

Apéndice 2

TABLAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

Tabla A2.1. Términos utilizados en literatura descriptiva de tratamiento de agua

Alcalinidad	La protección de la chapa de caldera de la acidez y también de la exposición a la fragilidad cáustica se indica o refiere como relación de alcalinidad. El agua que contiene carbonato sódico o bicarbonato tiende a ser alcalina cuando se calienta en la caldera, transformándose en hidróxido sódico.
Cloruros	La concentración de cloruro se usa como una indicación de la cantidad total de sólidos disueltos y en suspensión en el agua de la caldera, como los productos químicos usados en el tratamiento de agua para disolver las incrustaciones. Es un indicador para utilizar la purga.
Fosfatos	La formación de incrustación por sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio [CaSO_4 , CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, MgSO_4 , MgCl_2 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$] no influyen en la alcalinidad del agua y forman una costra dura en las calderas cuando se evapora el agua. Éstos son normalmente tratados con una combinación de Na_2HPO_4 (fosfato bisódico) y Na_2CO_3 (carbonato sódico). El objeto es precipitar $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (fosfato cálcico), mientras que el Na_2SO_4 (sulfato sódico), que es muy soluble, no forma depósitos de incrustación. Los fosfatos se usan para ayudar a evitar la formación de la incrustación. La utilización de los dos productos químicos Na_2HPO_4 y Na_2CO_3 en conjunción es, no sólo más eficaz que cada uno por separado, sino también forma un lodo o mezcla que es más fácil de retirar durante la purga.
Sal	Una sal es un compuesto producido cuando todo o parte del hidrógeno de un ácido se reemplaza por un radical electropositivo o un metal. El $\text{Ca}(\text{CO}_3\text{H})_2$ calentado a aproximadamente 212 °F (100 °C) se descompone en CaCO_3 más CO_2 y más H_2O , el H_2CO_3 es el ácido carbónico altamente soluble el que se encuentra en el agua carbónica o soda común.
Ácido	Un ácido tiene una producción o tensión permanente de iones hidrógeno (positivos), H_2^+ .
Álcali	Un álcali tiene una producción o tensión predominante de iones oxihidrilo (negativos), OH^- .

(Continúa)

Tabla A2.1. Términos utilizados en literatura descriptiva de tratamiento de agua (Continuación)

Dureza	El agua que contiene cal y/o magnesio se considera dura según el grado de dureza que estas sales presenten. Cuando un ácido graso se halla en el jabón, como por ejemplo el esteáreo ($C_{17}H_{35}COOH$), en una cantidad dada y agua en otra cantidad determinada se mezclan, todos los no metales de las sales (como son Ca y Mg) se combinan con la solución esteárica utilizada en la prueba anterior y se obtiene un jabón permanente; en ese punto se determina la dureza.
---------------	---

Tabla A2.2. Efecto de las impurezas en el agua de caldera

Nombre común	Término químico	Manifestación (en concentración excesiva)	Símbolo
Cal	Bicarbonato cálcico	Incrustación blanda (se disuelve en ácido carbónico)	$Ca(HCO_3)_2$
Magnesia Sílice	Carbonato cálcico	Incrustación blanda	$CaCO_3$
	Carbonato magnésico	Incrustación yesosa	$MgCO_3$
	Dióxido de silicio	Incrustación ligera, frágil y dura	SiO_2
Yeso (emplaste de parís)	Sulfato cálcico y agua cristalizada	Incrustación suave y dura	$CaSO_4 + H_2O$
Cloruro magnésico	Cloruro magnésico	Forma ácido clorhídrico con el agua	$MgCl_2$
Sales de Epsom	Sulfato magnésico y agua	Corrosivo	$MgSO_4 + H_2O$
Sal común de mesa	Cloruro sódico	Produce espuma	Na_2Cl
Sales de Glauber	Sulfato sódico	Produce espuma	Na_2SO_4
Cenizas de sosa	Carbonato sódico	Produce espuma	Na_2CO_3
Soda de hornear	Bicarbonato sódico	Produce espuma	$NaHCO_3$
Gases			
Oxígeno	Oxígeno	Acelera la corrosión electrolítica	O_2
Dióxido de carbono	Dióxido de carbono	Forma ácido con el agua	CO_2
Cloro	Cloro	Forma ácido con el agua	Cl
Sustancias orgánicas como lodos o verdín			
Espumas y depósitos			

