Universidad Politécnica de Cartagena

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL

Abastecimiento de aguas

TEMA 7
Tratamiento de fangos

Francisco Javier Pérez de la Cruz

ÍNDICE

1. **INTRODUCCIÓN**
2. **CARACTERÍSTICAS DE LOS FANGOS**
3. **TUBERÍAS Y PÉRDIDAS DE CARGA**
4. **BOMBAS DE FANGOS**
5. **PROCESO DE TRATAMIENTO DE FANGOS**
   - Homogeneización
   - Espesamiento
   - Deshidratación
   - Almacenamiento, transporte y vertido
6. **BIBLIOGRAFÍA**

1. INTRODUCCIÓN

En los procesos de pretratamiento de aguas, éstas son desprovistas de los sólidos en suspensión en diferentes fases.

Estos residuos, que denominaremos fangos o lodos, son los únicos elementos de rechazo que se obtienen en el proceso y deben ser objeto de un tratamiento previo tanto para su posible aprovechamiento, como para su vertido, con un adecuado control en cumplimiento de la legislación ambiental.

RECUPERACIÓN	ELIMINACIÓN SIN RECUPERACIÓN
Utilización en agricultura como abono	***Vertido al mar o a un cauce superficial***
Recuperación de terrenos agotados	
Producción de energía	***Relleno de terreno, escombreras…***
Compostaje	

La variedad o diferentes características de los fangos depende esencialmente de la calidad del agua bruta y del tratamiento aplicado.

El origen de los fangos puede ser:

a) Los residuos retenidos en los decantadores, que son lodos que se obtienen en la coagulación, junto con materias de naturaleza orgánica e inorgánica, arrastradas por el agua.

b) Los residuos procedentes del lavado de filtros, que son similares a los procedentes de los decantadores, con la fundamental diferencia de su más baja concentración. Además, como los filtros pueden favorecer el desarrollo biológico, el agua de lavado puede contener mayor cantidad de materia orgánica, que la procedente de las purgas de decantadores.

Es una práctica muy corriente recircular el agua procedente del lavado de filtros enviándola a cabecera de tratamiento, o bien evacuarla hacia el desagüe general.

Pero, generalmente, se juntan con los residuos procedentes de las purgas de los decantadores para someter al conjunto a un tratamiento específico para la extracción final del residuo sólido, con un determinado grado de humedad.

EJEMPLO

A continuación se expone en la siguiente tabla un caso real de producción de lodos en una estación de tratamiento de agua potable (ETAP).

El caudal de agua tratado en la planta es de $1 m^3/s$

Los fangos tienen un doble origen; por un lado se originan en las purgas de los decantadores, y por otro, en el lavado de los filtros que posee la ETAP, realizándose una mezcla posterior.

Caudal agua tratada (m^3/s)	Purgas decantadores		Lavado filtros		Mezcla purgas-lavado		Materia seca total kg
	Volumen m^3 /día	Concent. (g/l kg/m^3)	Volumen m^3 /día	Concent. (g/l kg/m^3)	Volumen m^3 /día	Concent. (g/l kg/m^3)	
1	276	4,5	1.680	0,25	1.956	0,849	1.660

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS FANGOS

Los fangos procedentes de las estaciones de tratamiento de aguas potables (ETAP) están compuestos fundamentalmente por:

1) Las materias presentes en el agua bruta y que por oxidación, coagulación y precipitación han sido retenidas en los decantadores y en los filtros.

2) Las sustancias (óxidos e hidróxidos) procedentes de los coagulantes y otros reactivos como cal, permanganato…

La cantidad de fangos que se producirán será función de:

1) La calidad del agua bruta (composición de sólidos)

2) Del caudal tratado

3) De la cantidad de reactivos añadidos

El rango de las concentraciones de los fangos (en peso) que se producen puede variar del 2 al 15%.

El volumen de un fango es la suma del volumen de agua más el volumen de sólidos existentes.

El contenido de sólidos y agua se suele expresar en peso. Así, un fango con una concentración del 10% implica un 90% de agua en peso.

La materia sólida de un fango se compone de sólidos inorgánicos y sólidos orgánicos (volátiles):

$$\frac{P_S}{S_S} = \frac{P_{inorg}}{S_{inorg}} + \frac{P_{org}}{S_{org}}$$

siendo:

$P_s \rightarrow$ Peso de los sólidos
$S_s \rightarrow$ Peso específico de los sólidos
$P_{inorg} \rightarrow$ Peso de los sólidos inorgánicos
$P_{org} \rightarrow$ Peso de los sólidos orgánicos
$S_{inorg} \rightarrow$ Peso específico de los sólidos inorgánicos
$S_{org} \rightarrow$ Peso específico de los sólidos orgánicos

EJEMPLO

Si 1/3 de la materia sólida de un lodo que contiene un 90% de agua está formada por sólidos inorgánicos con un peso específico de 2,5 g/cm^3 y 2/3 de la materia sólida son sólidos volátiles con un peso específico de 1,0 g/cm^3, el peso específico del conjunto de sólidos (S_s) será:

$$\frac{1}{S_S} = \frac{0{,}33}{2{,}5} + \frac{0{,}67}{1{,}0} = 0{,}802 \quad \rightarrow \quad S_s = 1{,}25 \text{ g/cm}^3$$

Si se asume que el peso específico del agua es 1,0 g/cm^3 entonces el peso específico del fango será de:

$$\frac{1}{S_f} = \frac{0{,}1}{1{,}25} + \frac{0{,}9}{1{,}0} = 0{,}98 \quad \rightarrow \quad S_f = 1{,}02 \text{ g/cm}^3$$

3. TUBERÍAS Y PÉRDIDAS DE CARGA

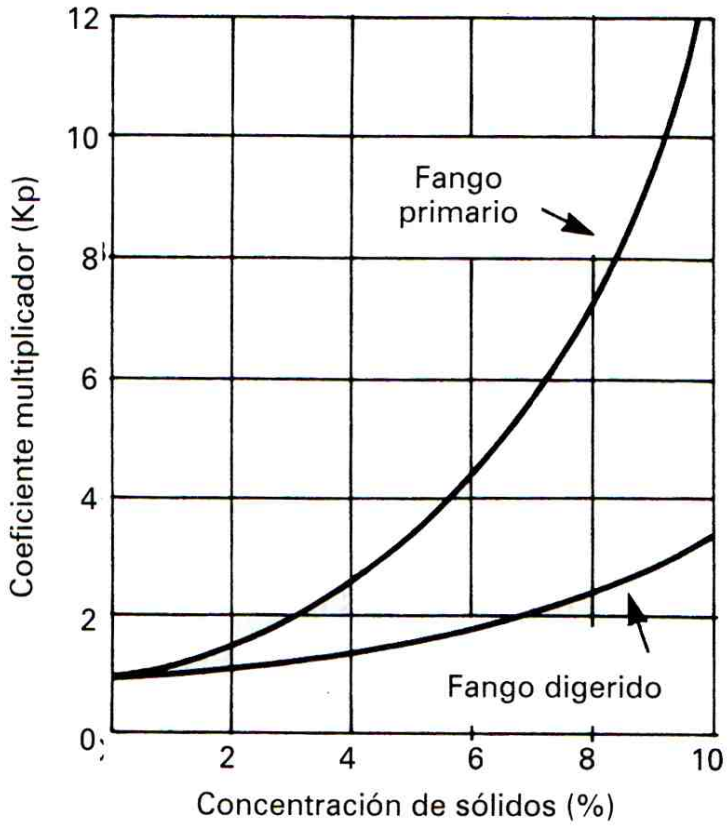
Las tuberías a utilizar para el transporte de los lodos no deben tener diámetros inferiores a 150 mm y la velocidad debe estar entre los 0,6 m/s y los 2,4 m/s.

