

POTABILIZACIÓN CON DIFERENTES COAGULANTES DE ALUMINIO Y HIERRO

Sr. Tuomas Rinne

El Sr. Tuomas Rinne nació en Turku, Finlandia y se graduó con maestría en derecho de la Universidad de Turku el año 1996. Ha trabajado como Gerente Comercial de Enprotec, Ltd (EU), Gerente General de Kemmex, S.A. de C.V. (México) y desde el año 1998 como Director General de Kemwater de México, S.A. de C.V. (México), que forma parte del Grupo Kemira Kemwater, empresa multinacional de origen finlandesa, líder mundial en el tratamiento físico-químico de aguas.

Dirección: Carr. Xoxtla-Tlaltenango S/N – Nativitas - 90729 Tlaxcala - México - Tel.: +52 22815336 - Fax: +52 22815336
e-mail: enprotec@compuserve.com

INTRODUCCIÓN

La función del tratamiento de agua es producir agua potable de buena calidad par uso doméstico y para aplicaciones industriales. Recientemente la disponibilidad del agua se ha convertido en una problemática en muchas regiones donde no existen suficientes fuentes de agua de buena calidad. Al mismo tiempo la contaminación cada vez más seria de los ríos, lagos e incluso del agua subterránea hacen el tratamiento de agua potable un reto más difícil.

DESARROLLO DEL TEMA

La calidad del agua cruda

Hoy en día algunos países ya están dispuestos a pagar el elevado costo de producir agua potable de agua del mar a través del proceso de osmosis reversa. Sin embargo, las fuentes más comunes para el agua potable son agua subterránea y el agua superficial, como es el caso de ríos, lagos y presas artificiales. El proceso de coagulación química es el método más eficiente para la remoción de impurezas del agua superficial. Estas impurezas son formadas por pequeñas partículas de diferentes tamaños.

Se debe de mencionar que la calidad del agua cruda varía dramáticamente cuando se usa una fuente de agua superficial. Normalmente la calidad es mucho mejor cuando hay poca lluvia y suficiente cantidad de agua disponible en la fuente. Cuando el nivel del agua en un río es muy bajo, el agua puede ser mezclada con lodo o contaminación. Durante lluvias fuertes tanto la turbiedad como el color del agua incrementan muy rápidamente. Lo mismo sucede cuando la nieve se descongela después del invierno en países con un clima más frío.

Independientemente de las muy variadas condiciones del agua cruda, las plantas de tratamiento de agua potable tienen que estar operando, y suministrando sin interrupción un agua limpia, segura y de buen sabor para la población.

Requisitos para el tratamiento de agua potable

El agua que recibimos en nuestras casas tiene que tener una buena calidad. El propósito principal del tratamiento es la remoción de bacterias patógenas del agua cruda, lo que se lleva a cabo con una sedimentación o flotación química y con una desinfección. Los estándares de tratamiento varían dependiendo del país en cuestión, aunque existen normas internacionales de la Organización Mundial de la Salud, que están respetadas por la mayoría de los países. Los parámetros básicos para el agua potable que se miden en algunos países son:

Tabla 1 – Estándares para la calidad del agua potable

	UE	EU	México
Turbiedad (NTU)	Tendencia >1,0	0,5	5
Color (Pt-Co)	Aceptable para los consumidores	15	20
PH	6.5 a 9.5	6.5 a 8.5	6.5 a 8.5
Aluminio (mg/l)	0.20	0.05 a 0.20	0.20
Hierro (mg/l)	0.20	0.30	0.30
Manganeso (mg/l)	0.05	0.05	0.15
Coliformes totales (MPN/ml)	0/100 ml	0	
Coliformes fecales (UFC/ml)	0/100 ml	0	

Dependiendo de las condiciones específicas del país, algunos otros parámetros pueden tener una importancia mayor, por ejemplo el contenido de metales pesados.

