

ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE COAGULACIÓN DEL SISTEMA COLOIDAL DE $Fe(OH)_3$ POR INFLUENCIA DE ALGINATO DE SODIO

N. Tapia H.¹, C. Abanto J.², Nora Rojas P.³, A. Yarango R.⁴, I. Reyes M.⁵

RESUMEN

Se ha estudiado la influencia de la concentración y del pH de la solución de alginato de sodio en la cinética del proceso de coagulación del sistema coloidal de $Fe(OH)_3$ formado por partículas coloidales de carga positiva. De los datos experimentales se deduce que la cinética del proceso de coagulación aumenta cuando la concentración de la solución de alginato es 0.1% y el pH es 4.

Palabras clave: Coagulación, efecto pH, alginato de sodio, coloide $Fe(OH)_3$

STUDY OF THE KINETIC ONE COAGULATION OF THE COLOIDAL SYSTEM OF $Fe(OH)_3$ BY INFLUENCE OF SODIUM ALGINATE

ABSTRACT

It has been studied the influence of the concentration and the pH of solution of sodium alginate in the kinetic of coagulation of colloidal system of $Fe(OH)_3$ with positive colloidal particles. From the experimental date we deduce that coagulation is better for 0.1% of concentration and pH=4.

Keywords: Coagulation, pH effect, sodium alginate, colloid $Fe(OH)_3$

1. INTRODUCCIÓN

La turbiedad y el color del agua son principalmente causados por partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales. Estas partículas permanecen en suspensión por un tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino. Para eliminar estas partículas se recurre al proceso de coagulación.

La coagulación por medio de un polímero como el alginato de sodio se da por el mecanismo de adsorción y puente, en el las moléculas del polímero, que son muy largas, contienen grupos químicos que pueden adsorberse en la superficie de las partículas coloidales, formando de esta manera puentes entre las partículas coloidales. Este proceso

da lugar a la formación de coágulos muy pesados que posteriormente conduce a la floculación del sistema coloidal^[1-10].

Los alginatos son obtenidos a partir del procesamiento de una gran cantidad de especies de algas pardas entre ellas tenemos a la *Macrocystis Pyrifera*. Alginato es un término muy general, usado para describir las sales del ácido algínico, siendo la más común el alginato de sodio. Los ácidos algínicos son polisacáridos lineales compuestos de proporciones variables de enlaces (β 1-4) ácido D-manurónico o ácido manurónico y (α 1-4) L-ácido gulurónico o ácido gulurónico. La disposición de los monómeros en este copolímero se conoce como "estructura en bloques" (ver Fig. a), disposición que le confiere a los alginatos propiedades de

1 natapiah@unmsm.edu.pe, Departamento de Físicoquímica, FQIQ-UNMSM.
2 nrojas@unmsm.edu.pe, Departamento de Físicoquímica, FQIQ-UNMSM.
3 ayarangor@unmsm.edu.pe, Departamento de Físicoquímica, FQIQ-UNMSM.
4 ireyesm@unmsm.edu.pe, Departamento de Físicoquímica, FQIQ-UNMSM.

espesante y gelificante en soluciones, y de estabilizante de espumas, suspensiones y emulsiones.

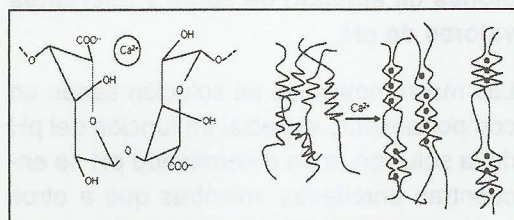


Fig. A. Estructura de los alginatos.

2. FUNDAMENTOS

La coagulación y floculación son dos procesos dentro de la etapa de clarificación del agua. Ambos procesos se pueden resumir como una etapa en la cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flocs tal que su peso específico supere a la del agua y puedan precipitar.