Los cálculos hidráulicos se realizan normalmente, si bien las perdidas de carga se mayoran con un factor multiplicador K_p cuyo valor es:

$1{,}8 < V_{circulación} < 2{,}4 \rightarrow K_p = 1{,}1$

$1{,}5 < V_{circulación} < 1{,}8 \rightarrow K_p = 1{,}25$

$V_{circulación} < 1{,}5 \rightarrow$ Se utiliza el gráfico adjunto, según el tipo de fango y la concentración de sólidos.



Estas aproximaciones obligan a proyectistas y fabricantes a sobredimensionar los equipos

4. BOMBAS DE FANGOS

El paso de los fangos de un punto a otro de la instalación se puede realizar de dos formas:

a) Por gravedad

b) Mediante el empleo de bombas.

Las bombas más utilizadas en el transporte de fangos son:

1) *Tornillos de Arquímedes*

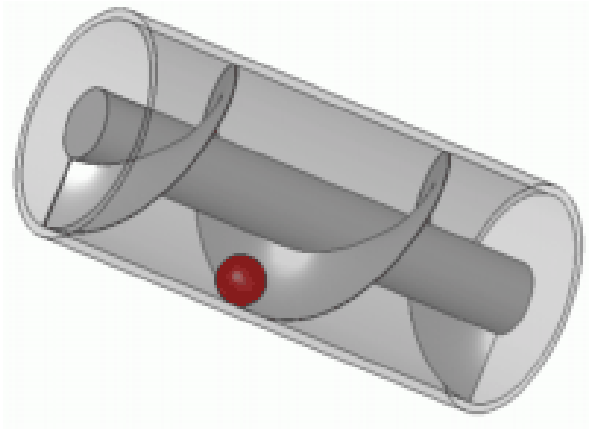
2) *Bombas de émbolo o de diafragma*

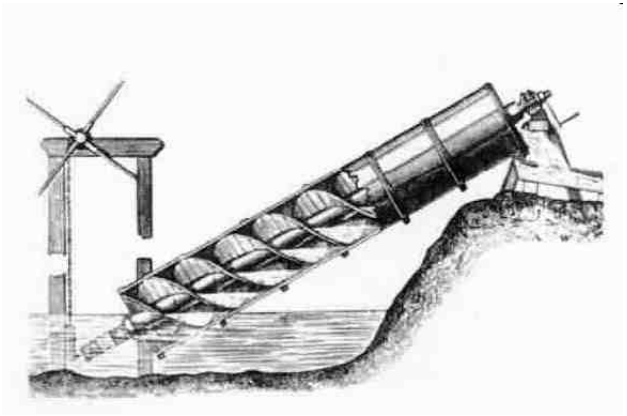
3) *Bombas de cavidad progresiva* (también conocidas como bombas "mono" ya que *Mono* ® fue la primera firma en comercializarlas)

4) *Bombas centrífugas* → Con un diseño especial del álabe con el fin de permitir el paso de sólidos

EJEMPLO

TORNILLO DE ARQUÍMEDES

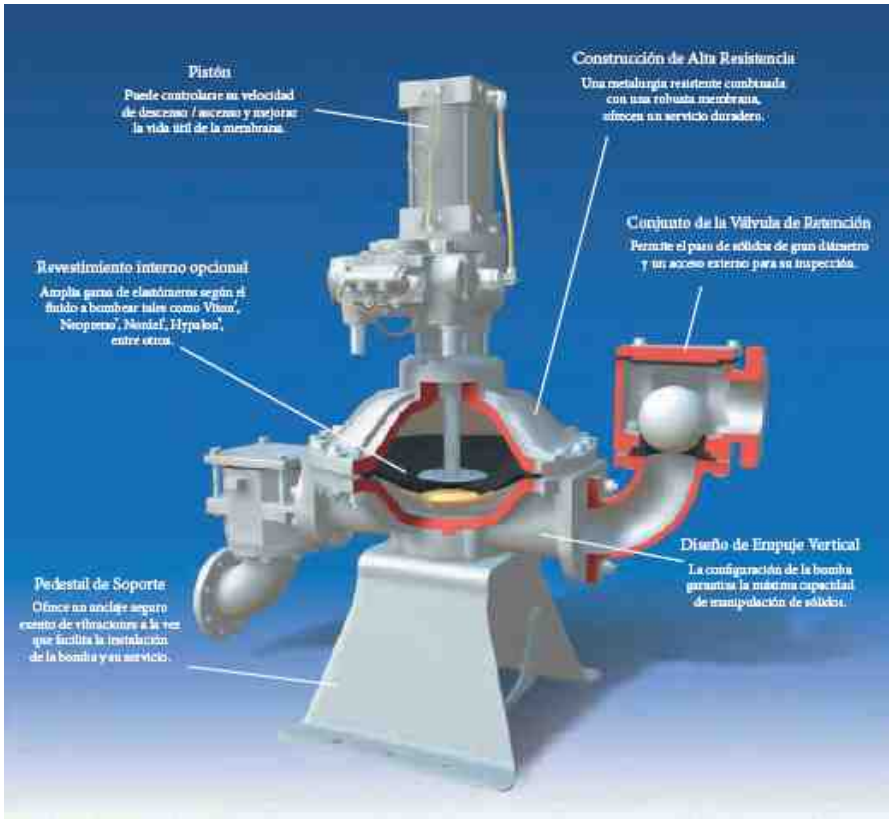




EJEMPLO

BOMBA DE DIAFRAGMA

ADD Ramparts

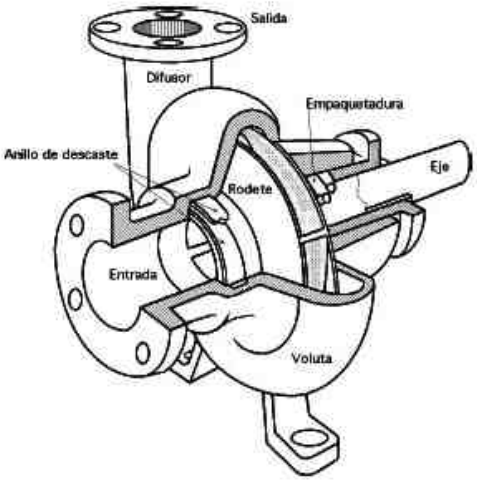


EJEMPLO

BOMBA DE CAVIDAD PROGRESIVA

EJEMPLO

BOMBA CENTRÍFUGA



5. PROCESO DE TRATAMIENTO DE FANGOS

Las operaciones a las que se someten los fangos en los procesos de potabilización son las siguientes:

1) ***HOMOGENEIZACIÓN***

2) ***ESPESAMIENTO***

   Por gravedad
   Por flotación

3) ***DESHIDRATACIÓN***

   Filtro banda
   Filtro prensa
   Centrifugación
   Extensión en eras de secado

4) ***ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE A VERTEDERO***

EJEMPLO

TRATAMIENTO DE FANGOS

ETAP Colmenar (Madrid)

Homogeneización

Los lodos que se originan en el pretratamiento se recogen a través de las purgas de los decantadores o en el lavado de los filtros.

