

ACONDICIONAMIENTO DE LODOS PRODUCIDOS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Garcés Arancibia Fernando, Díaz Aguirre Juan Carlos, Dellepiane Navarro Oscar Manuel

EMOS S.A. AVENIDA BULNES #129. SANTIAGO. CHILE. FONO 694 21 14. FAX 672 28 41

Por muchos años descargar los lodos producidos en el tratamiento de agua potable al curso de agua más cercano ha sido una práctica usual que no está libre de críticas

La tendencia actual es reducir su volumen, concentrándolos, antes de aplicarles algún tipo de tratamiento o deshidratación. En vista que no se disponen de datos locales para el diseño de las unidades requeridas, el presente trabajo se orientó a determinar dichos valores.

A partir de las experiencias realizadas en el Complejo de Tratamiento "Las Vizcachas", se concluyó:

- a) La unidad decantadora de las aguas de lavado de los filtros debe tener una tasa superficial de $80 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ y un tiempo de retención de 25 minutos.
- b) La unidad espesadora de los lodos provenientes de la coagulación-floculación-sedimentación y filtración debe tener una tasa de $2.400 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{d}$ y un tiempo de retención de 12 minutos.
- c) El lodo espesado naturalmente se clasifica como pobre y medianamente deshidratable al encontrarse sin acondicionar y acondicionado, respectivamente.

Los resultados obtenidos, acordes con los entregados por la literatura especializada, demuestran la factibilidad técnica de su deshidratación utilizando medios mecánicos, recomendándose la instalación de una unidad piloto a fin de establecer las condiciones operacionales con este tipo de lodo.

Palabras claves : tratamiento de agua potable, lodos, espesamiento, deshidratación, resistencia específica

INTRODUCCIÓN

Para que un agua sea aceptada como agua de bebida debe cumplir con los requisitos que establece la autoridad local. En Chile, se debe cumplir con la norma Nch 409/1 of. 84 y puesto que, en general, ninguna reserva de agua, ríos o embalses puede hacerlo, el agua debe ser tratada antes de ser consumida.

Los métodos biológicos de estabilización no son utilizables, pues la mayoría de los contaminantes son de naturaleza física (partículas), luego debe recurrirse a aditivos para pasar las impurezas más finas a un estado donde puedan ser removidas. El tipo y cantidad de partículas presentes en el agua cruda determina el tipo y grado de tratamiento requerido y, consecuentemente, la magnitud y características del residuo producido por el proceso.

La práctica usual de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) que tratan las aguas superficiales por medio de los procesos de coagulación-floculación-sedimentación y filtración es eliminar los lodos acumulados en los sedimentadores y en los filtros descargándolos directamente a cursos superficiales, sin considerar que las características físicas y químicas de estos a menudo transgreden las normas relativas a descargas.

Por lo tanto, a medida que los recursos hídricos se vuelven más escasos y las normas medio-ambientales se tornan más estrictas en lo relativo a disposición de residuos, nace la necesidad de realizar investigaciones orientadas a tener un mayor conocimiento sobre las técnicas que pueden utilizarse para aumentar la cantidad de agua producida por m³ de agua cruda y para el tratamiento de los lodos generados en el proceso.

El tratamiento de este tipo de lodo es más simple que sus similares de aguas servidas debido al menor contenido de materia orgánica degradable, lo cual, generalmente, elimina una etapa de estabilización biológica. La recuperación del agua ocupada en el lavado de los filtros aumenta la cantidad de agua producida y disminuye, significativamente, el volumen de los lodos a tratar.

Por consiguiente, es necesario caracterizar física, química y bacteriológicamente estos residuos y, además, determinar valores para los parámetros que establecen el espesamiento, acondicionamiento y deshidratación de los lodos de las PTAP, etapas intermedias esenciales para su transporte y disposición final.

ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS.

Como se mencionó anteriormente, estos lodos se acumulan en los decantadores y lechos de filtrado y están constituidos principalmente de:

- materias finas o coloidales en suspensión como partículas de arena, arcilla y limo, sedimento, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, algas, plancton y otros organismos microscópicos, como bacterias y virus, causantes de la turbiedad.
- los residuos de los productos químicos utilizados para el proceso de tratamiento.

