



## EXPERIENCIAS EN LA GESTIÓN DE LODOS EN PLANTAS POTABILIZADORAS DE MEDIANO PORTE

**López, Pedro (\*); Larrieu, Alberto; Iriburo, Alejandro.**

**Pedro López**

Ing. Civil H/A, OSE-UGD

**Alberto Larrieu**

Ing. Civil Est., OSE, Gerencia de Obras.

**Alejandro Iriburo**

Ing. Civil H/A. OSE, Gerencia de Agua Potable.



Dirección (\*): Parada 42 Playa Mansa OSE - Punta del Chileno – Punta del Este – Maldonado – CP:  
20100 – Tel: 42241774 int.121 – Fax: 42241774 int.125 - e-mail: plopez@ugd.ose.com.uy

### RESUMEN

La calidad del agua de abastecimiento, es un elemento clave para garantizar la salud de las poblaciones. A tales efectos el agua superficial, necesita ser sometida a un tratamiento para eliminar impurezas potencialmente nocivas, que se encuentran como material particulado, en suspensión o en estado coloidal.

Además del producto deseado, agua potable de calidad, el proceso de potabilización convencional tiene como resultado la generación de residuos en la etapa de clarificación, decantación-filtración o flotación-filtración. La gestión de estos residuos involucra, en primer lugar, aumentar la concentración de sólidos utilizando algún sistema de deshidratación y definir su destino final.

El trabajo muestra aspectos de la gestión operativa llevada adelante en dos plantas potabilizadoras cuya fuente de agua bruta son lagunas naturales y que tienen instalado un sistema de deshidratación de lodos mecanizado utilizando filtro de bandas.

Los proyectos ejecutados, requirieron ajustes en la infraestructura originalmente definida, a efectos de garantizar un adecuado funcionamiento, los que fueron llevados adelante por el personal Técnico y Operativo responsable de las Usinas. La operación y gestión de los sistemas requiere la asignación de personal exclusivo así como el establecimiento de un plan de mantenimiento que asegure su continuidad.

### INTRODUCCIÓN

La deshidratación de los residuos generados en las unidades de decantación o flotación tiene como objetivo reducir el volumen, generando una masa con mayor concentración de sólidos; la definición del sistema a utilizar depende de varios factores: área necesaria para la implantación, costo de equipamientos, operación, etc.(Cordeiro, 2003).

En los dos casos que se presentan, la tecnología seleccionada fue un sistema mecánico de filtro de bandas. Esta tecnología fue desarrollada por Klein, Smith y Louless en 1960. El concepto es simple, el lodo transita entre dos telas porosas, trasladándose por encima y por debajo de cilindros de varios diámetros, a medida que el diámetro disminuye, aumenta la presión que se ejerce sobre el lodo, expulsándose el agua retenida. Se destacan por tanto tres zonas, drenaje por gravedad, baja y alta presión (EPA, 1996).

El acondicionamiento previo de los lodos al ingreso al filtro de bandas es fundamental, lo que incluye una adecuada floculación con acondicionamiento químico, la dosificación de un polímero como ayudante, y el alcanzar una concentración de sólidos adecuada.

## OBJETIVOS

El objetivo general del trabajo es presentar las soluciones que han sido adoptadas para la remoción de agua y disposición de residuos del tratamiento de agua en las dos plantas potabilizadoras del país que han incorporado sistemas mecánicos de deshidratación.

Los objetivos específicos son:

- Presentar las dos experiencias de tratamiento de lodos para Usinas Potabilizadoras de agua, que se han puesto en marcha en OSE en los últimos años utilizando sistemas mecanizados.
- Presentar los ajustes que fueron necesarios para viabilizar la utilización de los sistemas proyectados.
- Presentar las conclusiones que surgen de los primeros resultados de operación.

## RESULTADOS

### *Laguna del Cisne*

La planta potabilizadora cuenta con dos unidades de floculación y decantación, diseñadas para 600 m<sup>3</sup>/h cada una, con floculadores mecánicos de 4 etapas y sedimentadores de alta tasa.

