

WEBINAR

QUÍMICA BÁSICA
PARA PROFESIONALES EN TRATAMIENTO DE AGUA

08 OCTUBRE - 2024

Impartido por: **Germán Groso**,
Director de Carbotecnia

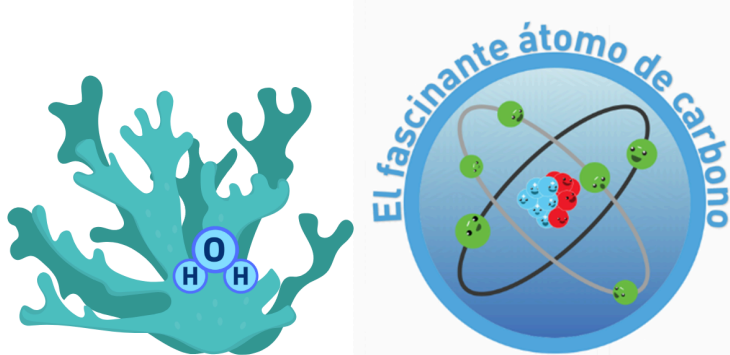


Equipo de atención a clientes



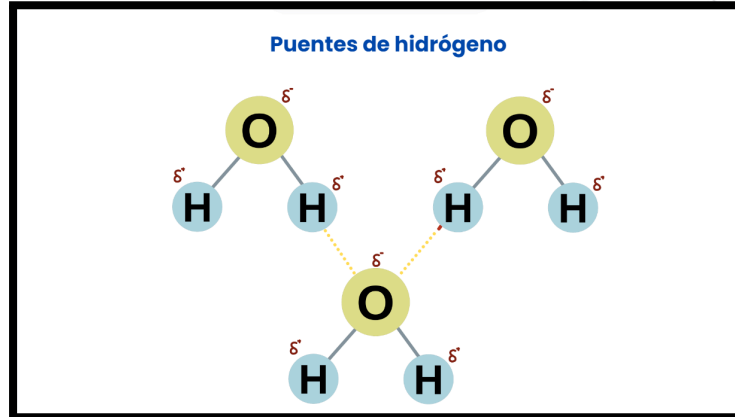
Mis compañeros de atención a clientes e ingeniería. Cuando alguien de ustedes, clientes, prospectos y colegas, quieran escribir directamente a ingeniería, lo pueden hacer a ingenieria@carbotecnia.com.mx.

La vida no es posible sin ellos



El fascinante átomo de carbono

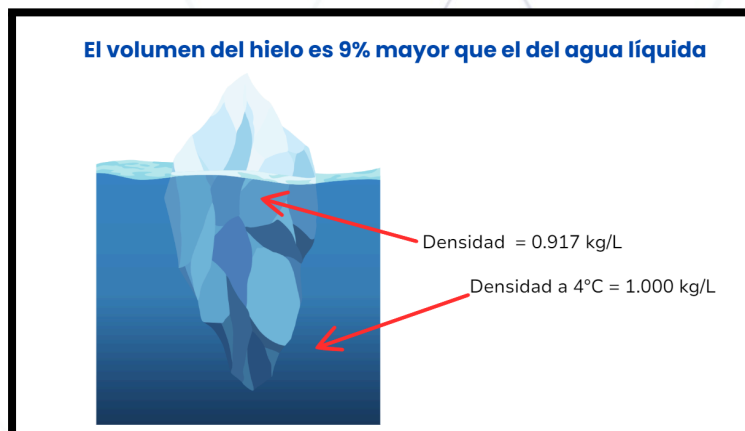
Debido a su estructura química, propiedades y comportamiento, el agua es un compuesto excepcional. Junto con el átomo de carbono, la vida en la Tierra no sería posible sin ella (ver “El fascinante átomo de carbono” en www.carbotecnia.info).



Por su masa molar, debería ser un gas a las condiciones de La Tierra. No obstante, los puentes de hidrógeno que se forman entre sus moléculas le permiten permanecer en estado líquido. Esto también con otros compuestos, como metanol, etanol, ácido fórmico y ácido acético. Son pocos.



Es el único compuesto que coexiste en sus tres estados (sólido, líquido y vapor) a las condiciones que pueden encontrarse en La Tierra.