La coagulación se refiere al proceso de unión de las partículas suspendidas debido a la disminución de las fuerzas de repulsión entre ellas. Este proceso ocurre cuando la doble capa eléctrica es comprimida por acción de iones de carga contraria a la carga de la partícula coloidal. La floculación es el proceso mediante el cual las partículas que se han unido entran en contacto con otras partículas, creando agrupaciones de mayores dimensiones y mayor peso, que fácilmente pueden precipitarse. La coagulación por acción de macromoléculas se realiza por el mecanismo de adsorción y formación de puentes entre las partículas coloidales (ver Fig. b), debido a las grandes dimensiones de las macromoléculas. Éstas atrapan a las partículas coloidales dando lugar a la formación de coágulos tridimensionales muy pesados que posteriormente debido a su peso precipitan rápidamente. La coagulación puede ocurrir por uno de los siguientes mecanismos:

1. Compresión de la capa eléctrica.
2. Adsorción y neutralización de cargas.

3. Atrapamiento de partículas dentro de un precipitado.
4. Adsorción y puente con macromoléculas.

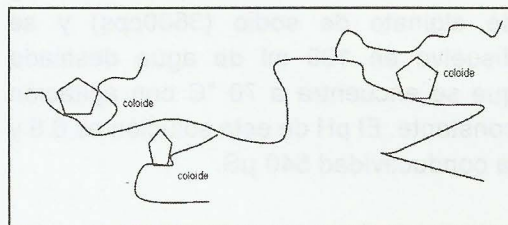


Fig. B. Adsorción tipo puente.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Equipos

Los equipos utilizados para el desarrollo de los ensayos fueron:

- Turbidímetro Microprocesador HI 93703 HANNA INSTRUMENT.
- Equipo de Jarras: agitador múltiple con paletas, de velocidad variable de 10 a 300 rpm, consta de seis puntos de agitación y paletas de 7,0x3,5 cm.
- pHmetro (Thermo electronic Russell RL060P, modelo portable).
- Conductímetro (Microprocessor Conductivity TDS meter HI 9836 HANNA).

3.2. Sistema coloidal $\text{Fe}(\text{OH})_3$

La preparación del sistema coloidal se realizó por el método de condensación química. Se prepara una solución sobresaturada de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, de esta solución con ayuda de una pipeta de 10 ml se adiciona 15 gotas a 1 l de agua destilada que se encuentra a la temperatura de 75°C , con agitación constante, se observará la formación de un sistema coloidal de color rojo intenso. El pH del sistema coloidal es $\text{pH}=2,3$ y la conductividad es 2,09 mS. La estructura de la partícula coloidal es:



3.3. Solución de alginato de sodio

El alginato de sodio es un polvo crema, soluble en agua caliente. Para preparar la solución al 0.1%, se pesa 100 mg de alginato de sodio (3600cps) y se disuelve en 100 ml de agua destilada que se encuentra a 70 °C con agitación constante. El pH de esta solución es 6,5 y la conductividad 540 μ S.

3.4. Pruebas de Jarra

Con la finalidad de determinar la concentración óptima de la solución de alginato de sodio que produzca la coagulación del sistema coloidal, se preparó cuatro soluciones a distintas concentraciones, éstas fueron 0,08, 0,09, 0,1 y 0.2 % en 100 ml. El pH de estas soluciones se ajustó a 4, mediante la adición de 0,1M HCl o 0,1M NaOH, antes de añadir al sistema coloidal. Después, cada volumen de solución coagulante se adiciona a cada jarra, que contiene a 1 l del sistema coloidal y se mezcla cuidadosamente por agitación constante a 60 rpm durante 5 minutos. El resultado experimental se muestra en la Figura 1.

3.5. Cinética de coagulación

Para el estudio de la cinética del proceso de coagulación se preparó 1 l del sistema coloidal $\text{Fe}(\text{OH})_3$, al cual se adiciona 100 ml de solución de alginato de sodio 0,1% y a pH = 4, luego se agita inicialmente a 100 rpm por 3 minutos y finalmente a 250 rpm por 7 minutos con un agitador magnético. Después de este tiempo, se procede a tomar muestras de 5 ml en forma continua hasta que el sistema precipite por completo. Las muestras se analizaron usando el turbidímetro y un conductímetro. Los resultados se muestran en las Figuras 2 y 3.

4. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

4.1. Coagulación de diferentes concentraciones de alginato de sodio y diferentes valores de pH.

Las macromoléculas en solución tienen un comportamiento especial en función del pH de la solución, a un determinado pH se encuentran enrolladas, mientras que a otros se encuentran desenrolladas. Para producir la coagulación de un sistema coloidal las macromoléculas deben de estar desenrolladas, en el caso del alginato de sodio se ha determinado que a un pH entre 4 y 5 la molécula se encuentra desenrollada⁽¹¹⁾; siendo el pH 4 el óptimo para producir la coagulación. Por esta razón, para determinar la concentración óptima de alginato de sodio, el pH de las soluciones se ajustaron a pH = 4. De los datos experimentales que se muestran en la Fig. 1, se ha determinado que la concentración óptima para realizar el proceso de coagulación es 0,1%. Cuando la concentración es alta, el biopolímero estabiliza al sistema coloidal y a bajas concentraciones la coagulación no se produce.

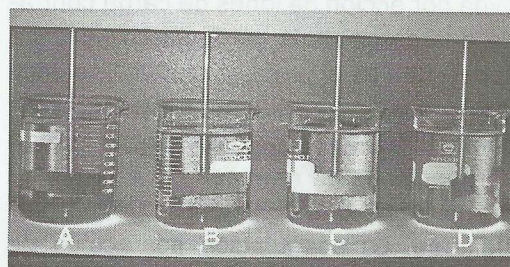


Fig. N.º 1. Influencia de la concentración en el proceso de coagulación.

4.2 Cinética de coagulación

La cinética del proceso de coagulación del sistema coloidal $\text{Fe}(\text{OH})_3$ se siguió utilizando el método de turbidimetría y conductometría. Los datos experimentales obtenidos por el método de turbidimetría se muestran en la Figura 2. De la gráfica experimental

se deduce que la coagulación es rápida y prácticamente termina a los 2,5 minutos de iniciado el proceso.

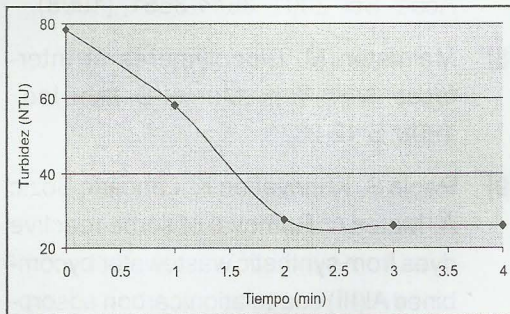


Fig. N.º 2. Curva de cinética de coagulación.

Método conductimétrico

Debido a la presencia de iones en los sistemas coloidales se puede utilizar el método conductimétrico para estudiar la cinética del proceso de coagulación. Es lógico pensar que durante el proceso de coagulación, la conductividad del sistema coloidal disminuye debido a que los iones de carga contraria al de la partícula coloidal se concentran cada vez más en la doble capa eléctrica y no quedan iones para conducir la electricidad. En la Figura 3 se muestra la gráfica de la conductividad versus el tiempo durante el proceso de coagulación. El mínimo de la gráfica nos indica que el proceso de coagulación termina a los 2,5 minutos de iniciado el proceso. Después que ha terminado la coagulación los iones comienzan a migrar hacia la solución, lo cual conduce a un aumento de la conductividad

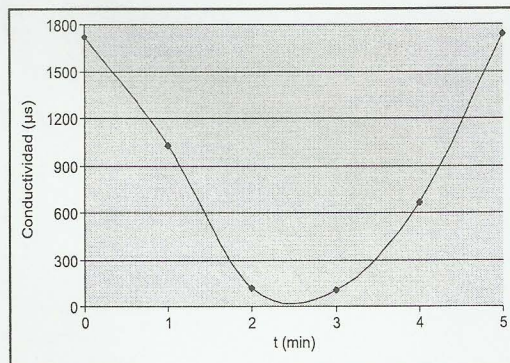


Fig. N.º 3. Curva de conductividad del proceso de coagulación.

de la solución, la cual ya no contiene a las partículas coloidales. Este resultado es muy importante porque se ha demostrado que la medida de la conductividad del sistema coloidal se puede utilizar para seguir la cinética del proceso de coagulación.

