

## DIVISIÓN DE INGENIERÍA QUÍMICA

### PRESENTACION:

La Química Analítica es una de las ramas de la química. En la cual se incluye el análisis de la parte práctica que aplica dentro de los métodos para resolver problemas relativos a la composición y naturaleza química de la materia.

Tiene como finalidad el estudio de la composición química de un material o muestra, mediante diferentes métodos. Se divide en Química analítica cuantitativa y Química analítica cualitativa.

### INTRODUCCIÓN

La Química es la ciencia que estudia el conjunto de principios, leyes y técnicas cuya finalidad es la determinación de la composición química de una muestra natural o artificial. Nos permite medir, monitorear o caracterizar una, varias especies o procesos químicos para la resolución de diversos problemas. Para ello se recurren a 2 grandes grupos de estrategias teóricas y técnicas que se conocen como Métodos de Análisis y Métodos Físicoquímicos de Análisis.

La química analítica al reconocer diferentes sustancias y determinar sus componentes, que ocupan un lugar destacando en las aplicaciones de la ciencia, nos permite contestar las preguntas que surgen al emplear cualquiera de los procesos químicos para fines técnicos o científicos. Los métodos químicos de análisis se basan en las reacciones químicas, electroquímicas y de distribución como elementos cuantificadores o calificadores.

La química analítica en su continua búsqueda de procesos más eficientes que contribuyan a la conservación de materias primas, minimizando el consumo de energía, el impacto ambiental, búsqueda de nuevos fármacos etc. Se hace necesaria para proponer modificaciones en la gran mayoría de las actividades humanas que permitan un desarrollo sustentable.



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA

TESJI

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

El contenido de este material es una recopilación de apuntes de los alumnos de la carrera de ingeniería química, su contenido se basa en los programas oficiales del Tecnológico Nacional.

**PROFESOR: Q.B JOSÉ GUADALUPE CRUZ MARTÍNEZ**

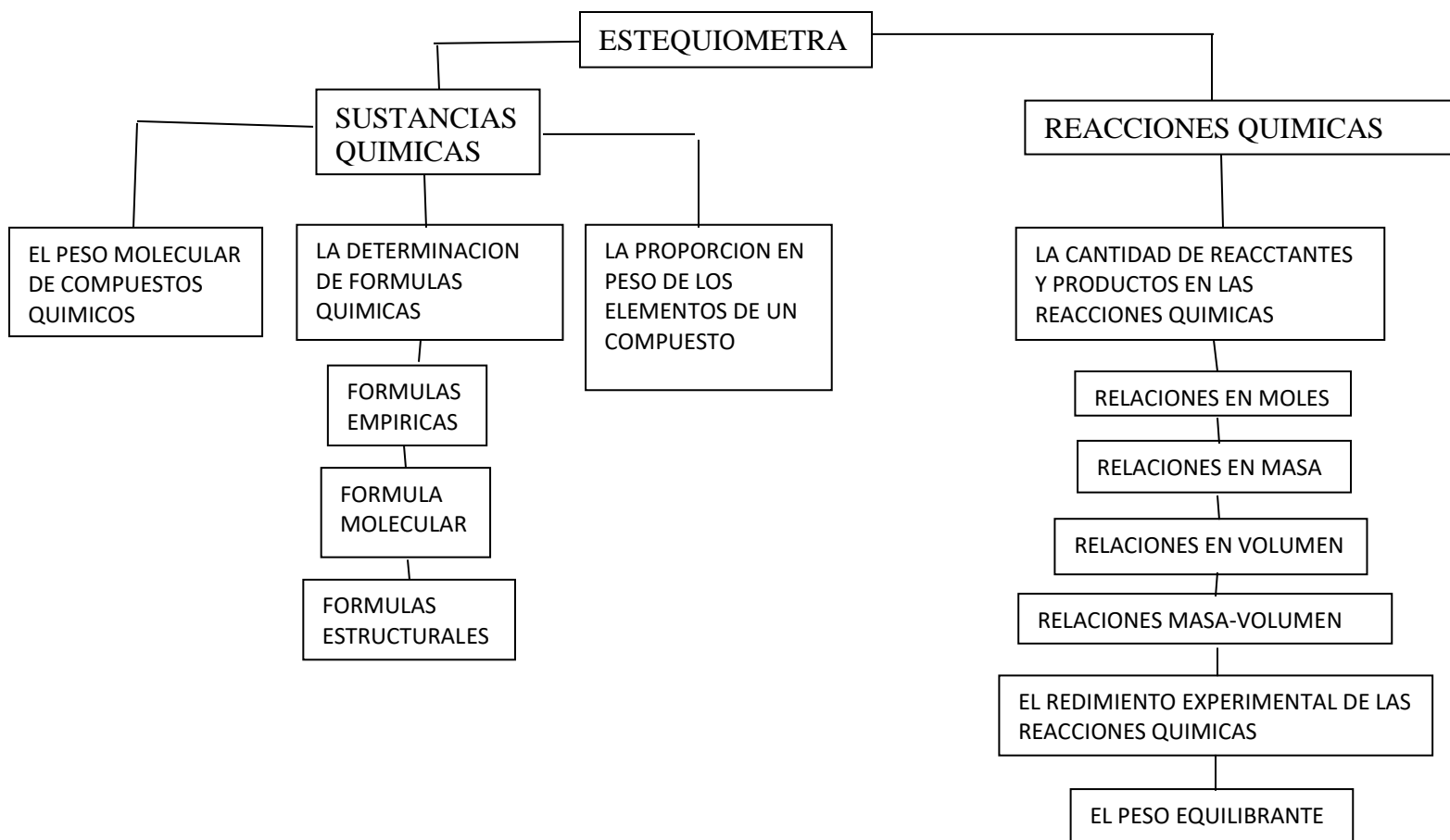
**Alumnos:** Guadalupe García Vargas, Cinthya Berenice Román Orozco, Juan Manuel Vargas González, Luis Ángel Rodríguez Vázquez.

División de Ingeniería Química del Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec.

## UNIDAD 1

### INTRODUCCION A LOS METODOS QUIMICOS

Competencias a alcanzar. Desarrolla un lenguaje químico, comprendiendo los conceptos básicos de estequiometría, los diferentes tipos de reacciones y la simbología usada en las ecuaciones químicas. Realizando ejercicios teóricos para resolver problemas de ecuaciones que utilizará después en las titulaciones y saber cómo se determina la constante de equilibrio, el Ph y POH y su importancia en la vida cotidiana.



## Clasificación de reacciones químicas

Por su formación:

- Reacciones de síntesis
- Reacciones de análisis
- Reacciones de simple sustitución
- Reacción de doble sustitución

Por su energía:

- Reacción endotérmica
- Reacción exotérmica

Por su sentido o dirección:

- Reacción irreversible
- Reacción reversible

## Leyes ponderales

1. **Ley de la conservación de la masa (Ley de Lavoisier):** La masa no se crea ni se destruye solo se transforma. En una reacción química la suma de la masa de los reactivos es igual a la suma de los productos.
2. **Ley de las proporciones definidas (Ley de Proust):** Para formar un determinado compuesto, dos o más elementos químicos se unen siempre en la misma proporción ponderal.
3. **Ley de las proporciones múltiples (Ley de Dalton):** Puede ocurrir que dos elementos se combinen entre sí para dar lugar a varios compuestos. Dalton concluyó que los pesos de los elementos combinados con un mismo peso del otro, guardan entre sí una relación, expresados en números enteros y sencillos.
4. **Ley de las proporciones recíprocas (Ley de Richter):** Los pesos de dos sustancias que se combinan, con un peso conocido de otro tercero son químicamente equivalentes entre sí.
5. **Ley de los volúmenes de combinación (Ley de Gay-Lussac):** Establece que la presión de un volumen fijo de un gas es directamente proporcional a su temperatura.

Formula condensada:  $C_2H_6$

Formula semidesarrollada:  $CH_3-CH_3$



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

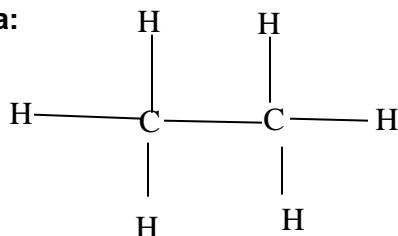
## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

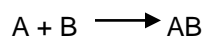
Formula desarrollada:



## TIPOS DE REACCIONES

### REACCION DE ADICION O SINTESIS:

Se da cuando dos o más especies químicas sencillas se unen para formar un nuevo producto



### Reacción de análisis o descomposición:

Se da cuando una sola especie química produce dos o más productos o sustancias químicas.



### Reacción de simple sustitución o simple desplazamiento:

Depende de la serie electromotriz o de actividad del elemento mecánico el cual nos ayuda a conocer que elemento mecánico puede desplazar a otro:

| orden | elemento |
|-------|----------|
| 1     | Li       |
| 2     | K        |
| 3     | Ba       |
| 4     | Ca       |
| 5     | Na       |

|    |    |
|----|----|
| 6  | Mg |
| 7  | Al |
| 8  | Zn |
| 9  | Fe |
| 10 | Cd |
| 11 | Ni |

|    |    |
|----|----|
| 12 | Sn |
| 13 | Pb |
| 14 | H  |
| 15 | Cu |
| 16 | Hg |
| 17 | Ag |
| 18 | Au |

Cuando un no metal desplaza a un ion no metálico de una sal o un acido

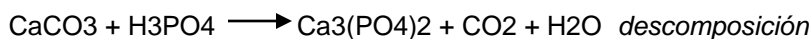
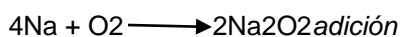
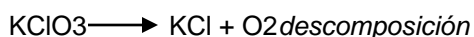
|   |    |
|---|----|
| 1 | F  |
| 2 | Cl |
| 3 | Br |
| 4 | I  |

### Doble sustitución o doble descomposición:

Este fenómeno se da cuando dos compuestos iónicos intercambian los cationes y aniones que los forman es decir el ion positivo de un compuesto desplaza al ion negativo de otro compuesto:

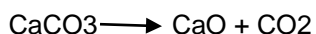
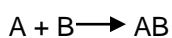


### EJERCICIOS



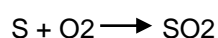
### REACCION ENDOTERMICA

Una reacción endotérmica es aquella que absorbe energía calorífica



### REACCION EXOTERMICA

Aquella que expulsa calor



**Oxiácido:** Contiene oxígeno, terminan con oso, ico, per\_\_ico.

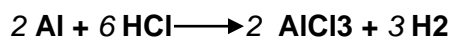
**Hidrácido:** No tienen oxígeno y terminan en hidrido.

**Reacciones irreversibles:** Solo se realizan en un solo sentido (solo tienen una flecha).



### BALANCEO DE REACCIONES

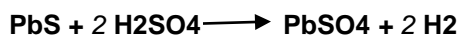
#### Método por tanteo



2-Al-2

6-Cl-6

6-H-6

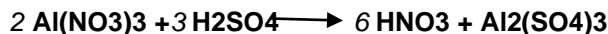


1-Pb-1

1-S-1

4-H-4

4-O-4



2-Al-2

6-N-6

3-S-3

6-H-6

30-O-30

### Método de óxido-reducción



Cr6----- Cr3 (3) oxida

Fe2----- Fe3 (1) reduce



2-K-2

2-Cr-2

7-O-7

6-Fe-6

26-Cl-26

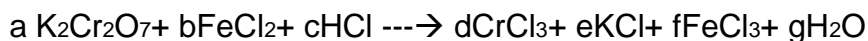
14-H-14

### Método Algebraico

Este método se basa en resolver un sistema simultáneo de ecuaciones con más de 2 variables.

- Se asigna una literal a cada componente de la ecuación química, cuidando que dichas letras no se confundan con los símbolos químicos de la sustancia de la ecuación. Generalmente se utilizan las primeras letras del alfabeto.

- Se establece una ecuación matemática para cada elemento de la ecuación. Se multiplica el número de átomos de ese elemento por la literal asignada, y se suman con otros elementos si los hay; por el lado de los reactivos se separa con un signo igual y se hace lo mismo para el lado de los productos; se repite este procedimiento para cada elemento.
- Se escoge a letra que se repita más veces en las ecuaciones y se le asigna un número arbitrario (generalmente son números enteros y menores de 10); esto se aplica siempre y cuando se resuelva el sistema de ecuaciones al resolver cada una de las literales.
- Al conocer todos los valores que se determinaron en el paso anterior, se sustituyen estos en la ecuación original y se comprueba el resultado; si la ecuación química no queda balanceada se verifican nuevamente los pasos.



| Elementos | Ecuaciones matemáticas |   |
|-----------|------------------------|---|
| K         | $2a = e$               | 1 |
| Cr        | $2a = d$               | 2 |
| O         | $7a = g$               | 3 |
| Fe        | $b = f$                | 4 |
| Cl        | $2b + c = 3d + e + 3f$ | 5 |
| H         | $c = 2g$               | 6 |

- Para que todos los resultados coincidan, el resultado de cada una de las literales se debe simplificar.

| Ecuación    | Sustitución | Resultado |
|-------------|-------------|-----------|
| 1) $2a = e$ | $2(2) = e$  | $e = 4$   |
| 2) $2a = d$ | $2(2) = d$  | $d = 4$   |
| 3) $2a = g$ | $2(2) = g$  | $g = 4$   |



- Como ya tenemos el valor de g. sustituimos este en la ecuación 6 y calculamos el valor de C:

$$C = 2(14) = 28$$

- Ahora, de la ecuación 4 sabremos que  $b = f$  ∴ sustituyendo los valores conocidos, podemos convertir la ecuación 5 en la sig. Ecuación:

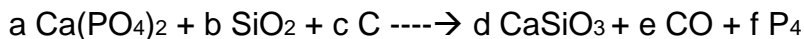
$$2b + 28 = 3(4) + 4 + 3b$$

- Realizando operaciones y reduciendo términos tenemos:

$$28 - 12 - 4 = 3b - 2b$$

$$12 = b$$

$$b = f \quad \therefore \quad f = 12$$



$$\text{Ca: } 3a = d$$

$$\text{P: } 2a = 4f$$

$$\text{O: } 8a + 2b = 3d + e$$

$$\text{Si: } b = d$$

$$\text{C: } c = e$$

$$a = 2$$

$$b = 6$$

$$d = 6$$

$$f = 1$$

| Ecuación     | Sustitución      | Resultado |
|--------------|------------------|-----------|
| 1) $3a = d$  | $3(2) = d$       | $d = 6$   |
| 2) $2a = 4f$ | $2(2) = 4/4 = 1$ | $f = 1$   |

$$8(2) + (6) = 3(6) + e$$

$$28 = 18 + e$$

$$28 - 18 = e$$

$$10 = e = c$$

$$n = \frac{P}{pm}$$

$n = \#$  moles

$P =$  masa de la sustancia

$pm =$  peso molecular

### Conversión de unidades físicas a químicas

La estequiometría se aplica en el balanceo de ecuaciones para conocer la cantidad de sustancias que entran en una reacción y la cantidad de producto que se generan en dicha reacción.

Para medir la cantidad de materia no se usan Kg o g, que son las unidades de masa ml, L que son las unidades de volumen, por lo tanto, para medir cantidad de materia se utilizan unidades químicas como el mol y las moléculas.

El mol es una cantidad de medida que se usa en química y se define como la cantidad de sustancia que contiene un número de partículas elementales igual al número de átomos que hay en 12g de C. y se representa con la letra "M".

Una persona con conocimientos de química se dirige a la tienda y pide un mol de azúcar para endulzar su café, y un mol de sal de mesa para darle sabor a sus guisos. Supongamos que el dueño de la tienda también conoce de estas unidades y por lo tanto le despacha correctamente al cliente.

