

Pruebas avanzadas de agua

SANEAMIENTO Y OXIDACIÓN PARA PISCINAS Y SPAS

Cuando se mantienen en los niveles adecuados, los desinfectantes matan las algas, las bacterias, los virus y otros organismos microscópicos que viven en el agua de la piscina o spa. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de EE. UU. reconoce el cloro, el bromo y la biguanida polimérica (PHMB) como sanitizantes. El cloro y el bromo también están registrados en la EPA como desinfectantes, es decir, productos químicos que son capaces de matar el 99.99 % de E. coli y S. faecalis en 30 segundos. Además de la sanitización, tanto el cloro como el bromo también oxidan (“quemar”) contaminantes orgánicos tanto de los bañistas como del medioambiente. En general, alrededor del 90 % de la actividad química del cloro y el bromo es oxidación y 10 % de sanitización. La PHMB no es un oxidante.

Cloro El cloro está disponible en seis tipos de productos de tratamiento. Todos reaccionan con agua para producir ácido hipocloroso (HOCl). El HOCl es la forma de matar del cloro. Los primeros cuatro compuestos del cloro en el siguiente cuadro son formas no estabilizadas de cloro, lo que significa que no contienen ácido cianúrico en su composición química. El ácido cianúrico reduce la velocidad a la que la luz ultravioleta del sol destruye el cloro libre, lo que le permite durar de tres a cinco veces más que el cloro no estabilizado. Los dos últimos se estabilizan con ácido cianúrico (“isos”). El uso de isos durante demasiado tiempo puede acumular ácido cianúrico hasta un punto en el que el cloro tarda más en matar algas, bacterias y virus en el agua (“sobrestabilización”). Nota: ¡La mezcla o la contaminación cruzada de estos productos químicos puede causar una explosión o un incendio!

Compuesto de cloro	Forma	Fuerza activa	Contenido de cloro disponible	pH en solución al 1 %	Ventajas	Desventajas
Gas	Gaseoso	100 %	100 %	0	Menos costoso.	La seguridad es un problema. Costos altos de equipo y transporte. Reduce el pH y la alcalinidad en el sitio de aplicación.
Hipoclorito de sodio	Solución acuosa	10-12 %	10-12 %	11-13	Completamente soluble en agua. Olores limpios y frescos.	Voluminoso de manejar. Aumenta significativamente TDS. Aumenta el pH.
Hipoclorito de calcio	Polvo blanco	45-78 %	45-78 %	8.5-11.8	Fácil de manejar. Se almacena bien. Funciona bien con agua blanda.	Aumenta el pH. No funciona bien con el agua dura. Clase 3, requiere cuidado extremo.
Hipoclorito de litio	Gránulos blancos	29 %	35 %	10.8	El compuesto de cloro más seguro. Completamente soluble en agua. No se requiere premezcla.	El costo mayor de cloro por libra. Nivel alto de TDS debido al 71 % de contenido inerte.
Tricloro	Gránulos o pastillas blancas	>99 %	90 % (54 % de contenido de estabilizador)	2.8-3.5	Disolución lenta. Funciona bien con los cloradores. De uso conveniente.	Reduce el pH. Reduce la alcalinidad total. Favorece la combustión (incendios).
Dicloro	Gránulos blancos	>99 %	55-63 % (57 % de contenido de estabilizador)	6.7	Disolución rápida. No se requiere premezcla. Poco efecto sobre el pH.	Forma más costosa de cloro estabilizado.

Bromo El bromo está disponible en cinco tipos de productos de tratamiento, como se resume a continuación. Todos reaccionan con agua para producir ácido hipobromoso (HOBr). El HOBr es la mejor forma de matar del bromo. El bromo combinado es un sanitizante con una efectividad aproximada del 80 % en comparación con el HOBr, pero tiene una vida corta, solo minutos.