Tabla A2.2. Efecto de las impurezas en el agua de caldera (Continuación)

Nombre Común	Término Químico	Manifestación	Símbolo
Ácidos			
Ácido sulfúrico	Ácido sulfúrico	Corrosivo	H ₂ SO ₄
Ácido clorhídrico	Ácido muriático	Corrosivo	HCl
Álcalis			
Hidróxido sódico	Sosa cáustica	Eliminación cáustica del óxido protector de los metales	NaOH
Hidróxido magnésico	Hidróxido magnésico	Eliminación cáustica del óxido protector de los metales	Mg(OH) ₂

Tabla A2.3. Algunos productos químicos y su empleo en el tratamiento de aguas

Producto químico	Propósito	Comentario
Hidróxido sódico NaOH (sosa cáustica)	Aumenta la alcalinidad, eleva el pH y precipita al magnesio	No contiene carbonato, así que no promueve la formación de CO ₂ en el vapor
Carbonato sódico Na ₂ CO ₃ (cenizas de sosa)	Aumenta la alcalinidad, eleva el pH y precipita el sulfato cálcico como carbonato	Menor coste y manejo más fácil que la sosa cáustica. Pero algún carbonato se descompone desprendiendo CO ₂ con el vapor
Fosfato sódico NaH ₂ PO ₄ , Na ₂ HPO ₄ , Na ₃ PO ₄ , NaPO ₃	Precipita el calcio como hidroxapatito [Ca ₁₀ (OH) ₂ (PO ₄) ₆]	La alcalinidad y el pH resultante deben mantenerse elevados lo suficiente para que esta reacción tenga lugar (pH normalmente por encima de 10,5)
Aluminato sódico NaAl ₂ O ₄	Precipita el calcio y el magnesio	Forma lodo floculante
Sulfito sódico Na ₂ SO ₃	Evita la corrosión por el oxígeno	Usado para neutralizar el oxígeno residual formando sulfato sódico. A altas temperaturas y presiones, el exceso puede formar H ₂ S en el vapor
Hidrato de hidrazina N ₂ H ₄ ·H ₂ O en solución al 35%	Evita la corrosión por el oxígeno	Elimina el oxígeno residual para formar nitrógeno y agua. Una parte del oxígeno reacciona con tres partes de hidrazina (35% en solución)

(Continúa)

Tabla A2.3. Algunos productos químicos y su empleo en el tratamiento de aguas (Continuación)

Producto químico	Objeto	Comentario
Aminas filmógenas Octadecilamina, etc.	Control de la corrosión en la línea de retorno al formar una capa protectora sobre la superficie del metal	Protege contra el ataque de oxígeno y dióxido de carbono. Pequeñas cantidades en la alimentación continua mantendrán la capa protectora
Aminas neutras Morfolina, ciclohexilamina, bencilamina	Control de la corrosión en la línea de retorno por neutralización del CO ₂ y ajuste del pH del condensado	Se necesitan aproximadamente 2 ppm por cada ppm de dióxido de carbono en el vapor. Mantener el pH en el rango de 7,0 a 7,4 o mayor
Nitrato sódico NaNO ₃	Inhibe la fragilidad cáustica	Utilizado cuando el agua puede tener características de fragilidad
Taninos, almidones, glucosa y derivados de la lignina	Evita que se deposite la capa de incrustaciones cristalinas en la línea de alimentación para que se produzcan lodos fluidos que no se adhieran tan fácilmente a las superficies calefactoras de las calderas	Estos productos orgánicos, a menudo llamados coloides protectores, se usan con carbonato sódico y fosfatos. También distorsionan el crecimiento de los cristales y ayudan a inhibir la fragilidad cáustica
Derivados de algas (Alginatos de sodio, manuronato sódico)	Proporcionan un lodo más fluido y minimizan los arrastres	Productos orgánicos clasificados como coloides reactivos ya que reaccionan con el calcio y el magnesio y absorben los cristales de incrustación
Antiespumantes (Poliamidas, etc.)	Reducen la tendencia a formar espumas del agua altamente concentrada de la entrada de calderas.	Usualmente añadidos con otros productos químicos para control de incrustación y dispersión de lodos