Dos baterías de 5 filtros cada una, de tasa declinante con tasa de filtración media de 10 m/h, con manto filtrante de arena y antracita, y sistema de lavado mutuo. Dos depósitos de agua filtrada de 500 m<sup>3</sup> c/u.

Figura 2- Espesador de lodos decantados



Sistema de bombeo de lodos espesados, por medio de bombas de desplazamiento positivo hacia las mesas predeshidratadoras. Sistema de preparación y dosificación de polielectrolito para acondicionamiento del lodo. Sistema de deshidratado, consiste en dos trenes de trabajo, integrados

Figura 1- Usina Laguna del Cisne



El sistema de deshidratación cuenta con un tanque espesador/homogeneizador con una capacidad de 300 m<sup>3</sup>, que actúa mediante proceso batch, provisto de paletas giratorias para concentrar el lodo en el fondo, este adensado por gravedad alcanza concentraciones medias de 1,5% con el sistema en régimen y sin ayudantes de floculación.

Figura 3- Bombeo al Filtro de Bandas.



por una mesa predeshidratadora (ANDRITZ, PDM-2000) y un filtro de banda (ANDRITZ, MODELO PPE 1000).

En la mesa, el lodo es descargado en una tela porosa horizontal alcanzándose concentraciones entre 2.5 y 4.5%.

### Ajustes realizados durante la instalación y operación.

Figura 4- Bandeja y Filtro de Bandas.



En el caso de la planta de Laguna del Cisne, en función del área asignada al tratamiento, la mesa deshidratadora se dispuso en una estructura superior al filtro de bandas por lo que a efectos de habilitar el sistema se construyó una tolva de acero inoxidable y a efectos de minimizar la rotura de floculos se colocó un recubrimiento de goma para amortiguar la caída.

Se modificó el punto de aplicación del ayudante de floculación de modo de aumentar el tiempo de contacto antes de llegar a la bandeja deshidratadora e independizando la dosificación en los dos trenes. Este

cambio permitió adicionalmente contar con la posibilidad de extraer las muestras del bypass con polímero

Figura 5 – Aforo de polielectrolito.

Adicionalmente se instaló un sistema de medición de caudal para el polielectrolito, incorporando un tubo de 110 mm con manga exterior translúcida en la succión de las bombas, esto permite al operador corroborar la cantidad de producto incorporado evitando las estimaciones con el uso del variador de frecuencia.



Se ajustaron las instalaciones de dosificación de manera de posibilitar, en caso que así se decida, utilizar una dosificadora para cada tren de deshidratación y operar con los dos trenes en forma conjunta.

Uno de los aspectos a abordar fue la metodología para extraer el sobrenadante del espesador, dado que el desborde por vertedero con que cuenta la unidad se asocia a un flujo intenso con gran agitación del contenido lo que genera un efluente con alta concentración de SST, en la operación se optó por utilizar la misma tubería de entrada como sifón para la descarga cuando la superficie de separación de fases está por debajo de su plano de ingreso (justo sobre el puente barredor).

Figura 6 – Lodo deshidratado.



Con respecto a la disposición final, esta se realiza a vertedero municipal, asimismo se están realizando experiencias de

Figura 7 – Retiro a Vertedero.



incorporación en matriz cerámica de los lodos deshidratados para fabricación de ladrillos.

Para simular la producción de lodos durante un año de operación, se tomaron los datos operativos 2010 de la Usina, y la información que surge de la operación actual del sistema de deshidratación: la concentración de SST a la salida del espesador y el filtro en régimen; el volumen de las volquetas utilizadas (4 m<sup>3</sup>), el caudal de operación del sistema deshidratador y la dosis de polielectrolito FLOPAM FO4690.

Sobre estos datos también se calcularon los costos de productos químicos asociados, lo cual se comparó con los costos en productos químicos para el tratamiento en igual período. Para la estimación de la masa de sólidos producida se utilizó la fórmula (Richter, 2001).

$$S(kg/m^3) = (0,2C + 1,3T + 0,26D)/1000$$

Tabla 1 – Producción diaria (estimada) de sólidos durante el Año 2010.