Estos lodos tienen un gran volumen, el cual está compuesto principalmente por agua, y son tixotrópicos, es decir, tienen características gelatinosas en reposo pero líquidas en movimiento. Además, son compresibles y resistentes al espesamiento y deshidratación, especialmente aquellos generados con aguas de baja turbiedad.

El volumen de lodo generado en los decantadores representa de un 0.06 a un 0.25% del volumen de agua tratada por la planta. Su DBO varía entre 30 y 300 mg/l, su DQO entre 30 y 5.000 mg/l y la razón DQO/DBO es del orden de 15:1, indicando una baja proporción de materia orgánica biodegradable. La fracción de sólidos volátiles es alrededor del 30% de los sólidos totales, guardando relación con la razón DQO/DBO. La remoción del lodo puede ser manual (intermitente) o mecanizada (continua), con accionamiento manual o automático.

En el caso de limpieza manual, la unidad se vacía, cada 30 a 120 días, dependiendo de la turbiedad del agua, por medio de un desagüe en el fondo. La concentración de los lodos varía apreciablemente durante el desagüe y arrastre de fondo, en un rango de 0.2 a 2%. Terminado el desagüe, los bancos de lodo depositados en el fondo del decantador (concentraciones de 4 a 13%) son removidos con maquinarias y agua a presión. Cuando la limpieza es mecanizada, esta se realiza por bombeo o sifonamiento, con concentraciones que varían entre 0.1 y 6%, dependiendo de la frecuencia de lavado, requiriendo, además, una limpieza periódica manual.

En los filtros, los lodos son removidos en el lavado de las unidades filtrantes cada 12 a 24 horas, de acuerdo a turbiedad del agua cruda, con un caudal del orden del 1 al 5% del agua filtrada. La concentración de sólidos totales varía de 0.01 a 0.1%, con una DBO del orden de 10 mg/l y DQO del orden de 100 mg/l.

MÉTODOS DE DESHIDRATACIÓN.

El manejo de los lodos de las PTAP convencionales considera, típicamente, cinco etapas (fig. 1), de las cuales la etapa 4 corresponde al tratamiento, el cual puede ser la deshidratación. Los métodos más comunes utilizados para la deshidratación de los lodos de las PTAP convencionales se clasifican de la siguiente forma:

