercicios: 38, 41, 43,57

6.4 CLASIFICACIÓN DE ÁCIDOS Y BASES

Contenido

- Ácidos y bases
- Teoría de Arrhenius
- Teoría de Brønsted-Lowry (ácido y base conjugada)
- Teoría de Lewis

Actividad 68. Ácidos y bases

1. La acidez del estómago equivale aproximadamente a una concentración de ácido clorhídrico (HCl) 0.200 M. Para eliminar las molestias, los pacientes toman pastillas antiácidas, cada pastilla pesa 330 mg y contiene 41.0% de hidróxido de magnesio, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 36.2% de carbonato ácido de sodio (NaHCO_3) y 22.8% de cloruro de sodio (NaCl).
 - a) Escribir las reacciones ajustadas para cada componente que neutraliza el HCl.
 - b) ¿Qué volumen (mL) de éste ácido se neutralizará con una pastilla antiácida?

Respuesta: b) 30.4 mL

2. Calcular la masa (g) de nitrato de amonio (NH_4NO_3) que se debe disolver en un volumen de 1.5 L de H_2O para obtener una disolución de pH igual al que se obtiene al disolver 0.01 moles de ácido hipocloroso (HClO) en 1.0 L de H_2O .

Respuesta: 94.8 g

3. Se mezcla un volumen de 200 mL de una disolución de concentración 0.100 M de ácido fosfórico (H_3PO_4) con un volumen 200 mL de una disolución de

concentración 0.200 M de hidróxido de sodio (NaOH). Suponiendo que los volúmenes son aditivos, calcular el pH de la disolución resultante.

Respuesta: 9.75

4. El uso más conocido del ácido clorhídrico (HCl) es como desincrustante para eliminar residuos de caliza (carbonato de calcio, CaCO_3). En esta aplicación se transforma el CaCO_3 en cloruro de calcio (CaCl_2) soluble y se liberan dióxido de carbono (CO_2) y H_2O según la reacción:



Determinar el pH resultante cuando se trata una masa de 1.6 g de CaCO_3 con un volumen de 500 mL de una disolución de concentración 0.10 M de HCl.

Respuesta: 1.4

5. Una disolución tampón utilizada en Biotecnología para la extracción del ADN recombinante de las células, es el sistema ácido cítrico (HCit)/ citrato (Cit), la misma que se prepara mezclando ácido cítrico 0.25 M y citrato de sodio 0.5 M. calcular el valor del pH de dicha disolución, si el valor de la constante de acidez para el ácido cítrico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) es de 8.4×10^{-4} .

Respuesta: 2.78

6. En la elaboración de queso uno de los pasos es la formación de la cuajada mediante la acidificación de la leche, lo que se puede lograr por medio de bacterias que transforman los carbohidratos de la leche (lactosa) en ácido láctico hasta un pH de 5.1. Calcular la concentración que alcanza el ácido láctico al final de la fermentación (pKa del ácido láctico igual a 3.86).

Respuesta: 4.57×10^{-7}

Definición de ácidos y bases

Actividad 69 Teoría de Arrhenius

Indicar de las siguientes especies cuáles son ácidos (AA) o bases (BA) de Arrhenius, o no aplica (NA).

Ejemplo: **HCl (AA)**

NH ₄ OH ____	CH ₃ OH ____	HCOOH ____
HF ____	Ca(OH) ₂ ____	(CH ₃) ₄ NOH ____
HNO ₂ ____	HClO ₃ ____	NH ₃ ____
C ₅ H ₅ N ____	H ₂ C ₂ O ₄ ____	H ₂ S ____

Actividad 70. Teoría de Brönsted-Lowry (ácido y base conjugada)

Indicar los pares conjugados de los siguientes ácidos o bases anotando sobre la línea izquierda el ácido conjugado o en la línea derecha la base conjugada según sea el caso.

Ejemplo: ____ /HNO₃/ ____

Respuesta: ____ /HNO₃/ NO₃⁻

____ /NH ₄ ⁺ / ____	____ /Cl ⁻ / ____	____ /H ₃ PO ₄ / ____
____ /H ₂ PO ₄ ⁻ / ____	____ /HPO ₄ ²⁻ / ____	____ /PO ₄ ³⁻ / ____
____ /BO ₂ ⁻ / ____	____ /HCO ₃ ⁻ / ____	____ /CN ⁻ / ____
____ /CH ₃ COOH/ ____	____ / (CH ₃) ₂ NH/ ____	____ /HCOOH/ ____

Actividad 71. Teoría de Lewis

De las siguientes especies químicas, indicar cuáles son ácidos (AL) y cuáles son bases (BL) de Lewis.

Ejemplo: NO_3^- **BL**

NH_3 _____	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}^-$ _____	AlCl_3 _____
SO_3 _____	Ag^+ _____	NO_2^+ _____
FeCl_3 _____	Cl^- _____	$\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}^+$ _____
H^+ _____	CH_3CH_2^+ _____	$(\text{CH}_3)_3\text{N}$ _____

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., Le May JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 16 ejercicios: 16.15- 16.28

Petrucci R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), QUÍMICA GENERAL, Décima Edición, Madrid, Pearson Educación.

Capítulo 17 ejercicios: 30, 77, 80, 84

6.5 CONSTANTE DE EQUILIBRIO DE ELECTROLITOS

Contenido

- Constantes de equilibrio de ácidos y bases

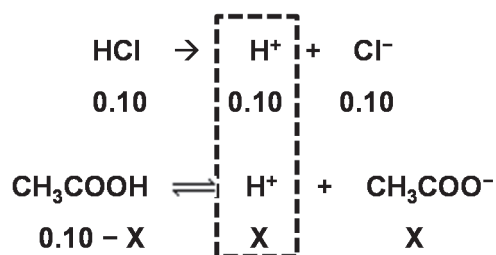
Actividad.72. Aplicación de las constantes de equilibrio de los ácidos y bases (Ka, Kb, pKa, pKb)

Ejemplo de la actividad 66.

