



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Diseño de los procesos de concentración en la línea de fangos de una EDAR.

Apellidos, nombre	Bes Piá, M. Amparo (mbespia@iqn.upv.es) Mendoza Roca, José Antonio (jamendoz@iqn.upv.es)
Departamento	Ingeniería Química y Nuclear
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales



1 Resumen de las ideas clave

- En las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDARs) se generan fangos que se caracterizan por ser extremadamente líquidos (>90% agua) y contener materia orgánica.
- Mediante los procesos de concentración se elimina el agua intersticial de los fangos. Como consecuencia, se reduce su volumen y se incrementa su concentración en sólidos.
- Los procesos de concentración que se pueden utilizar para reducir agua del fango son: espesador por gravedad y flotador.
- El diseño de los procesos de concentración implica determinar el diámetro que tendrán dichos equipos. El cálculo se realiza a partir de los parámetros de diseño: carga de sólidos y/o la carga superficial (también denominada velocidad ascensional).

2 Introducción

En las Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) se depuran las aguas residuales. Como resultado de esta depuración se generan fangos que se caracterizan por se extremadamente líquidos y por contener materia orgánica. Los fangos generados se tratan en lo que se denomina la "línea de fangos". Esta línea está formada por diferentes procesos en función del número de habitantes equivalentes (He) para la que está diseñada la EDAR. Entre los procesos que podemos encontrar se encuentran los tratamientos físico-mecánicos y tratamientos térmicos en los cuales se reduce el agua contenida en los fangos y, los procesos de digestión o estabilización en los cuales se reduce el contenido de materia orgánica.

Este artículo docente se centrará en los procesos de concentración. Dentro de los **tratamientos físico-mecánicos** se encuentran los procesos de **concentración**. Estos procesos se caracterizan por eliminar el agua intersticial contenida en el fango, es decir, el agua que ocupa los grandes poros entre las partículas del fango. Este agua supone entre un 70-80% del agua total contenida en los fangos y, dado que la unión agua-sólidos es una unión débil, se puede eliminar fácilmente del fango.

3 Objetivos

La lectura de este artículo docente permitirá al alumno ser capaz de realizar los cálculos necesarios para el diseño de la etapa de concentración de la línea de fangos de una Estación Depuradora de Aguas Residuales. Este objetivo general se desglosa en dos:

- Diseñar un espesador por gravedad.
- Diseñar flotadores: sin recirculación y con recirculación.



4 Desarrollo

¿Qué conocimientos previos se requieren? Antes de realizar el diseño de la línea de fangos de una EDAR es importante conocer los tratamientos a los que se suele someter el agua residual, qué se consigue eliminar en cada uno de ellos y en qué orden se aplican. En caso contrario consultar la bibliografía recomendada [1-3].

¿Y por qué es importante diseñar la etapa de concentración? En primer lugar por lo que se ha comentado anteriormente: son extremadamente líquidos; ¡más de un 90% de agua! Si queremos realizar un diseño ajustado de los digestores (etapa de eliminación de materia orgánica), reducir los costes por dosificación de reactivos en etapas posteriores y costes de energía por bombeo de los fangos, la etapa de concentración es imprescindible.

¿A qué se refiere la palabra diseño? Cuando se habla de diseño se referirá a determinar las dimensiones, en concreto el **diámetro** que deben tener los equipos, para asegurar su correcto funcionamiento en la reducción del contenido en agua. La consecuencia directa de este tratamiento es el incremento del contenido de sólidos en los fangos.

¿Cómo se estructura el contenido? La estructura del contenido se ha establecido a partir de los objetivos que se quieren alcanzar y que se indican en el apartado 3.

4.1 Diseño del espesador

Un espesador es un sedimentador por gravedad (Figura 1) que tiene como finalidad concentrar el fango. Lo más habitual es concentrar fango primario en grandes depuradoras o el fango mixto, mezcla del fango primario y fango secundario, en depuradoras de mediano tamaño.



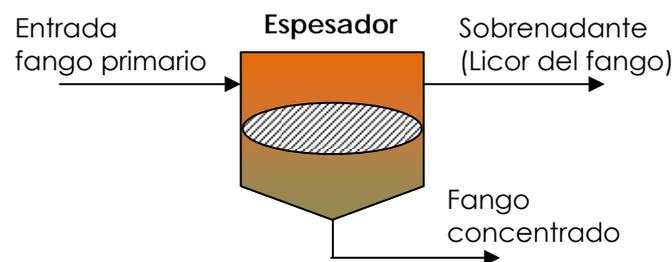
Figura 1. Espesador de la EDAR de Pinedo (Valencia)

Mediante el espesador se puede llegar a concentrar el fango primario hasta un 5-6% de sólidos partiendo de valores aproximados entre 1,5-3% de sólidos.