Dado que estos lodos se extraen de forma intermitente y las concentraciones son bastante diferentes, es aconsejable enviarlos a un depósito de mezcla y almacenamiento, donde se homogeneice la concentración y a la vez se disponga de un volumen que permita el funcionamiento continuado de la planta de fangos.

Hay que tener en cuenta que si las concentraciones que llegan a la planta de fangos son muy variables, el rendimiento de ésta se verá muy afectado, siendo por tanto muy favorable la mezcla previa en el depósito de homogeneización de las aguas de lavado de filtros y purgas de decantadores, programando ambos caudales a fin de obtener una concentración de la mezcla lo más constante posible.

Aun cuando solamente se envíe a la planta de lodos las purgas de decantadores (sería el caso de recuperar el lavado de filtros en la propia estación de tratamiento de agua potable) es igualmente aconsejable su paso por el depósito de homogeneización

EJEMPLO

TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN

ETAP Torrealta (Alicante)

Espesamiento

Los fangos originados en las estaciones de tratamiento pueden considerarse como fangos poco concentrados.

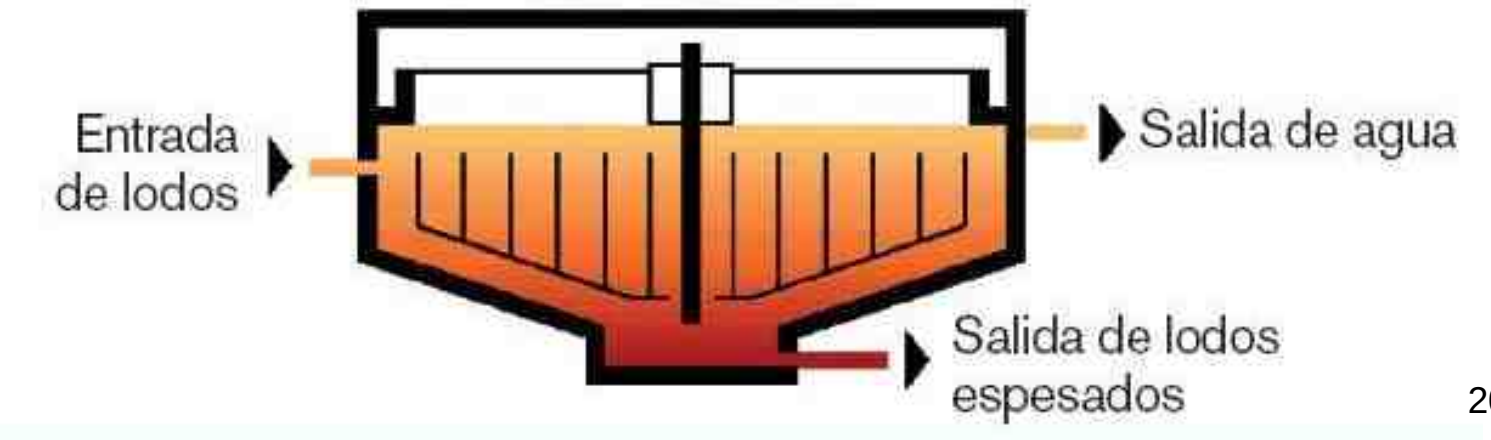
Los procedentes de las purgas de decantadores pueden contener un valor promedio de materia seca del orden del 0,5% (5 g/l) y los procedentes del agua de lavado de filtros son menos concentrados aún, del orden de 0,2 a 0,3 g/l.

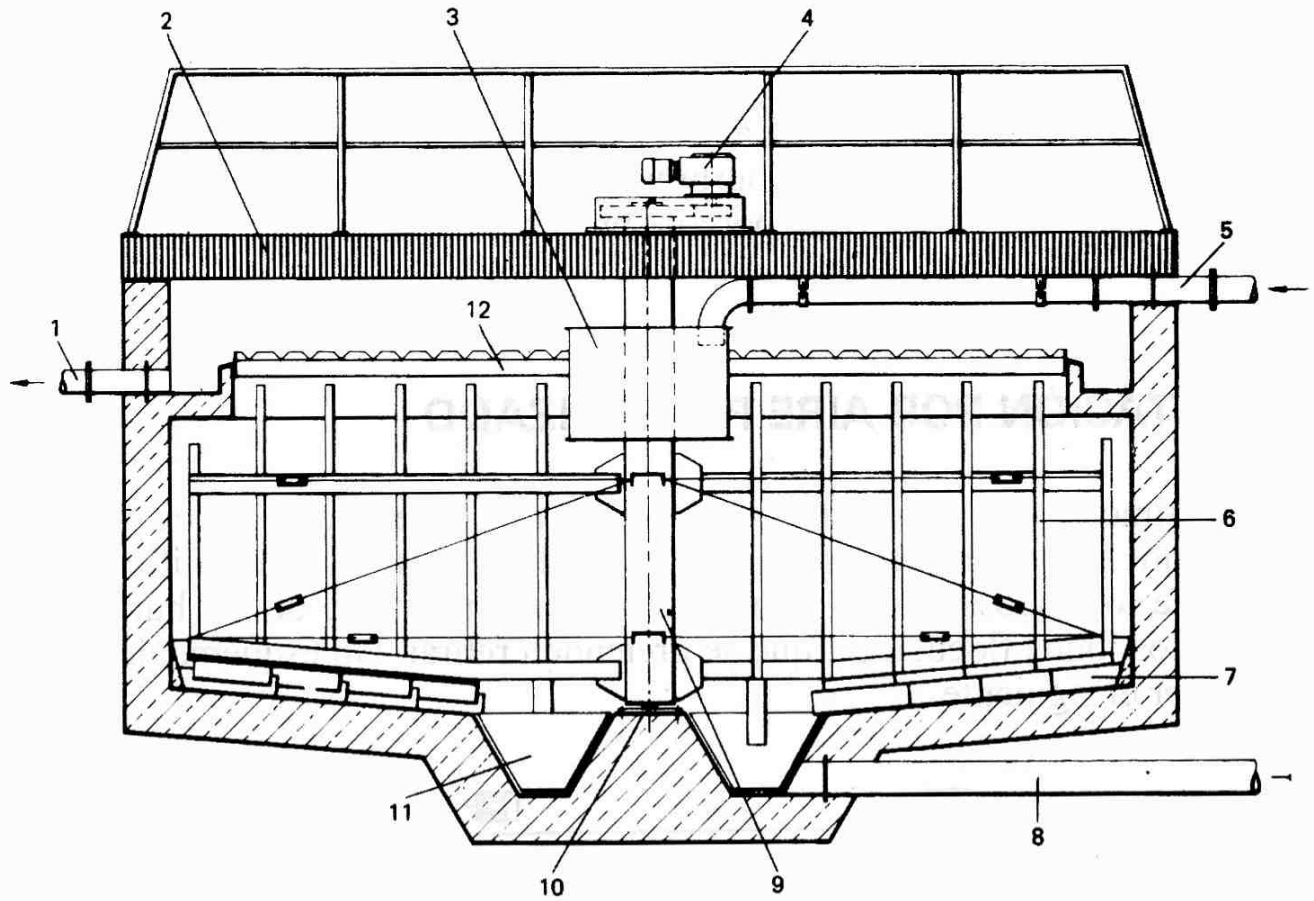
El espesamiento de los fangos tiene lugar generalmente en espesadores (decantadores), ya sea por gravedad o por flotación, pudiendo emplearse incluso ambos sistemas: se comienza con un espesado por gravedad y de aquí el lodo concentrado extraído del fondo pasa a los espesadores por flotación.