Únicamente se hacen pruebas en el bromo total, porque las dos formas, tanto la libre y la combinada, son sanitizantes. Uno de los productos de reacción del bromo en agua es el bromuro (Br⁻). Este es el mismo bromuro que contienen dos de los productos de tratamiento. Los iones de bromuro se pueden convertir

Compuesto de bromo	Nombre químico	Forma	Fuerza activa	Contenido de cloro disponible equivalente	pH
BCDMH	1-bromo-3-cloro-5,5-dimetilhidantoína	Pastilla y gránulo	96 %	58 %	4.5-4.8
DBDMH	1,3-dibromo-5,5-dimetilhidantoína	Pastilla y pepita	99.4 %	54 %	6.6
BCDMH + DCDMH + DCEMH	1-bromo-3-cloro-5,5-dimetilhidantoína 1,3-dicloro-5,5-dimetilhidantoína 1,3-dicloro-5-etil-5-metilhidantoína	Pastilla y briqueta	98 %	62 %	3.6
Sistema de dos pasos de bromuro + oxidante	Br ⁻ + un oxidante (generalmente MPS)	Líquido/gránulo			6.5-8.0
Sistema de un solo paso de bromuro + oxidante	Br ⁻ + dicloro-s-triazinatriona sódica	Gránulo	99.6 %	53 %	4.5

Bromo (cont.) en HOBr con la adición de un oxidante: monopersulfato de potasio, cloro u ozono.

Los productos de bromo son seguros y fáciles de manejar, son buenos sanitizantes con poco olor y la eficiencia de sanitización es relativamente independiente del pH. Sin embargo, estos mismos productos son aproximadamente el doble de costosos

que el tricloro, una forma costosa de cloro. Producen agua ácida y destruyen la alcalinidad total. Requieren oxidación complementaria; de lo contrario, pueden provocar erupciones; y no hay estabilizador disponible para proteger el bromo de los rayos UV destructivos.

OTROS MÉTODOS

El **ozono** (O₃) es un gas ligeramente soluble en agua. Debe generarse *in situ*. Es un oxidante potente, pero, debido a su naturaleza inestable, no mantiene un residuo de sanitización. Tampoco permanece el tiempo suficiente para evitar que crezcan algas. Por lo tanto, el ozono debe usarse junto con cloro o bromo.

Los **sistemas de sal** generan cloro a través de la electrólisis del cloruro de sodio (NaCl) en agua. Los fabricantes especifican una concentración de entre 3000 y 5000 ppm de NaCl en el agua. Antes de agregar sal, haga una prueba en el agua para determinar el nivel real de NaCl. En piscinas nuevas o piscinas recién llenadas, el nivel de sal probablemente sea de cero. En piscinas ya usadas, el uso anterior de otros productos de cloro habrá introducido un nivel de sal en el agua. Agregue de acuerdo con las instrucciones que proporciona el fabricante.

Cuando la concentración de NaCl es correcta, el sistema producirá cloro. El nivel de cloro en el sistema será suficiente para oxidar todos los desechos y, en modo de choque, convertirá la mayoría de las cloraminas en compuestos inofensivos. El agua se sentirá suave como la seda y resplandecerá limpia si se mantiene adecuadamente. El pH tiende a aumentar, por lo que se necesitará la adición regular de ácido para mantener el equilibrio del agua.

PHMB es el acrónimo de la biguanida polimérica, que se vende por primera vez como Bacquacil®. La PHMB está registrada en la EPA de los EE. UU. como un sanitizante. La biguanida NO tiene capacidades oxidantes, por lo que se utiliza un oxidante complementario, peróxido de hidrógeno (H₂O₂) debido a su compatibilidad. La biguanida NO es compatible con cloro o bromo, choques sin cloro o cualquier producto a base de cobre. La PHMB es buena para las personas que tienen reacción alérgica cutánea al agua con cloro o bromo.

El **monopersulfato de potasio** es un agente de choque sin cloro que oxida el material orgánico, como los desechos de los bañistas, el polen, el polvo, etc. Es un buen producto para usar con cloro en piscinas cubiertas o en cualquier lugar donde se necesiten niveles bajos de cloro. El monopersulfato de potasio produce cloraminas ni blanquea revestimientos de vinilo. El monopersulfato de potasio se disuelve rápidamente, lo que permite la reentrada después de un tiempo de espera de una hora. Sin embargo, el monopersulfato de potasio NO elimina el cloro combinado y da una lectura de falso positivo para el cloro combinado en las pruebas con DPD o FAS-DPD, a menos que la interferencia se elimine antes de la prueba. El monopersulfato de potasio tiene un pH bajo (2.3 en una solución al 1 %) que causa una disminución en la alcalinidad total.