$C_{12}H_{22}O_{11}$  ----- azúcar

| Elemento  | Peso atómico | No. De átomos | Producto |
|-----------|--------------|---------------|----------|
| C         | 12 g         | 12            | 144 g    |
| H         | 1 g          | 22            | 22 g     |
| O         | 16 g         | 11            | 176 g    |
| Resultado |              |               | 342 g    |

NaCl ----- sal de mesa

Na:  $(23 \text{ g})(1) = 23 \text{ g}$

Cl:  $(35 \text{ g})(1) = 35 \text{ g}$

Total : 58 g



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

¿Cuántos gramos existen en 0,5 moles de polvo para hornear?



Na: 23g

H: 1g

C: 12g

O: (16g)(3)= 48g

Total: 84g

$$P = (pm)(n)$$

$$P = (84)(0.5)$$

$$P = 42g$$

¿Cuántos moles habrá en 50g de cloruro hidróxido de magnesio?  $(\text{Mg}(\text{OH})\text{Cl})$

Mg= 24g

O= 16g

Cl= 35g

H= 1g

Total= 76g

$$n = \frac{P}{pm}$$

$$\frac{50g}{76g} = 0.65 \text{ moles}$$

¿Cuántos g habrá en 0.8 moles de  $\text{Fe}(\text{OH})(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2$ ?

Fe= 56g

O= (16g)(5)=80g

H=(1)(7)=7g

C=(12)(4)= 48g

Total=191g

$$P = (pm)(n)$$

$$P = (191)(0.8)$$

$$P = 152.8g$$

¿Cuántos moles habrá en 300L de  $\text{CO}_2$ ?

$$\frac{300L}{22.4 L} = 13.39 \text{ moles}$$

### Conversión de unidades

| Convertir de: | a  |                                      |  |                                      |
|---------------|--|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
|               | Gramos(p)                                  | Moles (n)                            | Moléculas(N)                               | Litros(L)                            |
| Gramos (p)    |  | $n = \frac{P}{pm}$                   | $N = \frac{(p)(6.023 \times 10^{23})}{pm}$ | $V = \frac{(P)(22.4)}{pm}$           |
| Moles (n)     | $P = (n)(pm)$                              |                                      | $N = (n)(6.023 \times 10^{23})$            | $V = (n)(22.4)$                      |
| Moléculas (N) | $P = \frac{(N)(pm)}{6.023 \times 10^{23}}$ | $n = \frac{N}{6.023 \times 10^{23}}$ |  | $V = \frac{N}{2.688 \times 10^{22}}$ |
| Litros (L)    | $P = \frac{(V)(pm)}{22.4}$                 | $n = \frac{V}{22.4}$                 | $N = (V)(2.688 \times 10^{22})$            |                                      |

¿Qué volumen en Litros tiene 5kg de oxígeno medido a temperatura y presión normales?

$$V = \frac{(P)(22.4)}{pm} = \frac{(5000g)(22.4)}{(16)(2)} = \frac{112000}{32} = 3.500L$$

¿Cuántas moléculas están contenidas en 2500 cm<sup>3</sup> de gas butano bajo condiciones normales de presión y temperatura?

$$N = (2.5)(2.688 \times 10^{22}) = 6.72 \times 10^{25} \text{ moléculas}$$

¿Cuántos kg equivalen 5.83x10<sup>23</sup> moléculas de gas propano?

$$P = \frac{(N)(pm)}{6.023 \times 10^{23}} = \frac{(5.83 \times 10^{23})(44)}{6.023 \times 10^{23}} = \frac{2.5652}{5.83 \times 10^{23}} = 42.5900g = 0.042 \text{ kg}$$

Un estudiante tiene en su casa un tanque de gas butano (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) de 30 kg y quiere conocer:

- a) Cantidad de moles que contiene.
  - b) Cantidad de moléculas que contiene.
  - c) Su equivalente en litros.
- H: 1x10= 10  
 C: 12x4= 48  
 = 58

$$a) \quad n = \frac{P}{pm} = \frac{30000}{58} = 517.24 \text{ moles}$$

$$b) \quad N = \frac{(30'000)(6.323 \times 10^{23})}{58} = \frac{1.8069 \times 10^{28}}{58} = 3.11 \times 10^{26} \text{ molecules}$$

$$c) \quad V = \frac{(30000)(22.4)}{58} = \frac{672000}{58} = 11586.2 \text{ L}$$

Un tanque cerrado contiene 12'000 L de cloro gaseoso (Cl<sub>2</sub>)y quiere conocer: a) cantidad de masa en kg, b) cantidad de moles en kg, c) cantidad de moléculas.

$$a) \quad P = \frac{(12'000)(70)}{22.4 \text{ L}} = 37500g = 37.5 \text{ kg}$$

$$b) \quad n = \frac{12'000}{22.4} = 535.7 \text{ moles}$$

$$c) N = (12'000)(2.688 \times 10^{22}) = 3.1156 \times 10^{26} \text{ molecules}$$



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

En el laboratorio un profesor dejó un recipiente con la sig etiqueta, los estudiantes quieren investigar: (contiene  $16.310^{54}$  moléculas de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) a) cuántos g pesa la sustancia, b) cuántos moles contiene

$$\text{N:}(14)(2)= 28\text{g}$$

$$\text{H:}(1)(8)= 8\text{g}$$

$$\text{S:}(32)(1)=32\text{g}$$

$$\text{O:}(16)(4)=64\text{g}$$

$$= 132\text{g}$$

$$\text{a) } P = \frac{(16 \times 10^{54})(132)}{6.023 \times 10^{23}} = 3.5048 \times 10^{33} \text{g}$$

$$\text{b) } \frac{16 \times 10^{54}}{6.023 \times 10^{23}} = 2.6564 \times 10^{31} \text{ moles}$$

Por medio de esta ley se puede determinar qué % de un corresponde a un elemento

$$\%A = \frac{\text{peso de A en el compuesto AB}}{\text{peso molecular de AB}} * 100$$

$$\%B = \frac{\text{peso de B en el compuesto AB}}{\text{peso molecular de AB}} * 100$$

Calcular el % en peso de los elementos que intervienen en el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )

| Elemento | P.A | N.A | Producto | Formula     | %      |
|----------|-----|-----|----------|-------------|--------|
| H        | 1   | 2   | 2        | $2/98*100$  | 2.04   |
| S        | 32  | 1   | 32       | $32/98*100$ | 32.65  |
| O        | 16  | 4   | 64       | $64/98*100$ | 65.3   |
| TOTAL=   |     |     |          |             | 99.99% |

### Relación masa-masa

Es la relación que sucede entre las sustancias de masa generalmente en gramos.

¿Cuántos gramos de Ca se necesitan para preparar 80 gr de hidróxido de calcio?

| Elemento | P.A | Nº de átomo | producto |
|----------|-----|-------------|----------|
| Ca       | 40  | 1           | 40       |
| O        | 16  | 2           | 32       |



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| H | 1 | 2 | 2 |
|---|---|---|---|

40g Ca-----74 de Ca(OH)

74g/mol

X-----80

80g x 40g / 74= 43,24

Ejercicio



1º ¿Cuántos moles de HCl interaccionan en la reacción?

2º ¿Cuántos gramos de HCl intervienen en la reacción?

3º ¿Cuántos moles de H<sub>2</sub>O se producen en la reacción?

4º ¿Cuántos litros de H<sub>2</sub>O se producen en la reacción?

5º ¿Cuántos gr de HCl se necesitan para producir 90gr de Cl<sub>2</sub>?

|   | HCl                                    | O <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O            | Cl <sub>2</sub> |
|---|--|----------------|-----------------------------|-----------------|
|   | 4                                      | 1              | 2                           | 2               |
| m | H-1x1=1<br>Cl-<br>35.5x1=35.5<br>=36.5 | O-16x2=32      | H-1x2=2<br>O-16x1=16<br>=18 | Cl-35.5x2=71    |
| g | 36.5x4=146                             | 32             | 18x2=36                     | 71x2=142        |

$$V = P \times 22.4 / PM$$

$$V = 36 \times 22.4 / 18 = 44.8 \text{ Lts}$$

$$146 \longrightarrow 142$$

$$92.53 \times \longleftarrow 90$$



1º ¿Cuántos gramos de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> intervienen en la reacción?

2º ¿Cuántos gramos de Ba(OH)<sub>2</sub> intervienen en la reacción?

3º ¿Cuántos moles de H<sub>2</sub>O se producen en la reacción?

4º ¿Cuántos litros de H<sub>2</sub>O se producen en la reacción?

5º ¿Cuántos gramos de Ba (OH)<sub>2</sub> se necesitan para reaccionar con 60 gr de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>?

|                   | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Ba(OH) <sub>2</sub> | BaSO <sub>4</sub> | H <sub>2</sub> O |
|-------------------|--------------------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| Cantidad de moles | 0                              | 0                   | 0                 | 2                |



|   |  |  |                                     |                        |
|---|--|--|-------------------------------------|------------------------|
| M | H=1x2=2<br>S=32x1=32<br>O=16x4=64<br>=98 | Ba=137x1=137<br>O=16x2=32<br>H=1x2=2<br>=171 | Ba=137<br>S=32<br>O=16x4=64<br>=233 | H=1x2=2<br>O=16<br>=18 |
| G | <b>98gr</b>                              | <b>171</b>                                   | 233                                 | 2x18=36                |

$$V = P \times 22.4 / PM \quad V = 36 \times 22.4 / 18 \quad V = 44.8 \text{Lts}$$

$$171 \xrightarrow{\quad} 98$$

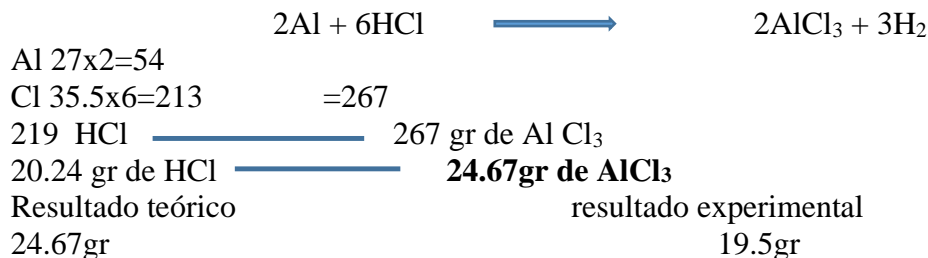
$$104.69 \xleftarrow{\quad} 60$$

### Eficiencia o rendimiento

Es el porcentaje de conversión de reactantes en productos, ya que en los procesos reales dicho porcentaje no es del 100% si no que depende de la naturaleza de los reactivos y de las condiciones en los que se realiza la reacción por lo tanto la eficiencia, se calcula por medio de la ecuación.

$$E = \frac{\text{cantidad experimental en gr}}{\text{Cantidad teórica en gr}} \times 100$$

Si al reaccionar 20.24 gr de ácido clorhídrico con Al se obtiene 19.5gr de tricloruro de aluminio.



### Relaciones masa volumen

Relación que sucede entre las sustancias químicas cuando la unidad de medida esta dada en unidades de masa y volumen, generalmente en gr y Lts.

-Cuando un gas se somete a presión se hace liquido

### Soluciones porcentuales.

Se pueden preparar soluciones empíricas y teóricas.

Las soluciones empíricas, son las que no interesa ni la cantidad ni la naturaleza del soluto ni del solvente.

Las soluciones valoradas o técnicas son aquellas en las que se toma en cuenta, las cantidades exactas de soluto y solvente, a si como la naturaleza de componentes

### Concentración porcentual en peso



Es la cantidad en peso de soluto disuelto en 2 unidades de peso de solución.

$$\%P = \frac{P \text{ soluto}}{P \text{ solución}} \times 100$$

¿Cuántos gramos de cloruro de sodio se necesitan para preparar 1500 gr de sal en agua al 35%?

$$P \text{ soluto} = \frac{\%P \times P \text{ solución}}{100}$$

de NaCl

$$p \text{ soluto} = \frac{35\% \times 1500 \text{ gr}}{100}$$

$$P \text{ soluto} = 525 \text{ gr de NaCl}$$

### Porcentaje en volumen

Capacidad en volumen de soluto disuelto en 100 unidades de volumen de solución

$$\%V = \frac{V \text{ soluto}}{V \text{ solución}} \times 100$$

Ejemplo

Una solución de 800 mlts al 25 % esta echa con ácido nítrico en agua ¿Cuántos mlts hay en la solución?

$$(25\%) (800) / 100 = \mathbf{800 \text{ mlts}}$$

### Concentración porcentual en peso volumen

Es la cantidad en peso de soluto, disuelto en 100 unidades de volumen de solución

$$P/V = \frac{P \text{ de soluto}}{V \text{ solución}} \times 100$$

si dividimos 20 gr de azúcar y agréganos agua hasta completar 2000 ml que porcentaje tiene esta solución?

$$20 / 2000 \times 100 = \mathbf{1\%}$$

### Molaridad

Se representa con la letra mayúscula M.

Se define como la cantidad de moles del soluto disueltos en un litro de solución.

$$M = \frac{P \text{ Soluto}}{PM \times V \text{ Solucion}}$$

Se requiere preparar una solución molar e hidróxido de potasio. ¿Qué cantidad de soluto se necesita para preparar la solución?

0.1 molar. 500ml de solución.

$$(M)(PM \times \text{Kg de Solvente})$$





GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

$(.1) \cdot (56) \cdot (.5) = 2.8 \text{ mol/litro disuelto en } 500 \text{ ml de agua.}$

Para el cálculo de la molaridad, cuando se tiene soluto líquido en solvente líquido, se consideran la densidad y el grado de pureza del soluto.

$$M = \frac{V_{\text{solute}} \cdot d \cdot \% \text{ pureza}}{100 \cdot V_{\text{solucion}} \cdot PM}$$

$V_{\text{solute}}$  = Volumen del soluto en mililitros.

$V_{\text{solucion}}$  = Volumen solución en litros.

PM = Peso molecular.

d = densidad del soluto.

% = Pureza de soluto.

100 = Constante de conversión.

¿Cuántos ml de ácido sulfúrico con 95% de pureza y 1.12 g/cm<sup>3</sup> de densidad se necesitan para preparar 1500 ml de una solución 0.15 molar.

$$\frac{.15 \cdot (100) \cdot (1.5) \cdot (98)}{1.12 \cdot (95)}$$

### Aplicación de la Ley de Richter.

Por medio de esta ley se puede determinar el peso equivalente. El cual se define como el peso que proporcionan  $6.023 \times 10^{23}$  partículas de un compuesto en una reacción con otra sustancia; sus unidades están dadas en g/equivalente.

Una equivalente de un elemento o un compuesto es igual al peso equivalente de elemento o compuesto en gramos.

La unidad equivalente es igual o equivalente en poder de combinación química a un equivalente de cualquier otro compuesto o elemento.

La fórmula que se utiliza para calcular el peso equivalente se puede desglosar de otras más, de acuerdo con el tipo de sustancia que se trate.

$$P_{eq} = PM / \text{Valencia}$$

Para un elemento

$$P_{eq}(A) = \text{Peso atómico} / \text{Valencia}$$

Para un ácido

$$P_{eq}(A) = PM \text{ del ácido} / \# \text{ de H}^+$$

Para una base

$$P_{eq}(B) = PM \text{ de base} / \# \text{ OH}$$

Para una sal

$$P_{eq} = PM \text{ de la sal} / CT^+$$

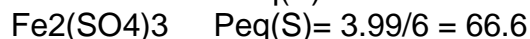
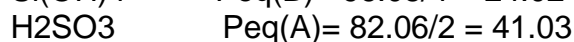
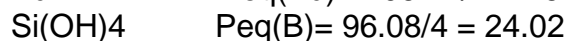
CT<sup>+</sup> = Carga total positiva.

$$P_{eq}(\text{Cu}) = 63.54 / 1 = 63.54$$

$$P_{eq}(\text{Cu}) + 2 = 63.54 / 2 = 31.77$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \quad PM = 98.06 \quad P_{eq} = 98.06 / 2 = 49.03$$

$$\text{Mg}(\text{OH})_2 \quad PM = 58.3 \quad P_{eq} = 58.3 / 2 = 29.15$$



### Normalidad

Se representa con una letra mayúscula N y se define como el número de equivalente gramo del soluto disuelto en 1L de solución (eq/L)

$$N= \text{Psoluto}/\text{Peq} \cdot \text{VSolucion}$$

Psoluto= Peso en gramos del soluto

VSolucion= Volumen de solución en Litros.