En estos espesadores se consigue un aumento de la concentración del orden de 8 veces la concentración inicial (valor final medio del 4%).

a) *Espesamiento por gravedad* → Suele realizarse en espesadores estáticos, normalmente circulares, provistos de rasquetas que arrastran el fango precipitado hacia las arquetas de recogida, desde donde se bombea al equipo de deshidratación.

El agua decantada clarificada se extrae por los vertederos situados en la parte superior y se recupera en cabecera de tratamiento. A veces, los decantadores por gravedad pueden disponer de lamelas que, al aumentar la superficie de decantación, permiten reducir el volumen del decantador, obteniendo buenos resultados en el espesamiento





1. Salida de agua sobrenadante
2. Puente
3. Cilindro deflector
4. Motoreductor
5. Entrada de fangos a espesar
6. Varillas de espesado
7. Barredora de fondo
8. Salida de fango espesado
9. Eje soporte de rasquetas
10. Casquillo soporte del eje
11. Tolva de lodos
12. Rebosadero

EJEMPLO

ESPESADOR POR GRAVEDAD

ETAP Torrealta (Alicante)

EJEMPLO

ESPESADOR POR GRAVEDAD

ETAP Torrealta (Alicante)

b) *Espesamiento por flotación* → Aprovecha la flotabilidad de las partículas cuando se les adhieren pequeñas burbujas de aire.

El espesamiento de fangos por flotación es un proceso en el cual los fangos son mezclados con un caudal de agua presurizada y saturada de aire (flotación por aire disuelto). Este caudal combinado entra en el tanque de flotación a baja velocidad a través de una conducción de mezcla (flotador) que desemboca en un compartimento de entrada por vía de un sistema de distribución.

El agua pasará una compuerta rebosadero y entrará en el compartimento de separación, desde donde es enviada a cabecera de tratamiento, mientras el fango espesado y flotante es enviado a la siguiente fase de deshidratación.

La concentración del fango en materia seca tras esta fase de espesamiento suele estar en el entorno del 4% (40 g/l).

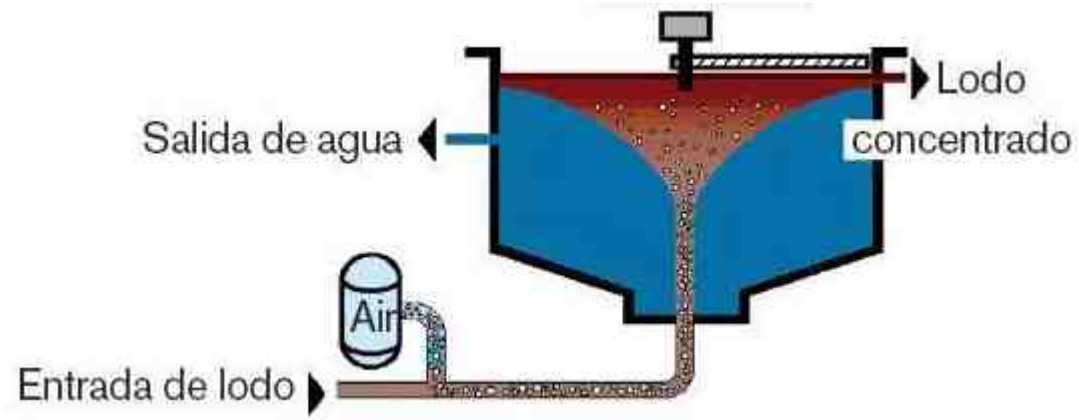
El espesamiento del fango, fundamentalmente en la flotación, se ve favorecido mediante el empleo del polielectrolito adecuado (pudiendo alcanzarse hasta el 6%).

Entre las ventajas del proceso por flotación destacan:

- Mayor volumen de tratamiento que los de gravedad
- Reducción de superficie y volumen de las cubas
- Mayores concentraciones de fangos que los de gravedad

Entre los inconvenientes mencionaremos:

- Mayores costes de explotación y mantenimiento
- Precisa un tanque intermedio previo al bombeo a los equipos de deshidratación (no almacena)



EJEMPLO

ESPESADOR POR GRAVEDAD / FLOTACIÓN

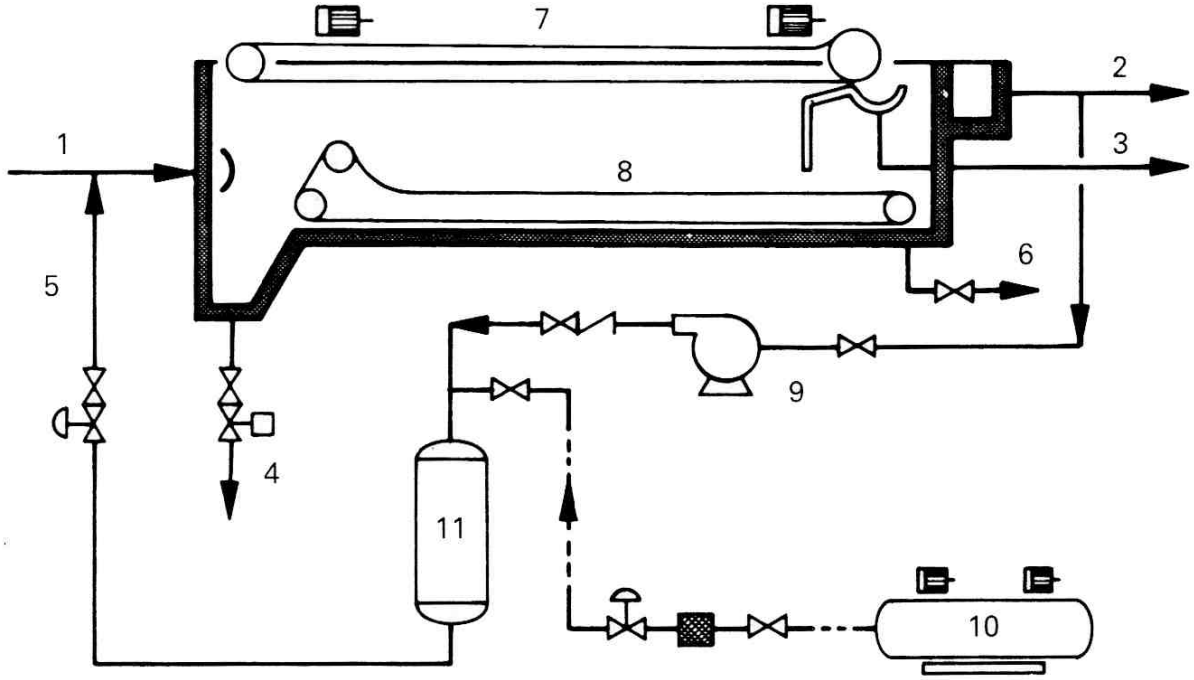
ETAP Pedrera (Alicante)

EJEMPLO

ESPESADOR POR GRAVEDAD / FLOTACIÓN

ETAP Pedrera (Alicante)

Un caso particular del espesamiento por flotación es aquel en el que se emplea aire presurizado. El agua es de reciclado y la presurización óptima se consigue con 3 – 5 atm en el tanque, para conseguir burbujas de 50 a 100 μm.



