



SELECCION DE LA DOSIS ÓPTIMA DE POLIMERO PARA EL ACONDICIONAMIENTO Y DESHIDRATACIÓN DE LODOS DE PLANTAS DE AGUA POTABLE MEDIANTE CENTRÍFUGAS DE LABORATORIO

Juan Carlos Escobar R.*

Empresas Municipales de Cali – EMCALI EICE ESP
Ingeniero Sanitario Universidad del Valle. Cali- Colombia.
Ph.D. Hidráulica y Saneamiento, Escuela de Ingeniería de São Carlos
- Univ. de São Paulo (EESC – USP) – Brasil.

Dirección: Carrera 56 No. 7 – 156 Oeste, Casa 54 - Cali- Colombia
Tel.: (57) (2) 5533313, Ofic. 4326655/4326652/4326653 – Fax: (57) (2) 4324099
e-mail: jescobar@mafalda.univalle.edu.co / jescobar@emcali.net.co



Luiz Di Bernardo.

Profesor Titular Escuela de Ingeniería de São Carlos – Universidad de São Paulo – Brasil.

RESUMEN

Fue evaluado un procedimiento empleándose una centrífuga de laboratorio para la optimización de la dosis de polímero utilizado en el acondicionamiento de lodos antes de su deshidratación en centrífugas de eje horizontal para tres tipos de lodo. Los residuos provenían de una planta de tratamiento de agua potable que utiliza la tecnología de la filtración directa, coagulación con sulfato de aluminio y recupera el agua de lavado de filtros mediante un proceso de clarificación. Los lodos producidos son espesados, acondicionados y deshidratados mecánicamente por medio de centrífugas. La aplicación e implementación del método evaluado permite determinar con mayor exactitud la dosis de polímero utilizada en el acondicionamiento de los lodos antes de la deshidratación con centrífugas a escala real, mediante el uso de centrífugas de laboratorio, fijándose los requerimientos en cuanto a la concentración de SST de la torta a ser obtenida. En el estudio se sugiere fijar el valor de la concentración de SST, lo cual va a depender de variables como el grado de deshidratación que se requiera teniendo en cuenta factores como el precio del transporte, rango de deshidratación de la centrífuga para este tipo de lodos, entre otros. Fue constatado que, en términos generales, el uso de polímero como acondicionador, favoreció la deshidratación del lodo en la centrífuga, principalmente cuando se comparan los tiempos necesarios para alcanzar las mismas concentraciones de sólidos en la torta (25%). Con relación a la rotación, para los tres tipos de lodos estudiados, se consiguieron los mejores resultados con 3100 rpm, con una intensidad de la fuerza centrífuga o número de gravedad Z de 1826. Se verificó adicionalmente que para un mismo tiempo de centrifugación y mismo tipo de lodo, cuanto mayor es la intensidad de la rotación y por tanto de Z en la centrífuga, mayor el grado de compactación de la torta.

Palabras Clave: Acondicionamiento de lodos, Centrifugación, Deshidratación, Lodos, Plantas de Agua Potable.

INTRODUCCION

El objetivo principal de los procesos y operaciones utilizados en las plantas de agua potable es la remoción de impurezas presentes en el agua, tornándola apropiada al consumo humano, garantizando condiciones de salud e higiene.

Los residuos del tratamiento de las aguas superficiales incluyen sólidos orgánicos e inorgánicos, algas, bacterias, virus, coloides, sales disueltas y otros, además de productos químicos adicionados al tratamiento. El material removido es principalmente retenido en los decantadores y en los filtros y presenta baja biodegradabilidad, gran concentración de sólidos totales, patógenos y eventual toxicidad. Estos residuos deben ser tratados y los lodos deshidratados deben ser dispuestos o debe dárseles un uso benéfico por medio de métodos ambientalmente viables.

Para la deshidratación de lodos, comúnmente son utilizados dos tipos de centrifugas, la de eje vertical (“basket”) y la de eje Horizontal (“solid bowl” o “decanter”). Estas se diferencian entre sí por el método de alimentación del lodo, magnitud de la fuerza centrífuga aplicada, método de alimentación y de descarga de la torta deshidratada y residuos líquidos de la deshidratación, sus costos y desempeño.