Peq= Peso equivalente del soluto en g/eq

### Ejemplo:

¿Qué normalidad tiene una solución que se preparó disolviendo 3g de hidróxido de calcio y se diluyó en 500ml de solución?

$$\text{Ca}= 40.08$$

$$\text{O}= 16(2) = 32$$

$$\text{H}= 2$$

$$\text{PM}= 74.08$$

$$\text{Peq}= 74.08/2 = 37.04$$

$$N= 3/37.04 = 0.16 \text{ eq/L}$$

¿Cuál es la normalidad de 1200ml de solución que se preparó con 12ml de ácido sulfuroso con una densidad de 1,3 g/cm<sup>3</sup> y 78% de pureza?

$$\text{H}= 2$$

$$\text{S}= 32$$

$$\text{O}= 16(3)$$

$$\text{PM}= 82$$

$$\text{Peq}= 82/2 = 41$$

$$N= (12\text{ml})(1.23)(78\%) / 100(12)(41) = 0.0234 \text{ eq/L}$$

Resuelve los siguientes ejercicios de soluciones químicas.

¿Cuántos ml de ácido clorhídrico se necesitan para preparar 30ml de solución 2:3 de ácido en agua?

$$30/5 = 6$$

$$6(2) = 12\text{ml}$$

Se mezclaron 5g de sal con 35g de azúcar, ¿Cuál es la proporción de la sal en el azúcar?

$$2:3$$



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

¿Cuántos gramos de NaCl se necesitan para preparar 1500g de una solución al 35% en peso?

$$52500/100 = 525g$$

Si se disuelven 17g de azúcar ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) en 700g de agua, ¿Cuál es el porcentaje de soluto en la solución?

$$(17/717) \times 100 = 2.37\%$$

¿Cuál es el porcentaje de sal en una solución cuando al evaporar 177g de solución a sequedad se producen 38g de sal?

$$(38/177) \times 100 = 21.47\%$$

20ml de alcohol etílico se disolvieron en 130ml de agua, ¿Cuál es el porcentaje de alcohol en la solución?

$$(20/150) \times 100 = 13.33\%$$

Una solución de 800ml al 35% está hecha de bicarbonato de sodio ( $NaHCO_3$ ) en agua. ¿Cuántos g de soluto contiene la solución? ¿Cuál es la M de una solución que contiene 24g de sosa ( $NaOH$ ) en 750ml de solución?

$$P/V = \text{Peso de soluto} / V_{\text{solucion}} (100)$$

$$\text{Peso soluto} = P_v / 100 (V_{\text{solucion}})$$

$$35(800) / 100 = 280g$$

$$M = P_{\text{Soluto}} / P_M \times V_{\text{solucion}} = 0.8L$$

¿Cuál es la cantidad de soluto ( $Na_2SO_4$ ) que se requiere para preparar  $\frac{3}{4}$  de litro de solución  $\frac{1}{4}$  M?

$$S = 32$$

$$O_4 = 64$$

$$P_M = 142$$

$$P_{\text{soluto}} = (P_M \times V_{\text{solucion}}) (M)$$

$$P_{\text{soluto}} = (142 \times 0.75) (0.25) = 26.6g$$

$$Na_2 = 46$$

¿Cuál es la M de un litro de solución que contiene 3,5ml de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) con densidad de 1,18g/cc y 85% pureza?

$$M = (3.5 \times 1.18 \times 85) / (100 \times 1 \times 98) = 0.035 \text{ Mol}$$

¿Cuántos ml de HCl tienen 700ml de solución  $\frac{3}{4}$  M? La densidad es de 1.23g/cc y 45% pureza?

$$V_{\text{soluto}} = (0.75 \times 100 \times 0.7 \times 36) / (1.23 \times 45) = 34.14ml$$

¿Cuál es la normalidad de la solución que resulta de disolver 50g de ácido sulfúrico en 500ml de solución?

$$N = 50g / (49)(0.5) = 2.04N$$

¿Cuál es la M de una solución de  $Ca(OH)_2$  0,5N?

$$F_i = 0.5 / 74 = 6.756 \times 10^{-3} M$$

¿Cuántos ml de ácido sulfúrico concentrado, de densidad 1,8g/ml que contiene el 95% de ácido sulfúrico deben utilizarse para preparar 2L de solución 0,5 N?

$$V_{\text{soluto}} = (5 \times 100 \times 2 \times 49) / (1.8 \times 95) = 286.5ml$$

¿Cuál es la molalidad de una solución que se prepara disolviendo 29,22g de NaCl en 100ml de agua?



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

$$m = 29.22/58(0.1) = 4.99\text{m}$$

¿Cuántos g de  $\text{AgNO}_3$  se necesitan para disolver en 200ml de agua para preparar una solución de 0.2m?

$$P_{\text{soluto}} = (0.2)(169.86)(0.2) = 6.79\text{g}$$

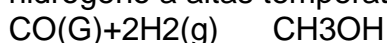
### Reactivo limitante y reactivo en exceso

Cuando se efectúa una reacción generalmente los reactivos no están presentes en las cantidades estequiométricas exactas, es decir, las proporciones que indicó la ecuación balanceada. Con frecuencia se suministra un exceso de uno de los reactivos para asegurar que el reactivo más costoso se convierta por completo en el producto deseado, en consecuencia una parte del reactivo sobrará al final de la reacción, el reactivo que se consume en una reacción se denomina reactivo limitante.

Los reactivos en exceso son los reactivos presentes en mayor cantidad que la necesaria para reaccionar con la cantidad de reactivo limitante.

Por ejemplo:

Considere la síntesis industrial del metanol a partir del monóxido de carbono e hidrógeno a altas temperaturas.



Suponga que en un inicio se tienen 4 moles de CO gaseoso y 6 moles de  $\text{H}_2$ . Una forma de determinar cuál de los dos reactivos es el limitante, es calcular en moles de  $\text{CH}_3\text{OH}$  es obtenido a partir de las cantidades iniciales de CO y  $\text{H}_2$

$$4 \text{ moles de CO} \times (1 \text{ mol de CH}_3\text{OH}) / (1 \text{ mol de CO}) = 4 \text{ moles de CH}_3\text{OH}$$

$$6 \text{ moles de H}_2 \times (1 \text{ mol de CH}_3\text{OH}) / (2 \text{ moles de H}_2) = 3 \text{ moles de CH}_3\text{OH}$$

# UNIDAD 2

# EQUILIBRIO QUÍMICO Y

# VELOCIDAD DE REACCIÓN

### RAPIDEZ

Mtro José Guadalupe Cruz Martínez y colaboradores

División de Ingeniería Química TESJI(2020)

En 1863 Goldberg y Waage describieron lo que hoy llamamos la ley de acción de masas, que establece que la rapidez de una reacción química es proporcional a las masas activas de las sustancias reaccionantes presentes en cualquier momento. Las masas activas pueden ser concentraciones o presiones. Goldberg y Waage derivaron una constante de equilibrio al definir el equilibrio como la condición en la cual la rapidez de las reacciones hacia adelante en sentido inverso es igual de acuerdo con Goldberg y  $Aa + Bb \rightleftharpoons Cc + Dd$  Waage la rapidez de la reacción hacia adelante es igual a una constante por la concentración de cada especie elevada a la potencia del número de moléculas que participan en la reacción  $Rapidez_f = K_f \{A\}^a \{B\}^b \{X\}$  concentración de x.

Donde rapidez f representa la rapidez de reacción hacia adelante y K f constante de rapidez, la cual depende de factores como temperatura y la presencia de catalizadores. Por lo tanto {A} y {B} representan concentraciones molares.

### REACCION INVERSA

$Rapidez_b = K_b \{C\}^c \{D\}^d :: K_f \{A\}^a \{B\}^b = K_b \{C\}^c \{D\}^d$  redondeando estas ecuaciones se obtienen la constante molar de equilibrio.

### CONSTANTE DE EQUILIBRIO

$$\frac{\{C\}^c \{D\}^d}{\{A\}^a \{B\}^b} = \frac{K_f}{K_b} = K \quad K = \frac{\{C\}^c \{D\}^d}{\{A\}^a \{B\}^b}$$

### TIPOS DE EQUILIBRIOS

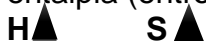
Se puede describir constantes de equilibrio para varios tipos de procesos químicos.

Los equilibrios pueden representar disociación, acido/base, solubilidad, formación de productos, formación de complejos, reacciones de oxido- reducción, una distribución o reparto entre 2 fases.

| EQUILIBRIO             | REACCION   | CONSTANTE DE EQUILIBRIO                       |
|------------------------|--|---|
| Disociación acido/base | $HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$            | $K_{a1}$ constante de acidez                  |
| Solubilidad            | $MA \rightleftharpoons M^{n+} + A^{n-}$                | $K_{sp1}$ producto de solubilidad             |
| Formación de complejas | $M^{n+} + aL^{b-} \rightleftharpoons ML_a$             | $K_{f1}$ constante de formación               |
| Reducción—Oxidación    | $A_{red} + B_{ox} \rightleftharpoons A_{ox} + B_{red}$ | $K_{eq1}$ constante de equilibrio de reacción |
| Distribución de fase   | $AH_2O \rightleftharpoons A_{orgánico}$                | $K_s1$ coeficiente de reparto                 |

### LA ENERGIA LIBRE DE GIBS Y LA CONSTANTE DE EQUILIBRIO

La tendencia de una reacción define termodinámicamente a partir de su cambio de entalpia (entropía).





GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA

TESJI

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

**La entalpia:** es el calor absorbido cuando tiene lugar una reacción endotérmica bajo presión constante. Cuando hay desprendimiento de calor (exotérmica)  $\Delta H$  es negativa.

**La entropía:** es una medición del desorden de una sustancia a un sistema.

Un sistema tenderá siempre a una menor energía aleatoria aumentada, es decir menor entalpia y mayor entropía. El efecto combinado de entalpia y entropía está dado por la energía libre de Gibbs:  $G = H - TS$

Donde  $T$  es la temperatura absoluta en grados kelvin,  $G$  es una medida de la energía del sistema. El cambio de energía del sistema está dado por  $\Delta G = \Delta H - T \Delta S$ .

De esta manera se ve un proceso espontáneo cuando  $\Delta G < 0$ , será espontáneo en sentido inverso cuando  $\Delta G > 0$ , estará en equilibrio cuando  $\Delta G = 0$ .

La entalpia estándar  $H^\circ$ , la entropía estándar  $S^\circ$  y la  $G^\circ$  en estándar  $G^\circ$  representa las cantidades termodinámicas para un mol de una sustancia en estado estándar en donde ( $P = 1 \text{ atm}$ ,  $T = 298 \text{ K}$ , concentración unitaria) entonces  $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ$ .

$G^\circ$ : se relaciona con la constante de equilibrio de una reacción mediante

$$K = e^{-\Delta G^\circ / RT}$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K = -2.303 RT \lg K \text{ donde } R \text{ es la constante de los gases (8.314 JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}\text{)}$$

Si se conoce la energía libre estándar de una reacción, se puede calcular la constante de equilibrio obviamente, cuanto mayor sea  $\Delta G^\circ$  (cuando sea negativa), mayor será  $K$ .

### PRINCIPIO DE LE CHATELIER

La concentración de equilibrio de reactivos y productos se pueden alterar si se aplica tensión al sistema.

### EJEMPLO:

Combinando la temperatura, presión concentración de los reactivos. Los efectos de tales cambios se pueden por el principio de Le Chatelier que establece y cuando se aplica tensión a un sistema en equilibrio químico, el equilibrio se desplazará en el sentido que permita contrarrestar esa tensión por efecto de la temperatura, presión, concentraciones sobre los equilibrios químicos.

### EFFECTOS DE LA TEMPERATURA



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA

TESJI

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

La temperatura influye en las constantes individuales de rapidez, para las reacciones hacia adelante y atrás, en consecuencia, también afecta a la constante de equilibrio.

Un aumento en la temperatura desplazará el equilibrio en la dirección que de por resultado absorción de calor, ya que esto remueve la fuente de tensión. Este modo una reacción endotérmica se desplazará a la derecha con un aumento en la constante de equilibrio, sucederá lo contrario en una reacción exotérmica hacia adelante porque absorbe calor, el grado del desplazamiento dependerá de la magnitud del calor del sistema. Además de influir en la posición del equilibrio, la temperatura tiene efecto pronunciado de la rapidez de las reacciones hacia adelante y otras que participan en el equilibrio, por lo tanto, influye en la rapidez con la que se tiende al equilibrio. Esto se debe al número y la energía de las colisiones entre las especies reaccionantes aumenta la temperatura, la rapidez de muchas reacciones aumentan alrededor 2 a 3 veces por cada 10 grados centígrados de elevación de la temperatura.

### EFFECTOS DE LA PRESION

Gran influencia sobre la oposición del equilibrio químico para reacciones que ocurren en fase gaseosa, un aumento de presión favorece un desplazamiento en la dirección que de por resultado reducción del volumen del sistema.

Sin embargo, reacciones que cubren los cambios normales de presión tiene poco efecto en el equilibrio por que los líquidos no se pueden comprimir como los gases.



### EFFECTO EN LAS CONCENTRACIONES

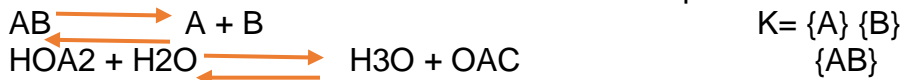
El valor de una constante de equilibrio es independiente de las reacciones concentradas y productos. Sin embargo, la posición del equilibrio es influida en forma infinitiva por las concentraciones. El sentido de cambio se puede presidir facialmente por el método de CHATELIER.

### CONSTANTES DE EQUILIBRIO PARA ESPECIES QUE SE ASOCIAN O SE CAMBIAN

Cuando una sustancia se disuelve en agua a menudo se disocia o ioniza parcial o totalmente. Los electrolitos disociados parcialmente se llaman electrólitos débiles, y los disociados totalmente se llaman electrolitos fuertes.

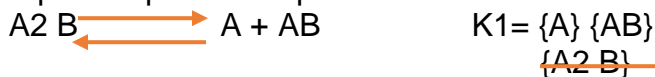


Por ejemplo: el ácido acético se ioniza solo parcialmente en agua por lo tanto ese es un electrolito débil, pero el ácido clorhídrico se ioniza por completo y en consecuencia se trata de un electrolito fuerte. Las disociaciones de ácidos en agua son en realidad reacciones de transferencia de protones.



Cuando mayor sea la constante de equilibrio mayor será la disociación.

Algunas especies se disocian por etapas, y se pueden escribir un constante equilibrio para cada paso de disociación.



La disociación total del compuesto de la suma de estos dos equilibrios es:



Si se multiplican las ecuaciones 1 y 2 se llega a la constante total de equilibrio:

$$K_{eq} = K_1 K_2 = \frac{\{\text{A}\} \{\text{AB}\}}{\{\text{A}_2\text{B}\}} \times \frac{\{\text{A}\} \{\text{B}\}}{\{\text{AB}\}}$$

$$K_{eq} = \frac{\{\text{A}\}^2 \{\text{B}\}}{\{\text{A}_2\text{B}\}}$$

Las sustancias A y B reaccionan como sigue para producir C y D. la constante de equilibrio K tiene un valor de 0.3. Suponga que 0.2 moles de A y 0.5 moles de B se disuelven en 1 litro y se lleva a cabo la reacción. Calcular las concentraciones de los reactivos y de los productos en equilibrio.