Mes	Volumen producción (m <sup>3</sup> )	q diario (m <sup>3</sup> /d)	Color (U.Pt-Co)	Turbiedad (NTU)	Sulfato de Aluminio		Tasa de producción SS (g/m <sup>3</sup> agua tratada)	Producción diaria de SS (kg/d)
					Cantidad (Kg)	Dosis (g/m <sup>3</sup> )		
ene-10	450.113	14.520	393	17	104.536	109,15	129	1874
feb-10	323.427	11.551	343	22	77.945	113,27	127	1463
mar-10	287.394	9.271	344	14	61.539	100,64	113	1049
abr-10	240.535	8.018	344	21	62.496	122,12	128	1025
may-10	230.948	7.450	344	25	45.850	93,31	126	935
jun-10	214.714	7.157	421	34	44.933	98,36	154	1102
jul-10	231.896	7.481	411	46	63.513	128,73	175	1313
ago-10	240.227	7.749	417	39	54.203	106,05	162	1253
sep-10	229.081	7.636	414	43	57.771	118,53	170	1294
oct-10	268.107	8.649	351	37	57.771	101,27	145	1251
nov-10	268.688	8.956	448	52	62.176	108,76	185	1661
dic-10	384.411	12.400	451	69	101.760	124,42	212	2632

Tabla 2 – Costo de Polímeros (U\$S) para la deshidratación de lodos cada 100.000 m<sup>3</sup> de agua

Mes	Vol. lodo salida espesador (m <sup>3</sup> /d)	Hs. trabajo filtro de banda	Vol. lodo salida filtro de banda (m <sup>3</sup> /d)	Volquetas/día	Consumo polielectrolito (kg/día)	Costo polielectrolito por día (\$/d)	Costo polielectrolito por día (U\$S/d)	Costo polielectrolito por 100.000 m <sup>3</sup> agua tratada (U\$S/m <sup>3</sup> )
Ene-10	129	18	11,4	2,9	10,3	1757,7	92,5	637
Feb-10	100	14	8,9	2,2	8,0	1369,9	72,1	624
Mar-10	72	10	6,4	1,6	5,8	982,6	51,7	558
Abr-10	70	10	6,2	1,6	5,6	958,1	50,4	629
May-10	64	9	5,7	1,4	5,2	880,0	46,3	622
Jun-10	76	11	6,8	1,7	6,1	1040,1	54,7	765
Jul-10	90	13	8,0	2,0	7,2	1235,3	65,0	869
Ago-10	86	12	7,7	1,9	6,9	1181,8	62,2	803
Sep-10	89	13	7,9	2,0	7,1	1219,5	64,2	841
Oct-10	86	12	7,7	1,9	6,9	1178,4	62,0	717
Nov-10	115	16	10,2	2,5	9,2	1570,4	82,7	923
Dic-10	182	26	16,2	4,0	14,6	2488,1	131,0	1056

Tabla 3 – Costo de Productos Químicos Utilizados en la Potabilización.

Mes	Sulfato de Aluminio		Soda cáustica		Cloro gas		Polielectrolito		COSTO TOTAL PRODUCTOS QUIMICOS	
	Consumo (Kg)	COSTO (\$)	Consumo (Kg)	COSTO (\$)	Consumo (Kg)	COSTO (\$)	Consumo (Kg)	COSTO (\$)	\$	U\$S/100.000 m <sup>3</sup>
Ene-10	104.536	535.642	21.244	213.303	2.238	136.190	123,5	17.026	902.161	10.549
Feb-10	77.945	399.390	20.223	203.051	1.331	80.996	78	10.753	694.190	11.297
Mar-10	61.539	315.326	17.422	174.927	1.348	82.031	40	5.514	577.798	10.581
Abr-10	62.496	320.230	17.582	176.534	1.058	64.383	20	2.757	563.904	12.339
May-10	45.850	234.935	11.780	118.278	880	53.551	10	1.379	408.143	9.301
Jun-10	44.933	230.237	11.201	112.465	812	49.413	12	1.654	393.769	9.652
Jul-10	63.513	325.441	15.651	157.145	1.011	61.523	8	1.103	545.212	12.374
Ago-10	54.203	277.736	16.552	166.192	716	43.571	4	551	488.051	10.693
Sep-10	57.771	296.019	15.000	150.609	725	44.119	41,2	5.680	496.426	11.405
Oct-10	57.771	296.019	15.800	158.641	815	49.596	12	1.654	505.910	9.931
Nov-10	62.176	318.590	15.550	156.131	882	53.673	17,1	2.357	530.751	10.397
Dic-10	101.760	521.418	22.900	229.930	1.438	87.507	42,25	5.825	844.680	11.565