EQUILIBRIO HÍDRICO

A fin de evitar condiciones que conduzcan a daños en piscinas y spas, se deben mantener en equilibrio varios parámetros químicos del agua: principalmente el pH, la alcalinidad total y la dureza del calcio, pero también la temperatura del agua y los sólidos disueltos totales. Cuando el agua se ha tratado con cloro estabilizado, también se controla un sexto parámetro -ácido cianúrico- porque contribuye a la lectura de la alcalinidad total que se debe tener en cuenta. Una vez que se determinen estos valores, se utilizan con la fórmula matemática que se muestra a continuación para calcular el equilibrio hídrico.

Índice de saturación: $SI = pH + TF + \log CH + \log ALK - \text{Constante}$

SI es el Índice de saturación, pH es el pH medido, TF es el factor de temperatura, CH es la dureza de calcio medida, ALK es la alcalinidad medida (menos cualquier alcalinidad de cianurato) y la Constante es un factor combinado para la corrección de temperatura y fuerza iónica, más las conversiones de concentración.

El agua está idealmente equilibrada cuando el SI es cero. Sin embargo, el agua se considera equilibrada cuando el SI está entre -0.3 y +0.5. Cuando el SI es de -0.3 o menos, es probable que se produzca corrosión de las superficies y los accesorios de la piscina o spa. Los metales se disuelven y manchan las paredes. El yeso se marca, el hormigón se agujerea y la lechada se disuelve. Cuando el SI es de +0.5 o más, es probable que el carbonato de calcio salga de la solución, lo que causará, primero, agua turbia y, luego, formará una película blanca o depósitos blancos con costras (incrustaciones) en las superficies. Esto tapaná el filtro y las tuberías de circulación, lo que evitará la transferencia eficiente de calor en spas y piscinas calefaccionadas. Los calentadores son particularmente susceptibles a la corrosión y a la descamación.

Corrección de ácido cianúrico para la alcalinidad total

El ácido cianúrico (CYA) reacciona con el agua para crear iones de cianurato. Los iones de cianurato amortiguan el agua de la misma manera que lo hacen los iones de carbonato y bicarbonato. Los iones de cianurato se valoran como alcalinidad total (TA). Sin embargo, la alcalinidad del cianurato NO forma costras como la alcalinidad del carbonato en las superficies de piscinas o spa ni en las tuberías. Por esta razón, su contribución a la lectura de la prueba de TA se debe tener en cuenta cuando se calcula el Índice de saturación. (Nota: Otro problema con el ácido cianúrico es que se sabe que los niveles altos degradan las superficies de yeso).

Con un pH de 7.6, aproximadamente un tercio del ácido cianúrico se valora como alcalinidad total. Por ejemplo, con un pH de 7.6, si el agua analizada tiene 90 ppm de ácido cianúrico, 30 ppm de la alcalinidad total es alcalinidad del cianurato, NO alcalinidad del carbonato. Si el valor de alcalinidad total fuera de 100 ppm, solo 70 ppm sería alcalinidad del carbonato, que está por debajo del rango ideal y, por lo tanto, debe aumentarse.

El límite superior de la prueba de ácido cianúrico de Taylor es de 100 ppm. Cuando la lectura de la prueba de CYA es superior a 80 ppm, se recomienda realizar una dilución para garantizar la precisión de la corrección de la alcalinidad total. Por ejemplo, use partes iguales de agua del grifo y agua de la piscina o spa, y multiplique la lectura por 2. Si esta lectura de ácido cianúrico no es de 80 ppm o menos, vuelva a realizar la prueba usando una parte de agua de la piscina o spa y dos partes de agua del grifo, luego multiplique por 3. Repita las diluciones hasta lograr una lectura por debajo de 80 ppm. Registre la lectura aproximada de ácido cianúrico; luego corrija la lectura de alcalinidad total teniendo en cuenta el cuadro que se muestra a continuación. Multiplique la lectura de ácido cianúrico por el factor de CYA asociado con el pH medido; luego reste el resultado de la lectura de alcalinidad total para obtener el factor de alcalinidad de carbonato necesario para el Índice de saturación.

