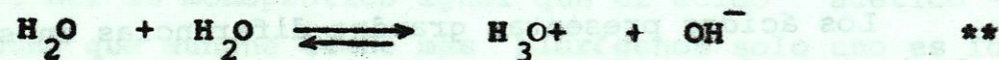


La ecuación de equilibrio que representa la ionización del agua es:



Esta ecuación con frecuencia se abrevia así:



Experimentalmente se midió la conductividad del agua y se determinó que el agua pura contiene  $1 \times 10^{-7}$  moles de  $H^+$  y  $1 \times 10^{-7}$  moles de  $OH^-$  por litro a  $25^\circ C$ .

$$K_{eq} = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O][H_2O]} = \frac{1 \times 10^{-7} \cdot 1 \times 10^{-7}}{[H_2O]^2}$$

Como la concentración del agua es constante, se multiplica ese valor en ambos lados de la ecuación, eliminando así la concentración del agua del lado derecho; a la nueva constante se le denomina: constante del producto iónico del agua ( $K_w$ ).

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

Como las demás constantes de equilibrio el valor de  $K_w$  varía con la temperatura. Para soluciones a temperatura ambiente se usa generalmente el valor de  $1 \times 10^{-14}$ .

El producto iónico del agua es importante no solo en lo que se refiere al agua pura si no a cualquier solución acuosa, ya que en éstas el producto de las concentraciones  $[H^+]$  y  $[OH^-]$  debe ser una constante.

Si ya tenemos una concentración fija la otra quedará automáticamente igual; por ejemplo, en una solución en que  $[H^+] = 1 \times 10^{-5}$  ion g/litro tendrá una  $[OH^-]$  de:

$$K_w = [H^+][OH^-]$$

$$1 \times 10^{-14} = 1 \times 10^{-5} [OH^-]$$

Despejando:

$$[OH^-] = \frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-5}} = 1 \times 10^{-9} \text{ iones g/litro}$$

De lo anterior podemos concluir también que si aumenta el valor de la concentración  $H^+$  al agregar más ácido, el valor de la concentración  $OH^-$  disminuye, para que el valor de  $K_w$  permanezca constante, lo mismo sería si aumenta  $[OH^-]$  disminuye la  $[H^+]$ .

Problema 1:

¿Cuál será la concentración  $H^+$   $[H^+]$  de una solución que tiene una concentración  $OH^-$   $[OH^-]$  de  $1 \times 10^{-4}$  moles / litro.

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

$$[H^+] (1 \times 10^{-4}) = 1 \times 10^{-14}$$

$$[H^+] = \frac{1 \times 10^{-14}}{1 \times 10^{-4}} = 1 \times 10^{-10}$$

Tomando en cuenta los valores de  $[H^+]$  y  $[OH^-]$  podemos determinar si la solución es ácida o alcalina; si....

$$[H^+] > [OH^-] \text{ se á solución ácida}$$

$$[OH^-] > [H^+] \text{ se á solución alcalina}$$

$$[H^+] = [OH^-] \text{ se á solución neutra}$$

En el problema anterior los valores de:

$$[H^+] = 1 \times 10^{-10} \text{ y } [OH^-] = 1 \times 10^{-4}$$

$[H^+] = 0.0000000001$  son menores que

$$[OH^-] = 0.0001$$

Por lo que la solución es alcalina.

Problema 2:

¿Cuál será el valor de la  $[OH^-]$  de una solución cuya  $[H^+]$  es de  $3 \times 10^{-6}$ ? Indicar si es ácida o básica.

$$[H^+] \cdot [OH^-] = K_w$$

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

$$3 \times 10^{-6} \times [OH^-] = 1 \times 10^{-14}$$

$$[OH^-] = \frac{1 \times 10^{-14}}{3 \times 10^{-6}} = 0.33 \times 10^{-8} = 3.3 \times 10^{-9}$$

Valor de:

$$[H^+] = 3 \times 10^{-6}$$

$$[OH^-] = 3.3 \times 10^{-9}$$

¿Cuál es mayor de los dos?

$$0.000003 > 0.000000033$$

El valor de  $[H^+]$  es mayor, por lo tanto será una solución ácida.