### **Laguna del Sauce**

La planta cuenta con 4 unidades de clarificación por medio del sistema FAD (Flotación por Aire Disuelto), que actualmente alcanzan a producir durante la temporada picos que superan los 100.000 m<sup>3</sup>/día de agua potable.

En cuanto al sistema original de recolección y deshidratación de barros, el lodo proveniente de las piletas de flotación se recolectaba en 8 pozos de bombeo de 8,5 m<sup>3</sup> c/u.

Utilizando la fórmula de estimación del kg SS (Richter, 2001), y considerando las características medias de Turbidez del agua y dosis de sulfato de aluminio, se estima una producción de 7.300 kg de SS cada 100.000 m<sup>3</sup> de agua producida. Considerando una concentración media del lodo flotado de un 5% (50.000 mg/l), el volumen de barros generados estimado diario es de 146 m<sup>3</sup> (125 m<sup>3</sup>, medido) para sólo 66 m<sup>3</sup> disponibles de almacenamiento considerando los 8 pozos de bombeo.

Figura 8 – Diseño original del sistema.



Otros problemas del diseño original.

Controlados por boyas de arranque y corte (como pozos de saneamiento), el encendido y apagado de las bombas según el nivel de lodo variaba así el caudal de alimentación de lodo al Filtro de Bandas, dificultando regular la dosis aplicada de polímero.



Dentro de los pozos el lodo se estratificaba resultando una masa líquida heterogénea que varía sus propiedades incluso con el tiempo. El lodo “flotado” a medida que se recoge en cada cámara continua produciendo una separación de fase agua al fondo y lodo hacia arriba al continuar adherido a las burbujas que lo hicieron flotar.

La capacidad de cada bomba, demoraba 6 horas en vaciar el pozo, no alcanzaba para transportar hacia el filtro de bandas el volumen de lodo de cada pozo en el tiempo de llenado producto de un barrido normal de la carpeta de lodo (1 hora y media). Esto no permitía una independencia entre las etapas recolección y deshidratación.

La red diseñada para el transporte de lodo al 5% de los pozos al Filtro de Bandas era similar a una red de distribución interna de agua potable, diámetro mínimo 3/4 a 1 1/2”, incluía varias piezas especiales:

codos, té, llaves, etc. Lo que imposibilitaba la adecuada conducción hidráulica del lodo y dificultaba la limpieza de las tuberías.

Con respecto a la dosificación de productos químicos, las cubas de preparación de polielectrolito y las bombas estaban sub-dimensionadas, también las aunque en menor medida, las unidades de deshidratación resultaron insuficientes para la producción de diseño.

### Obras Internas realizadas para permitir la operación

Con personal de la planta se realizaron obras para permitir operar el sistema.

### Recolección y transporte

Se vincularon los pozos de recolección 1 a 4, lo que comprende la mitad de la flotación de la planta, para esto se utilizó una tubería de FC 400 (figura11), instalándose una bomba de 8 m<sup>3</sup>/h de capacidad que bombea desde el pozo 4 hacia el filtro de bandas, en este último pozo se instaló un agitador para asegurar la homogeneización del barro a bombear. Se sustituyó la conducción hasta el Filtro de Bandas utilizando tuberías de PVC 63 y 75 mm., minimizando la utilización de piezas especiales y cambios de dirección.

### Dosificación

Se adaptaron las piletas de 14 m<sup>3</sup> de polielectrolito no iónico de la casa química (en desuso) para la preparación del polímero utilizado como ayudante de deshidratación. Asimismo se aprovechó, para su dosificación, una de las bombas retiradas de los pozos de bombeo de lodo espesado del diseño original.

### Costos

Se realizó una comparación de costos de producción de agua potable y tratamiento de lodo, sobre una producción de 100.000 m<sup>3</sup> de agua potable para los que se estiman una producción media de 7.300 kg/lodo en base seca.