En el principio de funcionamiento de las centrifugas, la aceleración centrífuga actúa en la dirección radial, en el sentido del centro de rotación. Si el recipiente de la centrifuga es cilíndrico, su contenido ejerce sobre él una fuerza igual y opuesta a la fuerza centrífuga, dirigida a las paredes del recipiente; es esta fuerza la que causa la sedimentación de las partículas sólidas más densas (Grandin 1992).

El lodo de plantas de tratamiento de agua potable requiere de algún tipo de acondicionamiento químico para producir una efectiva separación líquido / sólido. Los polímeros son eficientes como acondicionadores químicos y son ampliamente utilizados en la deshidratación con centrifugas. Los polímeros tienen dos funciones en el acondicionamiento del lodo para deshidratación. La primera es desestabilizar las cargas de las partículas sólidas, para favorecer la aglomeración. La segunda función es aglomerar esas partículas en flocs, por medio de mecanismos de adsorción y formación de puentes entre las partículas y el polímero.

Un exceso de polímero puede causar reestabilización de las partículas y bajas concentraciones serán insuficientes para el fortalecimiento de los puntos de cohesión de los flocs, tornándolos incapaces de resistir las altas fuerzas cortantes existentes dentro de la centrifuga (Hagstrom, 1996).

Sin embargo, procedimientos para la optimización de la dosis de polímero, en aplicaciones de deshidratación mediante el uso de centrifugas no son ampliamente conocidos. En otras aplicaciones de deshidratación como la filtración al vacío, procedimientos como el ensayo del embudo de Buchner es usado para determinar la dosis óptima de polímero (Hagstrom, 1996).

Estudios a escala de laboratorio permiten determinar qué tan eficiente es un polímero como acondicionador y determinar la dosis aproximada necesaria para deshidratar un lodo en particular. En la centrifuga a escala real, los ensayos de desempeño permitirán determinar la dosis óptima observándose la mejora o deterioro en la torta seca o en el efluente clarificado.

Una optimización adicional de la dosis de polímero puede ser alcanzada evaluando el mejor punto de aplicación de polímero en la centrifuga. Los tres puntos de inyección recomendados son:

- antes de la entrada del afluente en la centrifuga (en el caso de la centrifuga de eje vertical, el polímero es inyectado en el eje)
- antes de la bomba de alimentación del lodo
- inmediatamente después de la bomba de alimentación del lodo.

Esos puntos de inyección fueron determinados después de muchos años de experimentación con centrifugas a escala real. La teoría para explicar las tres alternativas de los puntos de inyección tiene relación con el efecto de la densidad de la carga, de la viscosidad y de las largas cadenas de los polímeros en general.

Algunos polímeros pueden requerir períodos de retención más largos para ser dispersos y mezclados efectivamente con las partículas. Adicionando polímero en cada uno de los puntos de inyección, un operador será capaz de determinar cuál punto favorece condiciones óptimas para la dispersión de la mezcla.

La importancia de la optimización de la dosis de polímero utilizada para el acondicionamiento de un lodo antes de la deshidratación, radica principalmente en los cambios de las características del lodo, un polímero inicialmente seleccionado puede ser ineficiente posteriormente. De esta forma, es fundamental que la optimización del polímero sea realizada dentro de la centrifuga, para garantizar una eficiente y económica separación líquido / sólido.

En términos generales, el polímero requerido para deshidratar un lodo específico depende de:

- concentración de sólidos totales;
- características del lodo a ser deshidratado;
- tasa de alimentación del lodo para la centrifuga;
- resultados de desempeño esperados (turbiedad del efluente líquido de la centrifugación, concentración de la torta de lodo o ambos);
- punto de inyección del polímero;
- temperatura del lodo.

Mientras una selección a escala de laboratorio y ensayos de desempeño no se realicen, el tipo y dosis de polímero para acondicionar un lodo particular no pueden ser determinados con seguridad.

METODOLOGÍA

El procedimiento utilizado fue adaptado del realizado por Zappa, Almeida y Nakashima (1996), empleándose una centrifuga de laboratorio para la optimización de la dosis de polímero utilizado en el acondicionamiento de lodo antes de su deshidratación.

Los ensayos fueron realizados con tres tipos de lodos, dos de los cuales fueron obtenidos de ensayos de clarificación de agua de lavado de filtros en el laboratorio en pruebas de jarras; el primero (Lodo 1) obtenido sin adición de polímero, el segundo (Lodo 2) obtenido con la adición de polímero y el tercero (Lodo 3) del lodo adensado en el tanque de clarificación del agua de retrolavado de los filtros de una planta de tratamiento de agua que utiliza la tecnología de filtración directa descendente con sulfato de aluminio como coagulante, sin uso de polímero para tal fin (planta de tratamiento de agua del Rio Descoberto – ciudad de Brasilia). Los tres tipos de lodo fueron caracterizados en términos de ST, COT, DQO, pH, metales, resistencia específica y peso específico.