Calcular las concentraciones molares de todas las especies iónicas y moleculares en una disolución que simultáneamente se compone de una concentración 0.10 M en ácido acético (CH_3COOH) y 0.10 M en ácido clorhídrico (HCl).

El HCl es un electrolito fuerte y se ioniza al 100%, el CH_3COOH es un electrolito débil se ioniza solo parcialmente.

Aplicar la constante de ionización:



$$K_i = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 1.80 \times 10^{-5}$$

Suponer que la X que restamos o sumamos es tan pequeña que es despreciable:

$$K_i = \frac{[0.10 + \cancel{X}][X]}{[0.10 - \cancel{X}]} = 1.8 \times 10^{-5}$$

$$X = \frac{(1.8 \times 10^{-5})(0.10)}{(0.10)} = 1.8 \times 10^{-5}$$

En el equilibrio la concentración de las especies son:

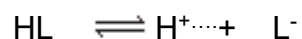
$$[\text{H}^+] = 0.10 \text{ M}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 1.8 \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0.10 \text{ M}$$

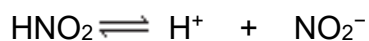
$$[\text{Cl}^-] = 0.10 \text{ M}$$

1. Calcular el valor de la constante de acidez (K_a) para el ácido láctico (representado como HL) cuando la concentración del mismo en una disolución es 0.01 M y se disocia en un 11.75 %



Respuesta: 1.5×10^{-4}

2. Se tiene una disolución de ácido nitroso (HNO_2) cuya concentración de H^+ es de 3.16×10^{-5} M, calcular la concentración inicial del ácido si el valor de la constante de acidez (K_a) es 7.1×10^{-4} .



Respuesta: 3.3×10^{-5}

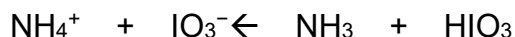
3. Completar la siguiente tabla:

Sustancia	M	$[\text{H}^+]$	$[\text{OH}^-]$	pKa	pKb
HNO_2	2×10^{-2}			3.3	
MOH	4×10^{-2}				
NH_3			3.9×10^{-4}	9.3	
CH_3COOH		3.8×10^{-3}		4.7	
HX	0.1		1.2×10^{-9}		

4. En base a las constantes de disociación (ionización)(tabla anexa al final del tema) de ácidos y bases, indicar el sentido esperado ($\rightarrow$ o $\leftarrow$) de las reacciones siguientes:

Ejemplo: $\text{pKa HIO}_3/\text{IO}_3^- = 0.7$

$\text{pKa NH}_4^+/\text{NH}_3 = 9.3$



($\rightarrow$ o $\leftarrow$)

- | | | | | | | | |
|----|----------------------------------|---|--------------------|--|---------------------------------|---|--------------------------------|
| a) | HF | + | NaCN | | NaF | + | HCN |
| b) | NaHSO ₄ | + | HCN | | H ₂ SO ₄ | + | NaCN |
| c) | CH ₃ COOH | + | KF | | KCH ₃ COO | + | HF |
| d) | NaH ₂ PO ₄ | + | NaHCO ₃ | | Na ₂ CO ₃ | + | H ₃ PO ₄ |
| e) | KH ₂ PO ₄ | + | KHSe | | K ₂ HPO ₄ | + | H ₂ Se |

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Chang R. y Golldsbey K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 15 ejercicios: 15.3, 15.8, 15.93, 15.96

Petrucci R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), QUÍMICA GENERAL, Décima Edición, Madrid, Pearson Educación.

Capítulo 17 ejercicios: 7, 42, 45, 93

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015), QUÍMICA, 10ª Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 18 ejercicios: 25, 26, 36, 50

6.6 EFECTO DEL IÓN COMÚN

Contenido

- Concepto general
- Principio de Le´ Châtelier
- Aplicaciones

Actividad 73. Concepto general

Escribir la reacción e indicar hacia donde se desplaza el equilibrio en los siguientes casos:

- a) Agregar fluoruro de potasio (KF) a una disolución de ácido fluorhídrico (HF).
- b) Agregar cloruro de amonio (NH_4Cl) a una disolución de hidróxido de amonio (NH_4OH).
- c) Agregar ácido nítrico (HNO_3) a una disolución de ácido fórmico (HCOOH).
- d) Burbujear dióxido de carbono (CO_2) en una disolución de bicarbonato de sodio (NaHCO_3).

Actividad 74. Principio de Le´ Châtelier

Investigar por qué no es válido el principio de Le´Châtelier en todos los equilibrios ácido–base.

Actividad 75. Aplicaciones

1. Calcular el pH de una disolución que se obtiene de disolver 2.0×10^{-3} moles de ácido acético (CH_3COOH) en un volumen de 100 mL de disolución de acetato de sodio (NaCH_3COO) de concentración 0.020 M

Respuesta: 4.8

2. Determinar la masa (g) de sulfato de amonio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ que se debe agregar a un volumen de 500 mL de una disolución de cloruro de amonio (NH_4Cl) de concentración 0.004 M para que el pH final sea de 5.2

Respuesta: 5.2 g

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.
Capítulo 17 ejercicios: 17.14, 17.18

Chang R. y Golldsbey K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.
Capítulo 16 ejercicios: 16.5, 16.6, 16.67, 16.70

Petrucchi R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), QUÍMICA GENERAL, Décima Edición, Madrid, Pearson Educación.
Capítulo 18 ejercicios: 11, 15, 13, 26

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015), QUÍMICA, 10ª Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 19 ejercicios: 7, 13, 18

6.7 DISOLUCIONES BUFFER, AMORTIGUADORA O TAMPÓN

Contenido

- Concepto general
- Tipos de disoluciones buffer
- Propiedad de las disoluciones buffer
- Aplicaciones de las disoluciones buffer

Actividad 76. Concepto general

1. Se tiene una disolución tampón; ácido acético/acetato de potasio ($\text{CH}_3\text{COOH}/\text{KCH}_3\text{COO}$), cuyo pH es 5.0. Calcular la concentración de la base, si la concentración del ácido es 0.10 M.