$AlkC = AlkTA - (CYA \times CYAf)$; donde CYA = concentración de ácido cianúrico en ppm y CYAf = factor de CYA (gráfico a continuación)

pH	6.5	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.5
Factor de CYA	0.11	0.22	0.26	0.30	0.33	0.35	0.36	0.38

El **tratamiento** comienza con pruebas. Una vez que se conocen las lecturas de todos los factores del equilibrio hídrico, es hora de calcular el equilibrio hídrico. A partir de este cálculo, junto con las recomendaciones de ANSI/APSP o NSPF, podemos determinar qué productos de tratamiento agregar, si corresponde, para mantener el equilibrio de una piscina o spa.

El primer paso de un tratamiento es agregar únicamente lo necesario para llevar los factores a los rangos recomendados. El ajuste del pH afectará la alcalinidad total y el ajuste de la alcalinidad total afectará el pH; por lo tanto, después de ajustar cualquiera de estos, realice pruebas en ambos al día siguiente. Vuelva a calcular el equilibrio hídrico para determinar si se requiere otro ajuste. Si puede elegir qué factor ajustar, utilice esta secuencia: 1) alcalinidad total (si el pH es superior a 6.8), 2) pH, 3) dureza del calcio.

El ajuste del pH y de la alcalinidad total se puede hacer químicamente. La dureza del calcio se puede elevar químicamente, pero solo la dilución la reducirá. La adición de agua de relleno probablemente cambiará el pH y la alcalinidad total. Vuelva a realizar la prueba después del llenado, vuelva a calcular el índice de saturación y, después, agregue los productos de tratamiento necesarios para lograr el equilibrio adecuado.

INTERFERENCIAS

La mayoría de las pruebas de agua involucran el desarrollo de color. Las interferencias en el agua pueden producir un color diferente al esperado o producir la intensidad de color incorrecta.

En el siguiente cuadro, se resumen algunas interferencias y qué diferencias de color esperar.

Posibles interferencias				
Prueba	Nivel alto de cloro	Metales: Cu, Fe, Mn	Nivel alto de calcio	Monopersulfato
Cloro	Puede causar blanqueamiento parcial o total de los reactivos de DPD, lo que genera una menor intensidad del color rosa o ningún color rosa.	Ninguno.	Puede hacer que la muestra se vuelva de color blanco turbio cuando se agrega DPD n.º 1.	Causará una lectura de falso positivo (color rosa más intenso) para el cloro combinado en cualquier nivel y para el cloro libre en niveles altos (más de 25 ppm).
pH	Puede crear un indicador diferente, el rojo de clorofenol, que es púrpura a pH 6.6 y niveles más altos.	Ninguno.	Ninguno.	Ninguno.
Alcalinidad total	Puede hacer que el color inicial sea celeste y el punto final sea amarillo, en lugar del color verde inicial esperado y el punto final rojo (rosa).	Ninguno.	Ninguno.	Ninguno.
Dureza del calcio	Ninguno.	El color azul esperado nunca se desarrolla por completo y el punto final se acerca al azul, pero se desvanece en un púrpura claro.	Ninguno.	Ninguno.

CÓMO SOLUCIONAR LAS INTERFERENCIAS

Nivel alto de cloro

Prueba de cloro. Si el cloro está alto en la muestra de agua, generalmente por encima de 10 ppm, los reactivos de DPD pueden blanquearse parcial o totalmente, lo que genera una lectura de falso bajo o de cero para el cloro. Para asegurarse de que la causa del color bajo es demasiado cloro, vuelva a realizar la prueba con 10 gotas de DPD n.º 1 y de n.º 2. Aunque no es una lectura correcta, el nivel alto de cloro debería dar una lectura más alta que la primera prueba. Otra opción es agregar PRIMERO 10 gotas de DPD n.º 1 y n.º 2 y, luego, agregar una pequeña cantidad de agua de muestra. Si ve una forma de color rosa, sabrá que la lectura de cloro es alta. La adición de más agua hará que se aclare el color rosa.