1. Lodos secundarios
2. Salida agua separada
3. Extracción lodos flotantes
4. Extracción lodos pesados
5. Retorno agua presurizada
6. Vaciado
7. Barredera de superficie
8. Barredera de fondo
9. Bomba de recirculación
10. Grupo compresor
11. Depósito de presurización.

EJEMPLO

ESPESADO POR FLOTACIÓN

Con aire presurizado

Entrada al espesador

Separación de lodo y agua

Deshidratación

El fango espesado contiene un porcentaje pequeño de materia seca (4 - 5%), lo que hace necesario una mayor concentración, disminuyendo la humedad.

El objetivo de esta deshidratación es:

a) Reducir los costes de transporte a vertedero

b) Conseguir una mayor facilidad en la manipulación (utilización de tractores, palas cargadoras, cintas transportadoras)

c) Facilitar la posterior incineración del fango

d) En fangos procedentes de EDAR permite un fango con menos olores y menor grado de putrefacción.

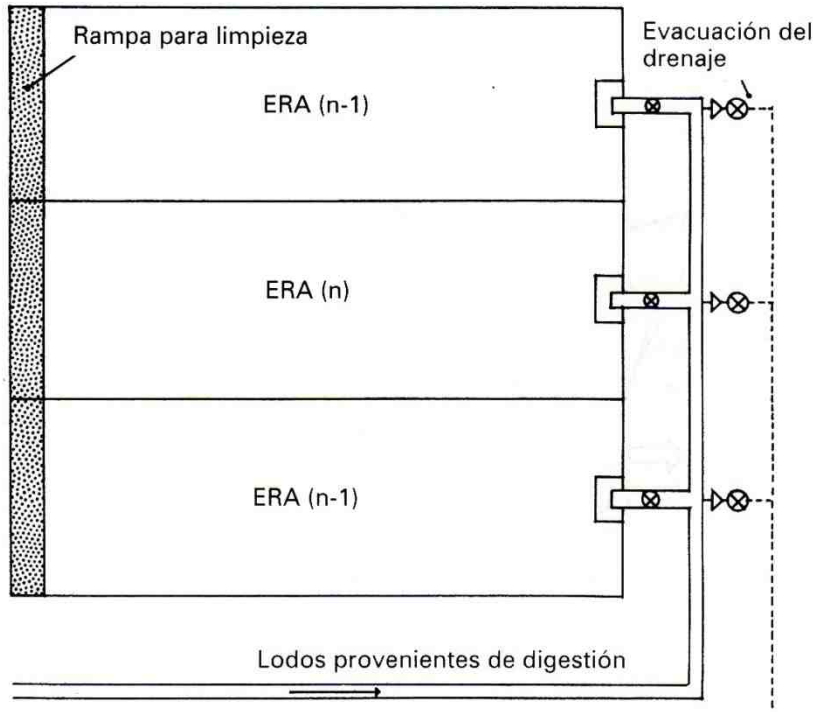
e) Permitir su vertido en vertedero controlado alcanzar un porcentaje mínimo de sequedad a fin de limitar los lixiviados.

La elección del sistema de deshidratación es función de la tipología de fango producido y del espacio disponible para el tratamiento.

a) *Eras de secado* → Son depósitos de poca altura, con un fondo inclinado provisto de un tubo de drenaje, en el que se colocan los fangos en capas de 20 a 30 cm de espesor para que con la acción del sol y el aire se elimine gran parte del agua que contienen.

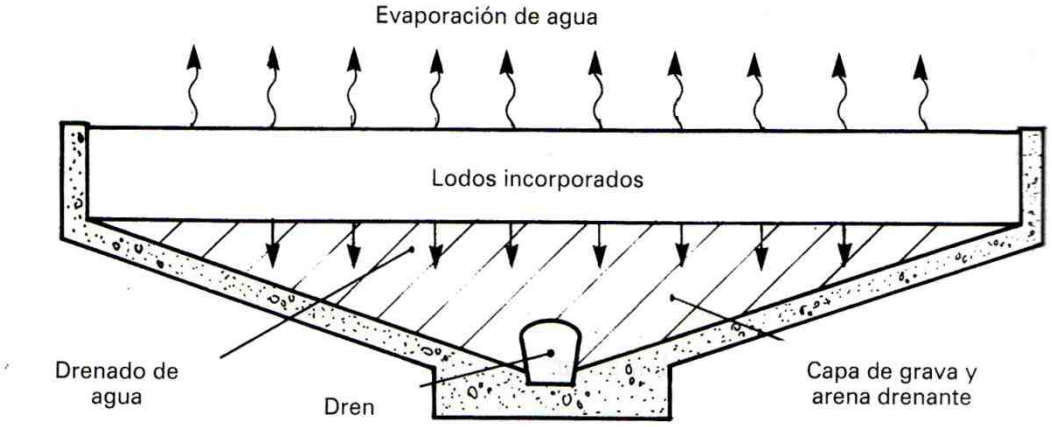
Son viables para poblaciones pequeñas (< 20.000 habitantes)

El área de secado se divide en eras individuales, de aprox. 6 m de ancho por 6 – 30 m de largo, que evidentemente se utilizan al descubierto en zonas de fuerte insolación y escasas precipitaciones.



El fango se deposita sobre un lecho de arena que sirve de dren para los lixiviados del fango. La era se rodea de una red perimetral para la recogida, con una velocidad de, al menos, 0,75 m/s.

El proceso combina la acción térmica (evaporación) por parte de la insolación (trabajo superficial) con la acción de compresión por el peso de la capa de fango (trabajo en profundidad).



Se consigue > 40% de sequedad después de 10-15 días.

La desventaja es la elevada superficie necesaria para tratar los volúmenes de fango producidos y el sistema de extracción.