### ACIDEZ, NEUTRALIDAD Y ALCALINIDAD EN SOLUCIONES ACUOSAS.

#### POTENCIAL HIDROGENO

En el agua pura las concentraciones  $H^+$  y  $OH^-$  son iguales, esto es:

$$[H^+] = [OH^-] = \sqrt{K_w} = \sqrt{1 \times 10^{-14}} = 1 \times 10^{-7} \text{ ion g/l}$$

Esta condición de igualdad es una condición de neutralidad, por lo tanto el agua pura es neutra.

Si la concentración de  $H^+$  es mayor que la concentración de  $OH^-$  se tiene una solución ácida y, por el contrario, si la concentración de  $OH^-$  es mayor que la concentración  $H^+$  se tiene una solución alcalina.

#### pH y pOH

Las concentraciones de iones hidrógeno y iones hidroxilo son relativamente pequeñas, por lo que se ha convenido en expresarlos mediante una notación logarítmica.

Así, para la concentración de iones hidrógeno se tiene:

$$pH = -\log [H^+] = \log \frac{1}{[H^+]}$$

Y para la concentración de iones hidroxilo:

$$pOH = \log \frac{1}{[OH^-]} = -\log [OH^-]$$

El pH se puede definir como el logaritmo decimal del recíproco de la concentración molar de iones hidroxilo.

La diferencia entre ambos términos estriba en que el pH es una forma de indicar la concentración de iones hidrógeno y el pOH es la forma de indicar la concentración de iones hidroxilo en una solución y, como se verá más adelante, la expresión pH es la más frecuentemente usada, ya que ambos nos pueden servir para indicar tanto concentración de iones hidrógeno como hidroxilo.

Para entender mejor la acidez, la neutralidad y la alcalinidad en las soluciones acuosas obsérvese la siguiente tabla:

Los términos pH y pOH se pueden relacionar entre sí por medio de la fórmula del producto iónico del agua, tomando logaritmos negativos en ambos miembros de dicha ecuación.

ec'n.  $K_w = [H^+] [OH^-]$   
 $-\log K_w = (-\log [H^+]) + (-\log [OH^-])$

Lo cual se reduce a:

$pK_w = pH + pOH$

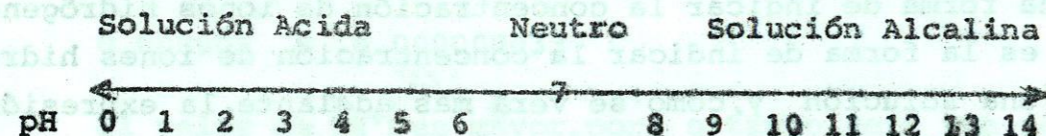
Y como  $K_w = 1 \times 10^{-14}$

$pH + pOH = 14$

Por medio de esta ecuación se puede determinar el pH o el pOH, conociendo uno de ellos.

El pH es el término más empleado para indicar la acidez o alcalinidad de una solución y con frecuencia a las soluciones se les caracteriza solo por los valores del pH. En la tabla B se presentan los valores del pH y pOH, indicando los rangos de la alcalinidad, acidez y neutralidad de una solución acuosa.

A continuación se muestra otra tabla o escala que nos permite interpretar también rápidamente si una solución es ácida, neutra o alcalina y al mismo tiempo el grado en que lo son.



Aumenta acidez

Aumenta alcalinidad

En la escala se tienen los valores que puede tomar el pH de una solución. De cero a un valor menor de 7 el pH es ácido; en pH=7 la solución es neutra y cualquier valor mayor de 7 hasta 14 la solución será alcalina.

$C_H$ ión g/l	$C_{OH^-}$ ión g/l		pH	pOH
$1 \times 10^{-14}$	$1 \times 10^{-0}$	A	14	0
$1 \times 10^{-13}$	$1 \times 10^{-1}$	L	13	1
$1 \times 10^{-12}$	$1 \times 10^{-2}$	C	12	2
$1 \times 10^{-11}$	$1 \times 10^{-3}$	A	11	3
$1 \times 10^{-10}$	$1 \times 10^{-4}$	L	10	4
$1 \times 10^{-9}$	$1 \times 10^{-5}$	I	9	5
$1 \times 10^{-8}$	$1 \times 10^{-6}$	N	8	6
$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-7}$	A	7	7
$1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-8}$	NEUTRA	6	8
$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-9}$	A	5	9
$1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-10}$	C	4	10
$1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-11}$	I	3	11
$1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-12}$	D	2	12
$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-13}$	A	1	13
$1 \times 10^{-0}$	$1 \times 10^{-14}$			14

ALCALINIDAD, NEUTRALIDAD Y ACIDEZ EN SOLUCIONES ACUOSAS.