1) La solución inicial de A es igual .20 moles de solución.

|         | {A}      | {B}      | {C}   | {D} |
|---------|----------|----------|-------|-----|
| INICIAL | 0.20     | 0.50     | 0     | 0   |
| CAM     | - X      | - X      | +X    | + X |
|         | 0.20 - X | 0.50 - X | 0 + X | + X |

$$\frac{(X)(X)}{(0.20 - X)(0.50 - X)}$$

$$X^2 = (0.1 - 0.70X + X^2) = 0.30$$

Mtro José Guadalupe Cruz Martínez y colaboradores

$$\begin{array}{l}
 \{\text{A}\} = 0.20 - X = 0.09 \text{ M} \\
 \{\text{B}\} = 0.50 - X = 0.39 \text{ M} \\
 \{\text{C}\} = \{\text{D}\} = X = 0.11 \text{ M}
 \end{array}$$

División de Ingeniería Química TESJI2020)



$$0.70X^2 + 0.21X - 0.030 = 0$$

$$= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{0.21 \pm \sqrt{(0.21)^2 - 4(0.70)(-0.030)}}{2(0.70)} = \frac{0.21 \pm \sqrt{0.44 + 0.84}}{1.40}$$

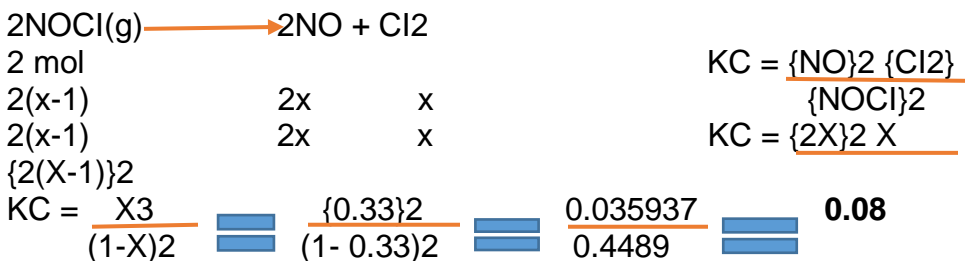
$$= \mathbf{0.11 \text{ M}}$$

### EQUILIBRIO QUIMICO CALCULO DE LA CONSTANTE DE EQUILIBRIO

En la disociación del ácido acético  $\text{CH}_3\text{COOH}$  al alcanzar el equilibrio se encuentran una concentración de 3.99 molar para el ion  $\text{CH}_3\text{COO}^- = 8.36 \times 10^{-3}$  molar y para la concentración  $\text{H}^+ = 8.36 \times 10^{-3}$ .

#### EJEMPLO:

En un recipiente de 1L a 735 grados kelvin 2 moles de  $\text{NOCl}$  y se producen  $2\text{NOCl}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO} + \text{Cl}_2$  cuando se alcanza el equilibrio el  $\text{NOCl}$ , se encuentran disociado en un 33%. Calcular  $K_c$ .



#### EJERCICIOS:

Escriba las expresiones para  $K_c$  y  $K_p$  según sea para las siguientes reacciones reversibles.



$$K_c = \frac{\{\text{H}_3\text{O}^+\} \{\text{F}^-\}}{\{\text{HF}\} \{\text{H}_2\text{O}\}}$$



$$K_p = \frac{P_{\text{NO}_2}^2}{P_{\text{NO}}^2 P_{\text{O}_2}} \quad K_c = \frac{\{\text{NO}_2\}^2}{\{\text{NO}\}^2 \{\text{O}_2\}}$$



$$K_c = \frac{\{\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5\}}{\{\text{CH}_3\text{COOH}\} \{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}\}}$$

Que ha estudiado el siguiente proceso en equilibrio a 230 grados centígrados.



En un experimento se encontró que las concentraciones de equilibrio de las especies reactivas son: NO = 0.0542 MOLAR, O<sub>2</sub> = 0.127 MOLAR, NO<sub>2</sub> = 15.5 MOLAR. Calcule la constante de equilibrio para esta reacción.

$$K_C = \frac{\{15.5\}^2}{\{0.0542\} \{0.127\}} = \frac{240.25}{6.8834 \times 10^{-3}} = 0.034902809$$

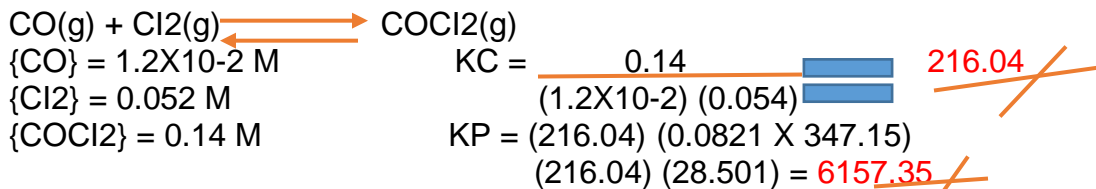
K<sub>P</sub> = K<sub>C</sub>(RT)<sup>n</sup>      n = b - a = moles de productos gaseosos - moles de reactivos gaseosos.

$$K_P = K_C(0.0821 \times T) \quad 1 K_P(0.0821 \times 503.15)$$

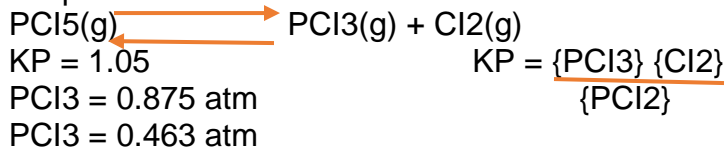
$$T = 230 \text{ GRADOS CENTIGRADOS} + 273.15 = 503.15 \text{ GRADOS KELVIN}$$

$$K_P = 6.44 \times 10^5 (41.30) = 2.65 \times 10^7$$

- 1) El cloruro de carbonilo (COCl<sub>2</sub>) también llamado fosgeno, se utilizó en la primera guerra mundial como gas venenoso. Las concentraciones de equilibrio 74 grados centígrados para la reacción entre monóxido de carbono y cloro molecular el cual produce el cloruro de carbonilo son las siguientes:



- 2) La constante de equilibrio K<sub>P</sub> obtenida para composición del Penta cloruro de fósforo en tricloruro de fósforo y cloro molecular es de 1.05 a 250 grados centígrados. Si las presiones parciales en el equilibrio son de .875 atm para PCI<sub>5</sub> y 0.463 atm del PCI<sub>3</sub>. ¿Cuál es la presión parcial del equilibrio para esta temperatura?



$$\text{Cl}_2 = \frac{\{1.05\} \{0.875\}}{\{0.463\}} = 1.98 \text{ atm}$$

- 3) El metanol se elabora industrialmente mediante la reacción del monóxido de carbono en estado gaseoso mas 2 moléculas de hidrogeno molecular en estado gaseoso.

La constante de equilibrio K<sub>C</sub> es de 10.5 a 220 grados centígrados. ¿Cuál es el valor de K<sub>P</sub> a esta temperatura?

$$K_C = 10.5 (0.0821 \times 493.15)^{-2} = 10.5 (6.10 \times 10^{-4})$$

$$K_P = 6.40 \times 10^3$$

$$T = 220 + 273.15 = 493$$

$$n = 1 - 3 = -2$$



### PREDICION DE LA DIRECCION DE UNA REACCION

Para las reacciones que no han alcanzado el equilibrio, al sustituir las concentraciones iniciales en la expresión de constante de equilibrio obtenemos un cociente de reacción (QC) en lugar de la constante de equilibrio.

Para determinar la dirección neta para llegar al equilibrio, comparamos los valores de QC y KC. Esto da lugar a 3 posibles situaciones:

- 1) **QC < KC:** La relación entre las concentraciones iniciales de productos y reactivos es muy pequeño. Para alcanzar el equilibrio, los reactivos deben convertirse en reactivos, el sistema ira de izquierda a derecha, los reactivos se consumen para formar productos.
- 2) **QC = KC:** Las concentraciones iniciales son las concentraciones de equilibrio por lo tanto el sistema no presenta cambios.
- 3) **QC > KC:** La relación entre las concentraciones iniciales de productos y reactivos es muy grande.

Para alcanzar el equilibrio los productos deben transformarse en reactivos, de modo que el sistema de derecha a izquierda.

#### EJEMPLO:

Al principio de una reacción hay .249 moles de N<sub>2</sub>, 3.21X10<sup>-2</sup> moles de H<sub>2</sub> y 6.42X10<sup>-4</sup> moles de NH<sub>3</sub> de 3.5L a 375 grados centígrados. Si la constante de equilibrio KC de la relación es de 1.2 a esta temperatura determine si la relación esta en equilibrio. Si no es hacia prediga la relación de la reacción neta.



$$\{\text{N}_2\} = 0.249 \text{ MOL} = 0.0711$$

$$\{\text{H}_2\} = 3.12 \times 10^{-2} \text{ MOL} = 9.171 \times 10^{-3}$$

$$\{\text{NH}_3\} = 6.4 \times 10^{-4} \text{ MOL} = 1.828 \times 10^{-4}$$

$$\text{QC} = \frac{(1.828 \times 10^{-4})^2}{(0.0711)(9.171 \times 10^{-3})} = \frac{3.341 \times 10^{-8}}{(0.0711)(7.713)} = \frac{3.3642 \times 10^{-8}}{5.4828 \times 10^{-8}}$$

$$\text{QC} = 0.6143$$



$$\text{KC} = 6.5 \times 10^4$$

En un experimento se mezclan 2.0x10<sup>-2</sup> moles de NO, 8.3x10<sup>-3</sup> moles de Cl<sub>2</sub> y 6.8 moles de 2NOCl en un matraz de 2L. En qué dirección el sistema alcanzara el equilibrio.

$$\{\text{NO}\} = 2.0 \times 10^{-2} \text{ MOL} = 1 \times 10^{-4}$$

$$\{\text{Cl}_2\} = 8.3 \times 10^{-3} \text{ MOL} = 4.15 \times 10^{-3}$$

$$\{\text{NOCl}\} = 6.8 \text{ MOL} = 3.4$$

$$\text{QC} = \frac{(3.4)^2}{(1 \times 10^{-4})(4.15 \times 10^{-3})} = \frac{11.56}{4.15 \times 10^{-7}} = \frac{27,855,421.69}{4.15 \times 10^{-7}} = 27.85 \times 10^{-8}$$

QC > KC = hacia a los reactivos

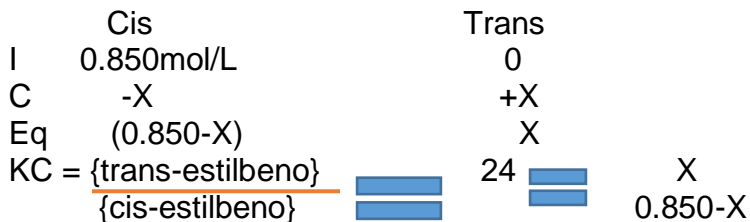
### CALCULO DE LAS CONCENTRACIONES DE EQUILIBRIO

Si conocemos la constante de equilibrio para una reacción, podemos calcular las concentraciones de la mezcla en equilibrio a partir de las concentraciones iniciales.

Considere el siguiente sistema en donde participan 2 compuestos orgánicos cis-estilbeno y trans-estilbeno.



La constante de KC para este sistema es de 24.0 a 200 grados centígrados. Suponga que el inicio solo esta presente cis-estilbeno en una concentración de 0.850mol/Lt. Encontrar la concentración del cis-estilbeno y trans-estilbeno.



$$X = 24(0.850-X)$$

$$X = 20.4 - 24X$$

$$X + 24X = 20.4$$

$$X = 20.4$$

$$25$$

$$X = 0.816$$

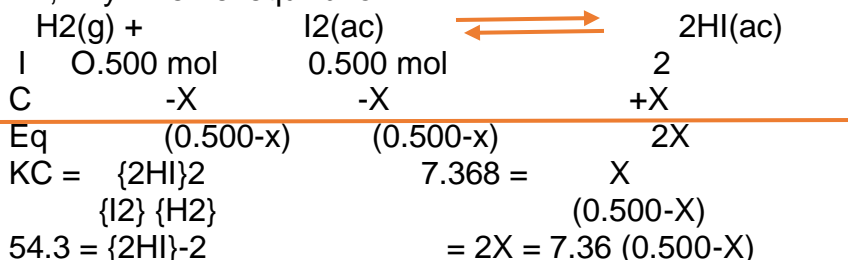
Cis-estilbeno

$$(0.850) - (0.816) = 0.034$$

Trans-estilbeno

$$X = 0.816$$

Una mezcla de 0.500 moles de H<sub>2</sub> y 0.500 moles de I<sub>2</sub> se coloca en un recipiente de acero inoxidable de 1L a 430 grados centígrados. La constante de equilibrio para esta reacción es de 54.3 a esta temperatura. Calcule las concentraciones de H<sub>2</sub>, I<sub>2</sub> y HI en el equilibrio.



$$\begin{aligned} & \{0.500-X\}^2 \\ 7.36X + 2X &= 3.68 \\ 9.36X &= 3.68 \\ X &= \frac{3.68}{9.36} \\ &= \mathbf{0.39} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 3.68 - 7.36X \\ H_2, I_2 &= .500 - .393 \\ &= \mathbf{0.107} \\ HI &= 2 (.393) = \mathbf{0.786} \end{aligned}$$

# UNIDAD III

## MÉTODOS VOLUMÉTRICOS.

### Unidad III

#### Teoría Ácido-base según Arrhenius.

- Un ácido de Arrhenius es cualquier especie que aumenta en concentración de H<sup>+</sup> en una solución acuosa.
- Una base de Arrhenius aumenta en concentración de OH<sup>-</sup> en una solución acuosa.
- En solución acuosa, los iones H<sup>+</sup> reaccionan inmediatamente con las moléculas de agua para formar iones hidronio H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>.
- En una reacción ácido-base o reacción de neutralización un ácido y una base de Arrhenius reaccionan generalmente para generar agua y una sal.

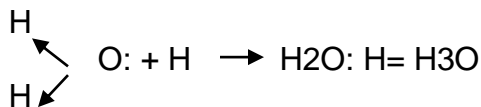
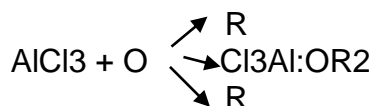
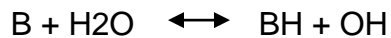
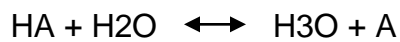
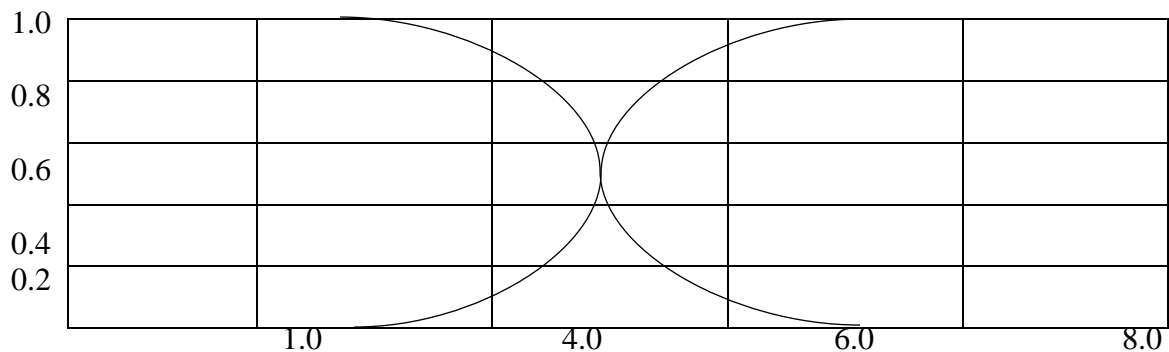
#### Teoría ácido-base de Brønsted-Lowry.

- Un ácido Brønsted-Lowry es cualquier especie capaz de donar un protón H<sup>+</sup>.
- Una base de Brønsted-Lowry es cualquier especie capaz de aceptar un protón, lo que requiere un par solitario de electrones para enlazarse a H<sup>+</sup>.
- El agua es una sustancia anfótera ya que puede actuar como un ácido Brønsted-Lowry y como una base Brønsted-Lowry.
- Los ácidos y bases fuertes se ionizan totalmente en solución acuosa, mientras que los ácidos y bases débiles solo se ionizan parcialmente.