En el ensayo de resistencia específica se utilizó la metodología del embudo de Buchner, para un volumen de muestra de 25 mL, área filtrante de 50 mm² y presión de vacío de 400 mm Hg. El cálculo fue realizado según la ecuación de Cornwel et al. (1987).

En los ensayos de centrifugación, se varió el tiempo de rotación (0 a 100 min), la velocidad de rotación (2000, 2500 y 3100 rpm) y la dosis de polímero (0 a 6 g polímero / kg SST) en los tres lodos estudiados. Fue utilizada una centrifuga FANNEM – modelo 215 con capacidad para 24 tubos de 15 mL y frecuencia de operación de 5500 rpm.

En los ensayos realizados con la centrifuga de laboratorio, para los tres lodos estudiados, se usaron muestras de 10 mL.

La aceleración de la centrifuga fue calculada por la ecuación:

$$a_c = R \cdot W^2 \quad (1)$$

donde:

a_c : aceleración de la centrifuga (m/s²)

R: radio del centro de rotación de la centrifuga hasta el extremo del tubo (m).

W: velocidad de centrifugación (rpm),

El valor de W fue calculado por:

$$W = 2\pi N/60 \quad (2)$$

Donde:

N: rotación de la centrifuga, (rpm)

La aceleración de la centrifuga puede ser expresada en términos adimensionales en la forma:

$$Z = a_c / g \quad (3)$$

Donde:

g: aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)

Z: Aceleración de la centrifuga expresada en términos adimensionales o número de Gravedades

De las ecuaciones 1, 2 e 3, Z puede ser expresado por:

$$Z = 1.118 \times 10^{-3} \cdot R \cdot N^2 \quad (4)$$

Las variables de control de la compactación del lodo en la centrifuga de laboratorio son: la aceleración de la centrifuga y el tiempo de centrifugación.

La concentración de SST del lodo compactado puede ser calculada por medio de:

$$SST_f = (v_f / v_o) SST_o \quad (5)$$

donde:

SST_f: sólidos suspendidos del lodo compactado en la centrifuga, kg/m³

SST_o: sólidos suspendidos de la muestra de lodo a centrifugar, kg/m³

v_f: Volumen final del lodo compactado, mL (medido en la cápsula de centrifugación)

v_o: Volume inicial de la muestra de lodo, mL (medido en la cápsula de centrifugación)

Con los resultados de los ensayos, se construyeron curvas de variación temporal de SST en función de la dosis aplicada de polímero.

RESULTADOS Y DISCUSION

De la caracterización de los tres lodos, los lodos L1 y L3, los cuales estaban exentos de la aplicación de polímero en el ensayo previo de clarificación en la pruebas de jarras en el laboratorio y en la operación de clarificación en el tanque clarificador del agua de lavado de los filtros de la estación de tratamiento de agua potable del "Rio Descoberto" en Brasilia respectivamente, se constató que tenían características similares; con relación al lodo L2, obtenido de la clarificación con el uso de polímero en las pruebas de jarras, presentó valores mayores de sólidos, DQO, COT, metales y peso específico, debido a la mejor eficiencia de separación líquido - sólido obtenida por la adición de polímero.

La resistencia específica de los tres tipos de lodos estudiados mostró valores en el rango normal de lodos generados usando sulfato de aluminio como coagulante (lodos difíciles de deshidratar provenientes de procesos de coagulación con sulfato de aluminio), variando entre 5×10^{12} y 50×10^{12} m/kg, sin acondicionamiento químico. Lodos con resistencia específica menor a 1×10^{12} m/kg, son considerados de fácil deshidratación, mientras que lodos con resistencia mayor que 10×10^{12} presentan pobres características de deshidratación, AWWA (1996).

Cuando se usaron dosis de polímero mayores a la apropiada, para cada rotación y tipo de lodo estudiado, no hubo efecto favorable y algunas veces hasta ocurrió desmejoramiento de la calidad de la torta de lodo obtenida después de la centrifugación, incluso hasta cuando se compara con aquella obtenida sin la adición de polímero.