TABLA B

La escala también nos indica que de un valor menor que 7 hacia la izquierda la acidez va aumentando, siendo mayor la acidez por cada número que se pase y del 7 hacia la derecha la alcalinidad aumenta cada vez más por cada número que sea mayor hasta llegar al 14, que sería el punto máximo de alcalinidad.

Por ejemplo:

Se tienen dos soluciones; una pH= 4 y otra de pH=2, ¿cuál es más ácida?, naturalmente que la de pH=2, por estar este valor más a la izquierda en la gráfica.

Se tiene una solución pH=11 y otra de pH= 13, - - - ¿cuál es más alcalina? La más alcalina será la de pH= 13, ya - que este valor está más a la derecha en la gráfica.

#### LOGARITMOS

El logaritmo decimal (log en la calculadora) de un número es el exponente al que esta elevada la base 10 para expresar dicho número.

$$\begin{array}{l} \text{así: log de 1} = 0 \\ \text{log de 10} = 1 \quad 10 = 1 \times 10^1 \\ \text{log de 100} = 2 \quad 100 = 1 \times 10^2 \\ \text{log de 250} = 2.3979 \end{array}$$

cálculo: log de 250

$$\begin{array}{l} 250 = 2.5 \times 10^2 \\ \text{entonces log de 250} = \log \text{ de } 2.5 + \log \text{ de } 10^2 \\ = 0.39794 + 2 \\ = 2.39794 \end{array}$$

\* Se busca en las tablas el log de 25 y el resultado es decimal (.3979), a esta porción de el logaritmo se le llama mantisa y a el número entero se le llama característica. En la calculadora se escribe el número(250) y después se oprime la tecla log y el resultado es igual.

→ 2.3979  
característica    mantisa

Cabe aclarar que la mantisa de 2.5, 25, 250 ó 2500 es la misma y que los logaritmos de esos números solo difieren en la característica, la cual la determina el punto decimal (tamaño del número).

De lo anterior se puede deducir que: si se tiene el logaritmo de un número(desconocido), se puede determinar de que número se trata, tomando solo la mantisa y haciendo la operación inversa (antilogaritmo), se obtiene el número y la característica nos indicará la posición del punto decimal.

#### CALCULO DEL PH DE UNA SOLUCION

Para soluciones de ácidos fuertes o bases fuertes los valores del pH se determinan fácilmente, puesto que estas sustancias al estar en solución están ionizadas en un 100%.

Ejemplo 1.-

¿Cuál es el pH de una solución 0.002 M de HClO<sub>4</sub>?  
El 0.002 M equivale a: una [H<sup>+</sup>] = 0.002 ion g/litro

Una forma de resolver:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

$$\begin{array}{l} \text{pH} = -\log 0.002 \quad \text{como } 0.002 = 2 \times 10^{-3} \\ = -\log (2 \times 10^{-3}) \\ = -\log 2 + (-\log 10^{-3}) \quad \log \text{ de } 10 = -3 \\ = -0.3010 + (-(-3)) \\ = -0.3010 + 3 \\ = 2.699 \end{array}$$

Otra forma de calcular el pH

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

$$\text{pH} = \log \frac{1}{0.002} = \log 500 = 2.6989$$

Usando la calculadora:

$$\text{pH} = -\log 0.002$$

Se escribe el número y después se oprime la tecla log el resultado es -2.6989 pero el pH es -log entonces:

$$\text{pH} = -(-2.6989)$$

$$\text{pH} = 2.6989 \quad \text{se redondea a } 2.7$$

Ejemplo 2.-

El pH de una solución es igual a 2.7, calcular el pOH

De la ecuación:

$$\begin{array}{l} \text{pH} + \text{pOH} = 14 \\ \text{pOH} = 14 - 2.7 = 11.3 \end{array}$$