

DECLORACIÓN CON CARBÓN ACTIVADO GRANULAR

Una de las principales aplicaciones del carbón activado es la decloración, o eliminación de cloro libre del agua. Dicho compuesto no procede de las fuentes naturales de abastecimiento, tales como pozos, ríos o lagos. Tampoco es un contaminante, sino que es un químico que se agrega al agua, principalmente como desinfectante, y en ocasiones para controlar olor y sabor, controlar el crecimiento biológico o eliminar amoníaco.

La decloración consiste en un mecanismo complicado que puede seguir distintos caminos de reacción en los que el CA puede intervenir como reactivo o como catalizador.

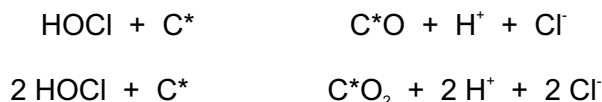
El cloro libre puede adicionarse al agua en forma de cloro líquido, solución de hipoclorito de sodio, o tabletas o gránulos de hipoclorito de calcio. En cualquiera de estos casos, el resultado es el mismo, quedando el cloro disuelto en forma de ácido hipocloroso (HOCl), un ácido débil que tiende a disociarse parcialmente, como sigue:



La distribución entre ácido hipocloroso y ion hipoclorito (OCl^-) depende del pH y de la concentración de estas especies. A ambas formas moleculares se les define como cloro libre. Las dos son fuertes oxidantes que al ser adicionados al agua empiezan por reaccionar de manera casi inmediata con impurezas orgánicas e inorgánicas y susceptibles de oxidarse. El cloro que reacciona en esta etapa deja de ser libre y pasa a ser combinado. El restante, requiere de algún tiempo, que puede ir de unos cuantos segundos a varias decenas de minutos, según su concentración, para ejercer un efecto biocida en los microorganismos. Se cree que la toxicidad del cloro libre radica en la reacción de éste con el sistema enzimático de las células.

El cloro que interviene en esta etapa de desinfección, también se combina y deja de ser libre. Una vez terminada esta etapa, es necesario eliminar el cloro libre residual, no sólo porque es tóxico para el ser humano, sino porque imparte un mal sabor y olor al agua, interfiere con procesos industriales, daña a la mayoría de las resinas de intercambio iónico utilizadas en los suavizadores y en los desmineralizadores, y afecta a las membranas de ósmosis inversa.

Aunque se han desarrollado varios procesos para disminuir los niveles de cloro libre en agua, la decloración en un lecho fijo de carbón activado granular (CAG) ha sido el más rentable, y por lo tanto el más común. Se trata de un tanque cilíndrico vertical con una cama de CAG por la que se hace circular el agua. Cuando el carbón se expone al cloro libre, se llevan a cabo reacciones en las que el HOCl o el OCl^- se reducen a ion cloruro (Cl^-). Dicha reducción es el resultado de distintos caminos de reacción posibles. En dos de los más comunes, el CAG actúa como un agente reductor, de acuerdo con las siguientes reacciones:



en donde C^* representa al carbón activado. C^*O y C^*O_2 son óxidos superficiales, que poco a poco van ocupando espacios, que al quedar bloqueados, ya no participan en la reacción. Algunos de estos óxidos se liberan hacia la solución. Esto vuelve a dejar espacios disponibles que por lo tanto aumentan la capacidad del

CAG para esta reacción de reducción. En cuanto al Cl^- , también se acumula en la superficie del carbón durante los primeros momentos de operación. Al seguir llegando HOCl o OCl^- a la superficie del carbón, la reacción se hace un poco más lenta, y entonces se empieza a liberar el Cl^- . Esta disminución de velocidad se debe a la ocupación de espacios por los óxidos superficiales. Dicha ocupación continúa de manera gradual, mientras disminuye la capacidad, tanto de adsorción como de dechloración del CA.

En las reacciones anteriores, puede intervenir el OCl^- , en lugar del HOCl , con la diferencia de que no se produce H^+ . Puede observarse que el carbón activado reacciona y por lo tanto desaparece. Si no hubiera acumulación de óxidos superficiales, la reacción continuaría hasta la desaparición completa del carbón.

Otro camino de reacción, en el que el carbón actúa solamente como catalizador, es el siguiente:



Éste se favorece cuando un porcentaje importante de la superficie del CAG ya está saturada. Por otro lado, existen muchas otras posibles reacciones, algunas de las cuáles se llevan a cabo entre el cloro libre y los óxidos superficiales que estaban presentes en el carbón desde antes de su aplicación. Cada una de ellas puede formar otros grupos más complejos, con la subsecuente liberación de H^+ y Cl^- . Un ejemplo de éstas es:



Con todo lo anterior, se observa que la dechloración es una operación compleja, en la que el CAG actúa como quimiadsorbente. Se han desarrollado varias expresiones matemáticas que intentan describir la dechloración en camas de carbón, pero ninguna de ellas ha sido suficientemente precisa.

Hay que aclarar que al mismo tiempo que el CAG actúa como dechlorador, adsorbe la materia orgánica presente en el agua. Por lo tanto, a mayor contaminación orgánica, disminuye su tiempo de vida como dechlorador, y viceversa. También hay que mencionar que aún cuando el carbón siga eliminando todo el cloro libre, puede ya no estar reteniendo materia orgánica. Es decir, termina antes su capacidad de adsorción física de moléculas orgánicas que su capacidad para dechlorar. Muchas empresas potabilizadoras cuya agua contiene algunos contaminantes orgánicos, erróneamente deciden cambiar el carbón hasta que encuentran trazas de cloro libre en el efluente del dechlorador.

En las plantas de tratamiento de agua proveniente de pozo, el agua se clora a una concentración de entre 1 y 6 mg/l como cloro libre. Después del dechlorador, la máxima permisible suele ser menor a 0.1 mg/l. La capacidad mínima esperada para un CAG en los casos más difíciles de dechloración es decir, en aquellos en los que existe materia orgánica presente en el agua es de 400 m³ de agua tratada por kilogramo de carbón.

Condiciones que afectan la dechloración

1. Al disminuir el tamaño de partícula del CAG, aumenta considerablemente la velocidad de difusión, y por lo tanto la velocidad de dechloración. Como consecuencia, aumenta el tiempo de vida útil. El uso del menor tamaño de partícula posible, es la manera más sencilla y eficaz de lograr el mayor aprovechamiento del CAG.
2. El pH del influente controla la forma del cloro libre en el agua. Cuando su valor es de 7.6, la mitad del cloro libre está presente como HOCl y la otra mitad como OCl^- . La reacción del HOCl con el carbón activado es mucho más rápida que la del OCl^- . A un pH de 4, casi todo es HOCl y a un pH de 10, casi todo es OCl^- . Por lo tanto, mientras menor es el pH, la reacción es más rápida, y el resultado es un mayor tiempo de operación antes de detectar cloro libre en el efluente.

3. La velocidad de dechloración aumenta al aumentar la temperatura, debido a que la viscosidad del agua disminuye, haciendo más rápida la difusión del cloro libre hacia la superficie del CAG. Como resultado, también se alarga la vida útil del carbón.
4. Al aumentar la concentración de cloro libre en el influente, se satura el CAG en menor tiempo.
5. Independientemente del valor que puedan tener las distintas condiciones anteriores, el CAG tiene una alta capacidad de dechloración en relación con la de adsorción de contaminantes orgánicos. Por lo tanto, para el caso de los dechloradores no se justifica la operación en múltiples columnas en serie, y la optimización debe concentrarse en la búsqueda de las condiciones de operación más apropiadas para un solo equipo.