Respuesta: 0.18 M

2. En el análisis clínico, para la determinación del valor en suero sanguíneo de una enzima cardíaca llamada Ldh (*lactato deshidrogenasa*), se utiliza una disolución tampón fosfato para mantener estable el pH de la reacción en 8.5. Calcular la concentración del fostatodiácido de potasio (KH_2PO_4), si la concentración del fosfato ácido de potasio (K_2HPO_4) en el sistema tampón es 0.12 M.

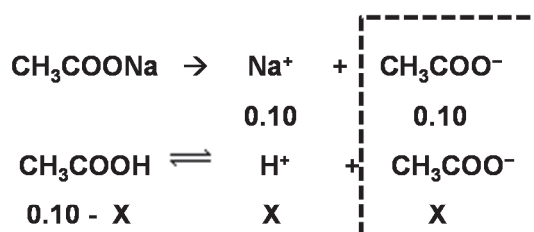
Respuesta: 6.0×10^{-3} M

Actividad 77. Tipos de disoluciones buffer

Ejemplo de la actividad 77.

A una disolución 0.10 M en ácido acético (CH_3COOH) y 0.10 M en acetato de sodio (CH_3COONa) se le añadieron 0.010 moles de NaOH sólido puro. Calcular el pH y pOH de las disoluciones: inicial y resultante.

1. Tomar en cuenta la ionización de las sustancias para determinar $[\text{H}^+]$ y conocer el pH y pOH de la disolución inicial.



$$K_i = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 1.80 \times 10^{-5}$$

$$K_i = \frac{[0.10 + X][X]}{[0.10 - X]} = 1.8 \times 10^{-5}$$

$$X = \frac{(1.8 \times 10^{-5})(0.10)}{(0.10)} = 1.8 \times 10^{-5}$$

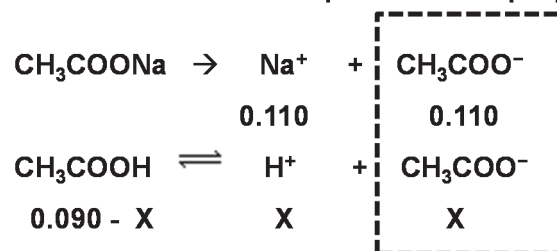
$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (1.8 \times 10^{-5}) = 4.74$$

$$\text{pOH} = 9.26$$

2. Para la disolución final observar que hay reacción entre el CH_3COOH y el NaOH.

	CH_3COOH	$+$	NaOH	$\rightarrow$	CH_3COONa	$+$	H_2O
Moles Iniciales	0.10		0.010				
Moles que Reaccionan	0.010		0.010				
moles producidos					0.010		
0.010							
Moles que quedan	0.090				0.110		

3. Tomar nuevamente en cuenta la ionización para calcular pH y pOH



$$K_i = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 1.80 \times 10^{-5}$$

$$K_i = \frac{[0.110 + X][X]}{[0.090 - X]} = 1.8 \times 10^{-5}$$

$$X = \frac{(1.8 \times 10^{-5})(0.090)}{(0.110)} = 1.47 \times 10^{-5}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (1.47 \times 10^{-5}) = 4.83$$

$$\text{pOH} = 9.17$$

1. Determinar el pH de una disolución que resulta al mezclar un volumen de 200 mL de una disolución de ácido cianhídrico (HCN) de concentración 0.3 M con un volumen de 300 mL de disolución de cianuro de sodio (NaCN) de concentración 0.2 M.

Respuesta: 9.3

2. Determinar el pH de la disolución que resulta al mezclar una disolución de cloruro de amonio (NH_4Cl) de concentración 0.25 M con otra disolución de amoníaco (NH_3) de concentración 0.30 M.

Respuesta: 9.2

3. Determinar el pH de una disolución que resulta al mezclar una disolución de fosfato diácido de sodio (NaH_2PO_4) de concentración 0.3 M con una disolución de fosfato ácido de potasio (K_2HPO_4) de concentración 0.4 M.

Respuesta: 7.3

4. Calcular el pH que resulta de mezclar una disolución de concentración 0.01 M de carbonato ácido de sodio (NaHCO_3) con una disolución de concentración 0.2 M de carbonato de sodio (Na_2CO_3).

Respuesta: 11.6

Actividad 78. Propiedad de las disoluciones buffer

1. La disolución tampón amonio es utilizado en la industria farmacéutica para la elaboración de shampoo; ésta se prepara mezclando un volumen 30 mL de disolución de cloruro de amonio (NH_4Cl) de concentración 0.15 M, con un volumen de 40 mL de disolución de amoníaco (NH_3) de concentración 0.35 M. Calcular el pH que presenta el sistema amonio/amoníaco.

Respuesta: 9.8

2. Una disolución tampón utilizada en Biotecnología para la extracción del ADN recombinante de las células, es el sistema ácido cítrico/citrato ($\text{HOOC}(\text{OH})\text{C}(\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H})_2 / ^-\text{OOC}(\text{OH})\text{C}(\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H})_2$), que se prepara mezclando una disolución de ácido cítrico $\text{HOOC}(\text{OH})\text{C}(\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H})_2$ de concentración 0.25 M con una disolución de citrato de sodio $\text{NaOOC}(\text{OH})\text{C}(\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H})_2$ de concentración 0.50 M. Calcular el valor del pH de dicha disolución, si el valor de la constante de acidez para el $\text{HOOC}(\text{OH})\text{C}(\text{CH}_2\text{CO}_2\text{H})_2$ es 8.4×10^{-4} .

Respuesta: 3.4

Actividad 79. Aplicaciones de las disoluciones buffer

1. Calcular el pH de una disolución en la que se mezcló una disolución de ácido fórmico (HCOOH) de concentración 0.100 M con una disolución de formiato de potasio (KHCOO) de concentración 0.012 M.

Respuesta: 2.75

2. Calcular la masa (g) de acetato de sodio (NaCH_3COO) hay que añadir a un volumen de 500 mL de una disolución de concentración 0.1 M de ácido acético (CH_3COOH) para que el pH de la disolución sea exactamente 4.