- La base conjugada de un ácido Brønsted-Lowry es la especie que se forma después de que un ácido donó un protón. El ácido conjugado de una base de Brønsted-Lowry es la especie que se forma cuando un ácido acepta un protón.

### Teoría de Lewis.

- Define un ácido como toda sustancia capaz de aceptar uno o más pares de electrones en un enlace covalente. Una base es toda sustancia capaz de ceder un par de electrones en un enlace covalente.
- 
- La siguiente figura demuestra que una disolución que contiene un par ácido-base conjugado, posee una marcada resistencia a los cambios en el pH. El pH de una porción de 400ml de una solución amortiguadora, preparada al diluir 10 veces la disolución descrita cambiará entre 0.4 y 0.5 unidades cuando se trata con 100ml de hidróxido de sodio NaOH o 0.05ml de HCl.





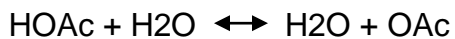
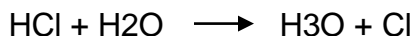


### Equilibrio ácido-base en agua.

Cuando un ácido o una base se disuelve en agua, se disocia o se ioniza, y el grado de ionización depende de la fuerza del ácido. Un electrolito fuerte se disocia por completo, en tanto un electrolito débil se ioniza de manera parcial.

| Fuertes                        | Débiles   |
|--------------------------------|---|
| HCl                            | HC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O (ácido acético)        |
| HClO <sub>4</sub>              | NH <sub>3</sub>   |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH (Fenol)                |
| HNO <sub>3</sub>               | HCHO <sub>2</sub> (ácido fórmico)                       |
| NaOH                           | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub> (anilina) |
| KOH                            |   |

Alguns indicadores ácido-base



Constante de equilibrio para esta reacción.

$$K = \frac{a_{\text{H}_3\text{O}} \cdot a_{\text{OAc}}}{a_{\text{HOAc}} \cdot a_{\text{H}_2\text{O}}}$$

K= constate termodinámica de acidez.

A= actividad de la especie indicada.

El agua pura se ioniza ligeramente o sufre autoprotolisis.



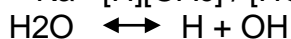
La constante de equilibrio es:

$$K_w = \frac{a_{\text{H}_3\text{O}} \cdot a_{\text{OH}}}{a_{\text{H}_2\text{O}}}$$

K<sub>w</sub> = Constante termodinámica de autoprotolisis, o autoionización.



$$K_a = \frac{[\text{H}][\text{OAc}]}{[\text{HOAc}]}$$





$$K_w = [H][OH]$$

Ka y Kw= Constantes molares de equilibrio a 25°C

$$K_w = 1 \times 10^{-14}$$

$$[H][OH] = 1 \times 10^{-14}$$

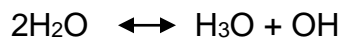
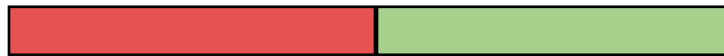
$$pH = -\log[H]$$

$$pOH = -\log[OH]$$

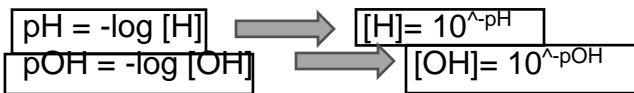
$$PCa = -\log [Ca^{+2}]$$

$$PKa = -\log Ka$$

$$PKp3 = -\log Kps$$



$$K_w = [H][OH] = 1 \times 10^{-14}$$

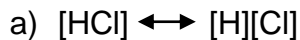


$$K_w = 1 \times 10^{-14} = [H][OH]$$

$$14 = pH + pOH$$

Calcular el pH para: a) Una solución 0.125 M de HCl

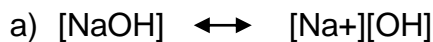
b) Una disolución 0.125 M de NaOH.



$$pH = -\log [H^+]$$

$$pH = -\log [0.125]$$

$$pH = 0.9$$



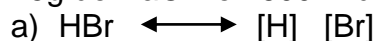
$$pOH = -\log [OH^-]$$

$$pOH = -\log [0.125M]$$



$$\begin{aligned}
 \text{pOH} &= 0.9 \\
 \text{pH} &= 14 - 0.9 = 13.1
 \end{aligned}$$

Calcule el pH para: a) HBr  $8.5 \times 10^{-3}$ , b) 152g HNO<sub>3</sub> en 575ml de disolución, c) 3.45g de NaOH en 600ml de disolución.



$$\begin{array}{ccc}
 8.5 \times 10^{-3} & 0 & 0 \\
 0 & 8.5 \times 10^{-3} & 
 \end{array}$$

$$\text{pH} = -\log[8.5 \times 10^{-3}]$$

$$\text{pH} = 2.07$$

b)  $n = 1.52\text{g} / 63\text{g} = 0.0344$

$$\text{pH} = -\log[0.0344]$$

$$\text{pH} = 1.39$$

c)  $n = 3.45\text{g} / 39\text{g} = 0.1473$

$$\text{pOH} = -\log[0.1473]$$

$$= 0.8316$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 13.16$$

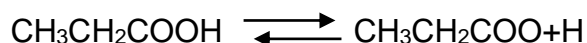
Calcular el pH para una mezcla de 10 ml de HBr 0.1 con 20 ml de HCl 0.25M.

|       |                                       |                        |
|-------|---------------------------------------|------------------------|
| 0.01h | 0.1M = $1 \times 10^{-3}$ mol de HBr  | $5 \times 10^{-3}$ mol |
| 0.02h | 0.25M = $5 \times 10^{-3}$ mol de HCl | $6 \times 10^{-3}$ mol |

$$\frac{\text{MH} = 6 \times 10^{-3} \text{ mol H}^+}{0.03\text{L}} = 0.2\text{MH}^+$$

$$\text{PH} = -\log(0.2) = 0.69$$

Calcular el pH para una solución de ácido acético (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>COOH Pka 4.75) 0.1





GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA

**TES**

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

|    |       |   |   |
|----|-------|---|---|
| I  | 0.1   | 0 | 0 |
| Ch | -x    | x | x |
| e  | 0.1-x | x | x |

$$K_a = \frac{(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO})(\text{H}^+)}{(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH})} = \frac{x \cdot x}{0.1}$$

$$K_a = \frac{x^2}{0.1-x} = 0.1k_a - k_a x - x$$

$$X = 1.75 \times 10^{-5} x - 1.75 \times 10^{-6} = 0$$

$$X = \frac{-1.77 \times 10^{-5} \pm \sqrt{(1.75 \times 10^{-5})^2 - (4)(1)(1.75 \times 10^{-6})}}{2(x)}$$

$$x_1 = 0.0013$$

$$x_2 = 0.0013$$

$$X = \frac{-1.77 \times 10^{-5} \pm \sqrt{(1.75 \times 10^{-5})^2 - (4)(1)(1.75 \times 10^{-6})}}{2(1)}$$

$$= \frac{-1.77 \times 10^{-5} \pm \sqrt{7.8 \times 10^{-5}}}{2}$$

$$= \frac{-1.77 \times 10^{-5} \pm 2.66 \times 10^{-3}}{2}$$

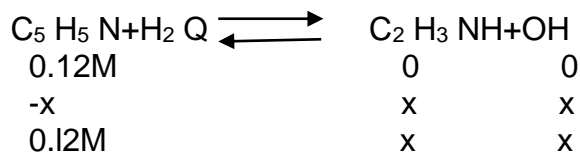
$$X_1 = 1.31 \times 10^{-3}$$

$$X_2 = -0.0013$$

$$K_a = \frac{x^2}{0.1} \quad x = \sqrt{0.1k_a(1.77 \times 10^{-5})}$$

$$x = \sqrt{1.77 \times 10^{-6}}$$

$$x = 1.3 \times 10^{-3}$$



$$K_b = \frac{(\text{C}_5\text{H}_5\text{NH}^+)(\text{OH}^-)}{(\text{C}_5\text{H}_5\text{N})} = \frac{x \cdot x}{0.12 - x} = \frac{x^2}{0.12 - x}$$

$$x^2 + 1.7 \times 10^{-9}x - 2.04 \times 10^{-10} = 0$$

$$x = \frac{-1.7 \times 10^{-9} \pm \sqrt{(1.7 \times 10^{-9})^2 - (4)(1)(-2.04 \times 10^{-10})}}{2(1)}$$

$$x = \frac{-1.7 \times 10^{-9} \pm \sqrt{8.16 \times 10^{-10}}}{2}$$

$$\begin{array}{l}
 x = \frac{-1.7 \times 10^{-9} \pm 2.85 \times 10^{-5}}{2} = \\
 \begin{array}{l}
 x_1 = 1.42 \times 10^{-5} \\
 x_2 = 1.42 \times 10^{-5}
 \end{array}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{POH} = -\log(\text{OH}^-) \\
 = -\log(1.42 \times 10^{-5}) = \mathbf{4.84}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 \text{PH} + \text{POH} = 14 \\
 \text{pH} = 14 - 4.84 = \mathbf{9.16}
 \end{array}$$

Se prepara una solución de  $1.0 \times 10^{-3}$  molar de HCl y se diluye en 10 mililitros ¿Cuál es la concentración del ion H?

$$(0.01) (1.0 \times 10^{-3}) = \frac{1 \times 10^{-3}}{0.01} = 0.1$$

$$\begin{array}{l}
 \text{Concentración final} \\
 (0.1)(2.15 \times 10^{-4}) = \mathbf{2.15 \times 10^{-5}}
 \end{array}$$



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

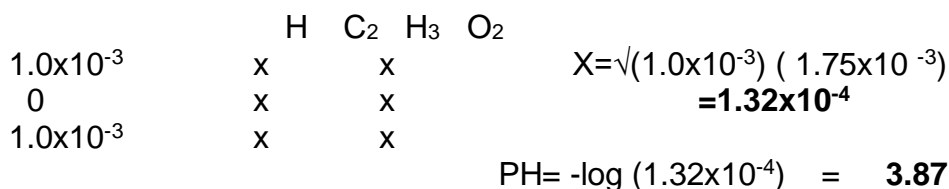
Calcular el PH y POH de una solución  $5.0 \times 10^{-2}$  molar de hidróxido de sodio NaOH?



$$\text{POH} - \log(5.0 \times 10^{-2}) = \mathbf{1.30}$$

$$\text{PH} = 14 - 1.30 = \mathbf{12.7}$$

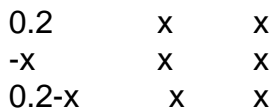
Calcular el PH y el POH de una solución  $1.0 \times 10^{-3}$  molar de ácido acético. La constante de ácidos para el ácido acético a  $25 \text{ gC}^{\circ}$  es de  $1.75 \times 10^{-5}$



$$K_b = \frac{x \cdot x}{1.0 \times 10^{-3} \cdot 1.0 \times 10^{-3}} = \frac{X^2}{1.0 \times 10^{-6}}$$

$$\text{POH} = 14 + 3.81 = \mathbf{17.87}$$

Calcular el PH de una solución de 0,2 moles de acetato de sodio.  $K_b$  para el acetato de sodio es igual a  $5.7 \times 10^{-10}$



$$K_b = \frac{x \cdot x}{0.2} = x^2(0.2) \quad (5.7 \times 10^{-10})$$

$$x = \sqrt{(0.2)(5.7 \times 10^{-10})} = 1.06 \times 10^{-5}$$

$$K_b = -\log(1.06 \times 10^{-5}) = 4.97$$

$$pH = 14 - 4.97 = 9.03$$

### Neutralización

Reacción que se efectúa entre un ácido y una base dada, como producto de sal y agua.

En forma general representamos un ácido como H A y una base MOH) el catión de la base reacciona con el anión del ácido ion de hidrógeno del ácido reacciona con el ion OH de la base para formar agua



Cuando se añade una solución de un hidróxido de otra solo anión de ácido, tiene lugar un fenómeno llamado neutralización si se combinan en cantidades equivalentes, los iones de ácido y los iones de la base reaccionan temporalmente para formar agua y sal prod. 13.7 cal de energía calorífica

### Tipos de

Como ya se había visto anteriormente, existen ácidos fuertes y débiles, así como bases fuertes y débiles a si bases fuertes y débiles por lo que se puede, hacer las sigs. combinaciones y tener 4 tipos fundamentales de neutralización.

- 1- Acido fuerte-base fuerte
- 2- Acido débil-base fuerte
- 3- Acido fuerte- base débil
- 4- Acido débil – base débil

1-Cuando un ácido fuerte neutraliza una base fuerte forma una solución que contiene una sal neutra, ya que los dos son fuertes, el prod. De equivalencia ocurre un ph de 7



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA

TES

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

Como el ácido HCL y el hidróxido de sodio se clasifica como fuertes se disocian al 100% para producir la sal neutra

2-Acido débil-fuerte cuando un ácido débil neutraliza una base fuerte, al final forma una solución que contiene una sal básica, puesto que predomina la base fuerte, el punto de equivalencia ocurre aproximadamente en un pH de 9

3-acido fuerte- base- débil: cuando un ácido fuerte neutraliza un ácido débil, la sal que se produce en la neutralización es una sal acida, por que predomina el carácter fuerte del ácido. El punto de equivalencia ocurre aproximadamente en un pH de 5.

4-acido débil- base débil: en este caso al tratarse de un ácido débil y una base débil, se espera que el resultado de la neutralización se una sal neutra. El punto de equivalencia ocurre aun pH de 7.

### Concepto de titulación

La titulación es una técnica de laboratorio que consiste en la operación de agregar lentamente una solución acida sobre una solución básica o viceversa con una concentración conocida ya sea del ácido o de la base, hasta su punto de equivalencia o punto final que señalada por medio de un indicador, existiendo indicadores para ácidos y bases

Esta técnica también se conoce como valoración: es utilizada en la química analítica para determinar la concentración de una sustancia desconocida a partir de una solución estándar, así como la cantidad de sustancia que se encuentra en una solución problema.

### Tipos de indicadores

Se puede alterar el cambio de color normal de un indicador por medio de dos métodos por lo que los indicadores pueden ser:

a) enmascarados: es cuando al indicador se le altera el cambio de color normal mediante la adición de un colorante, por ejemplo, el indicador de valor naranja de metilo tiene un cambio de color de amarillo a rojo en condiciones normales, pero si agregamos el colorante xanilo-xianol que es de color azul, el naranja de metilo tiene una variación de verde a violeta



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

b) universales: es cuando se mezclan dos de dos o más indicadores en la misma solución de tal forma que se produce una serie de colores distintos en un intervalo de valores de pH diferentes.

| Indicador             | Intervalo de pH | Cambio de color         | Peso(gr) | Volumen de etanol(ml) |
|-----------------------|-----------------|-------------------------|----------|-----------------------|
| Violeta de metilo     | 0.1-2.0         | Amarillo-violeta        | 0.5      | 0                     |
| Azul de timol         | 1.2-2.8         | Rojo-amarillo           | 0.4      | 200                   |
| Amarillo de di metilo | 2.9-4.0         | rojo-amarillo           | 0.4      | 900                   |
| Azul de bromofenol    | 2.8-4.6         | Amarillo-violetaazulado | 0.4      | 200                   |
| Naranja de metilo     | 2.9-4.6         | Rojo-amarillo           | 0.4      | 200                   |
| Rojo Congo            | 3.0-5.0         | Azul-rojo               | 0.2      | 200                   |
| Rojo de metilo        | 4.0-6.3         | Rojo-amarillo           | 0.2      | 300                   |
| Azul de bromotimol    | 6.0-7.6         | Amarillo- azul          | 0.4      | 200                   |
| Rojo de fenol         | 6.8-8.4         | Amarillo-rojo           | 0.2      | 200                   |
| Rojo de crisol        | 7.2-8.8         | Amarillo-purpura        | 0.2      | 200                   |
| Fenofaleino           | 8.2-10.0        | Incoloro-rojovioleta    | 1.0      | 600                   |
| Timolftaleino         | 9.3-10.5        | Incoloro-azul           | 2.0      | 1000                  |
| Naranja brillante     | 10.5-12.0       | Amarillo – rojo         | 0.4      | 200                   |
| Alizarina             | 11.0-13.0       | Rosado-violeta          | 1.0      | 0                     |
| Tropoelina o          | 11.1-12.7       | Amarillo-naranja        | 0.1      | 600                   |
| Amarillo titan        | 12.0-13.0       | Amarillo- rojo          | 1.0      | 500                   |
| Carmín lindigo        | 12.0-14.0       | Azul-amarilla           | 1.0      | 500                   |



Metodo de preparación se pasa la cantidad de el indicador señalado en el cuadro con la cantidad señalado y se completa un litro de agua, para preparar menor cantidad se hace una regla de 3

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$N_1$  normalidad de ácido en eq 1l

$V_1$  volumen del ácido en ml

$N_2$  normalidad de la base en eq 1l

$V_2$  volumen de la base en ml

La fórmula anterior también se puede utilizar para las concentraciones molares siempre y cuando las dos concentraciones estén en unidades de molaridad y tenga la misma equivalencia es decir que tanto el ácido y la base tengan la misma cantidad de iones de H y OH.