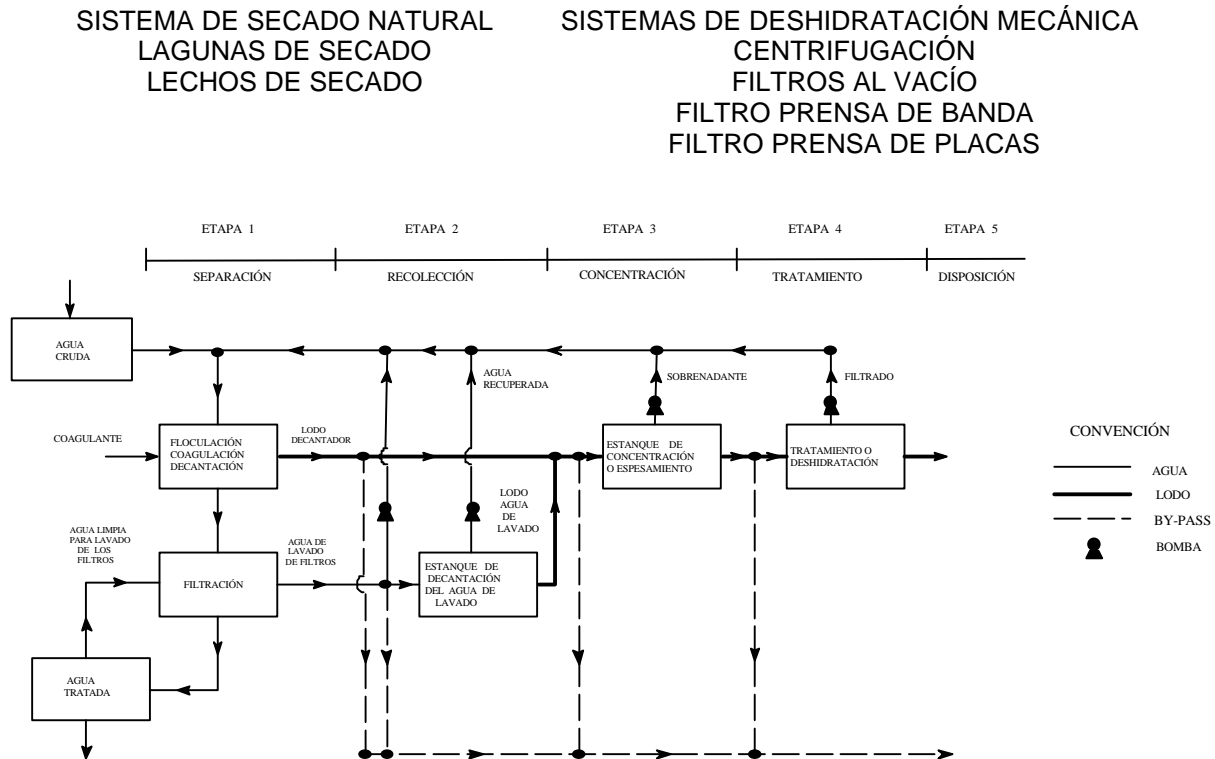


Fig. 1.- Etapas básicas para el manejo de desechos de PTAP convencionales.

Los sistemas de secado natural tienen como principal ventaja el costo de su implementación, siempre que se disponga del área suficiente a bajo precio. Tienen un bajo consumo de energía y de productos químicos, una baja sensibilidad a las variaciones cuantitativas y cualitativas del lodo y simplicidad de operación. Son apropiados para plantas pequeñas o aisladas dadas sus altas exigencias de superficie. Otras desventajas son una alta dependencia de las condiciones climáticas y un alto requerimiento de mano de obra para la remoción del lodo.

En las lagunas, el secado de los lodos se realiza por la separación del sobrenadante y aguas lluvias y, principalmente, por la evaporación. La carga óptima de aplicación de sólidos (kg/m^2) en función de la concentración de sólidos y profundidad óptima de aplicación del lodo en el lecho, depende de la resistencia específica a la filtración del lodo a una presión diferencial de 0.5 bar ($r_{0.5}$), es decir, para los lodos difíciles de deshidratar, $r_{0.5}$ mayor a 50 Tm/kg, se recomienda menos de 0.46 m. y para lodos fáciles de deshidratar, acondicionados químicamente, $r_{0.5}$ menor a 0.1 Tm/kg, hasta 0.61 m. La carga de aplicación típica es de 40 kg/m^2 , para zonas lluviosas y 80 kg/m^2 en regiones secas.

En los lechos de secado, la remoción de agua se realiza por los mismos mecanismos que en las lagunas, agregándose el drenaje gravitacional a través de arena, grava y tubería de recolección. Su diseño es igual a sus similares de A.S., con profundidades de aplicación de 0.3 a 0.9 m. Para lodos sin acondicionar, se han aplicado cargas, en Europa Mediterránea, de 15 a 20 lt de lodo/ $\text{m}^2/\text{día}$, con un ciclo de secado de 3 a 4 días.

Los sistemas de deshidratación mecánica tienen como ventajas principales el necesitar áreas menores, independencia de las condiciones meteorológicas y minimización de ciertos impactos ambientales. Entre sus desventajas se encuentran el mayor consumo de energía, la necesidad de utilizar acondicionantes químicos adecuados, una alta sensibilidad a las variaciones cualitativas y cuantitativas del lodo, la necesidad de un lavado frecuente de las telas filtrantes y otros equipos en contacto directo con el lodo y los eventuales problemas de ruido y vibraciones excesivas provocadas por el funcionamiento de las bombas y motores. Cada equipo tendrá una eficiencia y carga de aplicación recomendada que dependerá de la naturaleza del lodo, el grado de acondicionamiento químico, la frecuencia de utilización, la mantención y el producto final deseado.