Respuesta: 0.74 g

3. Se desea preparar un volumen de 100 mL de disolución amortiguadora de pH 5. ¿Qué ácido y qué sal se debe seleccionar para obtener la mayor efectividad y qué proporción de cada uno se debe disolver?

Respuesta: ácido acético (CH_3COOH) y sulfito (SO_3^{2-}) en proporciones iguales.

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014) QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.
Capítulo 17 ejercicios: 17.21, 17.30

Chang R. y Golldsbey K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.
Capítulo 16 ejercicios: 16.9, 16.20, 16.24

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015), QUÍMICA, 10ª Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 19 ejercicios: 21, 30, 32, 39

6.8 EQUILIBRIOS DE SOLUBILIDAD

Contenido

- Constante del producto de solubilidad
- Predicción de reacciones de precipitación o solubilidad
- Aplicaciones de Kps

Actividad 80. Constante del producto de solubilidad

1. Determinar qué sustancia es más soluble y el orden de precipitación de los siguientes compuestos:

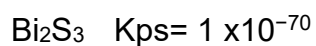
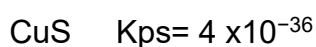
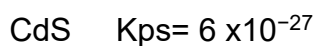
a) De los siguientes Sulfatos:



b) De los siguientes Hidróxidos:



c) De los siguientes sulfuros:



2. La solubilidad en una disolución acuosa de CaSO_4 a la temperatura de 25°C es de 0.20 g/100 mL. Calcular su Kps.

Respuesta. 2.3×10^{-4}

3. La solubilidad en una disolución acuosa de Li_3PO_4 a la temperatura de 18°C es de 0.034 g /100 mL Calcular su Kps.

Respuesta 1.9×10^{-9}

4. El yoduro de plomo(II), (PbI_2) es un sólido que se utiliza en el bronceado ¿Cuál es su solubilidad Molar a la temperatura de 25°C si su constante del producto de solubilidad, Kps tiene un valor de 7.1×10^{-9} ?

Respuesta $1.2 \times 10^{-3} \text{ M}$

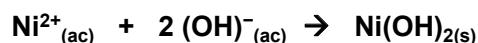
5. ¿Cuánta masa (mg) de BaSO_4 se disuelven en una muestra de 225 mL de disolución saturada de BaSO_4 si su Kps es de 1.1×10^{-10} ?

Respuesta: 0.55 mg

Actividad 81. Predicción de reacciones de precipitación o solubilidad

Ejemplo de la actividad 81.

Cuando se mezcla un volumen de 0.200 L de una disolución de NiCl_2 0.100 M con un volumen de 0.300 L de disolución 0.200 M de NaOH , ocurre la siguiente reacción iónica.



Calcular:

- Los moles de Ni^{2+} y de $(\text{OH})^{-}$ presentes al inicio de la reacción.
- Los moles de $\text{Ni}(\text{OH})_2$ que se forman suponiendo un rendimiento del 100%.

Solución:

a)

$$0.200 \text{ L de disol'n de NiCl}_2 \left[\frac{0.100 \text{ moles de NiCl}_2}{\text{L de disol'n de NiCl}_2} \right] \left[\frac{\text{mol de Ni}^{2+}}{\text{mol de NiCl}_2} \right] = 0.0200 \text{ mol de Ni}^{2+}$$

$$0.300 \text{ L de disol'n de NaOH} \left[\frac{0.200 \text{ moles de NaOH}}{\text{L de disol'n de NaOH}} \right] \left[\frac{\text{mol de (OH)}^{-}}{\text{mol de NaOH}} \right] = 0.0600 \text{ mol de (OH)}^{-}$$

b) Determinar el reactivo limitante

$$0.0200 \text{ mol de Ni}^{2+} \left[\frac{\text{mol de Ni}(\text{OH})_2}{\text{mol de Ni}^{2+}} \right] = 0.0200 \text{ mol de Ni}(\text{OH})_2$$

$$0.0600 \text{ mol de (OH)}^{-} \left[\frac{\text{mol de Ni}(\text{OH})_2}{\text{mol de (OH)}^{-}} \right] = 0.0300 \text{ mol de Ni}(\text{OH})_2$$

Solo se forman 0.0200 moles de $\text{Ni}(\text{OH})_2$

1. Si el valor de K_{ps} del BaC_2O_4 es 1.5×10^{-8} y experimentalmente se obtuvo que la concentración de los iones es 2×10^{-4} M de Ba^{2+} y 5×10^{-4} M de $C_2O_4^{2-}$, determinar si precipitará a través de la comparación de Q_{ps} y K_{ps}

Respuesta: Sí precipita

2. Si el valor de K_{ps} del $Al(OH)_3$ es 5×10^{-33} y experimentalmente se encontró que se tiene una concentración de 8×10^{-9} M de Al^{3+} ¿Qué concentración molar de iones $(OH)^-$ se necesita para que precipite?

Respuesta: 8.55×10^{-9} M

3. Si se añaden 3 gotas de KI 0.2 M a 100 mL de $Pb(NO_3)_2$ 0.01M ¿Se formará precipitado? Suponer que una gota de KI es 0.05 mL y el valor de K_{ps} del PbI_2 es 7.1×10^{-9}

Respuesta: No precipita

4. Si se mezcla un volumen de 50 mL de $BaCl_2$ 10^{-5} M con 50 mL de H_2SO_4 10^{-5} M.
- a) ¿Se formará precipitado de $BaSO_4$?
 - b) Si ahora se mezclan 150 mL de $BaCl_2$ 10^{-3} M con 150 mL de H_2SO_4 10^{-3} M. ¿Habrá precipitación?
 - c) ¿Cuánta masa (g) de $BaSO_4$ se precipita? (K_{ps} del $BaSO_4$ igual 1.5×10^{-9})?

Respuesta: a) No precipita; b) Sí precipita, 0.107 g de $BaSO_4$

5. Si se tienen los siguientes compuestos:



Calcular:

- a) Los moles que se solubilizan como máximo en 1.00 L de agua para cada compuesto
- b) ¿Cuál es el más soluble?
- c) ¿Quién precipitará primero?