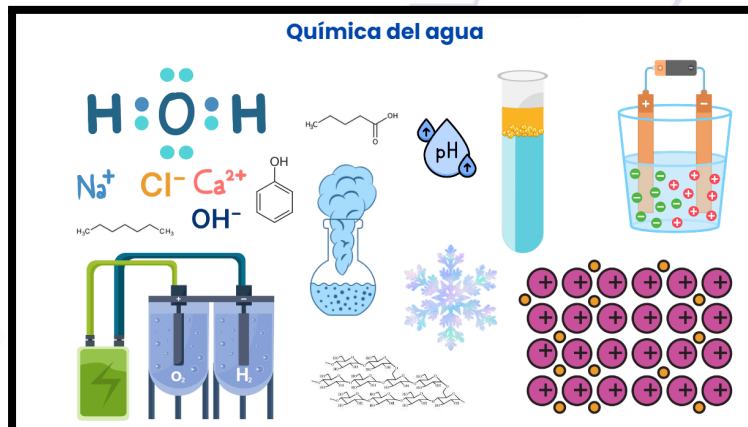


Carbotecnia

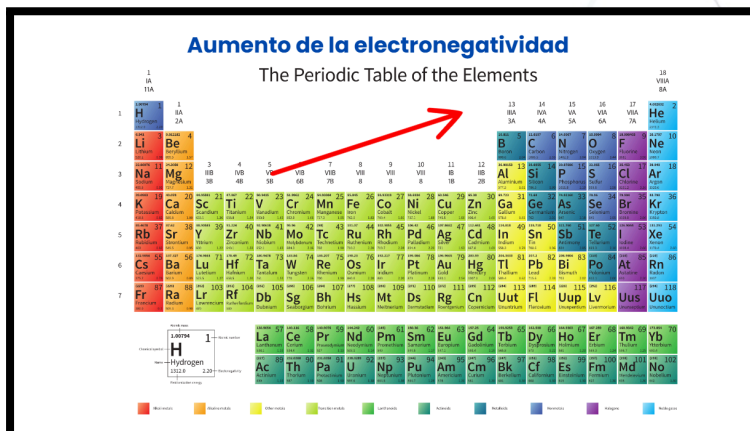
Es de los pocos compuestos que, al pasar de estado líquido a estado sólido, aumenta su volumen (un 9%), lo que también ocurre debido a los puentes de hidrógeno (otros compuestos que aumentan el volumen cuando solidifican son bismuto, antimonio, galio y algunas aleaciones).



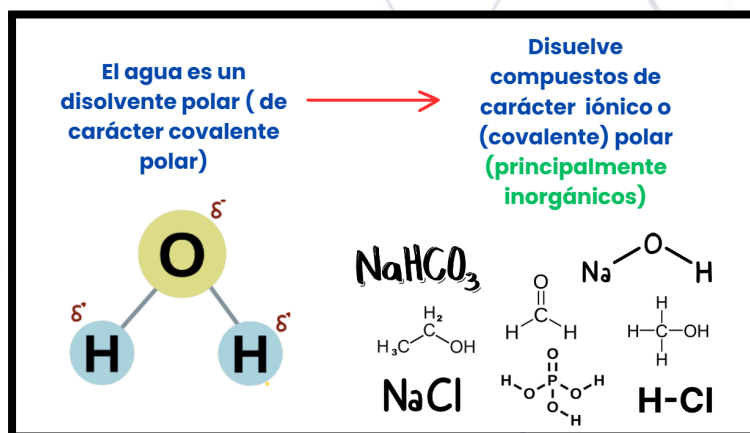
El agua se formó en la Tierra junto con el planeta, hace alrededor de 4,500 millones de años. Puede haberlo hecho desde el interior, desde fuentes externas o en una combinación. A partir de entonces, se sigue formando y descomponiendo agua, aunque en cantidades muy pequeñas en comparación con toda el agua que existe en el planeta.



En el más amplio sentido, la química del agua estudia las reacciones en las que este compuesto interviene y las reacciones que ocurren en el agua.

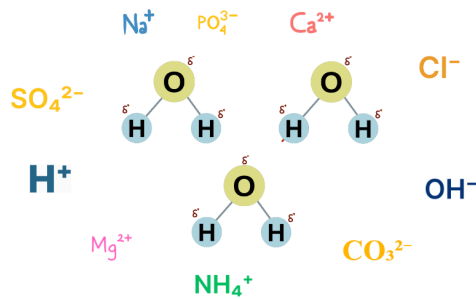


En la Tabla Periódica de los Elementos, excepto los gases nobles (He, Ne, Ar,...), la electronegatividad aumenta conforme el elemento se encuentra más cerca de la esquina superior derecha. La unión de dos átomos iguales o de electronegatividad similar es covalente. La de electronegatividad muy distinta, es iónica. Cuando una molécula tiene más de dos átomos, algunas de las uniones químicas entre estos pueden ser iónicas y otras, covalentes. Por lo tanto, no se habla de una “molécula covalente” o de una “molécula iónica”. Más bien, una molécula puede tener mayor carácter covalente o mayor carácter iónico. También se puede decir que tiene carácter covalente en una parte de ella y carácter iónico en otra parte. Por otro lado, cuando la diferencia de electronegatividad entre los átomos que se unen es moderada, el enlace puede tener carácter covalente polar. Desde esta perspectiva, se puede tener una molécula con carácter covalente menos o más polar.



Las uniones químicas entre el átomo de oxígeno y los átomos de hidrógeno en la molécula del agua, son de carácter covalente polar. Se puede decir, entonces, que el agua es un solvente de carácter polar. Como tal, es un buen disolvente, tanto de compuestos de carácter iónico, como de compuestos de carácter covalente polar.

El agua disuelve particularmente bien compuestos de carácter iónico, que forman electrolitos al ionizarse en ella.



Cuando un compuesto ioniza al entrar en contacto con agua, forma dos iones: un catión (cargado positivamente) y un anión (cargado negativamente). A estos iones se les llama electrolitos. La interacción entre el agua y los iones presentes en ella es de lo más esencial en lo que estudia la química del agua.