El diseño se realiza normalmente a partir del parámetro de diseño **carga de sólidos**. La carga de sólidos se define como el cociente entre los kilos de sólidos que entran diariamente al espesador por la sección del mismo. La bibliografía [2-3] recoge datos de cargas entre 90-150 kgSS/(m²·d) para los fangos primarios y cargas entre 40-60 kgSS/(m²·d) para fango mixto.

Ejemplo de diseño: Diseñar el espesador para concentrar el fango primario generado en la línea de aguas.

- Datos de partida (o estimados): concentración de sólidos en el fango primario (1,5%≈15kgSS/m³) y caudal de fango primario (Q_{F1}=1200m³/d).
- De la bibliografía: tomar carga de sólidos en función del tipo de fango. En este caso tomamos 120 kgSS/(m²·d).



El diseño consiste en determinar el diámetro que debe tener el espesador. Para ello, se determina inicialmente la sección transversal del espesador a partir de la carga de sólidos seleccionada. De esta forma queda:

$$A = \frac{15 \text{ kgSS/m}^3 \cdot 1200 \text{ m}^3/\text{d}}{120 \text{ kgSS}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})} = 150 \text{ m}^2$$

A continuación, sabiendo que el tanque espesador es circular, se calcula el diámetro del mismo:

$$A = \pi \cdot R^2 = 150 \text{ m}^2 \rightarrow R = 7 \rightarrow \text{Diámetro} = 14 \text{ metros.}$$

4.2 Diseño del flotador

El flotador tiene también como finalidad concentrar el fango (Figura 2). Sin embargo, la principal diferencia con respecto al espesador por gravedad es que los sólidos se concentran en la parte superior del tanque. Lo más habitual es concentrar mediante estos sistemas el fango secundario. Así, mediante estos equipos, se puede concentrar el fango secundario desde un 0,3-1% en sólidos hasta un 3-5%.



Figura 2. Flotador de la EDAR de Pinedo (Valencia)

Existen diferentes técnicas de flotación siendo la más utilizada de la **flotación por aire disuelto**. ¿En qué consiste esta técnica? consiste en aumentar la solubilidad del aire en el agua aumentando la presión. A continuación, se elimina la presión y el aire que estaba disuelto deja de estarlo liberándose en el tanque en forma de pequeñas burbujas que atrapan y arrastran a las partículas hasta la parte superior del flotador donde se concentran.

Actualmente, este sistema de flotación tiene dos configuraciones: sistema sin recirculación y con recirculación. Veamos para cada uno de ellos qué características tiene y cómo se diseña.

4.2.1 Sistema sin recirculación

De forma esquemática el sistema sin recirculación se representa en la Figura 3. Como se puede observar, todo el caudal de fango a tratar es bombeado hacia el depósito presurizado donde se disuelve el aire.

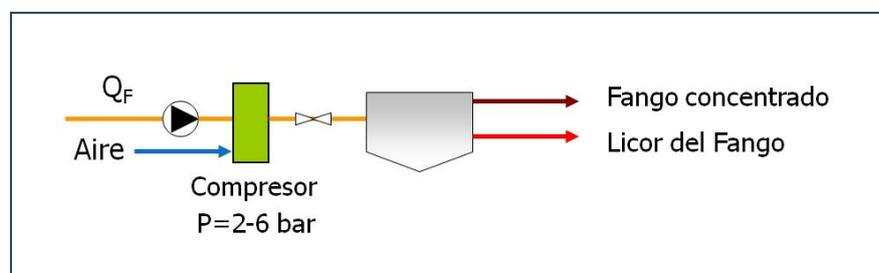


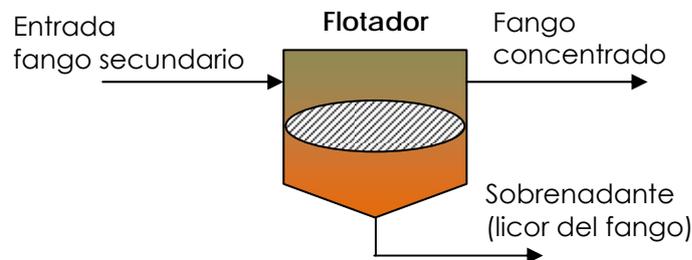
Figura 3. Esquema básico de un flotador sin recirculación.