En las centrífugas, se utiliza esta fuerza, a que el lodo está sometido dentro de un recipiente cilindro-cónico que gira a alta velocidad, para remover el agua. La fuerza actúa desde el centro hacia las paredes causando la sedimentación de las partículas junto a estas y la separación de la fracción líquida, menos densa, en la parte interna. La remoción de los sólidos se hace a través de un tornillo helicoidal, sin fin, que gira dentro del rotor a una velocidad distinta, mayor o menor.

En los filtros al vacío, la remoción del agua contenida en el lodo se realiza por un vacío creado dentro de un tambor recubierto, externamente, con un tejido filtrante. Al girar parcialmente sumergido en un recipiente con lodo acondicionado, el vacío provoca un flujo de líquido hacia el interior del cilindro, permitiendo la retención de las partículas mayores que los poros del material filtrante y, además, de las partículas de tamaño inferior que se adhieren al material ya filtrado, la torta, en la superficie externa del tambor.

En los filtros prensa de banda, la remoción del agua incluye tres etapas: un acondicionamiento químico, usualmente con polielectrolito orgánico; un drenaje y espesamiento gravitacional a una consistencia no fluida; y, posteriormente, la compresión del lodo, a baja presión, entre dos bandas sin fin que atraviesan un conjunto de rodillos ajustables de variados diámetros.

En los filtros prensa de placas, la remoción se realiza por medio de un bombeo al interior de cámaras recubiertas con tejido filtrante, definidas entre dos placas adyacentes. Al continuar bombeando, se fuerza un flujo a través de la torta que se forma en el interior de las cámaras, por la acumulación de sólidos en la superficie del tejido. Cuando los sólidos y el agua remanente llenan el volumen disponible, el bombeo se detiene, la prensa se abre permitiendo la salida de cada una de las tortas de lodo deshidratado contenidas en las cámaras, se ensambla la prensa y se vuelve a iniciar el ciclo.

METODOLOGÍA.

Los estudios se desarrollaron con lodos provenientes de las plantas Ingeniero Antonio Tagle y Vizcachitas, pertenecientes al Complejo de Tratamiento "Las Vizcachas", ambos producidos con cloruro férrico. Se utilizó el lodo de los decantadores de alta tasa de la planta Ing. Tagle, el lodo contenido en el agua de lavado de los filtros de las plantas Ing. Tagle y Vizcachitas (mismo establecimiento) y una mezcla de ambos en igual proporción de sólidos suspendidos. Las muestras se ensayaron antes de cumplir una semana de almacenamiento.

Los ensayos comprendieron la determinación, los parámetros de diseño de un espesador de los lodos provenientes de la decantación y un sedimentador de las aguas de lavado de los filtros, la dosis óptima de polielectrolito, que mejora la filtrabilidad del lodo, y medidas de la resistencia específica del lodo espeso.

Los ensayos de espesamiento se realizaron en una columna de sedimentación de acrílico de 2 m. de altura. Al colocar muestras de lodo con concentraciones dentro del rango de operación normal de la planta, se determinaron las velocidades iniciales de sedimentación, V_s , de la interfase lodo-líquido (fig. 2). A partir de estas, se construyó la curva de flujo de sólidos limitante en función de la concentración inicial de sólidos utilizando el método de Edde y Eckenfelder. Las experiencias posteriores utilizarán la concentración de sólidos obtenida al fijar un valor adecuado del flujo de sólidos para el espesamiento.