Un agua sin sales es un dieléctrico.
Su conductividad aumenta en proporción a la concentración de electrolitos presentes en ella



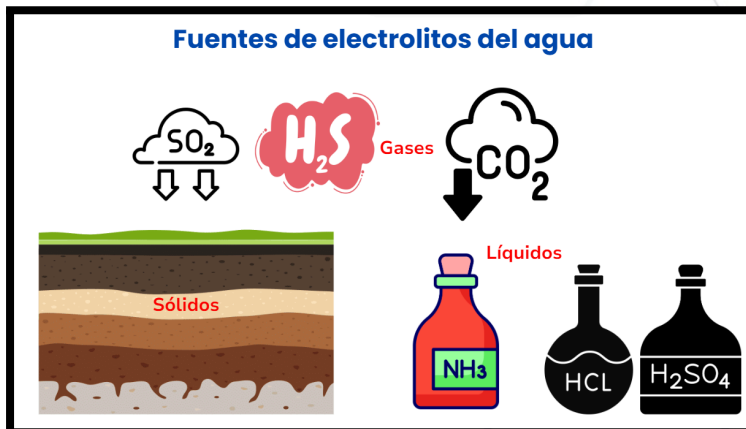
1 mg/L de NaCl



1.8 μ S/cm

Los no electrolitos se disuelven sin disociarse; quedan disueltos sin una carga y prácticamente no aportan conductividad al agua (aunque sean polares). Un agua sin electrolitos es un dieléctrico. Los electrolitos hacen que el agua tenga conductividad. La conductividad del agua es proporcional a la concentración de electrolitos en ella. Cada mg/L de NaCl en agua aumenta la conductividad de la misma en 1.8 μ S/cm.

Electrolitos más comunes en el agua



Los compuestos de carácter iónico que se disuelven en agua pueden provenir de sólidos, líquidos o gases a las condiciones de la Tierra. Cuando el agua entra en contacto con la tierra, disuelve compuestos de carácter iónico, como NaCl (cloruro de sodio), CaCO₃ (carbonato de calcio) o K₂SO₄ (sulfato de potasio). Cada uno de estos compuestos se disolverá en una cantidad que dependerá de su solubilidad a la temperatura que prevalezca, y del tiempo de contacto con el agua.

Por poner un par de ejemplos, compuestos de carácter iónico en estado líquido que se disuelven en, o se mezclan con agua, serían H₂SO₄ (ácido sulfúrico), HNO₃ (ácido nítrico) o NH₄OH (hidróxido de amonio).

El agua disuelve o absorbe gases de carácter iónico como HCl, SO₂, CO₂, NH₃, H₂S, H₂SO₄ o HNO₃.

Al hacerlo, estos forman iones, como H⁺ (ion hidrógeno), Cl⁻ (cloruro), SO₄²⁻ (sulfato), HCO₃⁻ (bicarbonato), S²⁻ (sulfuro) y NO₃⁻ (nitrato).

Algunos de los principales cationes y aniones presentes en agua

CATIONES	ANIONES
- Na ⁺ (sodio)	- Cl ⁻ (cloruro)
- Ca ²⁺ (calcio)	- HCO ₃ ⁻ (bicarbonato)
- Mg ²⁺ (magnesio)	- CO ₃ ²⁻ (carbonato)
- H ⁺ o H ₃ O ⁺ (oxidanio, oxonio, hidronio o hidrógeno)	- OH ⁻ (hidróxido)
- K ⁺ (potasio)	- SO ₄ ²⁻ (sulfato)
- Fe ²⁺ (hierro)	- NO ₃ ⁻ (nitrato)
- Mn ²⁺ (manganeso)	- F ⁻ (fluoruro)
- Ba ²⁺ (bario)	- PO ₄ ³⁻ (fosfato)
- Sr ²⁺ (estroncio)	- S ²⁻ (sulfuro)
- Cu ²⁺ (cobre)	- Br ⁻ (bromuro)
- Zn ²⁺ (zinc)	- NO ₂ ⁻ (nitrito)
	- SO ₃ ⁻ (sulfito)
	- CN ⁻ (cianuro)

Como dijimos, los electrolitos disueltos en agua forman cationes y aniones. Algunos de los más comunes son los que se muestran en la imagen anterior. Los que están en azul, verde y rojo son particularmente importantes en la química del agua y hablaremos de ellos más adelante.