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$M_1$  molaridad del ácido en mol/l

$V_1$  volumen del ácido en ml

$M_2$  molaridad de la base en mol/l

$V_2$  volumen de base en ml

Cuando una de las concentraciones se da en molaridad y la otra en normalidad, se debe transformar la molaridad en normalidad para poder aplicar la fórmula de equivalencia.

**Ejercicio 1:** ¿Qué volumen de HCl 0.25N será necesario para neutralizar 50ml de una solución de hidróxido de potasio 0.20N?

$$V_1 = N_2 V_2 / N_1 = (0.20)(50\text{ml}) / 0.25 = 40\text{ml}$$

**Ejercicio 2:** ¿Qué molaridad tienen 18ml de una solución de hidróxido de amoníaco si al titularse se gastó 10ml de una solución de ácido clorhídrico 0.05 molar?

$$M_2 = M_1 V_1 / V_2 = (10\text{ml}) (0.05) / 18 = 0.5 / 18 = 0.027\text{M}$$



**Ejercicio 3:** se titulan 7ml de HCl 0.8N con hidróxido de calcio  $5 \times 10^{-2}$  molal. Encontrar el volumen de hidróxido de calcio que se gasta en la titulación.

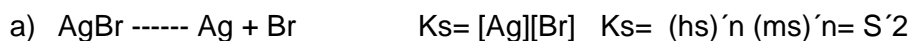
$$N_2 = 5 \times 10^{-2} / 1 \times 2$$

$$N_2 = 0.1$$

$$V_2 = N_1 V_1 / N_2 = (0.8)(7\text{ml}) / 0.1 = 56\text{ml}$$

### Efecto del ion común y efecto del ion salino

La solubilidad del bromuro de plata AgBr es de  $1.4 \times 10^{-4}$  g\*L<sup>-1</sup>. Determinar a) producto de solubilidad a 25 grados C. b) solubilidad AgBr en presencia de una disolución de bromuro de potasio 1.5 molar.

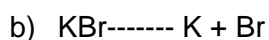


$$s = 1.4 \times 10^{-4} \text{ mol} / 187.8 \text{g}$$

$$= 7.45 \times 10^{-7}$$

$$K_s = s^2 = (7.45 \times 10^{-7})^2$$

$$= 5.55 \times 10^{-13}$$



$$[\text{Br}] = 1.5 \text{ M}$$

$$K_s = [\text{Ag}][\text{Br}]$$

$$5.55 \times 10^{-13} = s \cdot 1.5$$

$$s = 3.71 \times 10^{-13}$$

### Equilibrio de precipitación

#### Productos de solubilidad

Cuando las sustancias tienen solubilidad limitada y se excede su solubilidad, los iones de la porción disuelta existen en equilibrio con el material sólido. Los llamados compuestos insolubles por lo general muestran esta propiedad.

Cuando se dice que un compuesto es insoluble, lo que sucede en realidad es que es ligeramente soluble.

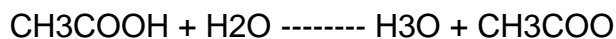
Por ejemplo: Si se pone cloruro de plata (AgCl) en agua, una pequeña porción se disolverá. El precipitado tendrá una solubilidad definida a una temperatura dada. Por lo regular, existe una pequeña cantidad de compuesto no disociado en equilibrio en la fase acuosa (en el orden de 0.1%), y su concentración es constante.

Se puede escribir una constante de equilibrio total para el equilibrio por etapas llamado producto de solubilidad (Kps)

Constantes de producto de solubilidad de sales ligeramente solubles

| Sal                 | Kps                  | Solubilidad s(mol/L) |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| PbSO <sub>4</sub>   | 1.6x10 <sup>-8</sup> | 1.3x10 <sup>-4</sup> |
| AgCl                | 1.0x10 <sup>-6</sup> | 1.0x10 <sup>-5</sup> |
| AgBr                | 4x10 <sup>-13</sup>  | 6x10 <sup>-7</sup>   |
| AgI                 | 1x10 <sup>-16</sup>  | 1x10 <sup>-8</sup>   |
| Al(OH) <sub>3</sub> | 2x10 <sup>-32</sup>  | 5x10 <sup>-9</sup>   |
| Fe(OH) <sub>3</sub> | 4x10 <sup>-38</sup>  | 2x10 <sup>-10</sup>  |
| Ag <sub>2</sub> S   | 2x10 <sup>-49</sup>  | 4x10 <sup>-17</sup>  |
| HgS                 | 4x10 <sup>-53</sup>  | 6x10 <sup>-27</sup>  |

Calcular el pH de una solución 1.00M de CH<sub>3</sub>COOH (K<sub>a</sub>=1.8x10<sup>-5</sup>) y 1.00 M de CH<sub>3</sub>COONa.



|        |    |        |
|--------|----|--------|
| 1.00   | 0  | 1.00   |
| -x     | +x | +x     |
| 1.00-x | x  | 1.00+x |

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{(x)(1.00+x)}{(1.00-x)}$$

$$1.8 \times 10^{-5} = (x) (1.00) / (1.00) \quad \text{pH} = -\log (1.8 \times 10^{-5}) = 4.74$$

$$1.00\text{M CH}_3\text{COOH} \quad \text{pH} = 2.38$$

Calcular el pH de una solución 0.15M de  $\text{NH}_3$   $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$  y 0.35 de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ .

|   |                                    |       |                           |    |
|---|------------------------------------|-------|---------------------------|----|
|   | $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ | ----- | $\text{NH}_4 + \text{OH}$ |    |
| I | 0.15                               |       | 0.35                      | 0  |
| C | -x                                 |       | +x                        | +x |
| E | 0.15-x                             |       | 0.35+x                    | x  |

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4][\text{OH}]}{[\text{NH}_3]} = \frac{(0.35+x)(x)}{(0.15-x)} \quad K_b = 1.8 \times 10^{-5} = \frac{(0.35)(x)}{(0.15)}$$

$$X = 7.7 \times 10^{-5}$$

$$\text{pOH} = -\log (7.7 \times 10^{-5}) = 5.11 \quad \text{pH} = 14 - 5.11 = 8.89$$

**Ejercicios:**

1.- Se agregan 10 ml de cloruro de plata 0.20 M a 10ml de cloruro de sodio 0.10M. Calcular la concentración de iones cloro que queda en el equilibrio.

$$\text{AgCl} \rightleftharpoons \text{Ag} + \text{Cl} \quad K_s = [\text{Ag}][\text{Cl}] = (0.20)(0.10) = 0.10\text{M/}$$

0.02ml

$$\text{NaCl} \rightleftharpoons \text{Na} + \text{Cl} \quad = 5\text{M/L}$$

$$[5][\text{Cl}] = 8 \times 10^{-5} / 5$$

$$[\text{Cl}] = 2 \times 10^{-11}$$

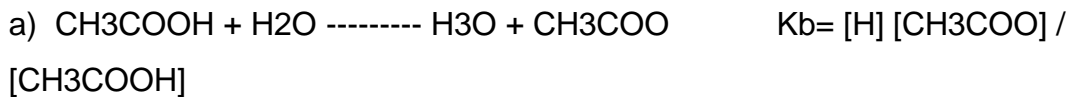
2.- ¿Cuál es la solubilidad del cloruro de plomo  $\text{PbI}_2$  en g/L si el producto de solubilidad es igual a  $7.1 \times 10^{-9}$ ?

$$\text{PbI}_2 \rightleftharpoons \text{Pb} + 2\text{I} \quad K_p = [\text{Pb}][\text{I}]^2 = 7.1 \times 10^{-9}$$

$$[\text{Pb}] = S \quad [\text{I}] = 2S$$

$$S = \sqrt[3]{7.1 \times 10^{-9} / 4} = 1.2 \times 10^{-3}\text{M} = 0.55\text{g/L}$$

3.- Calcule el pH de una disolución de ácido acético 0.20M. ¿Cuál es el pH de una disolución que contiene ácido acético 0.20 M y acetato de sodio 0.30 M. La Ka para el ácido acético es de  $1.8 \times 10^{-5}$ .



$$0.20 \qquad \qquad \qquad 0 \qquad 0 \qquad \qquad \qquad = \frac{[x][x]}{[0.20-x]}$$

$$-x \qquad \qquad \qquad +x \qquad +x \qquad \qquad \qquad 1.8 \times 10^{-5} (0.20) = x^2$$

$$0.20-x \qquad \qquad \qquad x \qquad x \qquad \qquad \qquad x = 1.89 \times 10^{-3}$$

$$\text{pH} = -\log [1.89 \times 10^{-3}] \qquad \qquad \text{pH} = 2.72$$



$$\frac{x(0.30)}{(0.20)} \qquad 1.8 \times 10^{-5} (0.20) / 0.30 = x \qquad \qquad \qquad x = 1.2 \times 10^{-5}$$

$$\text{pH} = -\log (1.2 \times 10^{-5}) \qquad \qquad \text{pH} = 4.92$$

### Disoluciones amortiguadoras

Una disolución amortiguadora, buffer o tampón es una disolución de un ácido débil o una base débil y su sal; es decir ambos componentes deben estar presentes. La disolución tiene la capacidad de resistir los cambios del pH cuando se agregan pequeñas cantidades de ácido o de base. Las disoluciones amortiguadoras son muy importantes en los sistemas químicos y biológicos. El pH en el cuerpo humano varía mucho de un fluido a otro, por ejemplo, el pH de la sangre esta alrededor de 7.4 en tanto que el del jugo gástrico puede ser de 1.5.

Una disolución amortiguadora debe tener una concentración relativamente grande de ácido para reaccionar con los iones de OH que se le añadan y también debe contener una concentración relativamente grande de base para neutralizar los iones H que se le puedan agregar.

Calcular el pH de un buffer que se prepara.

- a) Mezclando 0.1 mol ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) con 0.13 molde acetato de sodio ( $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) en un volumen de 1 litro.

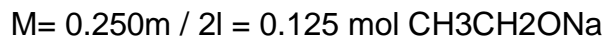
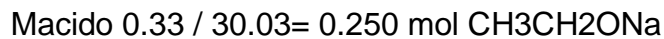
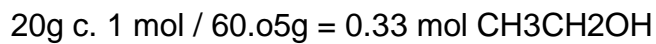
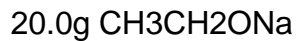
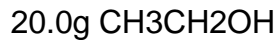


$\text{pH} = ?$   $M = 0.1 \text{ mol} / 1\text{L} = 0.1 \text{ M}$   $\text{pH} = 4.76 + \log (0.13 /$

0.1M)

$\text{pK}_a = 4.76$   $M = 0.13 \text{ mol} / 1\text{l} = 0.13 \text{ M}$   $\text{pH} = 4.64$

b) Mezclando 20.0g de  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  con 20.0 g de  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{ONa}$  en un volumen de 2 L



$\text{pH} = 4.76 + \log (0.125 / 0.167) = 4.63$

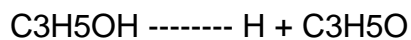
$\text{pH} = 4.76 + \log (0.250 / 0.33) = 4.63$

Calcule el pH de:

a) Un buffer que se prepara con acido lactico  $\text{C}_3\text{H}_5\text{OH}$  0.12 M y lactate de sodio  $\text{C}_3\text{H}_5\text{ONa}$  0.11M

$[\text{C}_3\text{H}_5\text{OH}] = 0.12\text{M}$   $\text{pK}_a = 3.86$   $K_a = 10^{-\text{pK}_a}$

$[\text{C}_3\text{H}_5\text{Ona}] = 0.11\text{M}$   $\text{pH} = ?$   $= 1.38 \times 10^{-4}$



0.12 0 0.11  $K_a = \frac{[\text{C}_3\text{H}_5\text{O}][\text{H}]}{[\text{C}_3\text{H}_5\text{ONa}]}$

-x +x +x  $= \frac{(0.11+x)(x)}{(0.12-x)}$

0.12-x x 0.11+x  $0.12K_a - K_ax = .11x + x^2$

$X^2 + 0.1101x - 1.6565 \times 10^{-5}$  (se aplica la formula general y se

obtienen dos valores para x)

$X_1 = 0.00015$   $X_2 = -0.1103$

$[\text{H}] = 0.00015$   $\text{pH} = -\log [\text{H}] = -\log [0.00015]$   $\text{pH} = 3.81$

b) Un buffer preparado mezclando 85 ml de ácido láctico 0.13M con 95ml de lactato de sodio 0.15 M

$$V_t = 85\text{ml} + 95\text{ ml} = 180\text{ml} \quad \text{mol al } (85\text{ml} / 1000) = 13\text{M} = 0.0105 \text{ mol}/0.18$$

$$A_c = 0.06138$$

$$\text{Mol l } (95\text{ml} / 1000) = 15\text{M} = 0.01425/0.18\text{l}$$

$$= 0.07966$$

$$K_a = \frac{[\text{C}_3\text{H}_5\text{O}][\text{H}]}{[\text{C}_3\text{H}_5\text{OH}]} = \frac{(0.07416 + x)(x)}{0.06138}$$

$$x^2 + 0.07930x - 8.47 \times 10^{-6} = 0$$

$$\text{p}K_a = 3.86 \quad [\text{H}] = 0.00016$$

$$K_a = 1.38 \times 10^{-4} \quad \text{pH} = -\log(0.00016)$$

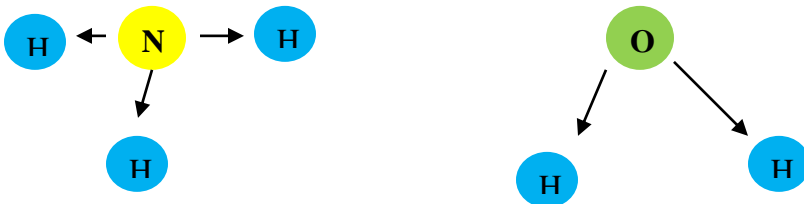
$$\text{pH} = 3.98$$

## UNIDAD IV

# FORMACIÓN DE COMPLEJOS Y DE REACCIONES COMPLEJO MÉTRICAS

### Formación de complejos y reacciones complejo métricas.

La mayoría de los iones metálicos, reaccionan con donadores de pares electrónicos formando compuestos de coordinación o complejos.



es una especie donadora ligadora debe tener por lo menos un par de electrones no compartidos para formar un enlace. Algunos ligadores inorgánicos comunes (agua, amoníaco, y iones halogenuro). El ligando es un ion o molécula que forma un enlace covalente con un catión o un átomo de un metal neutro al donar un par de electrones, y luego comparten los 2 compuestos.

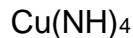
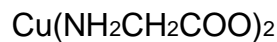
### Número de coordinación.