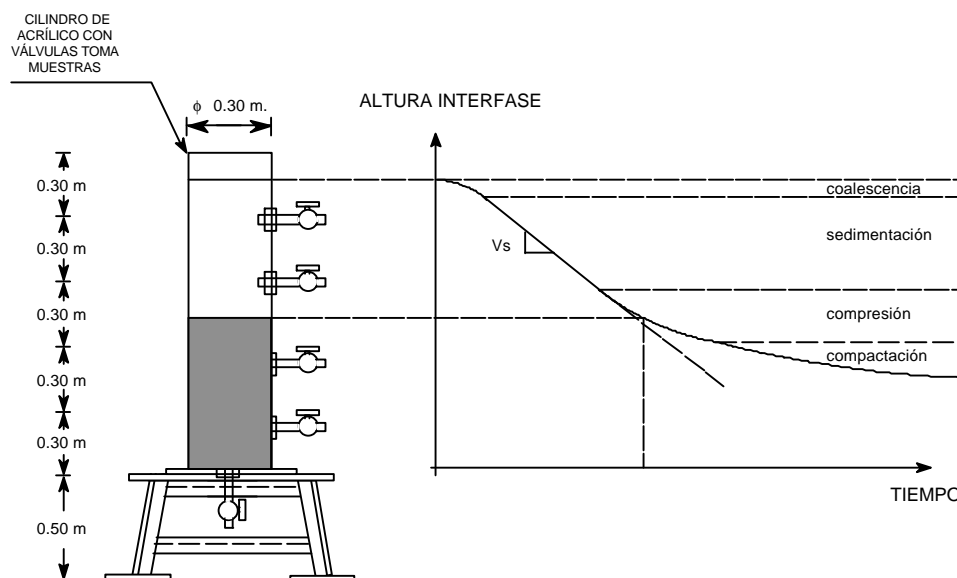
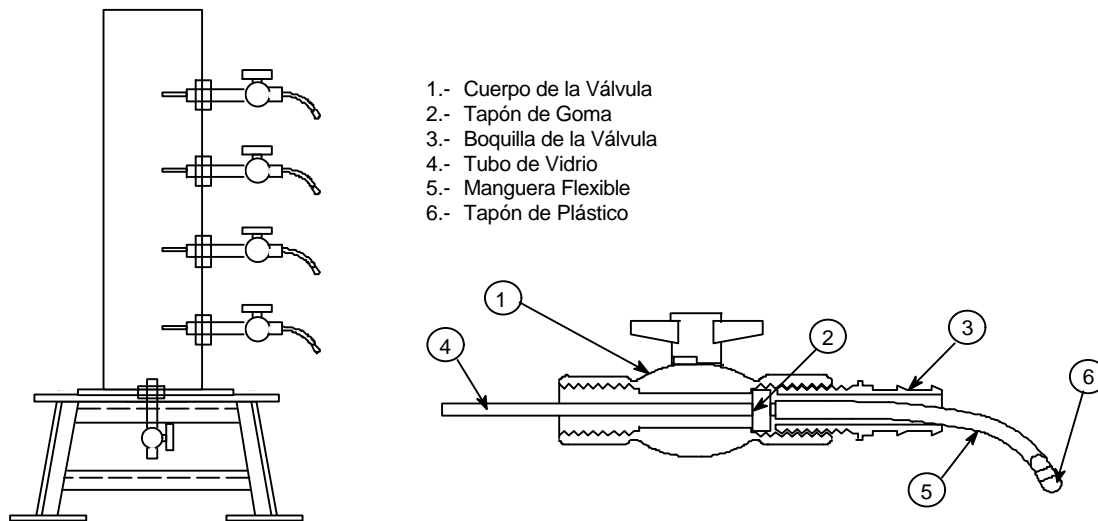


Fig. 2.- Columna de sedimentación y curva tipo de los ensayos de espesamiento.

Para caracterizar la sedimentación de las aguas de lavado de los filtros, se utilizó la misma columna de sedimentación, pero modificada para tomar muestras representativas (fig. 3) y así establecer la variación de la turbiedad en función del tiempo transcurrido y la profundidad de muestreo.