Respuesta: a) 9.22×10^{-6} , 1.41×10^{-8} , 7.8×10^{-5} ; b) Ag_2CrO_4 ; PbCrO_4

6. ¿Cuál es la solubilidad molar del PbI_2 en las siguientes disoluciones:

- a) KI (ac) 0.1 M
- b) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (ac) 0.1 M?

Respuesta: a) $7.1 \times 10^{-7} \text{ M}$; b) $1.3 \times 10^{-4} \text{ M}$

7. Calcular la solubilidad molar del $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en una disolución reguladora de pH 8.2.

Respuesta 10^{-20} M

8. Predecir si el $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (s) precipita cuando se tienen las siguientes disoluciones ($K_{ps} \text{ Mg}(\text{OH})_2$ igual a 1.8×10^{-11} y $K_a \text{ HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ igual a 1.8×10^{-5}).

- a) Disolución acuosa de MgCl_2 0.01 M y disolución acuosa de NH_3 0.10 M.
- b) Disolución acuosa de MgCl_2 0.01M y disolución acuosa de $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ 0.10 M

Respuesta: a) Sí precipita; b) No precipita

9. Predecir si precipitará el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en una disolución que es 0.013 M en iones de Fe^{3+} en una disolución reguladora de $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ 0.15 M y $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ 0.25 M ($K_{ps} \text{Fe}(\text{OH})_3$ igual a 4×10^{-38}).

Respuesta: Sí precipita

10. A una temperatura de 25°C la solubilidad molar del $\text{Mg}(\text{OH})_2$ en agua pura es de 1.4×10^{-4} M. (Si la K_{ps} es 1.2×10^{-11}). Calcular su solubilidad molar en un medio amortiguador:

- a) A pH 12
- b) A pH 9.

Respuesta: a) 1.2×10^{-7} M, b) 0.12 M

11. Calcular la concentración molar de amoníaco acuoso necesario para iniciar la precipitación del $\text{Fe}(\text{OH})_2$ de una disolución de FeCl_2 0.003M ($K_{ps} \text{Fe}(\text{OH})_2$ igual a 1.6×10^{-14}).

Respuesta: 2.6×10^{-6} M

12. ¿Cuál es el valor mínimo de $[\text{NH}_4^+]$ que debe mantenerse para impedir la precipitación de $\text{Mn}(\text{OH})_2$ en una disolución de MnCl_2 0.005 M y NH_3 0.025 M? ($K_{ps} \text{Mn}(\text{OH})_2$ es 1.9×10^{-13}).

Respuesta: 8.9×10^{-3} M

13. Si se añade lentamente una disolución acuosa de AgNO_3 a una disolución que contiene 0.01M en iones CrO_4^{2-} y 0.01M en iones Br^-

- a) Demostrar que el AgBr precipitará antes que el Ag₂CrO₄.
- b) Cuando empieza a precipitar el Ag₂CrO₄, ¿Cuál es la concentración de iones Br⁻ que queda en disolución. ¿Es factible la separación completa de estos aniones por precipitación fraccionada?

Respuesta: 5×10^{-8} M

14. Se añade lentamente una disolución de AgNO₃ a una disolución que contiene una concentración de 0.115 M en iones Cl⁻ y 0.264 en iones Br⁻. Calcular el porcentaje de iones Br⁻ que permanece sin precipitar en el momento en que el AgCl empieza a precipitar (K_{ps} de AgCl igual a 1.8×10^{-10} K_{ps}, AgBr es 5×10^{-13}).

Respuesta: 0.09%

Actividad 82. Aplicaciones de K_{ps}

Se tiene una disolución acuosa que contiene 10^{-3} M de cada uno de los siguientes iones: Hg²⁺, Pb²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺, Co²⁺, Cd²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺

- a) Si a la disolución se le agrega HCl hasta tener un pH de 1.5 y se satura con gas H₂S hasta precipitar en forma de sulfuros ¿Cuáles metales precipitarán en forma de sulfuros y cuál será el pH final después de la precipitación?
- b) Si la disolución original se ajusta a un pH de 8.5 mediante la adición de NH₄OH y se satura con H₂S ¿cuáles metales precipitan como sulfuros y cuál será el pH final?

Respuesta: a) pH de 1.36 b) pH 1.79

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 17 ejercicios: 17.49, 17.52, 17.54, 17.58

Chang R. y Golldsbey K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 16 ejercicios: 16.53, 16.64, 16.67, 16.76

Petrucchi R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2017), QUÍMICA GENERAL, Décima Edición, Madrid, Pearson Educación,.

Capítulo 19 ejercicios: 14, 22, 32, 43, 64

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015), QUÍMICA, 10ª Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 20 ejercicios: 8, 33, 56

6.9 EQUILIBRIO DE COMPUESTOS COMPLEJOS O DE COORDINACIÓN

Contenido

- Conceptos básicos
- Equilibrio de compuestos complejos
- Disolución de precipitados por formación de compuestos complejos

Actividad 83. Conceptos básicos

1. ¿Cuál de los siguientes enunciados es correcto? ()
- a) En todo ión complejo siempre tenemos un elemento metálico de transición.
 - b) En un ión complejo el elemento metálico es un ácido de Lewis.
 - c) En un ión complejo los grupos coordinados son bases de Lewis.
 - d) En todo ión complejo el agente coordinante y los grupos coordinados se unen mediante un enlace covalente.
 - e) Un compuesto complejo tiene conducta de electrolito débil.
 - f) En un ión complejo los grupos coordinados pueden ser iones o moléculas.
2. Nombrar los siguientes compuestos complejos:

Fórmula	Nombre del compuesto
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_2$	
$\text{Al}_2[\text{Cu}(\text{CN})_4]_3$	
$\text{K}[\text{Au}(\text{OH})_4]$	
$\text{Al}_2[\text{Hg}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]_3$	
$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]_2\text{SO}_4$	
$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$	
$\text{Al}[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_2(\text{NO}_2)_4]_3$	
$\text{K}_2[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)(\text{NH}_3)(\text{Cl})]$	
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{NO}_2)_2$	
$\text{Ca}[\text{Au}(\text{NO}_2)_3]$	