El proceso de la coagulación química

Existe una gran variedad de diseños de plantas de tratamiento de agua potable, algunos de éstos son buenos, otros no tanto. Sin importar la diferencia de estos procesos, las etapas del proceso de una planta de tratamiento de agua potable con coagulación química son:

- 1) Screening
- 2) Mezcla rápida (coagulación)
- 3) Mezcla lenta (floculación)
- 4) Clarificación (sedimentación o flotación)
- 5) Filtro (Filtro de arena / Carbón activado granulado (GAC))
- 6) Desinfección (Cloro, Ozono, UV, etc.)

Coagulantes inorgánicos disponibles

Los productos más comunes en el tratamiento químico de aguas son:

- Sulfato de Aluminio
- Cloruro de Aluminio / Policloruro de Aluminio
- Aluminato de Sodio
- Cloruros de Hierro
- Sulfatos de Hierro
- Mezclas Inorgánicas / Orgánicas

Tradicionalmente el *Sulfato de Aluminio (Alum)* ha sido el químico coagulante dominando el mercado. Alum ha sido disponible en todo el mundo con un costo razonable porque ha sido fácil de producir, incluso en fábricas muy sencillas. Por esta razón la mayoría de las plantas están diseñadas para Alum, y el personal de las plantas está capacitado para usar el Alum. El Alum está disponible en presentación líquida y sólida, así como en diferentes grados de pureza: producto estándar con un alto contenido de hierro residual, y producto libre de hierro, que prácticamente no contienen nada de hierro. Aún Alum manteniendo su posición como un producto útil, se han desarrollado e introducido en varios nuevos coagulantes en el mercado. A través de la polimerización del hidróxido de Aluminio (normalmente con el ácido clorhídrico) es posible producir coagulantes que son menos ácidos que el Alum.

Las ventajas de un coagulante de *Policloruro de Aluminio (PAC)* son muchas. El pH óptimo de la coagulación puede ser más alto que cuando se usa el Alum. El pH de la coagulación puede ser el mismo de la distribución en aguas con alcalinidad alta. Muchas veces es posible usar el PAC sin alcalinización en el proceso de coagulación. La remoción de las sustancias orgánicas es mejor con el PAC en comparación con el Alum. Problemas con agua fría y con un proceso demasiado lento de la formación de flóculos pueden muchas veces ser resueltos con el PAC porque reacciona más rápido que el Alum. Varios diferentes grados de coagulantes de PAC han sido desarrollados durante las últimas décadas. Los productos pueden tener una basicidad diferente, pueden tener presentación líquida o sólida o parte del grupo de cloruros puede ser sustituido por sulfatos. Si se adiciona un flóculante con el coagulante polimerizado una floculación muy rápida es posible con una muy baja dosis de químicos.

Las *Sales de Hierro 3+ (Sales Férricas)* han sido siempre conocidas como coagulantes. Éstas no han sido tan populares como los químicos a base de Aluminio por el hecho que el color del hidróxido de Hierro es oscuro. El proceso generalmente se ve más sucio y los problemas en el proceso son más visibles que cuando se usa el Alum o un PAC. Sin embargo, el Hierro (III) es un coagulante muy eficiente con dos rangos de trabajo de pH. El rango más bajo empieza en aproximadamente 3.5 y termina en pH 7.0 para un agua con alcalinidad alta. El rango más alto es de 8.0 hasta por lo menos 9.5. Es posible escoger el rango de pH para la coagulación dependiendo de las necesidades de purificación. En un pH bajo la remoción de las sustancias orgánicas y del color es buena, así como la remoción de bacteria y plankton. Para la remoción de Hierro y Manganese se requiere el rango alto de pH. También se pueden usar las *Sales de Hierro 2+ (Sales Ferrosas)* como coagulantes, aunque generalmente tienen menor eficiencia que las Sales Férricas.