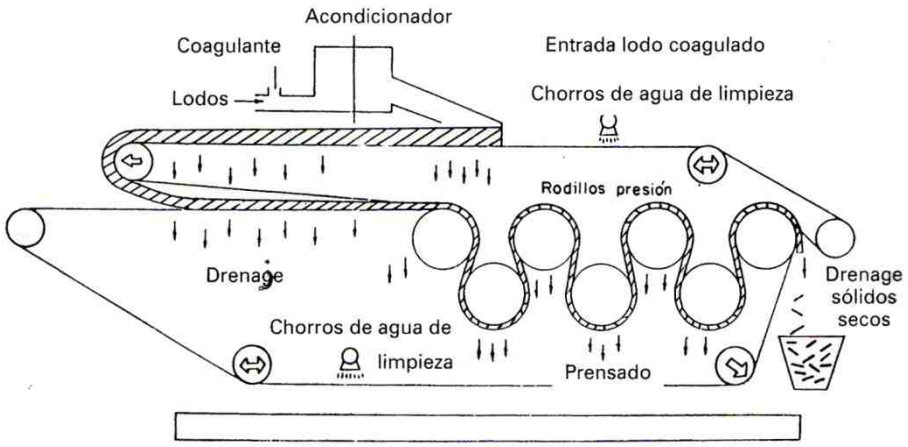
EJEMPLO

ERAS DE SECADO

ETAP Torrealta (Alicante)

b) *Filtros banda* → Constan de dos cintas de tela sin fín que convergen en forma de cuña y son conducidas por rodillos mientras se presionan mutuamente. El fango, acondicionado con un ayudante de floculación (polielectrolitos u otros equivalentes), se vierte de forma continua sobre la banda. Posteriormente, al pasar entre los rodillos, es comprimida y una placa rascadora va separando el fango deshidratado de la banda.

En estos filtros se consiguen concentraciones del 15 al 30% en materia seca, pudiéndose modificar por la velocidad de avance o la tensión de las bandas



EJEMPLO

FILTRO BANDA

EJEMPLO

FILTRO BANDA

ETAP Pedrera (Alicante)

EJEMPLO

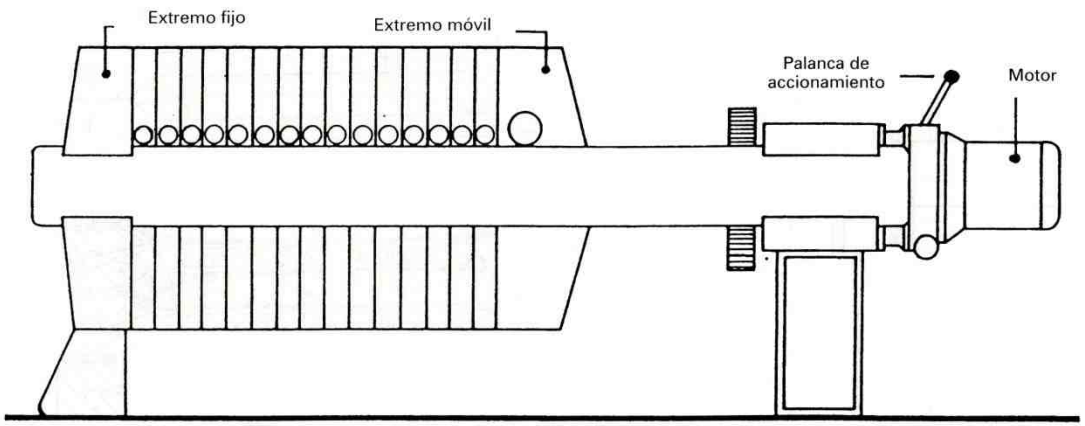
RECOGIDA DE LODOS

ETAP Pedrera (Alicante)

c) *Filtros prensa* → La deshidratación se realiza forzando la evacuación del agua presente en el fango por la aplicación de una presión elevada (40-150 kg/cm^2 que se mantiene entre 1 y 3 horas).

Constan de una serie de placas con caras acanaladas sobre las que se intercalan unas telas filtrantes.

El fango previamente acondicionado (generalmente con cal) se introduce en las cámaras que se forman entre dos placas contiguas y se somete el conjunto a una elevada presión por medio de un dispositivo hidráulico.



Comparándolos con los filtros banda, los filtros prensa tienen una serie de ventajas e inconvenientes.

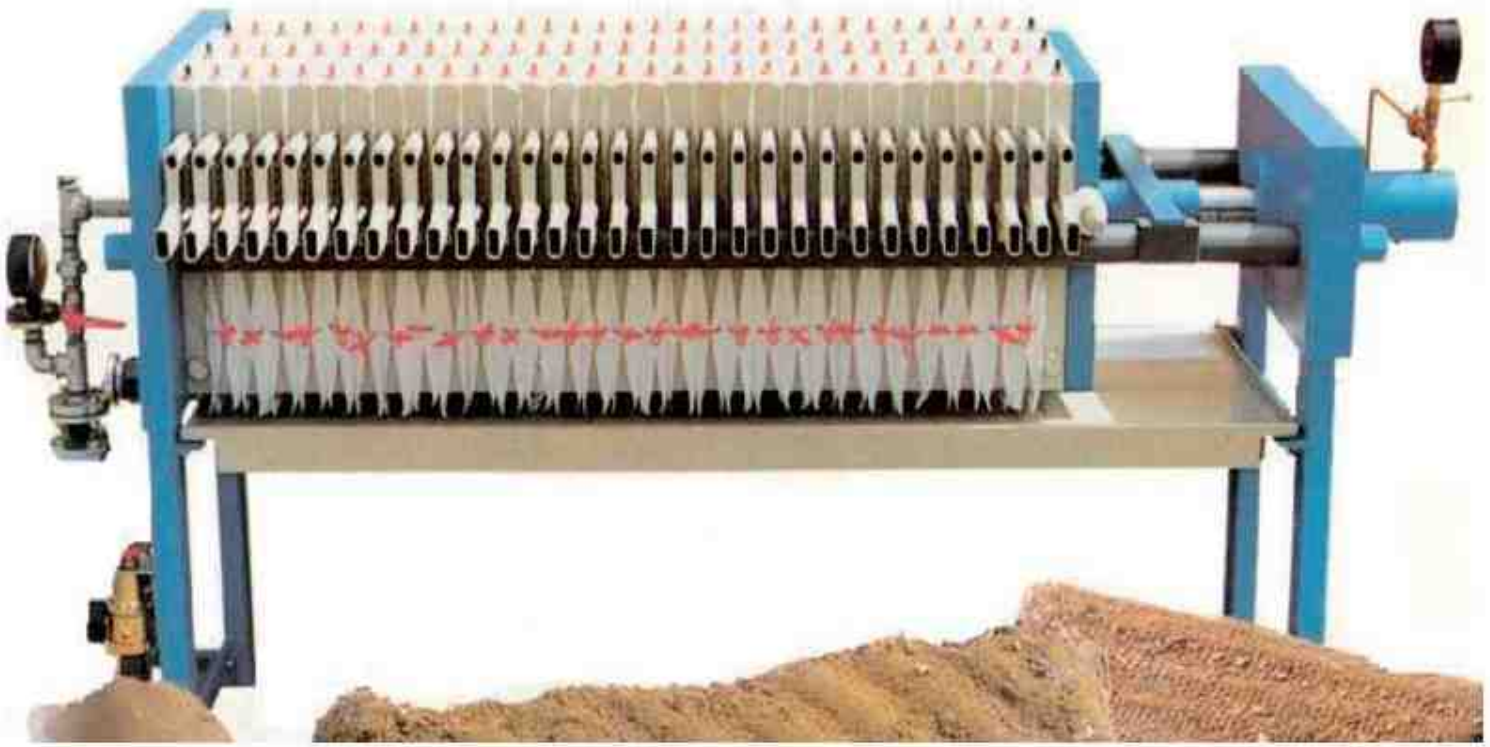
Entre las ventajas destacamos las altas concentraciones de sólidos que se obtiene (30 - 45%), la obtención de un líquido filtrado muy clarificado y un bajo consumo de productos químicos.