¿Cómo se diseña? El flotador por aire disuelto sin recirculación se diseña a partir de la **carga hidráulica superficial** o de la **carga de sólidos** ($\text{kgSS}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$), parámetro que depende del tipo de fango. Los cálculos para su diseño son similares a los del espesador. La bibliografía [3-4] recoge rangos de valores para ambos parámetros: $50\text{-}100 \text{ kgSS}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ y $3\text{-}5 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$.

Ejemplo de diseño: Diseñar un flotador para concentrar el fango secundario en exceso generado en la línea de aguas.

- Datos de partida (o estimados): concentración de sólidos en el fango secundario ($0,3\% \approx 3 \text{ kgSS}/\text{m}^3$) y caudal de fango secundario ($Q_{F2} = 1440 \text{ m}^3/\text{d}$).
- Carga hidráulica superficial: $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \rightarrow 72 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.



El diseño consiste en determinar el diámetro que debe tener el flotador. Para ello, se determina inicialmente la sección transversal del flotador a partir de la carga hidráulica superficial seleccionada. De esta forma queda:

$$A = \frac{1440 \text{ m}^3/\text{d}}{72 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})} = 20 \text{ m}^2$$

A continuación, sabiendo que el tanque flotador es circular, se calcula el diámetro del mismo:

$$A = \pi \cdot R^2 = 20 \text{ m}^2 \rightarrow R = 2,5 \rightarrow \text{Diámetro} = 5 \text{ metros.}$$

4.2.2 Sistema con recirculación

En el sistema con recirculación, una parte del licor del fango es recirculado hacia el depósito de presurización, tal y como se puede observar en la Figura 4. De esta forma se consigue una mayor duración de los elementos del sistema dado que la corriente de licor del fango tiene una concentración en sólidos menor que la del fango y, por otro lado, se evita la rotura de los flóculos al no estar sometidos a presión.

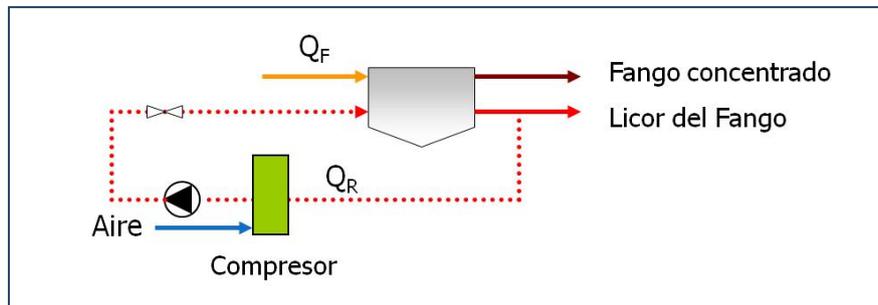


Figura 4. Esquema básico de un flotador con recirculación.

¿Cómo se diseña? El flotador por aire disuelto con recirculación se diseña también a partir de la carga de sólidos o de la velocidad ascensional, siendo este último más habitual. Sin embargo, en este caso, el área del flotador depende del caudal de licor del fango que hay que recircular (Q_R).

Para determinar el Q_R hay que emplear la Ecuación 1. Esta ecuación relaciona el parámetro A/S , relación entre el volumen de aire y la masa de sólidos necesarios para obtener una determinada concentración de sólidos, con el caudal de recirculación (Q_R), caudal de fango (Q_0), presión de trabajo (atm), solubilidad del aire en el agua (δ_a en mL/L), densidad del aire (ρ_a en kg/m³) y donde "f" es la fracción de aire disuelto a la presión de operación. "f" puede variar entre 0,5-0,8.

$$\frac{A}{S} = \frac{Q_R}{Q_0} \cdot \frac{\rho_a \cdot \delta_a \cdot (f \cdot P - 1)}{X_0} \quad \text{Ec.1}$$

El valor de la relación A/S se determina gráficamente utilizando la Figura 5 fijando la concentración de sólidos en el fango a la salida del flotador.