La concentración de sólidos después de la centrifugación oscila entre 20 y 30%, Cornwell et al (1987); en el estudio se fijó un valor medio de 25% (método sugerido en este trabajo), lo cual va a depender del grado de deshidratación que se requiera teniendo en cuenta factores como el precio del transporte por ejemplo. Los valores óptimos de dosis de polímero y tiempos óptimos de centrifugación para cada rotación estudiada se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Dosis de polímero para acondicionamiento y tiempos óptimos de centrifugación de los lodos L1, L2 e L3 para diferentes rotaciones de la centrifuga.*

VARIABLE	L1	L2	L3
Rotación 2000 rpm			
Dosis óptima (g/kg)	0,76	0,84	0,95
Tiempo óptimo (min)	40(90)	20 (50)	20(60)
Rotación 2500 rpm			
Dosis óptima (g/kg)	0,76	0,84	0,76
Tiempo óptimo (min)	20(40)	20 (<20)	<50(<60)
Rotación 3100 rpm			
Dosis óptima (g/kg)	0,76	0,84	0,76
Tiempo óptimo (min)	<10(<30)	10 (<20)	<20(<30)

*Los datos entre paréntesis indican el tiempo que lleva la centrifuga para producir una torta de lodo con concentración de aproximadamente 25% sin el uso de polímero para cada rotación estudiada.

En la tabla se observa, en términos generales, que el uso de polímero favoreció la deshidratación del lodo en la centrifuga, principalmente cuando son comparados los tiempos necesarios para alcanzar la misma concentración de la torta (25%) con polímero y sin polímero como acondicionador.

Para los tres tipos de lodos, la rotación de 3100 rpm presentó los mejores resultados, con una intensidad de la fuerza centrífuga o número de gravedades, Z de 1826 y se verificó que para un mismo tiempo de centrifugación y mismo lodo, cuanto mayor fue la rotación y por lo tanto el valor de Z en la centrifuga, mayor fue el grado de compactación del lodo. La Figura 1 elaborada con los datos de la Tabla 2, muestra los resultados típicos obtenidos en los ensayos de centrifugación en el laboratorio.

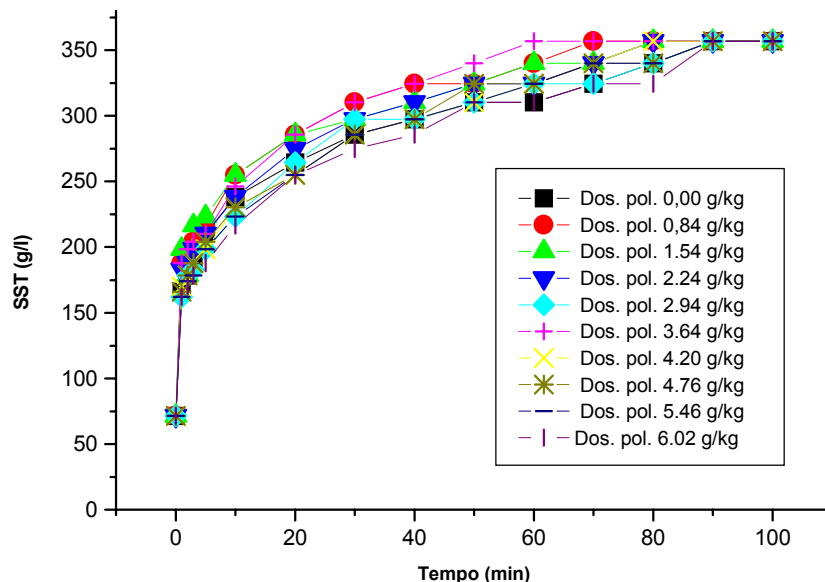


Figura 1: Curvas de centrifugación lodo L2 - 3100 rpm

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De modo general, los resultados de los ensayos de centrifugación en escala de laboratorio, mostraron que el método aplicado ayuda en la determinación de la dosis apropiada a ser usada en la centrifuga a escala real. Sin embargo, debido a los cambios que pueden ocurrir diariamente en las características del lodo, es recomendable realizar siempre los ensayos para ajustar las dosis de operación en las centrifugas a escala real.