Tabla A2.4. Valencia, fórmula iónica, pesos moleculares y equivalentes de los compuestos químicos usados en el tratamiento del agua *

	Fórmula iónica	Peso iónico	Peso equivalente
Cationes			
Aluminio	Al ⁺⁺⁺	27,0	9,0
Amonio	NH ₄ ⁺	18,0	18,0
Calcio	Ca ⁺⁺	40,1	20,0
Hidrógeno	H ⁺	1,0	1,0
Ión ferroso	Fe ⁺⁺	55,8	27,9
Ión férrico	Fe ⁺⁺⁺	55,8	18,6
Magnesio	Mg ⁺⁺	24,3	12,2
Manganeso	Mn ⁺⁺	54,9	27,5

Tabla A2.4. Valencia, fórmula iónica, pesos moleculares y equivalentes de los compuestos químicos usados en el tratamiento del agua (Continuación) *

	Fórmula iónica	Peso iónico	Peso equivalente molecular
Potasio	K ⁺	39,1	39,1
Sodio	Na ⁺	23,0	23,0
Aniones			
Bicarbonato	HCO ₃ ⁻	61,0	61,0
Carbonato	CO ₃ ⁻²	60,0	30,0
Cloruro	Cl ⁻	35,5	35,5
Fluoruro	F ⁻	19,0	19,0
Nitrato	NO ₃ ⁻	62,0	62,0
Hidróxido	OH ⁻	17,0	17,0
Fosfato (tribásico)	PO ₄ ⁻³	95,0	31,7
Fosfato (dibásico)	HPO ₄ ⁻²	96,0	48,0
Fosfato (monobásico)	H ₂ PO ₄ ⁻¹	97,0	97,0
Sulfato	SO ₄ ⁻²	96,1	48,0
Sulfito	SO ₃ ⁻²	80,1	40,0
	Fórmula	Peso molecular	Peso equivalente
Compuestos			
Hidróxido de aluminio	Al(OH) ₃	78,0	26,0
Sulfato de aluminio	Al ₂ (SO ₄) ₃	342,1	57,0
Alúmina	Al ₂ O ₃	102,0	17,0
Aluminato sódico	Na ₂ Al ₂ O ₄	164,0	27,3
Bicarbonato cálcico	Ca(HCO ₃) ₂	162,1	81,1
Carbonato cálcico	CaCO ₃	100,1	50,1
Cloruro cálcico	CaCl ₂	111,0	55,5
Hidróxido de cálcico (puro)	Ca(OH) ₂	74,1	37,1
Hidróxido cálcico (90%)	Ca(OH) ₂	—	41,1
Sulfato cálcico (anhidro)	Ca ₂ SO ₄	136,2	68,1
Sulfato cálcico (yeso)	CaSO ₄ •2H ₂ O	172,2	86,1
Fosfato cálcico	Ca ₃ (PO ₄) ₂	310,3	51,7
Fosfato disódico	Na ₂ HPO ₄ •12H ₂ O	358,2	119,4
Fosfato disódico (anhidro)	Na ₂ HPO ₄	142,0	47,3
Óxido férrico	Fe ₂ O ₃	159,6	26,6
Óxido de hierro (magnético)	Fe ₃ O ₄	321,4	—
Sulfato ferroso (caparrosa)	FeSO ₄ •7H ₂ O	278,0	139,0
Bicarbonato magnésico	Mg(HCO ₃) ₂	146,3	73,2
Carbonato magnésico	MgCO ₃	84,3	42,2
Cloruro magnésico	MgCl ₂	95,2	47,6
Hidróxido magnésico	Mg(OH) ₂	58,3	29,2
Fosfato magnésico	Mg ₃ (PO ₄) ₂	263,0	43,8
Sulfato magnésico	MgSO ₄	120,4	60,0
Fosfato monosódico	NaH ₂ PO ₄ •H ₂ O	138,1	46,0
Fosfato monosódico (anhidro)	NaH ₂ PO ₄	120,1	40,0
Metafosfato	NaPO ₃	102,0	34,0
Bicarbonato sódico	NaHCO ₃	84,0	84,0
Carbonato sódico	Na ₂ CO ₃	106,0	53,0

* Nota: Las valencias se muestran con + y - en la columna de la fórmula iónica. (Cortesía de Nalco Chemical Co.)