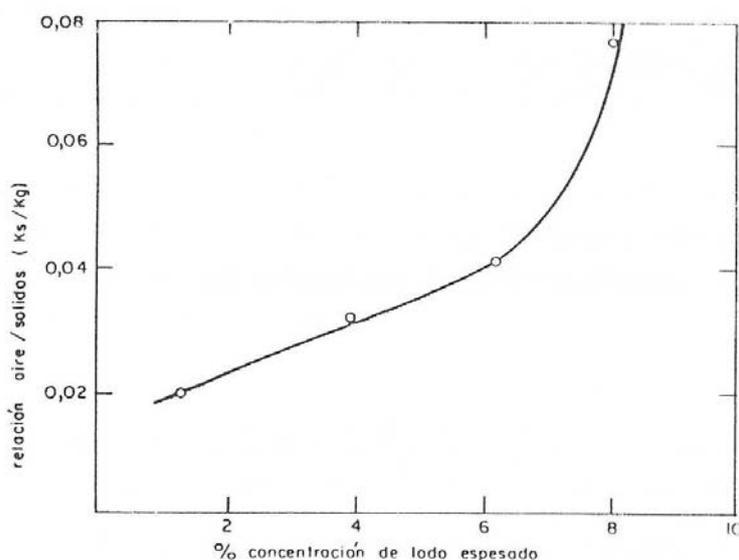


Figura 5. Relación entre A/S y la concentración de sólidos en fangos espesados(%) [3]



Ejemplo de diseño: Diseñar un flotador con recirculación para concentrar el fango secundario generado en la línea de aguas hasta un 3%.

- Datos de partida (o estimados): concentración de sólidos en el fango secundario ($0,3\% \approx 3 \text{ kgSS/m}^3$), caudal de fango secundario ($Q_{F2}=1440 \text{ m}^3/\text{d}$), $P=4 \text{ atm}$, " f "=0,8 y concentración de fango concentrado (4%).
- Carga hidráulica superficial: $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \rightarrow 72 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$.

Veamos los pasos necesarios para determinar el diámetro del flotador:

1) Determinar la **relación A/S** en función de la concentración de fango que se quiere alcanzar.

Según la Figura 5 para alcanzar una concentración de un 3% de sólidos en el fango concentrado es necesario aplicar una relación $A/S=0,028 \text{ kg aire/kg sólidos}$.

2) Determinar el **caudal de recirculación** del licor del fango empleando la Ec 1. Los datos de densidad y solubilidad del aire a presión atmosférica están tabulados.

$$Q_R = \frac{A}{S} \cdot \frac{Q_0 \cdot X_0}{\rho_a \cdot \delta_a \cdot (f \cdot P - 1)} = \frac{0,028 \frac{\text{kg}_{\text{sólidos}}}{\text{kg}_{\text{aire}}} \cdot 3 \frac{\text{kgSS}}{\text{m}^3_{\text{fango}}} \cdot 1440 \frac{\text{m}^3_{\text{fango}}}{\text{d}}}{1,206 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}_{\text{aire}}}{\text{L}_{\text{aire}}} \cdot 20,1 \cdot 10^3 \frac{\text{mL}_{\text{aire}}}{\text{m}^3_{\text{agua}}} \cdot \frac{1 \text{ L}_{\text{aire}}}{1000 \text{ mL}_{\text{aire}}} \cdot (0,8 \cdot 4 - 1)}$$

$$Q_R = \frac{121}{0,053} = 2269 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

3) Determinación del **área del flotador** teniendo en cuenta tanto el caudal de fango a la entrada del flotador como el caudal de recirculación de licor del fango.

$$A = \frac{1440 \text{ m}^3/\text{d} + 2269 \text{ m}^3/\text{d}}{72 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})} = 51,5 \text{ m}^2$$

A continuación, suponiendo que el tanque flotador es circular, se calcula el diámetro del mismo:

$$A = \pi \cdot R^2 = 51,5 \text{ m}^2 \rightarrow R = 4 \rightarrow \text{Diámetro} = 8 \text{ metros.}$$

El área en los flotadores con sistema de recirculación será siempre mayor al tener que considerar el caudal de recirculación (Q_R).

5 Cierre

A lo largo de este artículo docente se ha visto cómo diseñar los equipos que se emplean habitualmente para concentrar fangos en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

6 Bibliografía

6.1 Libros

[1] Mendoza Roca, J.A.; Montañés Sanjuan, T.; Palomares Gimeno, A.E.: "Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente" Ed. Universitat Politècnica de València. Colección Libro Docente. SPUPV 98.292.

[2] Metcalf & Eddy: "Ingeniería de las Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización", Ed. McGraw-Hill, 1995.

[3] Aurelio Hernández Muñoz: "Depuración de Aguas Residuales" Servicio de Publicaciones de las Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, 1992.

[4] CEDEX Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. "XX Curso sobre tratamiento de Aguas Residuales y explotación de estaciones depuradoras". Volumen 2, Madrid, 2000.