5. CONCLUSIONES

- Se ha demostrado a través del método de jarras que el pH óptimo de la soluciones de alginato de sodio para producir la coagulación del sistema coloidal $\text{Fe}(\text{OH})_3$ es $\text{pH} = 4$.
- Se ha demostrado a través del método de jarras que la concentración óptima de la solución del alginato de sodio para producir el proceso de coagulación es 0.1%; a mayores concentraciones el sistema coloidal alcanza una alta estabilidad.
- Se ha determinado a través del método de turbidimetría y conductimetría que la velocidad de coagulación del sistema coloidal $\text{Fe}(\text{OH})_3$ es un proceso rápido y termina a los 2,5 minutos de iniciado el proceso.
- Se ha demostrado que el método de conductimetría es un buen método para seguir la cinética de coagulación de los sistemas coloidales. La gráfica de la conductividad del sistema coloidal versus el tiempo pasa a través de un mínimo, el cual indica que la coagulación ha terminado. Además la gráfica demuestra que los iones migran de los coágulos hacia el medio dispersor, lo cual produce el incremento de la conductividad de la solución.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ravi Divakaran VN, Sivasankara Pillai. Mechanism of kaolinite and titanium dioxide flocculation using chitosan-assistance by fulvic acids. *Water Research* 2004; 38: 2135-2143.
- Bratskaya S, Schwarz S, Chevonetsky D. Comparative study of humic acids flocculation with chitosan hydrochloride.

- ride and chitosan glutamate. Water Research 2004; 38: 2955-2961.
- [3] Golob V, Vinder A, Simonic M. Efficiency of the coagulation method for the treatment of dyebath effluents. Dyes and pigments 2005; 67: 93-97.
- [4] Andia Cárdenas Y. Tratamiento de agua, coagulación y floculación, 2000. <http://www.sedapal.com.pe>
- [5] Roussy J, Van Vooren M, Dempsey BA, Guibal E. Influence of chitosan characteristics on the coagulation and the flocculation of bentonite suspensions. Water Research 2005; 39: 3247-3258.
- [6] Labille J, Thomas F, Milas M, Vanhaverbeke C. Flocculation of colloidal clay by bacterial polysaccharides: effect of macromolecule charge and structure. J. Colloid and Interface Science 2005; 284: 149-156.
- [7] Schowalter WR, Eidsath AB. Brownian flocculation of polymer in the presence of a secondary minimum. Proc. Natl Acad. Sci. 2001; 3644-3651, (1998).
- [8] Malmsten M. Biopolymers at Interfaces. New York: Marcel Dekker Inc., 1998; p 12-23.
- [9] Papic S, Koprivanac K, Loncaric Bozic A, Metes A. Removal of some reactive dyes from synthetic wastewater by combined Al(III) coagulation/carbon adsorption process. Dyes and Pigments 2004 62: 291-298.
- [10] Tapia N, Reátegui S, Villanueva C, Rojas N. Adsorción de Cu(II) por perlas de alginato de calcio con partículas atrapadas de *Lessonia Trabeculata*. Rev. Per. Quím. Ing. Quím 2007; Vol. 10, (2): 9-12.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Rawl Division VJ. *Water and Wastewater Treatment: Principles and Design*. Elsevier, 2003.

[2] Bhatnagar S, Raman S, Ghoshal S. Comparative study of batch adsorption with chitosan hydrochloride...



Fig. 1. Curva de adsorción de Cu(II) por perlas de alginato de calcio con partículas atrapadas de *Lessonia Trabeculata*.