La metodología adoptada para determinar la dosis óptima de polielectrolitos fue el tiempo de filtración y el procedimiento consistió en someter a muestras de lodo espeso, acondicionadas con distintas dosis de polielectrolitos, a una filtración en un equipo de filtración al vacío (fig. 4), a una presión de 15 pulgadas de Hg, y medir el tiempo necesario para filtrar la mitad del volumen de la muestra original. La dosis que logre un menor tiempo se consideró como óptima. Se ensayaron cuatro tipos de polielectrolitos, dos aniónico granulares (FLOEGER GR-989 y PRAESTOL 2515 TR) y dos catiónicos líquidos (HICAT 1T y NALCO 8791). El acondicionamiento se realizó en una prueba de jarras, con agitación intensa (100 r.p.m.) por 30 segundos y moderada (30 r.p.m.) por 15 minutos, para muestras de lodo espeso de 100 ml.

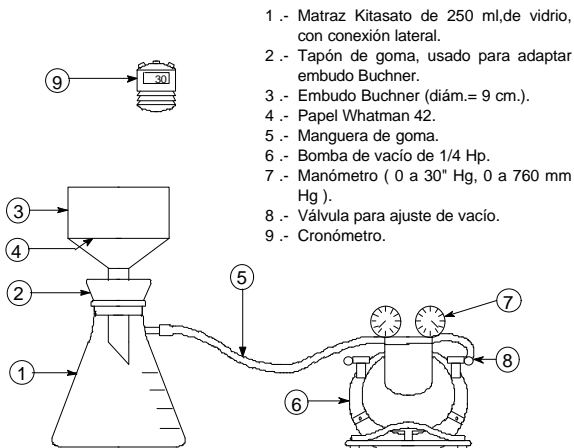


- 1.- Cuerpo de la Válvula
- 2.- Tapón de Goma
- 3.- Boquilla de la Válvula
- 4.- Tubo de Vidrio
- 5.- Manguera Flexible
- 6.- Tapón de Plástico

Fig. 3.- Detalle del toma muestras utilizado en los ensayos de sedimentación de las aguas de lavado de los filtros.

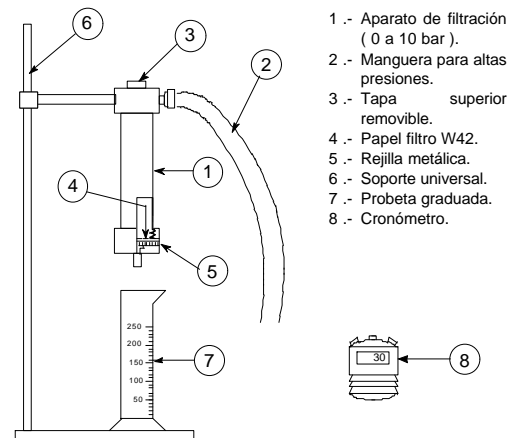
Para cuantificar la mayor o menor facilidad de deshidratación de los lodos espesos, con y sin acondicionar, se determinó la resistencia específica a la filtración a 0.5 bar de presión diferencial o filtrabilidad. La metodología utilizada era similar a la adoptada para los ensayos de tiempo de filtración, determinando, además, el contenido de sólidos en la torta formada al final del ensayo en un aparato de filtración a presión (fig. 5). Con los datos de tiempo transcurrido (t) y volumen de filtrado acumulado (V), se construyen las curvas de t/V en función de V y se determina la pendiente (b) de la zona recta. Conocidos el área filtrante del aparato ($A=1.3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$), la viscosidad dinámica del filtrado (μ , igual a del agua a esa temperatura, en Ns/m^2), el gradiente de presión ocupado ($P=50.8 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$) y la masa de sólidos secos retenida por unidad de volumen (c en kg/m^3), se puede determinar la resistencia específica a la filtración (r) por medio de la expresión: $r = 2 \cdot b \cdot P \cdot A / (\mu \cdot c)$ (m/kg), proveniente de la ecuación de filtración adaptada por CARMAN (1938) y KOZENY, a partir de la Ley de Poiseuille y la forma modificada de la ley de DARCY, de 1850 (CHRISTENSEN, 1985).

Para apreciar el comportamiento de los lodos espesados cuando son sometidos a presiones similares a las provocadas por algunos equipos de deshidratación mecánica, se realizaron ensayos de filtración a presión en el rango de 2 a 7 bar, en base a los cuales se puede verificar que el modelo que relaciona la filtrabilidad del lodo con la presión diferencial aplicada es: $r = r' \cdot P^S$, con $r' = r_{0.5} \cdot 2^S$ y S = coeficiente de compresibilidad del lodo.