Los valores de la resistencia específica para los lodos L1 (proveniente del ensayo de clarificación sin uso de polímero) y L3 (proveniente del clarificador de la planta de tratamiento Río Descoberto), están en los rangos normales para lodos generados usando sulfato de aluminio como coagulante, variando entre 5×10^{12} m/kg a 50×10^{12} m/kg, antes del acondicionamiento químico con polímero para su deshidratación, situación esperada por ser lodos provenientes de procesos de coagulación con sulfato de aluminio.

Con relación al lodo L2, fue observado que el uso de polímero en la clarificación, del mismo modo que favoreció la calidad del sobrenadante retornado al tratamiento, también mejoró las características del lodo producido. Sin embargo, ya que solo el acondicionamiento de los lodos antes de su deshidratación no altera la estructura interna del floc, solo el uso de equipos de deshidratación determinará el contenido de sólidos que puede ser obtenido en la torta deshidratada.

Fue constatado también que, en términos generales, el uso de polímero favoreció la deshidratación del lodo en la centrífuga, principalmente cuando se comparan los tiempos necesarios para alcanzar las mismas concentraciones de sólidos en la torta (25%), Lo que verifica la necesidad del uso de polímeros como acondicionadores en la centrifugación.

Con relación a la rotación, para los tres tipos de lodos estudiados, se consiguieron los mejores resultados con 3100 rpm, con una intensidad de la fuerza centrífuga o número de gravedades Z de 1826. Adicionalmente, se verificó que para un mismo tiempo de centrifugación y mismo tipo de lodo, cuanto mayor es la intensidad de la rotación y por tanto Z en la centrífuga, mayor el grado de compactación de la torta.

Como recomendación, existe otra forma de presentar los resultados de los ensayos realizados, no evaluada en este estudio, es la interpretación de estos mediante el trazado de las curvas obtenidas por la compactación del lodo digerido, en función de las dosis aplicadas de Polielectrolito.

Según Von Der Emde e Sadzik citado por Zappa, Almeida y Nakashima (1996) en su trabajo original de la SABESP, la concentración final de sólidos compactados, por un período fijo de centrifugación varía con la aceleración de la Centrífuga, y es demostrada por la ecuación:

$$\frac{ds[f(t)]}{dz} = k_1 \cdot \frac{1}{z} \quad (6),$$

donde:

k_1constante de proporcionalidad

$S_{f(t)}$concentración final de sólidos compactados después de segundos de funcionamiento da Centrífuga.

Integrando la ecuación (6), queda: $S_{f(t)} = S_1 + k_1 \log Z$

Para una aceleración de la centrífuga, la compactación que ocurre es proporcional al inverso de el tiempo a través de la ecuación

$$\frac{ds[f(z)]}{dt} = k_2 \cdot \frac{1}{t} \quad (7),$$

donde:

k_2'constante de proporcionalidad

$S_{f(z)}$concentración final del lodo compactado para una aceleración de la Centrifuga (z) a cualquier tiempo (t).

Integrando la ecuación (7), $S_{f(z)} = S_2 + k_2 \log t$

Cuando las ecuaciones (6) y (7) son combinadas, todo dato obtenido para diferentes lodos puede ser graficado en papel MONO-LOG, resultando la ecuación:

$$S_f = c + a \log z^n t \quad (8),$$

donde:

n: factor establecido igual a 1,5

c y a: valores ejemplificados para cada lodo

BIBLIOGRAFIA

AWWA (1996). Technology Transfer Handbook: Management of Water Treatment Plant Residuals. American Society of Civil Engineers; American Water Works Association. Denver, Co.

CORNWELL *et al.* (1987). Handbook water treatment plant waste management. AWWA, Research Foundation, Denver, 431 p.

ESCOBAR, R. JUAN CARLOS (2001). Tratamento e recuperacao da agua de lavagem dos filtros de uma estacao de filtração direta e simulacao da disposicao dos lodos em estacoes de tratamento de esgoto. Tesis de doctorado, Univ. de Sao Paulo, Escola de Engenharia de Sao Carlos, 144 p., Sao Paulo – Brasil.

GRANDIN, S.R. (1992). Desidratação de lodos produzidos nas estações de tratamento de água. São Paulo. 2 v. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

HAGSTROM (1996), L.G. Optimizing polymer conditioning for centrifugal sludge dewatering. 21 p. (artículo sin más informaciones catálogo gráficas).

ZAPPA, S. A., ALMEIDA, G. N., NAKASHIMA, H. (1996). Desidratação de lodo digerido através de centrifuga. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS – Ciudad de Mexico.