Entre los inconvenientes predomina el alto coste de la mano de obra (exige la presencia permanente de operarios), el alto coste de la reposición de las telas y que es un proceso discontinuo (cada filtrado de 2 a 5 horas) que comprende:

- Llenado del filtro
- Aplicación de la presión
- Apertura y descarga del filtro
- Lavado de telas previa a una nueva carga
- Cierre del filtro

EJEMPLO

FILTRO PRENSA DE PLACAS



EJEMPLO

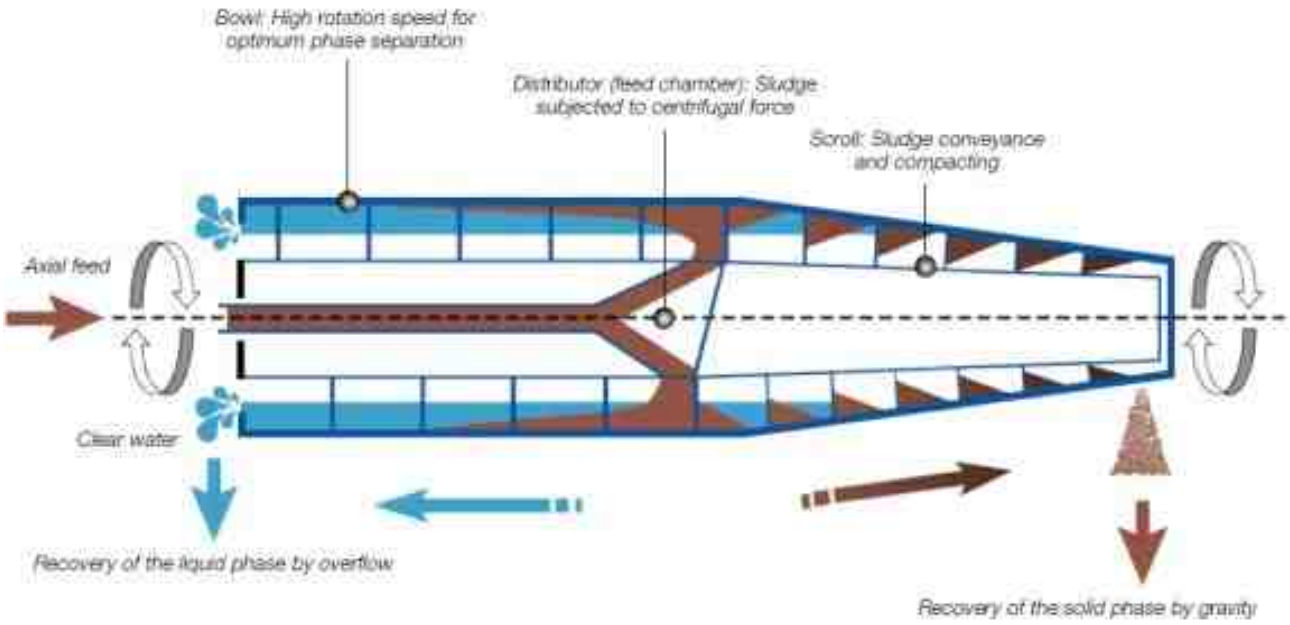
FILTRO PRENSA DE PLACAS

EJEMPLO

FILTRO PRENSA DE PLACAS

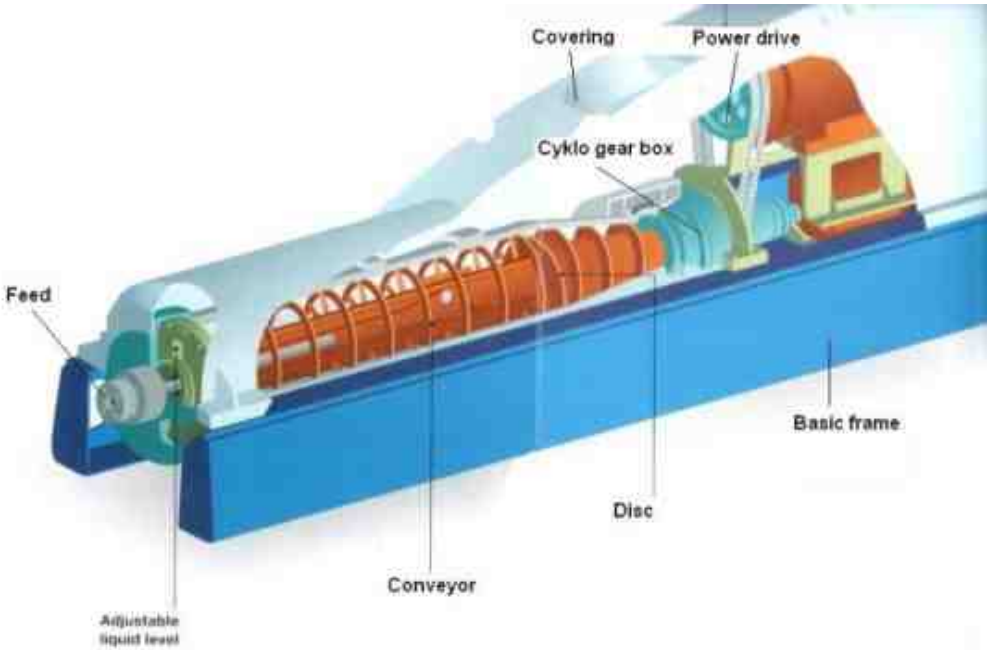
Descarga automática

d) *Equipos de centrifugación* → Estos equipos están formados por un cuerpo cilíndrico rotatorio (o rotor) en cuyo interior gira en el mismo sentido y también a gran velocidad, aunque algo menor que el rotor, un tornillo helicoidal que va arrastrando hacia el exterior los sólidos (torta de fango) que se han ido acumulando en las paredes interiores del rotor, recuperando en cabecera la parte líquida (agua clarificada).



En este proceso se pueden alcanzar concentraciones de hasta un 20 – 25%, siendo muy importante la adición de un floculante.

Tienen la ventaja de necesitar menos superficie que los filtros banda o prensa (a igualdad de producción), pero requieren un adecuado estudio de la cimentación, ya que son máquinas muy pesadas girando a gran velocidad, y exigen un importante consumo de energía.



EJEMPLO

DESHIDRATADORAS CENTRÍFUGAS

ETAP Campotéjar (Murcia)

Almacenamiento, transporte y vertido

El agua clarificada de todo el proceso de tratamiento de fangos puede ser recuperada y enviada otra vez a la cabecera del tratamiento.

En cuanto a los lodos, se almacenan hasta su retirada y el vertido (éstas últimas son las fases más caras de su gestión).

En la introducción vimos que estos fangos se podían reutilizar como compostaje, como abono o bien para producir energía mediante su incineración.