Ejemplo de resultado de análisis de cationes y aniones en una muestra de agua

ión	Concentración (mg/L)	Masa Molar (g/mol)	Valencias	Peso Equivalente (g/eq)	meq/L
Cationes					
Calcio (Ca^{2+})	40.0	40.08	2	20.04	2.00
Magnesio (Mg^{2+})	12.0	24.31	2	12.16	1.00
Sodio (Na^+)	23.0	22.99	1	22.99	1.00
Potasio (K^+)	3.9	39.10	1	39.10	0.10
Total Cationes					4.10
Aniones					
Bicarbonato (HCO_3^-)	122.0	61.02	1	61.02	2.00
Cloruro (Cl^-)	35.5	35.45	1	35.45	1.00
Sulfato (SO_4^{2-})	48.0	96.06	2	48.03	1.00
Nitrato (NO_3^-)	62.0	62.00	1	62.00	1.00
Total Aniones					4.00

En el agua, las cargas de los electrolitos siempre están equilibradas

Un análisis de cationes y aniones en agua muestra que las cargas están equilibradas. Este equilibrio se refleja en el hecho de que el agua debe tener el mismo número de meq/L de cationes que de aniones. En el ejemplo, la suma de cationes, en meq/L, es de 4.10, y la suma de aniones es de 4.00. La diferencia es aceptable y se debe a que no siempre se consideran todos los cationes o todos los aniones presentes. Vale la pena mencionar que hay laboratorios que ofrecen este análisis de cationes y aniones, que brinda información importante. Esta información es particularmente útil para dimensionar procesos de separación mediante resinas de intercambio iónico.



Cuando la concentración de cationes y aniones que pueden formar determinado compuesto alcanza un nivel cercano a la saturación, forman sales de dicho compuesto que precipitan. Esto puede ocurrir de manera particular en la corriente de rechazo de las membranas de ósmosis inversa, ya que las sales se concentran. Cuando esto sucede, las membranas se incrustan y se tapan. El estudio de la química del agua tiene por objeto evitar lo más posible este tipo de percances.

CATION MÁS COMÚN	ANIÓN MÁS COMÚN
- Na ⁺ (sodio)	- Cl ⁻ (cloruro)

El catión más común en el agua que se encuentra en cuerpos naturales (mares, lagos, ríos, pozos) es el sodio, Na⁺. Y el anión más común es el cloruro, Cl⁻.

Combinación de cationes y aniones que forman compuestos más incrustantes y que son menos solubles a mayor temperatura

CACIONES	ANIONES
<p>A la suma de los dos siguientes cationes se le conoce como dureza total (otros cationes multivalentes también forman parte de la dureza total, pero suelen encontrarse en concentraciones menores):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ca²⁺ (calcio) - Mg²⁺ (magnesio) <p>La concentración de este catión se mide a través de lo que se llama el pH, y tiene una relación de absoluta dependencia con la concentración del anión OH⁻:</p> <ul style="list-style-type: none"> - H⁺ o H₃O⁺ (oxidanio, oxonio, hidrógeno o hidronio) 	<p>La suma de los siguientes tres aniones se conoce como alcalinidad total:</p> <ul style="list-style-type: none"> - HCO₃⁻ (bicarbonatos) - CO₃²⁻ (carbonatos) - OH⁻ (hidróxidos)

Al ver la tabla con cationes y aniones que típicamente están presentes en aguas de origen natural, mencionamos que hablaríamos de los que resaltamos en color azul, rojo y verde. Los vemos en esta imagen. Son de interés particular porque forman sales que precipitan con mayor facilidad que otras. De hecho, a diferencia de otras sales, en lugar de ser más solubles cuando aumenta la temperatura del agua, se vuelven más insolubles.

Parámetros de un análisis fisicoquímico

CATIONES	ANIONES
- Na ⁺ (sodio)	- Cl ⁻ (cloruros)
- Ca ²⁺ (calcio)	- HCO ₃ ⁻ (bicarbonatos)
- Mg ²⁺ (magnesio)	- CO ₃ ²⁻ (carbonatos)
- H ⁺ o H ₃ O ⁺ (hidrógeno)	- OH ⁻ (hidróxidos)
- K ⁺ (potasio)	- SO ₄ ²⁻ (sulfatos)
- Fe ²⁺ (hierro)	- NO ₃ ⁻ (nitratos)
- Mn ²⁺ (manganeso)	- F ⁻ (fluoruros)
- Ba ²⁺ (bario)	- PO ₄ ³⁻ (fosfatos)
- Sr ²⁺ (estroncio)	- S ²⁻ (sulfuros)
- Cu ²⁺ (cobre)	- Largo etc.
- Zn ²⁺ (zinc)	
- Largo etc.	

Σ **Sólidos disueltos totales**

Dureza total (circulo amarillo) → Ca²⁺, Mg²⁺, H⁺ o H₃O⁺

pH (circulo amarillo) → H⁺ o H₃O⁺

Alcalinidad total (circulo amarillo) → HCO₃⁻, CO₃²⁻, OH⁻

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

Si aumenta el pH, es porque disminuye la concentración de hidrógeno y aumenta la concentración de hidróxidos

El **análisis fisicoquímico** de un agua aporta una información esencial para predecir su comportamiento en cuanto a su tendencia incrustante o corrosiva. El resultado es una especie de “ADN” básico, que permite hacer diversas inferencias en relación a la procedencia, a la calidad y al posible tratamiento que puede requerir el agua. Un análisis fisicoquímico comprende:

1. Sólidos disueltos totales (mg/L).
2. Dureza total (mg como CaCO₃/L o meq/L).
3. Alcalinidad total (mg como CaCO₃/L o meq/L).
4. pH (adimensional; tiene valores entre 0 y 14).