3. Escribir la fórmula de los siguientes compuestos complejos

Nombre del compuesto	Fórmula
Nitrato di amino níquelico	
Cupripenta nitro cálcico	
orofosfatohexa amino níqueloso	
Cloruro mono cianuro cálcico	
cloruro tetra amino mercuríco	
nitrito tetra amino mono aquoníquelico	
Mercuri tetra cianuro sódico	
Cadmi tetra cianuro magnésico	
Carbonato tetra amino mono aquoníquelico	
Níquel mono sulfocianuro tricloruro potásico	

4. La constante de disociación del $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ tiene un valor de 2.2×10^{-34} esto indica que: ()

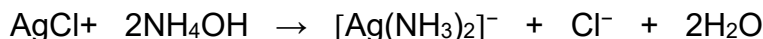
- a) La $[\text{Co}]^{3+}$ en el equilibrio es muy pequeña
- b) La $[\text{Co}]^{3+}$ en el equilibrio es muy grande
- c) La $[\text{Co}(\text{NH}_3)]^{3+}$ en el equilibrio es grande
- d) La $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ en el equilibrio es muy pequeña

5. ¿Qué pasa cuando se le añade NH_4OH en exceso a una disolución de CuCl_2 ? ()

- a) Se forma un precipitado de $\text{Cu}(\text{OH})_2$
- b) Se forma una disolución de $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$
- c) La $[\text{Cu}]^{2+}$ en el equilibrio $\gggg$ $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ en el equilibrio
- d) No se satisface el Kps.

Actividad 84. Equilibrio de compuestos complejos

1. Los iones Ag^+ precipitan como AgCl por adición de Cl_2 soluble en $\text{NH}_4(\text{OH})$ concentrado. Calcular la constante de equilibrio (K_{eq}) para la reacción de disolución que ocurre:



Respuesta: 4.746×10^{-3}

2. A un volumen de 1.00 L de una disolución de nitrato mercúrico $[\text{Hg}(\text{NO}_3)_2]$ 0.0100 M se le añadieron 1.00×10^{-3} moles de cloruro de sodio (NaCl) ocurriendo la formación del ión complejo mono cloruro mercúrico $(\text{HgCl})^+$. Calcular la concentración del ión cloruro en el equilibrio conociendo que la constante de formación (K_f) del ión complejo $(\text{HgCl})^+$ es 4.70×10^6 (primera etapa de asociación y puede despreciarse la segunda etapa de asociación).

Respuesta: $[\text{Cl}^-] = 2.36 \times 10^{-8}$

3. Calcular la concentración de iones Ag^+ , SO_4^{2-} , Sr^{2+} contenida en una disolución que se preparó añadiendo suficiente sulfato de plata (Ag_2SO_4) y sulfato de estroncio (SrSO_4) hasta que el sistema alcanzó el equilibrio. ($K_{\text{ps}} \text{Ag}_2\text{SO}_4$ igual a 1.7×10^{-5} y $K_{\text{ps}} \text{SrSO}_4$ igual a 3.0×10^{-7}).

Respuesta: $[\text{Ag}^+] = 3.24 \times 10^{-2} \text{ M}$; $[\text{SO}_4^{2-}] = 1.62 \times 10^{-2} \text{ M}$; $[\text{Sr}^{2+}] = 1.85 \times 10^{-5} \text{ M}$.

Actividad 85. Disolución de precipitados por formación de compuestos complejos

1. Calcular:

- a) El pH que resulta al añadir hidróxido cúprico ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) sólido y en exceso a 1.0 L de H_2O .
- b) Los moles de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ que se disuelven. ($K_{ps} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ igual a 1.6×10^{-19})

Respuesta: a) pH = 7.84 b) 3.33×10^{-5} g de $\text{Cu}(\text{OH})_2$

2. Calcular:

- a) El pH que resulta al añadir hidróxido cúprico ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) sólido y en exceso a 1.00 L de disolución 1.00 M en hidróxido de amonio (NH_4OH). ($K_{ps} \text{ Cu}(\text{OH})_2$ igual a 1.6×10^{-19}).
- b) Los moles de $\text{Cu}(\text{OH})_2$ que se disolverán si el complejo formado es el tetraminocúprico $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^+$ ($K_{dt}[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^-$ igual a 4.7×10^{-15}).

Respuesta: a) pH = 12.6; b) 1.99 g de $\text{Cu}(\text{OH})_2$

3. Se tiene un volumen de 1.00 L de disolución de amoníaco (NH_3) y se le añaden 0.025 moles de cloruro de plata (AgCl) sólido. Calcular la concentración de la disolución de NH_3 , para que el AgCl añadido se disuelva completamente. ($K_{ps} \text{ AgCl}$ es de 1.2×10^{-10} ; $K_{dt} [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^-$ igual a 6.0×10^{-8}).

Respuesta: $[\text{NH}_3] = 0.61 \text{ M}$

4. Se tiene una disolución 0.012 M del ión argentidicianuro $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$, 1.05 M en iones cianuro (CN^-) y 2.0 M aniones yoduro (I^-). ¿Precipitará el AgI ? ($K_{ps} \text{ AgI}$ igual a 8.5×10^{-17} y $K_f [\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ igual a 5.6×10^{18})

Respuesta: No hay precipitación de AgI

5. Se tiene una disolución de nitrato de plata (AgNO_3) 0.10 M y amoníaco (NH_3) 1.00 M. ¿Cuánta masa (g) de yoduro de potasio (KI) se puede disolver sin que precipite yoduro de plata (AgI)? (K_{ps} AgI igual a 8.5×10^{-17} , K_f $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ igual a 1.6×10^7).

Respuesta: 1.793×10^{-6} g de KI/ L de disolución

6. Se tiene una disolución 1.00 M en amoníaco (NH_3) y 0.10 M en iones cloruro (Cl^-). Calcular la masa (g) de nitrato de plata (AgNO_3) que se puede disolver en 1.00 L de esta disolución sin que precipite cloruro de plata (AgCl) (K_{ps} AgCl igual a 1.8×10^{-10} y K_f $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ igual a 1.6×10^7).