Cuando el cloro es moderadamente alto, más de 5 ppm pero menos de 10 ppm, y el color desarrollado es rojo oscuro fuera de escala: Repita la prueba con una muestra de 4.5 mL diluida hasta la marca de 9 mL con agua embotellada o de grifo. Multiplique la lectura por 2 para obtener una lectura aproximada de cloro. Si el color todavía está fuera de escala: Repita la prueba con una muestra de 1.8 mL diluida hasta la marca de 9 mL con agua embotellada o de grifo. Multiplique la lectura por 5 para obtener una lectura aproximada del cloro. (Este procedimiento de dilución también se aplica a las lecturas de bromo fuera de escala).

Prueba de pH. Si la lectura de cloro es alta, espere hasta que baje a un nivel normal; después vuelva a analizar el pH para procurar una lectura precisa. Algunos analistas neutralizan el sanitizante primero mediante la adición de una gota de neutralizador de cloro (es decir, tiosulfato de sodio). Esto no se recomienda, ya que la reacción entre el tiosulfato y el cloro puede cambiar el pH de la muestra y dar una lectura inexacta.

Prueba de alcalinidad total. Si el cloro es demasiado alto, uno de los dos indicadores en el indicador de alcalinidad total R-0008 se blanqueará y el cambio de color será de azul

a amarillo, en lugar del cambio esperado de verde a rojo (rosa). Para solucionar esta interferencia, agregue una gota adicional de reactivo de tiosulfato N/10 R-0007 a la muestra para eliminar la interferencia de cloro y vuelva a realizar la prueba.

Metales Asegúrese de identificar la fuente del metal a fin de solucionar el problema. Las fuentes probables son el cobre de los alquicidas o tuberías corroídas, o el hierro y el manganeso del agua de llenado. Vuelva a realizar la prueba agregando 5 o 6 gotas del reactivo de dureza R-0012 a la muestra de agua antes de la solución amortiguadora y el indicador; luego continúe con la prueba. Siempre incluya la cantidad de gotas agregadas de R-0012 al comienzo de la prueba cuando cuente la cantidad total de gotas necesarias para alcanzar el punto final azul.

Nivel alto de calcio Cuando el agua tiene un nivel alto de calcio, la muestra generalmente se vuelve turbia cuando se agrega el reactivo R-0001 DPD n.º 1. El R-0001 hace que tanto el carbonato de magnesio como el calcio se precipiten fuera de la solución porque su pH es 10 (alcalino). La turbiedad no afectará los resultados de la prueba y debería desaparecer cuando agregue R-0002 (DPD n.º 2) porque tiene un pH de 1.3 (ácido). Para evitar la turbiedad por completo cuando se sabe que la dureza del calcio es alta, agregue el agua de muestra a una celda de prueba que ya contenga 5 gotas de DPD n.º 1 y de n.º 2.

Choque con monopersulfato de potasio El monopersulfato de potasio produce una lectura de falso alto para el cloro combinado cuando está presente en el agua. El monopersulfato también producirá una lectura de falso positivo para el cloro libre cuando la concentración de monopersulfato es alta (más de 25 ppm). Elimine la interferencia de monopersulfato con el reactivo Deox R-0867 de Taylor para obtener una lectura precisa del cloro.

Técnicas de prueba

- Lea todas las instrucciones detenidamente.
- Enjuague las celdas completamente.
- Mida la muestra cuidadosamente. (¿Qué es un menisco?)
- Tape las celdas para mezclarlas.
- No deseche las soluciones en la piscina o spa: siga las pautas locales, estatales o federales.
- Use el tamaño de muestra correcto para evitar variaciones en el desarrollo del color.
- Interpole entre los estándares de color conocidos para que coincidan los colores.
- Controle el tamaño de la gota para las pruebas de titulación.
- No intercambie reactivos entre los kits de prueba de diferentes fabricantes.
- No espere para que coincidan los colores después del muestreo.
- Siga la regla "punto final + 1 gota"; no cuente la gota adicional si el color no cambia.
- No use reactivos contaminados o viejos.

Técnicas de prueba

PROBLEMA n.º 1:

pH = 7.4
Temp. = 76 °F
CH = 400 ppm
TA = 100 ppm
TDS = 500 ppm
SI = ¿_____?

¿Qué ajustes se deben implementar?

PROBLEMA n.º 2:

pH = 7.4
Temp. = 76 °F
CH = 400 ppm
TA = 100 ppm
TDS = 500 ppm
SI = ¿_____?

¿Qué ajustes se deben implementar?