Ya dijimos que cuando los sólidos disueltos en el agua se encuentran como electrolitos, aumentan la conductividad de la misma. Ahora hablemos del significado del pH.

Significado del pH

El agua desioniza en menor o mayor grado, de acuerdo con la concentración de electrolitos presentes en ella. Se creía que la reacción era:

$$H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$$

Se ha encontrado que la reacción es:

$$2H_2O \rightarrow H_3O^+ + OH^-$$

Para no complicarnos, consideraremos que es la primera (no afecta a lo que haremos). La mayoría de las reacciones de disociación alcanzan un equilibrio químico. Cuando se alcanza, al producto de la concentración molar de los iones formados, se le llama “constante de equilibrio de la reacción”. Para el caso del agua:

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

La imagen anterior explica con palabras lo que es el pH.

K_w es la constante de equilibrio de la reacción. Para agua totalmente pura y a 25°C, la concentración molar de ion hidrógeno es:

$$[H^+] = 1 \times 10^{-7}$$

Y la concentración molar de ion hidróxido es:

$$[OH^-] = 1 \times 10^{-7}$$

Por lo tanto:

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

Esta relación se cumple aunque el agua en cuestión contenga ion hidrógeno o ion hidróxido adicional, que se han agregado. Si la concentración del ion hidrógeno aumenta, la del ion hidróxido disminuye en la misma proporción de tal modo que el producto de ambas concentraciones sigue siendo 1×10^{-14} a 25°C.

Lo último que explica esta imagen es fundamental para entender el comportamiento del agua en cuanto a los electrolitos que puede contener. El hecho de que al multiplicar la concentración de iones hidrógeno por la concentración de iones hidróxido, siempre dé como resultado un valor constante (al menos constante a determinada temperatura), permite calcular la concentración de iones hidrógeno a partir de la concentración de iones hidróxido o viceversa.

Ya que los valores numéricos de las concentraciones de iones hidrógeno o de iones hidróxido en una solución suelen ser números muy pequeños, el químico Søren Sørensen propuso el pH como como unidad de medida de la concentración de iones hidrógeno en soluciones acuosas:

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

El agua se comporta de manera que el rango de valores que puede tener el pH es de 0 a 14.

Para medir la concentración del ion hidróxido, se puede definir el pOH como:

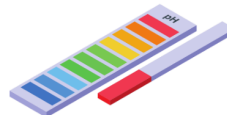
$$pOH = -\log [OH^-]$$

Por las propiedades de los logaritmos, a 25°C:

$$pK_w = pH + pOH = 14$$

En las imágenes anteriores se puede observar que el pH es una manera de expresar la concentración de iones hidrógeno en el agua.

Existen equipos y reactivos capaces de medir el pH. A los equipos se les conoce como potenciómetros o medidores de pH.



Puede observarse que, si disminuye el pH en una unidad, es porque aumentó la concentración de iones hidrógeno 10 veces. En un agua con pH de 5, la concentración de iones hidrógeno es 100 veces mayor que en un agua de pH 7.

No hay como la precisión que puede obtenerse de un potenciómetro de laboratorio que cuente con un electrodo de buena calidad y que pueda calibrarse tanto por temperatura, como por desajustes (mediante soluciones buffer a distintos valores de pH). No obstante, existen métodos de medición del pH, más simples y menos precisos, que sirven para tener una idea aproximada del valor de esta variable. Carbotecnia ofrece los medidores de pH de bolsillo y los estuches para medir concentración de cloro libre y pH en agua de albercas (el que viene en una caja azul que muestra la imagen anterior en la parte superior derecha). También se encuentran en el mercado tiras reactivas que dan resultados con precisión de unidad de pH (sin décimas). Carbotecnia no ofrece ni potenciómetros de laboratorio ni tiras reactivas. Estos equipos e insumos los ofrecen proveedores de laboratorios.

La imagen también menciona que cuando el pH disminuye en una unidad, la concentración de iones hidrógeno aumenta en 10 unidades. Por lo tanto, si el pH de un agua disminuye de un valor inicial de 7 a un valor final de 5, la concentración de iones hidrógeno aumenta 100 veces.

Lo mismo aplica hacia el lado opuesto: en un agua con pH de 13, la concentración de iones hidróxido es 100 veces mayor que en un agua con pH de 11.

Cambio de la constante pK_w en función de la temperatura:

Temperatura (°C)	$pK_w = -\log[K_w]$
0	14.93
5	14.73
10	14.53
15	14.35
20	14.17
25	14.00
30	13.83
50	13.26

Lo mismo ocurre con los hidróxidos: si aumenta el pH en una unidad, la concentración de hidróxidos aumenta en 10 unidades. Por otro lado, la imagen anterior muestra el valor de la constante de equilibrio de la reacción de disociación del agua en función de la temperatura.