El número de coordinación es un numero de enlaces covalentes que tiende a formar un catión con los donadores de electrones. Esta especie que forma puede tener carga negativa, positiva o neutral

p/e: el cobre tiene un número de coordinación de 4.

### Quelato

Un quelato es un compuesto cuando un ion metálico se coordina con dos o más grupos donadores de un ligando y forma un anillo heterocíclico de 5 o 6 miembros



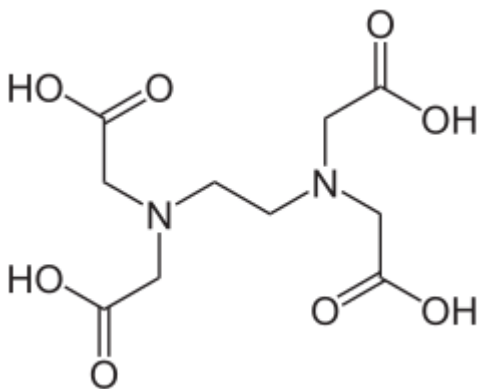
### Unidentado

Tiene un solo grupo donador posible.

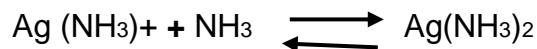
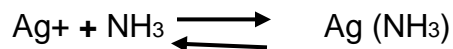
Los multidentados tienen 2 ventajas sobre los unidentados.

- En general reaccionan mejor que los cationes por lo tanto los puntos finales son definidos.
- Comúnmente reaccionan con iones metálicos en una sola etapa; los unidentados implican la formación de 2 o más especies intermedias.

Los complejos desempeñan un papel importante en muchos procesos químicos y bioquímicos. p/e: la molécula HEM de la sangre mantiene firmemente unido al átomo de Fe porque los átomos de N de HEM constituyen un fuerte ligando y establecen enlaces complejos fuertes.



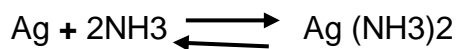




$$K_{f1} = \frac{\{\text{Ag}(\text{NH}_3)\}}{\{\text{Ag}\}\{\text{NH}_3\}} = 2.5 \times 10^3$$

$$K_{f2} = \frac{\{\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\}}{\{\text{Ag}\}\{\text{NH}_3\}^2} = 1.0 \times 10^4$$

La reacción total de las dos etapas y las constantes de formación es el producto de las constantes de la formación de las etapas.



$$K_f = (K_{f1})(K_{f2}) = \frac{\text{Ag}(\text{NH}_3)_2}{(\text{Ag})(\text{NH}_3)^2} = 2.5 \times 10^7$$

Para la formación de un complejo simple 1:1 p/e:  $\text{M} + \text{L} = \text{ML}$  la constante de formación va a ser igual a  $\text{M} + \text{L} \rightleftharpoons \text{ML}$

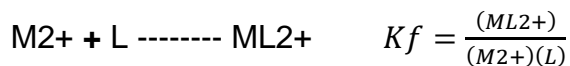
$$K_f = \frac{ML}{(M)(L)}$$

La constante de formación es también llamada como constante de estabilidad,  $K_s$  o  $K_{est}$ . La constante de equilibrio simplemente son los valores recíprocos de las constantes de formación, se le llama constante de inestabilidad ( $K_i$ ) y constante de disociación ( $K_d$ ).

$$K_d = \frac{1}{K_f} = \frac{(Ag)(NH_3)_2}{Ag(NH_3)_2} = 4 \times 10^{-8}$$

p/E: un metal divalente  $M^{2+}$  reacciona con ligando L para formar un complejo 1:1. Calcular la concentración de  $M^{2+}$  en una solución preparada mezclando volúmenes iguales de  $M^{2+} = 0.20$  molar y  $L = 0.20$  molar,  $K_f = 1 \times 10^8$ .

Solución: se han agregado cantidades estequiométricas iguales de  $M^{2+}$  y L. el complejo es suficientemente fuerte para que la reacción sea completa. Como se agregaron volúmenes iguales, las concentraciones iguales se reducen a la mitad.



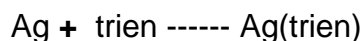
$$x \quad x \quad 0.1 - x = 0.10$$

$$\frac{0.10}{(x)(x)} = 1.0 \times 10^8 \quad x = (M^{2+}) = 3.2 \times 10^{-5} M$$

El ion plata forma un complejo estable con trietilentetraamina llamado trien  $(NH_2(CH_2)_2NH(CH_2)_2NH(CH_2)_2NH_3)$ . Calcular la concentración de ion plata en el

equilibrio cuando se agregan 25 ml de nitrato de plata 0.10 m a 50 ml de trien 0.15m.  $K_f=5 \times 10^7$ .

1. Primero se tiene que calcular los mili moles de plata más trien agregados.



$$\text{mmol Ag} = 25 \text{ ml} \times 0.010 \text{ mmol/ml} = 0.25 \text{ mmol/ml}$$

$$\text{mmol trien} = 50 \text{ ml} \times 0.015 \text{ mmol/ml} = 0.75 \text{ mmol/ml}$$

$(\text{Ag}) = x = \text{mol/L}$  sin reaccionar

$(\text{trien}) = (0.50 \text{ mmol}/75\text{ml}) + x = 6.7 \times 10^{-3} + x$

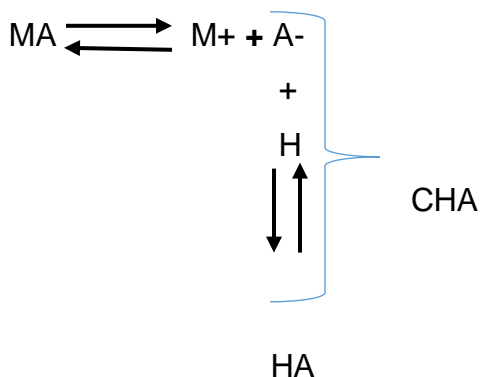
$(\text{Ag}(\text{trien})) = 0.25 \text{ mmol}/75\text{ml} - x = 3.3 \times 10^{-3} - x$

$$K_f = \frac{3.3 \times 10^{-3}}{(x)(6.7 \times 10^{-3})} = 5 \times 10^7 \Rightarrow 5 \times 10^7 = \frac{3.3 \times 10^{-3}}{(6.7 \times 10^{-3})(x)}$$

$$x = \frac{3.3 \times 10^{-3}}{(6.7 \times 10^{-3})(5 \times 10^7)} = x = 9.85 \times 10^{-9}$$

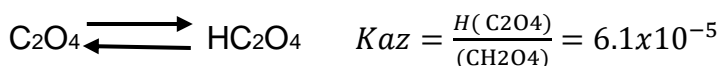
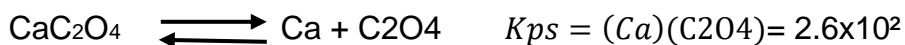
### Reacciones de precipitación y titulación

La solubilidad de un precipitado cuyo anión se deriva de un ácido débil, aumenta en presencia de un ácido adicionado, puesto que el ácido tiende a combinarse con el anión y removerlo así de la solución. p/e: en un precipitado MA que se disuelve parcialmente para dar iones  $M^+$  y  $A^-$  como mostrara los siguientes equilibrios.



El anión A<sup>-</sup> puede combinarse con los protones para aumentar la solubilidad de los precipitados. Las concentraciones combinadas de equilibrio de A<sup>-</sup> y HA constituyen el total de la concentración analítica CHA que será igual a la concentración de {M<sup>+</sup>} del precipitado disuelto (si no hay exceso de M<sup>+</sup> ni de A<sup>-</sup>). Aplicando las constantes de equilibrio, para los equilibrios participantes, se puede calcular la solubilidad del precipitado a una acidez dada.

Calcular la solubilidad de carbonato de calcio CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub> en una solución que contenga ácido clorhídrico HCl a 0.0010 M.



La solubilidad de  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  es igual  $(\text{Ca}^{2+}) = \text{CH}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , donde  $\text{CH}_2\text{C}_2\text{O}_4$  representa la concentración de todas las especies de oxalato en equilibrio  $(= (\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) + (\text{HC}_2\text{O}_4) + (\text{C}_2\text{O}_4))$ . En la expresión de  $K_{ps}$ ,  $(\text{C}_2\text{O}_4)$  se puede sustituir por:  $\text{CH}_2\text{C}_2\text{O}_4 \alpha_2$

$$\therefore K_{ps} = (\text{Ca}^{2+}) \text{CH}_2\text{C}_2\text{O}_4 \alpha_2$$

En donde  $\alpha_2$  es la fracción de la especie de oxalato presente como  $\text{C}_2\text{O}_4$   
 $(\alpha_2 = (\text{C}_2\text{O}_4) / \text{CH}_2\text{C}_2\text{O}_4)$

$$\alpha_2 = \frac{K_{a1} K_{a2}}{(\text{H}) + K_{a1} (\text{H}) + K_{a1} K_{a2}}$$

$\text{CaC}_2\text{O}_4$

$\text{HCl} = 0.0010\text{M}$

$$\alpha_2 = \frac{(6.5 \times 10^{-2})(6.1 \times 10^{-5})}{(1.0 \times 10^{-3}) + (6.5 \times 10^{-2})(1.0 \times 10^{-3}) + (6.5 \times 10^{-2})(6.1 \times 10^{-5})}$$

$$\alpha_2 = 5.6 \times 10^{-2}$$

$$S = \frac{\sqrt{K_{ps}}}{\alpha_2}$$

$$= \frac{\sqrt{2.6 \times 10^{-9}}}{5.6 \times 10^{-2}}$$

$$= \sqrt{4.6 \times 10^{-8}} = 2.14 \times 10^{-4}$$

### Titulación por precipitación



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO  
Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA

**TES**   
TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES  
JILOTEPEC

As titulaciones de precipitación son útiles para determinar ciertos analitos, siempre y cuando los equilibrios sean rápidos y haya disponible un medio adecuado para detectar el punto final. Una consideración de las curvas de titulación aumentara la comprensión de una selección de indicadores, la precisión y la titulación de mezclas.

### Curvas de titulación

Considerar con una solución estándar de nitrato de plata  $\text{AgNO}_3$ . Se puede preparar una curva de titulación graficando PCI contra el volumen de  $\text{AgNO}_3$ . Al principio de la titulación se tiene  $\text{Cl}^-$  0.1M y el  $\text{PCI}=1$ .

Al continuar la titulación parte del  $\text{Cl}^-$  se remueve la solución por precipitación como  $\text{AgCl}$ , y el PCI se determina por la concentración del  $\text{Cl}^-$  remanente; la distribución del  $\text{Cl}^-$  del cloro de la disociación del precipitado es despreciable, salvo cerca del punto de equilibrio se tiene un solución saturada de  $\text{AgCl}=\text{S}$  y concentración de  $\text{Cl}^- = \sqrt{k_{ps}}$ .

Mas alla del punto de equivalencia hay un exceso de plata, y la concentración de cloro está determinada a partir de la concentración del plata y  $K_{ps}$ .

$$\text{PCI} = -\log(\text{Cl}^-)$$

$$\text{PCI} = 5$$

$$[\text{Cl}^-] = \sqrt{K_{ps}} = 10^{-5} \text{ M}$$

Curvas de titulación para 100 ml de soluciones de 0.1M de cloruro, bromuro, y yoduro contra  $\text{AgNO}_3$  0.1M

Calcular PCI para la titulación de 100 ml de  $\text{Cl}^-$  0.1000 M con nitrato de plata 0.1000 M para la adición

de 0.00, 20.00, 99.00, 99.50, 100.00, 100.50, y 110.00 ml de  $\text{AgNO}_3$ .

0.00, 20.00, 99.00, 99.50, 100.00, 100.50, y 110.00 ml de  $\text{AgNO}_3$ .

$$A = 0.00 \text{ ml}$$

$$P_{Cl} = -\log 0.1000 = 1.000$$

$$A = 20.00 \text{ ml}$$

$$mmol_{Cl^-} = (100.00)(0.1000) \text{ mml/ml} = 10.0 \text{ mmol}$$

$$mmol_{Ag} = (20.00 \text{ ml})(0.1000 \text{ mol/ml}) = 2.0 \text{ mol}$$

$$Cl^- \text{ remanente} = 10.00 - 2.00 = 8.00 \text{ mol/120ml} = [Cl^-]$$

$$P_{Cl} = -\log[Cl^-] \\ = 1.180$$

$$mmol_{Cl^-} = (100.00)(0.1000) \text{ mml/ml} = 10.0 \text{ mmol}$$

$$mmol_{Ag} = (99.00 \text{ ml})(0.1000 \text{ mol/ml}) = 9.9 \text{ mol}$$

$$Cl^- \text{ remanente} = 10.00 - 9.9 \text{ ml} = 0.1 \text{ mol/199 ml} = [Cl^-]$$

$$P_{Cl} = -\log[Cl^-] \\ = 2.99$$

$$mmol_{Cl^-} = (100.00)(0.1000) \text{ mml/ml} = 10.0 \text{ mmol}$$

$$mmol_{Ag} = (99.50 \text{ ml})(0.1000 \text{ mol/ml}) = 9.95 \text{ mol}$$

$$Cl^- \text{ remanente} = 10.00 - 9.95 \text{ ml} = 0.05 \text{ mol/199.5 ml} = [Cl^-]$$

$$P_{Cl} = -\log[Cl^-] \\ = 3.60$$

A 100.00 ml todo el  $Cl^-$  ha reaccionado con Ag

$$\therefore [Cl^-] = \sqrt{k_{ps}/AgCl} = 1.0 \times 10^{-10}$$

$$P_{Cl} = -\log[K_{ps}] \\ = 5$$

A 100.5 ml

$$mmol_{Ag} = (100.5)(0.1000) \text{ mml/ml} = 10.05 \text{ mmol}$$

$$Ag \text{ remanente} = 10.05 - 10.0 \text{ ml} = 0.05 \frac{\text{mol}}{200.5} \text{ ml} = 2.49 \times 10^{-4}$$

$$[Cl] = \frac{Kps}{[Ag]} = 1.0 \times 10^{-10} / 2.4 \times 10^{-4} ml = 4.2 \times 10^{-7} M$$

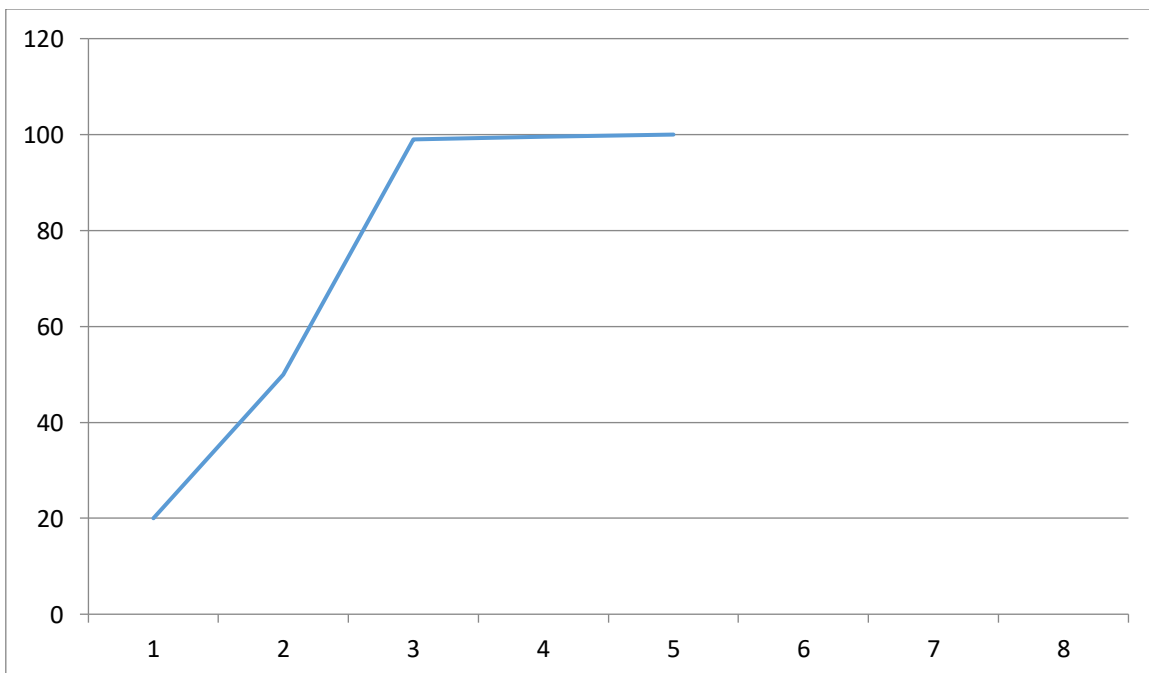
$$P_{Cl} = -\log(4.2 \times 10^{-7}) \\ = 6.38$$

$$mmolAg = (110.0 ml)(0.1000 mml/ml) = 11 mmol$$

$$Ag \text{ remanente} = (11 - 10.0) / 210 = 4.76 \times 10^{-3}$$

$$[Cl] = \frac{Kps}{[Ag]} = 10 \times 10^{-10} / 4.7 \times 10^{-3}$$

$$P_{Cl} = -\log(2.1 \times 10^{-8}) \\ = 7.67$$







GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

### Titulación por precipitado

Se basa en reacciones que forman compuestos iónicos con solubilidad restringida. El titulante más reactivo es el  $\text{AgNO}_3$  y es también uno de los más utilizados en las determinaciones de halogenuros  $\text{SCN}^-$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{CON}^-$ , mercaptanos, ácidos grasos y varios aniones inorgánicos divalentes.