Ventajas y desventajas de diferentes coagulantes

- **Sulfato de Aluminio (Alum)**

- + Conocido, Buena disponibilidad.
- + Plantas normalmente diseñadas para el Alum
- + El personal capacitado para el Alum y conoce su comportamiento
- + Autoridades no cuestionan el uso del Alum
- + Forma flóculo blanco casi invisible
- Se requiere normalmente un control del pH
- El rango de trabajo de pH muy limitado
- La remoción de material orgánica en el proceso limitada
- Problemas con agua de alta turbiedad
- Muchas veces requiere un ayudante de floculación (polímero) para flocular
- Problemas con alto contenido de Aluminio residual

- **Policloruro de Aluminio**

- + Normalmente no requiere un ajuste del pH
- + En comparación con el Alum:
 - * Un rango de trabajo de pH más amplio
 - * Aluminio residual más bajo
- + Mejor comportamiento que el Alum:
 - * En aguas frías
 - * En la remoción de sustancias orgánicas
 - * En la remoción de turbiedad y color
 - * Produce menos lodo
- + Manejo más fácil de producto líquido y sólido
- + Menor consumo de polímero
- + Menor dosis de Aluminio que con el Alum
- + Velocidad de reacción muy alta
- + Ahorro importante en feltes cuando se utiliza un producto seco
- + El producto sólido se disuelve fácil, sin insolubles
- Precio más alto por kg que con el Alum (compensado con una menor dosis)
- Un pH demasiado alto para la coagulación puede bajar la remoción de sustancia orgánica

- **Cloruro Férrico**

- + Muchas veces el coagulante de bajo costo
- + Alta velocidad de reacción
- + El rango bajo de pH 3.5 – 7.0 es superior en la remoción de sustancias orgánicas, bacteria y plankton
- + El rango alto de pH 8.0-9.5 es usado para la remoción de Hierro y Manganeseo
- + No hay problemas con el Aluminio residual
- + Muchas veces eficiente sin ayudante de floculación (polímero)
- El producto requiere un mejor diseño de proceso que el Alum o PAC

- Problemas en el proceso pueden causar un color y precipitación en el agua tratada
 - La dosis de Hierro es mayor a la dosis de Aluminio (el peso molecular de Hierro es mayor)
 - Muy corrosivo para manejar y almacenar
 - Comercialmente disponible solo en presentación líquida
- **Sulfato Férrico**
 - + Muchas veces el coagulante de bajo costo
 - + Alta velocidad de reacción
 - + El rango bajo de pH 3.5 – 7.0 es superior en la remoción de sustancias orgánicas, bacteria y plankton
 - + El rango alto de pH 8.0-9.5 es usado para la remoción de Hierro y Manganeseo
 - + No hay problemas con el Aluminio residual
 - + Muchas veces eficiente sin ayudante de floculación (polímero)
 - + Fácil y seguro a manejar y almacenar, tanto líquido como sólido
- El producto requiere un mejor diseño de proceso que el Alum o PAC
 - Problemas en el proceso pueden causar un color y precipitación en el agua tratada
 - La dosis de Hierro es mayor a la dosis de Aluminio (el peso molecular de Hierro es mayor)
 - El producto sólido necesita una muy buena mezcla en la unidad de dilución

Dosificación

Uno de los detalles más importantes en una planta de tratamiento de agua potable es el punto de dosificación del coagulante inorgánico. Para obtener la mejor eficiencia es muy importante tener una excelente mezcla en el punto de mezcla rápida donde se dosifica el coagulante. El primer segundo después de la dosificación es el tiempo más importante para el proceso de coagulación. En este respecto diferentes coagulantes tienen diferentes velocidades de reacción, y pueden tener un buen comportamiento aún con una mezcla menor. Especialmente los productos PAC son conocidos por su alta velocidad de reacción y una coagulación más rápida.

Tradicionalmente la dosificación ha sido un proceso relativamente manual. Hoy en día existen equipos modernos de dosificación, con automatización tanto para productos sólidos como para productos líquidos. También se debe de conocer y medir las cantidades exactas y la calidad del influente, y estos datos se pueden computarizar y enviar como instrucciones directamente para el equipo de dosificación. Pero no importa que tan moderno es el equipo de dosificación, aún el operador siempre tiene que conocer el proceso y estar listo a actuar según las necesidades de la planta cuando la calidad del agua cambia.

Evaluación práctica

Existen algunas reglas para la aplicación y la eficiencia de los coagulantes inorgánicos, pero hay que aceptar que todas las aguas crudas son diferentes, así como las necesidades y

requisitos en cuanto a la calidad del agua tratada. Entonces, es imposible teóricamente calcular cual químico daría el mejor comportamiento en una planta específica.