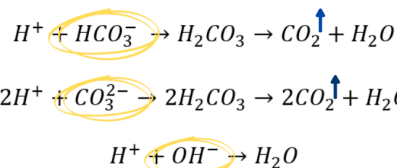
Si se buscan sensores de pH de muy buena calidad para instalarse en un proceso, una muy buena alternativa es la marca ProMinent. Esta marca alemana, además de sensores, ofrece controladores y bombas dosificadoras que permiten controlar el pH de manera muy confiable. En Carbotecnia la

ofrecemos al mismo precio al que Prominent vende a usuario final, con la ventaja para el cliente de que brindamos el acompañamiento técnico, comercial y administrativo.

Cabe subrayar que una disminución en el pH refleja un aumento en la concentración de iones hidrógeno. También vale la pena observar que, con base en la definición del pH, si este puede variar entre 0 y 14, es porque la concentración de iones hidrógeno en agua puede variar entre 1 mol/L (cuando el pH es cero) y 1×10^{-14} mol/L (cuando el pH es 14). Esto no quiere decir que la máxima concentración de iones hidrógeno en agua sea de 1 mol/L. Se pueden preparar soluciones de ácidos fuertes (clorhídrico, sulfúrico o nítrico) que deriven en concentraciones de iones hidrógeno mayores a 1 mol/L. No obstante, en estos casos, la constante de equilibrio de la reacción ya no es de 1×10^{-14} , por lo que tampoco aplica el concepto de pH. En este caso podemos decir que ya no estamos hablando de agua con cierta concentración de iones hidrógeno, sino de un ácido en solución acuosa. Lo mismo aplica para los hidróxidos: puede haber soluciones que contengan una concentración de hidróxidos mayor a 1 mol/L, pero en dicho caso, más que agua, estamos hablando de un hidróxido en solución acuosa.

Significado de la alcalinidad total

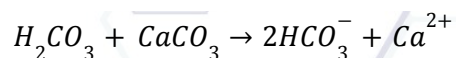
Como vimos, la alcalinidad total es la suma de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos en agua. Si agregamos un ácido protónico a un agua que tiene alcalinidad, el ion hidrógeno reacciona con todos los componentes de esta. Ya que el CO_2 se desprende como gas carbónico, el único residuo que queda en el agua es más agua:



El pH es una medida de la concentración de ácidos (protones) o bases (hidróxidos) en agua. La alcalinidad total del agua es la medida de su capacidad para neutralizar ácidos. Indica cuánto ácido puede absorber una solución sin cambiar el pH. En otras palabras, la alcalinidad refleja la capacidad amortiguadora de una solución. Si un agua tiene una baja alcalinidad total, su pH disminuirá con rapidez al agregarle un ácido.

El agua de lluvia absorbe dióxido de carbono que se encuentra la biósfera. Este queda disuelto en el agua como ácido carbónico (H_2CO_3). Ya que es un ácido débil, disminuye el pH en un valor bajo.

El agua carbonatada reacciona con algunos minerales presentes en las rocas. El más común es carbonato de calcio (CaCO_3). La reacción es:



Los aniones que forman parte de la alcalinidad total son los bicarbonatos (HCO_3^-), los carbonatos (CO_3^{2-}) y los hidróxidos (OH^-). En el rango de pH de entre 5 y 8, en el que se encuentran casi todas las aguas naturales (tanto superficiales como de pozo), el anión más presente es bicarbonato. En aguas con pH

muy bajo, no hay ni bicarbonato ni carbonato, aunque sí hay ácido carbónico disuelto y no disociado. Y en aguas con pH alto, puede haber carbonatos y algo (no mucho) de bicarbonatos.

Como lo muestra la imagen, todos los aniones que forman parte de la alcalinidad total reaccionan con el ion hidrógeno. Ya que el CO_2 se desprende del agua como un gas, en los tres casos, el único residuo que queda en el agua es el catión del ácido que aportó el protón.

Un problema relacionado con la alcalinidad en aguas que también contienen dureza es que genera sales particularmente incrustantes. No solo se caracterizan por incrustar más que otras sales: a diferencia del resto, son menos solubles mientras mayor es la temperatura.

La alcalinidad total del agua es la medida de su capacidad para neutralizar ácidos. Indica cuánto ácido puede absorber una solución sin cambiar el pH. En otras palabras, la alcalinidad refleja la capacidad amortiguadora de una solución. Si un agua tiene una baja alcalinidad total, su pH disminuirá con rapidez al agregarle un ácido.



La alcalinidad total se expresa en unidades de meq/L o de mg/L como CaCO_3 .

Tanto la alcalinidad total como la alcalinidad por carbonatos se pueden analizar mediante una titulación. En la primera, se utiliza como indicador azul de bromofenol y en la segunda, fenolftaleína. Carbotecnia no ofrece los estuches portátiles, como el de la imagen, para analizar estos parámetros. Los ofrecen empresas que proveen equipos e insumos para laboratorios o para tratamiento de agua.

Significado de la dureza total

El calcio y el magnesio constituyen la mayor parte de lo que se conoce como dureza total del agua.

Técnicamente, otros cationes multivalentes se consideran parte de la dureza. Sin embargo, su concentración suele ser despreciable en relación a la del calcio y del magnesio.

La dureza de un agua puede determinarse por titulación, lo que es práctico, barato y simple. Se venden estuches económicos para llevar a cabo este análisis por titulación.