- 1.- Matraz Kitasato de 250 ml, de vidrio, con conexión lateral.
- 2.- Tapón de goma, usado para adaptar embudo Buchner.
- 3.- Embudo Buchner (diám.= 9 cm.).
- 4.- Papel Whatman 42.
- 5.- Manguera de goma.
- 6.- Bomba de vacío de 1/4 Hp.
- 7.- Manómetro (0 a 30" Hg, 0 a 760 mm Hg).
- 8.- Válvula para ajuste de vacío.
- 9.- Cronómetro.

Fig. 4.- Aparato de filtración al vacío



- 1.- Aparato de filtración (0 a 10 bar).
- 2.- Manguera para altas presiones.
- 3.- Tapa superior removible.
- 4.- Papel filtro W42.
- 5.- Rejilla metálica.
- 6.- Soporte universal.
- 7.- Probeta graduada.
- 8.- Cronómetro.

Fig. 5.- Aparato de filtración a presión.

RESULTADOS.

Los ensayos de espesamiento permitieron construir la fig. 6, que entrega la relación entre el tiempo de retención, la carga superficial y la concentración de sólidos a la salida de la unidad. En base a esta figura se adoptó una carga superficial de 2.400 kg/m²/d, tiempo de retención de 12 minutos y una concentración de salida de la unidad del 6%. Valores ocupados en las siguientes etapas del trabajo.

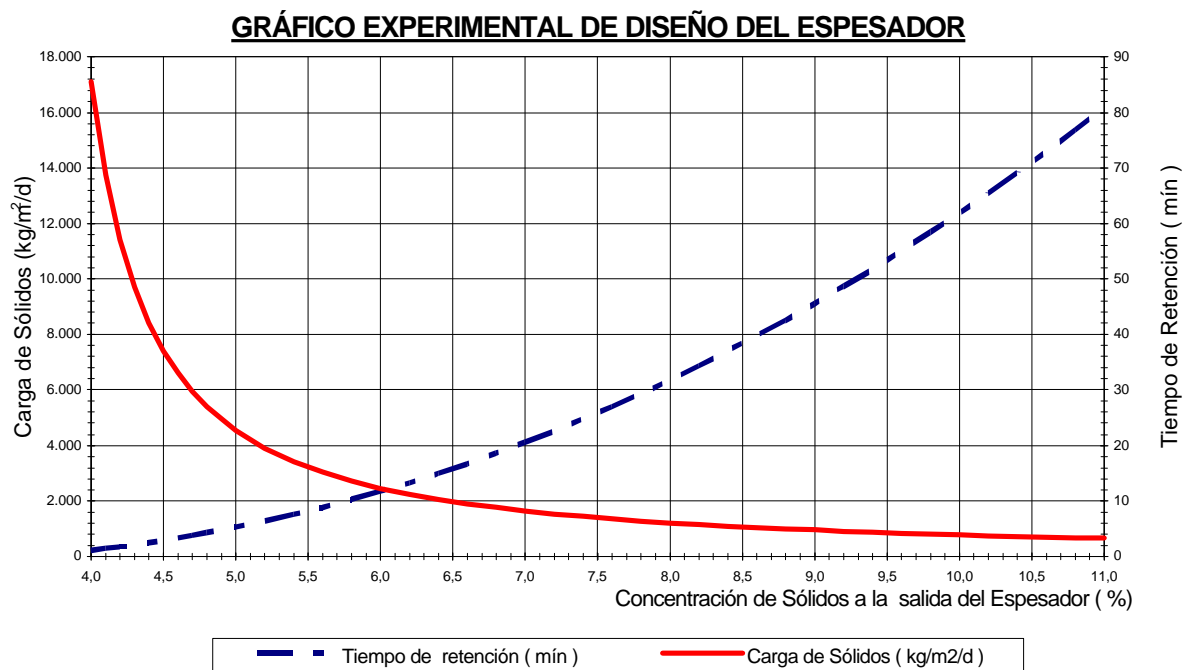


Fig. 6.- Relación entre Carga de Sólidos, Tiempo de Retención y Concentración de salida de un espesador.