El Tratamiento del Lodo que estamos evaluando y hablando corresponde únicamente a la deshidratación y su posterior traslado hacia un terreno (vertedero municipal controlado), no habiendo otros costos asociados. No incluye otros costos alternativos de disposición final.

Tabla 4 – Cuadro Comparativo de Costos, Producción Agua vs Tratamiento de lodos.

	Producción 100.000 m <sup>3</sup> Agua Potable		Tratamiento Lodo generado 7.200 Kg	
	Costo (\$)	%	Costo (\$)	%
Costo Productos Químicos (\$)	71.296	35%	5.005	18%
Costo Personal Afectado Operación (\$)	9.635	5%	4.818	18%
* Costo Energía TOTAL (incluye elevación) (\$)	113.500	55%	745	3%
Costo Mantenimiento (\$)	10.500	5%	950	3%
Costo Transporte y Retiro (\$)	-	0%	16000	58%
Costo Total (\$)	204.931	100%	27.518	100%

\*\* Costo energía producción sin Elevar (\$) =25.200

Figura 10 – Modificaciones al Diseño.



Figura 11 – Colocación Tubería FC 400.



De este modo evaluado con costos reales de la experiencia realizada surge que:

- Únicamente los costos del tratamiento y retiro del lodo en las condiciones indicadas representa un **13%** de los costos totales de Producción de Agua potable (incluyendo los elevados costos energéticos de bombeo del agua potable al sistema distribución).
- Si el costo del tratamiento de lodo se compara exclusivamente con la producción en Planta (sin el bombeo al sistema de distribución) dicha relación asciende al 24%.

### Evaluación del polímero a utilizar

- A efectos de evaluar la alternativa de sustituir el polímero que se está utilizando para el acondicionamiento del lodo, se realizó un ensayo consistente en una prueba de jarras (floculación mediante trasvase de un litro del lodo flotado con polímero) y posterior filtración con papel de filtro whatman 40 por gravedad. Los resultados preliminares muestran que la opción que se está aplicando actualmente, FLOPAM FO 4690 SSH, es la que resulta con el menor tiempo y mayor volumen de filtrado en la evaluación.

Ensayo de Laboratorio:									
Parámetro		Lodo Muestra		Aplicación		Preparación Sol. de Poli		Resultados del Ensayo	
Polímero Ensayado	Gr. Poli/Kg. Lodo Seco	Vol. Lodo muestra (Lt)	(1) Gr. Sseco muestra	(2) Gr. Poli necesario	gr./L	(3) Vol Pipetor sol a Jarro (ml)	Nº Traslases forman Floc	Tiempo Filtrado 200 ml	Vol. Filtrado a los 5 min
	(A)	(B)	1	2	(C)	3			
FO 4190 PWG	4	1	50	0,2	2	100	6	3min 25seg	250 ml
FO 4690SSH	4	1	50	0,2	2	100	6	1min 28seg	350 ml
FO 4240 SSH	4	1	50	0,2	2	100	6	4 min	230 ml
FO 4440 PWG	4	1	50	0,2	2	100	6	1 min 50seg	340 ml
AN 945 PWG	4	1	50	0,2	2	100	6	-	200 ml

  

Formulas	
(1) Gr. Sseco muestra =	Col (B) x SST/1000
(2) Gr. Poli necesario =	Col (1) x Col (A) /1000
(3) Vol Pipetear Poli a Jarra =	Col (2) x 1000/ Col ( C)

  

Resultados Aplicados a la Planta		
En teoría la Tela admite los 6,2 m3/hora de la bomba de lodo hasta 50 Kg/m3		
Caudal de Lodo a Bombear al Filtro de Bandas QL=	6,2	m3/hr
Preparación Solución de Polielectrolito = En 14,000 Litros agregar :	28	Kg de POLI
Dosificación Solución Poli = $\{QL \times SST/1000\} \times Col(A) / Col(C)$	620	Litros/hora

### CONCLUSIONES

#### Transporte del lodo flotado:

Para tuberías de transporte de lodo a baja presión (succión), resulta fundamental minimizar los trayectos, cambios de dirección (codos), válvulas y piezas similares. A tales efectos desde el diseño de las conducciones se debe manejar el trazado y las piezas especiales de la forma más conveniente: varios codos de 90° pueden a veces ser reemplazados por 1 o 2 codos de 45°. Por pequeño que sea el sistema se recomienda elegir diámetros generosos, superiores en 1 o 2 escalones del que surja de cualquier estimación, nunca inferior a 100 mm.