En estas titulaciones la especie que se está determinando forma un compuesto poco soluble con el titulante. La reacción debe ser suficientemente rápida y completa, se debe formar un producto de composición reproducible y de baja solubilidad y debe contarse con un método para detectar el punto final.

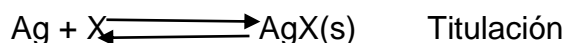
Las precipitaciones son generalmente lentas.

#### Método de Mhor.

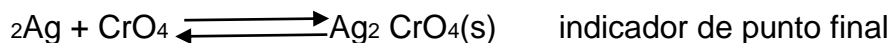
Introdujo ion cromato como indicador de titulación de cloruros con plata. Al añadir unas gotas de solución de cromato de potasio a la solución neutra del cloruro la titulación con ion plata produce un color rojizo debido a la precipitación de cromato de plata.

Sin embargo, el color desaparece rápidamente al agitar el sistema, ya que el cromato de plata se transforma en cloruro de plata que es más insoluble. A medida que se va agregando mayor cantidad de titulación, el color desaparece con más lentitud. Finalmente, cuando todo el cloruro ha precipitado como cloruro de plata la siguiente:

Gota de titulante imparte una coloración café-rojizo que señala el punto final.



Precipitación blanca



Precipitación rojo ladrillo



La solución problema debe tener un PH neutro o cercano a la neutralidad.

### Método de Fajans

Propuso el uso de indicadores que actúan por adsorción en el precipitado, y que puede emplearse en la titulación de cloruros orgánicos coloridos de características débilmente acidas o básicas.

¿Cuál es el % Br y de sustancias inertes en una muestra de 1.60 g constituida por una mezcla de  $\text{Ca Br} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  y de impurezas inertes si se agrega a la disolución acuosa de la muestra 52 ml de  $\text{AgNO}_3$  0.200 N y el exceso de Ag requiere 4 ml de  $\text{KSCN}$  0.100 N?

$$\text{moles Br} = \text{moles Ag} - \text{moles KSCN} = 52.0 \times 10^{-3} \times 0.200 \text{ N} - 4.0 \times 10^{-3} \times 100$$

$$\% \text{ Br} = \frac{\text{moles Br} \times Pa \text{ Br}}{g \text{ muestra}} \times 100 = \left( \frac{10^{-2}(79.9)}{1.60} \right) \times 100 = 49.94$$

$$\% \text{ Ca Br} \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \% \text{ Br} = \frac{Pm \text{ Ca Br}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{2 Pm \text{ Br}} = 49.94$$

$$\frac{307.9}{(2)(79.9)} = 96.22 \%$$



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA

TESJ

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

Por diferencia:

$$\% 1 = 100 - \% Ca Br_2 * 6H_2O = 100 - 96.22 = 3.787$$

### Método de Volhard

Es un tipo de valoración química que trata la plata con sulfo cianuro. Puede ser utilizada para valorar haluros y otras sustancias que precipiten con plata a través una valoración por retroceso.

Es la determinación y análisis del cloruro en medio ácido, ya que los haluros no pueden titularse en medio fuertemente ácido.

La plata puede ser valorada en medio ácido con KSCN o también con  $NH_4SCN$ , el producto formado,  $AgSCN$ , es una sal de color blanco.

Una muestra sólida contiene  $NaOH$ ,  $NaCl$  y  $H_2O$  se pesan 6.700 g de la muestra, se disuelve y se diluyen a 250 ml \* 20 ml de esta disolución requiere 22.5 ml de  $HCl$  0.4976 N para su valoración con fenolftaleína, otros 25 ml gastan 35 ml de  $AgNO_3$  0.1117 N y 4.63 ml de  $KSCN$  0.0962 M para su valoración.

Calcular el % de Na en la muestra.

HCl se valora NaOH:

$$(25) (\text{NaOH}) = (22.5) (0.4976) \longrightarrow \text{NaOH}$$

$$(35) (0.1117 - 4.63) (0.0962) \longrightarrow \text{NaCl} = 0.13865$$

Se disolvió en 250 ml y que pesa 6.700 g, el % de Na vendrá dada por:

$$\% \text{Na} = \left( \frac{N\text{NaOH} + N\text{NaCl} \left( \frac{\text{mol}}{\text{L}} \right) (0.25 \text{ L}) \left( \frac{23 \text{ g}}{\text{mol}} \right)}{6.700 \text{ g}} \right) = 50.3 \%$$

### Indicadores de adsorción

Con los indicadores de adsorción la reacción del indicador tiene lugar en la superficie del precipitado. El indicador, que es un pigmento, existe en solución en forma ionizada, por lo regular un anión.

Considere la titulación de cloruro con el ion plata.

Antes del punto de equivalencia el cloro esta en exceso y la capa primaria adsorbida es de cloro, esto repelé al anión del indicador, y la capa secundaria mas pobremente sostenida de iones adsorbidos es de cationes como el sodio.

El color del indicador adsorbido es diferente al del indicador no adsorbido, esta diferencia marca la terminación de la titulación.

El pH también es importante si es demasiado bajo, el indicador que por lo regular es un ácido débil se asociara demasiado poco para permitirle adsorberse como anión.

El grado de adsorción del indicador se puede disminuir aumentando la acidez, cuanto más fuerte sea el ácido indicador más amplio será el intervalo de pH dentro del cual se puede adsorber.

p/e: la fluoresceína se puede usar como indicador para cualquier de los halogenuros a un pH de 7, porque no desplaza a ninguno de estos.

La diclorofluoresceína desplazará al cloro a un pH de 7, pero no a un pH de 4. La titulación de cloruro utilizando estos indicadores se llama método de Fajans.

| INDICADOR           | TITULACION              | SOLUCION                   |
|---------------------|-------------------------|----------------------------|
| Fluoresceína        | Cl con Ag               | PH: 7 – 8                  |
| Diclorofluoresceína | Cl con Ag               | PH: 4                      |
| Verde Bromoclesol   | SCN con Ag              | PH: 4 – 5                  |
| Eosina              | Br, I, SCN con Ag       | PH: 2                      |
| Violeta de metilo   | Ag con Cl               | Solución ácida             |
| Rodamia             | Ag con Br               | HNO <sub>3</sub> (< 0.3 M) |
| Torina              | SO <sub>4</sub> con Ba  | PH: 1.5 – 3.5              |
| Azul de Brumofenol  | Hg con Cl               | Solución 0.1 M             |
| Orto Cromo T        | Pb con CrO <sub>4</sub> | Neutra, solución 0.02 M    |

- 1) Calcular el peso del sodio presente en 50.00 g de Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>.

$$gNa = 50 \text{ g}$$

$$Na_2 SO_4 \times \frac{23 \text{ g Na}}{142 \text{ g}} = 8.09$$

$$gNa = 8.09$$

- 2) Si la sal del problema 1 se analizarse se precipitado y pesando Ba SO<sub>4</sub>.  
¿Qué peso del precipitado se obtiene?

$$gNa_2SO_4 = \frac{50 \text{ g } (Na_2SO_4)}{BaSO_4}$$

$$gNa_2SO_4 = \frac{50 \text{ g } (142 \text{ g } Na_2SO_4)}{233.32 \text{ Ba } SO_4}$$

$$gNa_2SO_4 = 30.43$$

3) Calcular los factores gravimétricos para las sustancias.

| BUSCANDO                       | PESADO  |
|--------------------------------|---|
| AS <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Ag <sub>3</sub> A <sub>3</sub> O <sub>4</sub> |
| FeSO <sub>4</sub>              | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                |
| K <sub>2</sub> O               | KBC <sub>6</sub> H <sub>5</sub>               |
| SiO <sub>2</sub>               | KAISI <sub>3</sub> O <sub>8</sub>             |

$$1) \frac{AS_2O_3}{Ag_3A_3O_4} = \frac{197.8}{462.48} = 0.42$$

$$2) \frac{FeSO_4}{Fe_2O_3} = \frac{94}{351.8} = 0.262$$

$$3) \frac{K_2O}{KBC_6H_5} = \frac{151.81}{159.68} = 0.950$$

$$4) \frac{SiO_2}{KAISI_3O_8} = \frac{60}{277.98} = 0.215$$

4) Cuántos gramos de CuO daría 1.00 g de ser de Cu<sub>3</sub> (AsO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, (2As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (Ca) (C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>). ¿g de As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>?

$$gCuO = 1g = \frac{79.54}{965.68} = 0.083$$

$$gCuO = 1g = \frac{79.54}{27548406.86} = 28810^{-6}$$



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

$$gCuO = 1g = \frac{79.54}{197.84} = 0.402$$

### Como realizar un análisis gravimétrico

Consiste en un número de operaciones importantes diseñadas para obtener un precipitado puro filtrable adecuado para pesarse.

Pasos necesarios en el análisis gravimétrico se puede resumir como siguiente:

|                              |                     |
|------------------------------|---------------------|
| Precipitación de la solución | Lavado              |
| Preparación de la solución   | Secado o incinerado |
| Digestión                    | Pesado              |
| Filtración                   | Calculo             |

### Cálculos gravimétricos

El precipitado que pesa por regular está en una forma diferente al analito, cuyo peso se quiere informar. Usando relaciones molares estequiometrias, el valor gravimétrico (GF), que representa el peso del analito por unidad del peso precipitado. Se obtiene a partir de la relación del peso del analito entre el precipitado, multiplicando por los moles del analito entre los pesos molares del precipitado obtenidos de cada mol de analito.

$$GF = \frac{\text{Peso form. analito} \left(\frac{g}{mol}\right)}{\text{Peso form. precipitado} \left(\frac{g}{mol}\right)} \times \frac{a}{b} \left(\frac{\text{moles de analito}}{\text{moles de precipitado}}\right) = \frac{g \text{ analito}}{g \text{ precipitado}}$$

Si el  $Cl_2$  en una muestra se convierte en cloruro y se precipitando como cloruro de plata. ¿Cuál será el peso del  $Cl_2$  que da 1 g de cloruro de plata?

$$\begin{aligned}
 g_{Cl_2} &= g_{AgCl} \times \frac{\text{Peso form. } Cl_2 \left( \frac{g_{Cl_2}}{\text{mol } Cl_2} \right)}{\text{Peso form. } AgCl \left( \frac{g_{AgCl}}{\text{mol } AgCl} \right)} \times \frac{1}{2} \left( \frac{\text{mol } Cl_2}{\text{mol } AgCl} \right) \\
 &= g_{AgCl} \times GF \left( \frac{\text{mol } Cl_2}{\text{mol } AgCl} \right) \\
 &= g_{AgCl} \times 0.24737 \left( \frac{g_{Cl_2}}{g_{AgCl}} \right)
 \end{aligned}$$

Calcular los gramos de analito por gramo de precipitado para los siguientes compuestos:

| ANALITO     | PRECIPITANDO |
|-------------|--------------|
| P           | $Ag_3 PO_4$  |
| $K_2 HPO_4$ | $Ag_3 PO_4$  |
| $Bi_2 S_3$  | $Ba SO_4$    |

$$1) GF = \text{peso form.} \frac{P}{Ag_3 PO_4} = \frac{30.97}{418.58} \times 1 = 0.07399$$



$$2) GF = \text{peso form.} \frac{K_2 HPO_4}{Ag_3 PO_4} = \frac{174.15}{418.58} \times \frac{1}{1} = 0.04160$$

$$3) GF = \text{peso form.} \frac{Br_2 S_3}{Ba SO_4} = \frac{514.18}{233.39} \times \frac{1}{3} = 0.7343$$

En el análisis gravimétrico lo que interesa general composición, posición, peso del analito.

$$\% \text{ sustancia buscada} = \frac{\text{peso de sust. buscada (g)}}{\text{peso de la muestra (g)}} \times 100\%$$

$$\% \text{ buscando} = \frac{\text{peso de precipitado (g)} \times GF \left( \frac{g \text{ buscando}}{g \text{ precipitado}} \right)}{\text{peso de la muestra}} \times 100\%$$

El orto fosfato ( $PO_4^{3-}$ ) se determina pesándolo como fosfomolibdato de amonio  $(NH_4)_3 PO_4 \cdot 12MoO_3$ . Calcular el % de fósforo en la muestra y el % de oxalato de fósforo si se obtuvieron  $P_2 O_5$  1.1682 g de precipitado de una muestra de 0.2711g.

P %

$P_2 O_5$  %



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA



TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

$$\% P = \frac{1.1682 \text{ g} \times \frac{P}{(NH_4)_3 PO_4 \cdot 12 Mo O_3} \left( \frac{g P}{g ppt} \right)}{0.2711 \text{ g}}$$

$$= \frac{1.1682 \times \left( \frac{30.97}{1876.5} \right)}{0.2711} \times 100\% = 7.111812$$

$$\% P_2 O_5 = \left( \frac{(1.1682 \text{ g}) \left( \frac{141.974}{1876.5} \right) \frac{1}{2}}{0.2711} \right) \times 100\% = 16.2977$$

### FUENTES CONSULTADAS

1.- Maria del Consuelo Hernandez Martínez, Martín López Caballero (2009) Química II Texto de educación media superior ISBN 978-970-9730-29-6

2.- Raymond Chang, Kenneth A. Goldsby (2013) QUÍMICA undesima edición Mc Graw-Hill/Interamericana Editores S.A de C.V ISBN 978-607-15-0928-4



GOBIERNO DEL  
ESTADO DE MÉXICO

Secretaría de Educación  
Subsecretaría de Educación  
Media Superior y Superior

## APUNTES PARA LA MATERIA DE QUÍMICA ANALÍTICA

TESJI

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES

JILOTEPEC

- 3.- Química Analítica Gary D Christian(2009) sexta edición Mc Graw-Hill/Interamericana Editores S.A de C.V ISBN 978-970-10-7234-9
- 4.- Fundamentos de Química Analítica F. James Holler, Stanley R. Crouch novena edición. Cengage Learning. ISBN 978-607-519-377-9
- 5.- Perry, R.H., Green, D.W. (2007). *Chemical Engineers Handbook*. Estados Unidos: McGraw Hill/ Interamericana Editores S.A de C.V
- 6.- Harris, D. (2001). *Análisis Químico Cuantitativo*. España: Reverte S. S.
- 7.- Rubinson, K., Rubinson, J. (2000). *Química Analítica Contemporánea*. México: Pearson Educación.