Carbotecnia ofrece los estuches marca Hach, como el de la imagen, para determinar dureza total del agua.

A la dureza que aporta solamente el Ca^{2+} se le llama dureza cálcica o de calcio. A la que aporta el Mg^{2+} , se le llama dureza de magnesio. A la suma de ambas se le conoce como dureza total.

Tanto la dureza de calcio, como la de magnesio y la total, se expresan en unidades de meq/L o de mg/L como CaCO_3 .

Los términos "dureza" y "agua dura" se deben a la sensación de acartonamiento que produce en la piel un agua que contiene cationes multivalentes, como calcio y magnesio. Esta sensación se debe a que dichos cationes se ligan a los aceites naturales de la piel y provocan que se disuelvan en el agua.

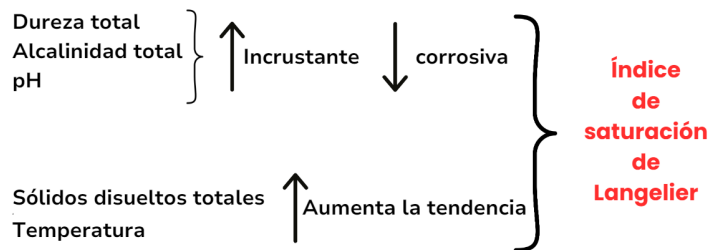
Entre los efectos de la dureza en el agua, están:

- Cuando, además de dureza, el agua contiene concentraciones apreciables de alcalinidad total (carbonatos, bicarbonatos o hidróxidos) y de otros aniones como sulfatos, fluoruros o silicatos, el agua adquiere una tendencia incrustante. La incrustación más común es el carbonato de calcio, ya que la dureza de calcio suele ser mayor que la de magnesio, y el anión más común de los mencionados es el bicarbonato.
- Las incrustaciones son particularmente problemáticas cuando el agua se calienta. Precipitan en calderas, calentadores de agua, intercambiadores de calor, condensadores, planchas y en las tuberías por las que circula el agua caliente.
- Las incrustaciones también son un problema en equipos de ósmosis inversa, ya que las sales se concentran en el rechazo y se acercan al punto de saturación.
- Las cargas positivas de la dureza causan que se ligue a los fosfatos, que son fuertemente aniónicos. Ya que la acción de la mayoría de los detergentes depende de los fosfatos o de otros surfactantes aniónicos, la dureza disminuye su efectividad.
- Deja el pelo rígido.
- Provoca un sabor característico en el agua potable (no agradable para la mayoría).

Se puede armar un estuche pequeño con equipo de análisis práctico, barato y suficientemente aproximado para hacer análisis fisicoquímico de agua.



Tendencia incrustante o corrosiva del agua



De todo lo visto, el aumento en la dureza total, en la alcalinidad total y en el pH, lleva a un aumento en la tendencia incrustante del agua. La disminución de estos parámetros provoca un aumento en la tendencia corrosiva del agua. Y un aumento en la concentración de sólidos disueltos totales (más bien deberíamos decir, “un aumento en la concentración de electrolitos”, aunque suelen ir de la mano) o en la temperatura del agua, aumenta la potencia de la tendencia incrustante o corrosiva que depende de la dureza total, la alcalinidad total y el pH. Ya que estamos hablando de cinco variables que pueden tener valores hacia arriba o hacia abajo (no todos son altos o no todos son bajos), se han propuestos índices que consideran dichas variables y que permiten estimar la tendencia incrustante o corrosiva del agua. El más conocido es el Índice de Langelier, o Índice de Saturación de Langelier.

CALCULADORA PARA OBTENER EL ÍNDICE DE LANGENIER (LENNTech)

Calculadora del Índice de Saturación Langelier

Esta calculadora le ayudará a calcular el potencial de incrustación de su agua usando el Índice de Saturación de Langelier

Introduzca los valores de su análisis de agua. Todos los campos con * son requeridos.

Si no posee un análisis de agua puede usar los siguientes valores de la Tabla 2. Seleccione una de las opciones en la parte baja de la Tabla 2.

Tabla 1: Introducción de datos

pH	7.6	*
Conductividad en SDT	1450	mg/L
[Ca ²⁺]	700	mg/L
[HCO ₃ ⁻]	155	mg/L
Temperatura agua	20	grados °C


Tabla 2: Datos adicionales


pH =	7.7	8	8.6	
SDT =	20	34483	273	mg/l
[Ca ²⁺]	5	400	49	mg/l
[HCO ₃ ⁻]	10	140	121	mg/l
T =	20	20	20	grados °C
	Ejemplo	Agua de mar	Agua de grifo	


El índice de Saturación de Langelier puede calcularse mediante ecuaciones, gráficas o calculadoras digitales. Una de estas la publica Lenntech en internet y es muy práctica (<https://www.lenntech.es/calculadoras/langelier/langelier.htm>). Hay que alimentar el pH, la concentración de sólidos disueltos totales estimados a partir de una medición de conductividad, la dureza de calcio, la alcalinidad de bicarbonatos y la temperatura del agua. Si la dureza de un agua es cero, hay que alimentar un valor cercano a cero porque con un valor de cero, la calculadora arroja un error. Si tenemos un agua con los datos ingresados en la imagen, obtenemos los resultados que se muestran en la siguiente imagen.