Por argumentos similares para las tuberías de impulsión, no usar diámetros inferiores a 75 mm, además de la premisa de minimizar los trayectos y piezas especiales en los mismos. Tanto para tuberías de

succión como de impulsión de lodo, procurar que tengan la mayor accesibilidad posible y/o puntos de inspección que permitan efectuar su desobstrucción.

#### **Sistemas de bombeo del lodo:**

Las bombas que transportan lodo deben ser de desplazamiento positivo, analizando según el caso si neumáticas o tipo tornillo nemo, etc. Con estas la experiencia ha mostrado muy buenos resultados.

Además del control por boyas o sensores de nivel, que aseguren el corte ante un nivel mínimo, las bombas de lodo deben contar con un dispositivo de protección contra marcha en seco.

#### **Colecta del lodo deshidratado:**

A efectos de conservar las características del lodo ya deshidratado, las volquetas o contenedores de recolección deben estar techadas.

El empleo de cintas transportadoras, ha resultado una solución muy satisfactoria para la extracción de lodo de las unidades deshidratadoras (filtro de bandas y/o centrifugas), como alternativa a los sistemas de amasador-tornillos y tuberías que resultan a veces complicados para lodos de 20 a 30% de sequedad. Las cintas han resultado en menor costo de inversión y mantenimiento.

#### **Personal asignado a la tarea:**

Como tarea específica debería incorporarse, integrándose como una más de la producción de agua potable. El trabajo debe depender jerárquicamente del personal de producción (Supervisor y Jefe de Turno), quienes efectuaran las coordinaciones específicas y el personal asignado exclusivamente a esa tarea.

Además de resolver las cuestiones técnicas que no son menores, se deberían resolver los temas de recursos humanos, asignación de recursos capacitados para la función, integrándolos realmente con el personal de producción. Se necesitan recursos: estudios de buenas soluciones, obras para concretarlas, recursos humanos concretos para la tarea, y sobre todo mucho trabajo perseverante.

En cuanto a la dotación, estos sistemas muestran la necesidad de trabajar con dos operadores por turno, lo que si se trabajan dos turnos, el tratamiento de lodos requeriría un aumento en la dotación de al menos 5 funcionarios a efectos de cubrir descansos y licencias.

#### **Sustentabilidad del recurso:**

El tratamiento de los lodos generados en plantas potabilizadoras, debe ser un trabajo integrado al proceso de producción de agua potable. Tiene entre otros fines, evitar que los lodos con alto contenido de aluminio, y polímero, retornen a la fuente principal, y por tanto es una meta a cumplir con el objetivo de mantener las características físicas y de calidad, originales de la fuente y toma de agua, los requerimientos legales y la sustentabilidad del volumen de reserva.

Dado que el tratamiento busca no perjudicar a la producción, entonces debería verse asociado al concepto de "múltiples barreras", como protección de la fuente en pro de obtener la mejor calidad de agua potable.

#### **Costos**

Considerando los costos significativos de la actividad en cuanto a operación y mantenimiento, y a efectos de que la gestión de los barros sea sostenible, es necesario evaluar la forma de internalizarlos en la empresa estableciendo las asignaciones presupuestales respectivas, lo que podrá verse reflejado en el esquema tarifario.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cordeiro, J. S. (2003). Rejeitos de Estacoes de Tratamento de Agua - O estado da Arte No Brasil. *IV Congreso Nacional AIDIS Sección Uruguay* .
- EPA. (1996). *Technology Transfer Handbook, Management of Water Treatment Plant Residuals*. Denver, Colorado: ASCE and AWWA.
- Richter, Carlos A., (2001) - Tratamento de Lodos de Estacoes de Tratamento de Agua, Sao Paulo: Edgard Blucher.