Los ensayos con agua de lavado de los filtros demostraron que realizando una sedimentación simple por 25 minutos, una tasa superficial de 80 m³/m²/d, se reduce de un 92 a 95% su turbiedad inicial y que para lodos mixtos (con concentraciones resultantes menores a 2.000 mg/l) la reducción es del orden del 90 al 97%. Además, se determinó que se podía recuperar cerca del 95 y 90%, respectivamente, del agua utilizada.

Los ensayos de tiempo de filtración determinaron las siguientes dosis óptimas:

-FLOEGER GR-989	0.6	g/kg de sólido seco
-PRAESTOL 2515 TR	0.2	g/kg de sólido seco
-HICAT 1T	10	g/kg de sólido seco
-NALCO 8791	40	g/kg de sólido seco

Es necesario indicar que aunque las dosis de polielectrolitos aniónicos resultan ser bajas, existen dificultades para la preparación de una solución de aplicación y filtración del lodo acondicionado, descartando el uso de estos productos en las siguientes etapas del trabajo.

Los ensayos de filtración a presión verificaron la relación entre la presión de filtración y la resistencia específica del lodo. Se obtuvieron valores de $r_{0,5}$ en el rango de 10 a 13.27 Tm/kg y S de 0.36 a 0.50, para el lodo espeso sin acondicionar, y $r_{0,5}$ de 1.75 a 4.45 Tm/kg y S de 0.52 a 0.92 para el lodo espeso acondicionado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

A partir de los ensayos realizados y resultados obtenidos, se puede concluir:

- El espesamiento de los lodos debe realizarse a una tasa de 2.400 kg/m²/d y un tiempo de retención de 12 minutos, obteniendo un lodo espeso con una concentración media de salida del 6%.
- El agua de lavado de los filtros debe decantarse por 25 minutos recuperando del orden del 95% del agua utilizada y reduciendo la turbiedad de un 92 a 95%. Si el espesador se encuentra sobrecargado es posible desviar una parte del caudal al decantador reduciendo la recuperación al orden del 90% y con una reducción de turbiedad del 90 al 97%.
- Los valores de la resistencia específica clasifican al lodo espeso sin acondicionar como pobremente deshidratable y al lodo acondicionado como medianamente deshidratable, con una mayor dependencia de la presión aplicada.

Para la confirmación y exactitud de los datos obtenidos, se requerirá realizar las siguientes experiencias :

- Muestreos periódicos de los lodos por al menos un año para determinar las correlaciones entre las condiciones operacionales del Complejo y las características del lodo.
- Ensayos de espesamiento con lodo de distintos meses del año, con el fin de verificar la curva de diseño.
- Determinar periódicamente la dosis óptima de polielectrolito y resistencia específica del lodo, tal como se hace para la dosis de coagulantes, con el fin de establecer su variación, de acuerdo a la época del año.
- Instalar una unidad piloto de deshidratación, en la que se pongan en práctica los resultados obtenidos.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.

- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA): *Water Quality and Treatment*. Fourth Edition. 1990.
- CHRISTENSEN, G.L.; Dick, R.I.: Specific Resistance Measurements: Nonparabolic Data. *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, **Vol. III**, N°3, p.243-257, June 1985a.
- CHRISTENSEN, G.L.; Dick, R.I.: Specific Resistance Measurements: Methods and Procedures. *Journal of Environmental Engineering, ASCE*, **Vol. III**, N°3, p.258-271, June 1985a.
- GRANDIN, S.R.: Deshidratación de Lodos Producidos en Estaciones de Tratamiento de Agua. *17º Congreso Brasileño de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. **Vol. 2**. 19 al 23 de Septiembre de 1993.
- WILLIAMS, R.B.; CULP, G.L.: *Sludge Handling and Disposal. Handbook of Public Water System*. 1986.