Tabla 3: Resultados del Índice de Saturación Langelier

pH _s	6.9
ISL	0.74
Indicación basada en Langelier (1936)	Water is supersaturated with respect to calcium carbonate (CaCO ₃) and scale forming may occur.
Indicación basada en Langelier mejorado por Carrier (1966)	Scale forming but non corrosive.

→ 

→ 



Valor del índice de saturación de Langelier	Tendencia del agua
Mayor a +0.3	Muy incrustante.
0.0 a +0.3	Incrustación ligera con corrosión.
0.0	Equilibrada. Puede ocurrir corrosión ligera.
0.0 a -0.3	Corrosión ligera. No se forman incrustaciones.
Menor a -0.3	Muy corrosiva.

Un agua con Índice de Langelier de cero, es equilibrada. Valores positivos del índice reflejan una tendencia incrustante que es mayor mientras mayor es el valor numérico del índice. Valores negativos del índice reflejan una tendencia corrosiva que es mayor mientras mayor es el valor numérico del índice. Es imposible tener agua índice de cero (totalmente equilibrada) pero se considera adecuado que el valor del índice esté entre -0.3 y +0.3. Cabe mencionar que la tendencia incrustante o corrosiva del agua no implica un problema de salud en quien utiliza o bebe dicha agua (mientras no hablemos de casos extremos). El problema radica en que un agua con tendencia corrosiva afecta a los metales de alto potencial de oxidación (lo que incluye al hierro o al cobre). Por otro lado, un agua con tendencia incrustante, precipita en casi todas las superficies que encuentra a su paso (sobre todo en las más rugosas): incrusta tuberías, equipos y la mayoría de los medios que se utilizan en procesos de tratamiento de agua: carbón activado; resinas suavizadoras; tubos de cuarzo de lámparas de UV;

catalizadores para retener hierro, manganeso y sulfuro de hidrógeno; membranas de ósmosis inversa; etc. En este sentido, en Carbotecnia consideramos que es más grave el problema de un agua con tendencia incrustante que un agua con tendencia corrosiva (a menos de que el problema consista en una residencia con tuberías de cobre que se ven afectadas por un agua con tendencia corrosiva). Hay que mencionar que un agua con tendencia corrosiva no necesariamente es un agua que proviene de una industria. Simplemente, el agua de lluvia, tiene una alta tendencia corrosiva. Lo mismo ocurre con agua de baja salinidad que puede provenir de pozos.



Es posible disminuir la tendencia corrosiva de un agua:

- Aumentando el pH
- Aumentando la alcalinidad total
- Aumentando la dureza total

Si se percola agua con determinada tendencia corrosiva a través de una cama de gránulos de carbonato de calcio (como lo es el Calcite), los gránulos se disuelven poco a poco y aportan al agua iones calcio (dureza) y iones carbonato (alcalinidad).

Si se percola a través de una cama de gránulos de óxido de magnesio (como lo es el Corosex), los gránulos se van disolviendo y aportan al agua iones magnesio (dureza) y iones hidróxido (alcalinidad).

Si se disuelven partes iguales de Calcite o de Corosex en agua, el Corosex disminuye más la tendencia corrosiva del agua porque el hidróxido del Corosex tiene mayor efecto que el carbonato del Calcite. Por lo tanto, se aplica Corosex en aguas de mayor tendencia corrosiva.

Se pueden utilizar otros compuestos químicos para disminuir la tendencia corrosiva de agua. Pueden ser compuestos que aporten calcio, magnesio, carbonatos, bicarbonatos o hidróxidos. Por ejemplo, carbonato de sodio, que solamente aporta carbonatos (alcalinidad).

Se puede aumentar el pH del agua con hidróxidos, por ejemplo, de sodio o de potasio. El problema de esta alternativa es que es difícil controlar la dosis: con facilidad podemos llevar al agua a valores de pH demasiado altos. Además, la sosa y la potasa son materiales muy peligrosos, que implican un riesgo para personas no capacitadas para su manejo.



Es posible disminuir la tendencia incrustante de un agua:

- Disminuyendo el pH
- Disminuyendo la alcalinidad total
- Disminuyendo la dureza total

La dureza se disminuye suavizando el agua mediante resinas de intercambio iónico ciclo sodio.

La alcalinidad total disminuye agregando un ácido o intercambiándola por un anión que no forme parte de la alcalinidad total, como es el cloruro (mediante resinas de intercambio iónico).

El problema de disminuir la tendencia incrustante del agua agregando un ácido, es que es difícil controlar la dosis y podemos llevar al agua a un pH excesivamente bajo. Otro problema es que los ácidos son compuestos peligrosos que implican riesgos para personas que no tienen la preparación necesaria.

Gracias por su atención

Tel. + 52 33 3834-0906
ventas@carbotecnia.com.mx

Preguntas técnicas
ingenieria@carbotecnia.com.mx

Carbotecnia
PURIFICACIÓN AVANZADA