El método más confiable para probar diferentes coagulantes es realizar pruebas en dos etapas: 1) Primero en prueba de jarras a nivel laboratorio, y 2) posteriormente en prueba de campo a nivel planta. Una prueba de jarras es una forma relativamente rápida y barata para probar diferentes productos, y por eso se recomienda que siempre se pruebe todos los coagulantes potenciales disponibles. En la prueba de jarras los variables para todos los productos igualmente son la dosis, pH y la adición de un ayudante de floculación (polímero). Hay que acordar que todos los productos deben de ser probados en condiciones absolutamente similares en cuanto a las muestras de agua cruda así como los tiempos de mezcla y clarificación.

Una vez que se haya seleccionado el producto más potencial en las pruebas de jarras, se procede para planear una prueba a nivel planta. La condición ideal para una prueba a nivel planta es cuando se puede correr una línea de tratamiento con el producto en prueba con otra(s) línea(s) similar(es) usando el químico que normalmente es usado en la planta. De esta manera se puede justamente evaluar cual producto da mejores resultados en condiciones iguales. Una prueba a nivel planta siempre debe de ser organizada en absoluta cooperación y transparencia con el proveedor. De todos modos, debe de ser el interés mutuo de desarrollar el mejor posible proceso de tratamiento y calidad de agua en la planta en cuestión.

Economía

Normalmente el precio es el factor más importante para la selección de un coagulante. Esto no significa que el precio por kg contra otro coagulante sería más barato, sino que el costo global del tratamiento \$/m³ debe de ser más económico. Esta evaluación es normalmente un trabajo global y complicado en la planta, que tiene que ser realizada por el operador, considerando los siguientes aspectos:

- Costo de coagulante
- Dosis de coagulante
- Costo de polímero
- Dosis de polímero
- Costo de ayudantes de filtración
- Agua perdida en el lavado de los filtros
- Costo del ajuste de pH
- Costo de desinfección
- Producción de lodo
- Mantenimiento & dosis de coagulante
- Valor de la mejor calidad del agua

Sería muy recomendable si el operador, como cliente, haría el esfuerzo para estudiar y entender la estructura de los costos y el precio de los coagulantes, incluyendo: materias primas, fletes, empaque y almacenamiento del producto. En especial sería interesante involucrar los operadores de Centro América en este estudio, porque hoy en día, en la región no se cuenta con mucha producción local de coagulantes y la mayoría son productos importados.

Casos históricos

Se presentarán tres casos donde se ha cambiado un coagulante para otro con mejor comportamiento:

- Helsinki, Finlandia, cambio de Alum a Sulfato Férrico
- Fairfax County, EU, cambio de Alum a PAC
- Svetogorsk, Rusia, cambio de Alum a PAC

Conclusiones

Al tener normas de agua potable cada vez más estrictas, es muy importante que los operadores de diferentes plantas conozcan los resultados de la tecnología moderna de coagulantes, y la disponibilidad de nuevas líneas de productos. Ellos tienen que tomar la iniciativa y tener el soporte por parte de sus superiores para correr pruebas con diferentes productos. Varias empresas químicas e ingenieros sanitarios están dispuestos a ofrecer sus servicios y ayudarles en encontrar el mejor posible producto para cada planta.

Bibliografía

1. El Agua en México: Retos y Avances, Comisión Nacional del Agua, Octubre de 2000.
2. Chemical Coagulation in Water Purification, Gösta Wahlroos, Julio de 1997.
3. La Contaminación Ambiental en México, Blanca Elena Jiménez Cisneros, Limusa Noriega Editores, 2001.
4. Selección Óptima de Coagulante y Floculante, Britt Muotka, Mayo de 2000.
5. Vedenkäsittelyn Käsikirja, Kemira Kemi Ab, 1996.
6. Improvement of TOC removal and Residual Aluminium by Replacement of Aluminum Sulphate using Polyaluminium Chloride or Ferric Sulphate, Anders Nordström Enkel, Mayo de 2000.
7. Kemwater Academy, Juan González, Septiembre de 2000.