Respuesta: 4.88 g de AgNO_3

7. Se tiene un volumen de 1.00 L de una disolución que contiene 1.00 g de un precipitado de hidróxido cúprico ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) ¿Cuánta masa (g) de hidróxido de amonio (NH_4OH) se debe añadir para disolver el precipitado. (K_{ps} $\text{Cu}(\text{OH})_2$ igual a 2.2×10^{-20} y K_f $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ igual a 1.1×10^{13})

Respuesta: 73.5 g de NH_4OH

8. Se tiene una disolución de nitrato de plata (AgNO_3) 0.10 M y amoníaco (NH_3) 1.00 M. ¿Cuánta masa (g) de KI se puede disolver sin que precipite AgI? (K_{ps} AgI igual a 8.5×10^{-17} y K_f $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ igual a 1.6×10^7).

Respuesta: 1.44×10^{-6} g de KI

EJERCICIOS RECOMENDADOS

Brown T., LeMay JR., H. Bursten, B., Murphy C, Woodward P., (2014), QUÍMICA LA CIENCIA CENTRAL, Decimosegunda Edición, México, Pearson Educación.

Capítulo 17 ejercicios: 17.59-17.68

Chang R. y Golldsby K., (2013), QUÍMICA, Undécima Edición, China, Mc Graw Hill Education.

Capítulo 16 ejercicios: 16.79-18.82

Petrucci R., Herring H., Madura J., Bissonnette C., (2011), QUÍMICA GENERAL, Décima Edición, Madrid, Pearson Educación.

Capítulo 19 ejercicios: 65-72

Whitten K. Davis R., Peek M. y Stanley G., (2015), QUÍMICA, 10ª Edición, México, Cengage Learning.

Capítulo 20 ejercicios: 58-69

Actividad 86. Ejercicios de Integración

1. Determinar el pH que resulta al combinar la disolución 1 con la disolución 2; y la disolución 1 con la disolución 3 que aparecen en la siguiente tabla:

1	2 100 mL NaOH 0.2 M	3 600 mL HNO ₃ 0.05 M
200 mL H ₂ SO ₄ 0.1 M		
200 mL HNO ₃ 0.05 M		
300 mL NaOH 0.1 M		
300 mL Ca(OH) ₂ 0.1 M		

2. Una alícuota de 25 mL de una disolución de ácido cianhídrico (HCN), se diluye con agua destilada hasta un volumen final de 100 mL, dando como resultado de la dilución una concentración final de 0.05 M. Calcular el pH de la disolución inicial.

Respuesta: 5

3. Una disolución de una sal ácida de potasio representada como KHA de concentración 0.3 M tiene un pH de 9.35. El pH de una disolución del ácido diprótico correspondiente H₂A de concentración 0.01 M es 4.2. Determinar el pH de una disolución de la sal de potasio K₂A de concentración 0.20 M.

Respuesta: 12.8

4. Investigar y asignar los valores de pH que tienen cada uno de los siguientes fluidos.

Concepto	pH	Concepto	pH
Lágrimas		Limpiador con amoníaco	
Sangre		Agua expuesta al aire	
Jugo de limón		Vinagre	
Jugo de naranja		Jugo gástrico	
Leche		Refresco de cola	
Orina		Café	
Saliva		Cerveza	
Agua pura		Jugo de toronja	

Constantes de ionización a 25 °C (ácidos y bases débiles)

Ácido	Fórmula y ecuación de ionización			K_a
Acético	CH_3COOH	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$		1.8×10^{-5}
Arsénico	H_3AsO_4	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{H}_2\text{AsO}_4^-$		$2.5 \times 10^{-4} = K_{a1}$
	H_2AsO_4^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HAsO}_4^{2-}$		$5.6 \times 10^{-8} = K_{a2}$
	HAsO_4^{2-}	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{AsO}_4^{3-}$		$3.0 \times 10^{-13} = K_{a3}$
Arsenioso	H_3AsO_3	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{H}_2\text{AsO}_3^-$		$6.0 \times 10^{-10} = K_{a1}$
	H_2AsO_3^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HAsO}_3^{2-}$		$3.0 \times 10^{-14} = K_{a2}$
Benzoico	$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$		6.3×10^{-5}
Bórico*	B(OH)_3	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{BO(OH)}_2^-$		$7.3 \times 10^{-10} = K_{a1}$
	BO(OH)_2^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{BO}_2(\text{OH})^{2-}$		$1.8 \times 10^{-13} = K_{a2}$
	$\text{BO}_2(\text{OH})^{2-}$	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{BO}_3^{3-}$		$1.6 \times 10^{-14} = K_{a3}$
Carbónico	H_2CO_3	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$		$4.2 \times 10^{-7} = K_{a1}$
	HCO_3^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$		$4.8 \times 10^{-11} = K_{a2}$
Cianhídrico	HCN	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{CN}^-$		4.0×10^{-10}
Ciánico	HOCN	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OCN}^-$		3.5×10^{-4}
Cítrico	$\text{C}_3\text{H}_5\text{O(COOH)}_3$	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3(\text{COOH})_2^-$		$7.4 \times 10^{-3} = K_{a1}$
	$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3(\text{COOH})_2^-$	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{C}_3\text{H}_3\text{O}_3\text{COOH}^{2-}$		$1.7 \times 10^{-5} = K_{a2}$
	$\text{C}_3\text{H}_3\text{O}_3\text{COOH}^{2-}$	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{C}_3\text{H}_2\text{O}_3^{3-}$		$7.4 \times 10^{-7} = K_{a3}$
Fenol	$\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}$	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$		1.3×10^{-10}
Fluorhídrico	HF	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{F}^-$		7.2×10^{-4}
Fórmico	HCOOH	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCOO}^-$		1.8×10^{-4}
Fosfórico	H_3PO_4	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^-$		$7.5 \times 10^{-3} = K_{a1}$
	H_2PO_4^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$		$6.2 \times 10^{-8} = K_{a2}$
	HPO_4^{2-}	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{PO}_4^{3-}$		$3.6 \times 10^{-13} = K_{a3}$
Fosforoso	H_3PO_3	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{H}_2\text{PO}_3^-$		$1.6 \times 10^{-2} = K_{a1}$
	H_2PO_3^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HPO}_3^{2-}$		$7.0 \times 10^{-7} = K_{a2}$
Hidrazoico	HN_3	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{N}_3^-$		1.9×10^{-5}
Hipobromoso	HOBr	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OBr}^-$		2.5×10^{-9}
Hipocloroso	HOCl	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OCl}^-$		3.5×10^{-8}
Hipoyodoso	HOI	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OI}^-$		2.3×10^{-11}
Nitroso	HNO_2	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{NO}_2^-$		4.5×10^{-4}
Oxálico	$(\text{COOH})_2$	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{COOCOOH}^-$		$5.9 \times 10^{-2} = K_{a1}$
	COOCOOH^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + (\text{COO})_2^{2-}$		$6.4 \times 10^{-5} = K_{a2}$
Peróxido de hidrógeno	H_2O_2	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HO}_2^-$		2.4×10^{-12}
Selénico	H_2SeO_4	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSeO}_4^-$		Muy grande $= K_{a1}$
	HSeO_4^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SeO}_4^{2-}$		$1.2 \times 10^{-2} = K_{a2}$
Selenioso	H_2SeO_3	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSeO}_3^-$		$2.7 \times 10^{-3} = K_{a1}$
	HSeO_3^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SeO}_3^{2-}$		$2.5 \times 10^{-7} = K_{a2}$
Sulfhídrico	H_2S	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HS}^-$		$1.0 \times 10^{-7} = K_{a1}$
	HS^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{S}^{2-}$		$1.0 \times 10^{-19} = K_{a2}$
Sulfúrico	H_2SO_4	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$		Muy grande $= K_{a1}$
	HSO_4^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$		$1.2 \times 10^{-2} = K_{a2}$
Sulfuroso	H_2SO_3	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_3^-$		$1.2 \times 10^{-2} = K_{a1}$
	HSO_3^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{SO}_3^{2-}$		$6.2 \times 10^{-8} = K_{a2}$
Telúrico	H_2TeO_3	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HTeO}_3^-$		$2 \times 10^{-3} = K_{a1}$
	HTeO_3^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{TeO}_3^{2-}$		$1 \times 10^{-8} = K_{a2}$

Base	Fórmula y ecuación de ionización			K_b
Amoníaco	NH_3	$+ \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$		1.8×10^{-5}
Anilina	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$	$+ \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_3^+ + \text{OH}^-$		4.2×10^{-10}
Dimetilamina	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$	$+ \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+ + \text{OH}^-$		7.4×10^{-4}
Etilendiamina	$(\text{CH}_2)_2(\text{NH}_2)_2$	$+ \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{CH}_2)_2(\text{NH}_2)_2\text{H}^+ + \text{OH}^-$		$8.5 \times 10^{-5} = K_{b1}$
	$(\text{CH}_2)_2(\text{NH}_2)_2\text{H}^+$	$+ \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{CH}_2)_2(\text{NH}_2)_2\text{H}_2^{2+} + \text{OH}^-$		$2.7 \times 10^{-8} = K_{b2}$
Hidracina	N_2H_4	$+ \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{H}_5^+ + \text{OH}^-$		$8.5 \times 10^{-7} = K_{b1}$
	N_2H_5^+	$+ \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{H}_6^{2+} + \text{OH}^-$		$8.9 \times 10^{-16} = K_{b2}$
Hydroxylamina	NH_2OH	$+ \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3\text{OH}^+ + \text{OH}^-$		6.6×10^{-9}
Metilamina	CH_3NH_2	$+ \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{NH}_3^+ + \text{OH}^-$		5.0×10^{-4}
Piridina	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	$+ \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+ + \text{OH}^-$		1.5×10^{-9}
Trimetilamina	$(\text{CH}_3)_3\text{N}$	$+ \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{CH}_3)_3\text{NH}^+ + \text{OH}^-$		7.4×10^{-5}

Tabla de valores de Ka y pKa

	Ka ₁	pKa ₁	Ka ₂	pKa ₂	Ka ₃	pKa ₃
HSO ₃ ⁻			1.0x10 ⁻²	2.0		
HIO ₃	1.9x10 ⁻¹	0.7				
H ₂ C ₂ O ₄	5.0x10 ⁻²	1.3	5.0x10 ⁻⁵	4.3		
H ₂ SO ₃	1.6x10 ⁻²	1.8	5.0x10 ⁻⁶	5.3		
H ₃ PO ₄	6.3x10 ⁻³	2.2	6.3x10 ⁻⁸	7.2	4.8x10 ⁻¹³	12.3
H ₃ PO ₃	7.9x10 ⁻³	2.1	2x10 ⁻⁷	6.7		
HF	7.9x10 ⁻⁴	3.1				
HCOOH	2.1x10 ⁻⁴	3.7				
H ₂ Se	1.7x10 ⁻⁴	3.7	1.0x10 ⁻¹¹	11		
CH ₃ COOH	1.8x10 ⁻⁵	4.7				
H ₂ CO ₃	4.4x10 ⁻⁷	6.4	4.8x10 ⁻¹¹	10.3		
H ₂ S	8.9x10 ⁻⁸	7.1	1.2x10 ⁻¹³	12.9		
HCN	4.9x10 ⁻¹⁰	9.3				
NH ₄ ⁺	4.8x10 ⁻¹⁰	9.3				
HCIO	4.0x10 ⁻⁸	7.4				

Química General
Volumen II
Libro de Ejercicios

se terminó de imprimir
en diciembre de 2019
en los Talleres Gráficos
de Imprelibros BM
Brillante No.913
Col. Alcalde Barranquitas
Guadalajara, Jal.
Tel.: 3613-8426

El tiraje fue de 1000 ejemplares

imprelibrosbm@gmail.com