Pero el destino habitual suele ser su traslado a un vertedero controlado (en función de las características del fango resultante del proceso) o bien su uso como relleno de terrenos y canteras ya explotadas en determinadas zonas.

En cualquier caso, estos fangos no están caracterizados como residuo tóxico o peligroso, por lo que generalmente pueden considerarse como vertido inerte de cara a su destino final en los vertederos controlados.

La autorización de transporte y de vertido posterior es competencia de la Comunidad Autónoma correspondiente, en cumplimiento de la legislación ambiental vigente.

EJEMPLO

ALMACENAMIENTO DE FANGOS

ETAP Pedrera (Alicante)

EJEMPLO

USO DE FANGOS DESHIDRATADOS

Regeneración de canteras

La recuperación de la vegetación en zonas restauradas con fangos es rápida. Seis meses separan estas dos imágenes y ya se observa un buen recubrimiento vegetal en la cantera La República (Palol de Revardit, Gerona)

Mezcla de fangos sobre lecho de tierras y materiales estériles en la cantera Caltita (Cervelló, Barcelona)

BIBLIOGRAFÍA

DEGREMONT. *Manual técnico del agua*. 4ª ed. Bilbao: Grafo, 1979. 1216 p. ISBN: 84-300-1651-1

GOMEYA, C. et al. *Tratamiento de aguas para abastecimiento público*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1977. 240 p. ISBN: 84-7146-090-4

HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. 5ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001. 1151 p. Colección Seinor nº 9. ISBN: 84-380-0190-4

WEBER, W. *Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos*. Barcelona: Reverté, 2003. 654 p. ISBN: 84-291-7522-9

REFERENCIA DE IMÁGENES

DIAPOSITIVA PORTADA

[Imagen tomada de] "EDAR Ginestar". *DAM Depuración de aguas del Mediterráneo* [en línea]. Disponible en: <http://www.dam-aguas.es/files/fotos_plantas/956_IMG00054-20110308-0942.jpg>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 5

[Imagen tomada de] RAMÍREZ QUIRÓS, F. "Lodos producidos en el tratamiento del agua potable". *Técnica Industrial*. Nº 275, 2008, p. 48 [en línea]. Disponible en: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIAdmin/Numeros/35/43/a43.pdf>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 8

"Floculador" [Imagen tomada de] "Tratamiento químico". *INNDES. Innovación en depuración* [en línea]. Disponible en: <http://www.inndes.es/Images/floculadorlong.jpg>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 9

"Transporte de lodos. Coeficiente multiplicador K_p". En: HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. 5ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001. 1151 p. Colección Seinor nº 9. ISBN: 84-380-0190-4. Página 869

DIAPOSITIVA página 11

"Tornillo de Arquímedes o Tanbur" [Imagen tomada de] BOLAÑOS GONZÁLEZ, J. "El valle del Nilo: de la geografía al mito" [blog] *Amigos de la Egiptología* [en línea]. 26 de mayo de 2004. Disponible en: <http://www.egiptologia.com/images/stories/geografia/vallenilo/figura2.gif>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

"Funcionamiento de un tornillo de Arquímedes" [Imagen tomada de] "Tornillo de Arquímedes". *Wikipedia, la enciclopedia libre* [en línea]. 13 de abril de 2011. Disponible en: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/22/Archimedes-screw_one-screw-threads_with-ball_3D-view_animated_small.gif>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

[Imagen tomada de] "Cathalogue. PVA". *SERECO. Plantas, equipos y máquinas para el tratamiento de aguas* [en línea]. Disponible en: <http://www.sereco.it/share/img_prodotti/78img1.jpg>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 12

[Imágenes tomadas de] *Catálogo de bombas neumáticas de diafragma RAMPARTS* [en línea]. Disponible en: <http://www.pricast-agua.es/pdf/v5/ADD.pdf>. [Consulta: 5 de julio de 2011]

DIAPOSITIVA página 13

[Imagen tomada de] "Bombas de cavidad progresiva". *INTERPLANT, S.A.* [en línea]. Disponible en: <http://www.interplant.com.pe/imagenes/pumps/ALLW_17.jpg>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

[Imagen tomada de] "Bombas de cavidad progresiva". *INVENTEC, S.A.* [en línea]. Disponible en: <http://mx.all-biz.info/img/mx/catalog/12751.jpeg >. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 14

"Centrifugue pump - Bomba centrífuga" [Imagen tomada de] *Diccionario Técnico Sapiensman* [en línea]. Disponible en: <http://www.sapiensman.com/ESDictionary/imagenes/bomba%20centrifuga.jpg>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

[Imagen tomada de] CRONK, B. “Serving All Seasons with Centrifugal Pumps” [*Blog] Industrial Quick Search* [en línea] 13 de septiembre de 2010. Disponible en: <http://www.iqsnewsroom.com/image.axd?picture=centrifugalpump4.jpg>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 16

[Imagen tomada de] “Tratamiento de lodos”. *El agua potable* [en línea]. Disponible en: <http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/images/foto%20lodos.jpg>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 18

“Tanque de homogeneización de la ETAP de Torrealta (Alicante” © Francisco Javier Pérez de la Cruz

DIAPOSITIVA página 19

“Proceso de tratamiento de aguas residuales” [Imagen tomada de] “Técnicas de tratamiento”. *ARS Ingeniería* [en línea]. Disponible en: <http://www.arsingenieria.com/ARSingenieria/Tecnica_de_tratamiento_files/3.jpg>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 20

“Espesador” [Imagen tomada de] “Tratamiento de lodos”. *El agua potable* [en línea]. Disponible en: <http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/images/decantador%20lodos.gif>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 21

“Espesador tipo Windhoff – ER”. En: HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. 5ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001. 1151 p. Colección Seinor nº 9. ISBN: 84-380-0190-4. Página 909

DIAPOSITIVA página 22

“Espesador por gravedad de la ETAP de Torrealta (Alicante)” © Francisco Javier Pérez de la Cruz

DIAPOSITIVA página 23

“Espesador por gravedad de la ETAP de Torrealta fuera de servicio (Alicante)” © Francisco Javier Pérez de la Cruz

DIAPOSITIVA página 25

“Flotación” [Imagen tomada de] “Tratamiento de lodos”. *El agua potable* [en línea]. Disponible en: <http://www.fortunecity.es/felices/andorra/51/images/flotador%20lodos.gif>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 26

“Espesador por gravedad /flotación de la ETAP de Torrealta (Alicante)” © Francisco Javier Pérez de la Cruz

DIAPOSITIVA página 27

“Espesador por gravedad/flotación de la ETAP de Torrealta fuera de servicio(Alicante)” © Francisco Javier Pérez de la Cruz

DIAPOSITIVA página 28

“Espesador de flotación por aire presurizado”. En: HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. 5ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001. 1151 p. Colección Seinor nº 9. ISBN: 84-380-0190-4. Página 910

DIAPOSITIVA página 29

“Entrada al flotador” [Imagen tomada de] RAMÍREZ QUIRÓS, F. “Lodos producidos en el tratamiento del agua potable”. *Técnica Industrial*. Nº 275, 2008, p. 48 [en línea]. Disponible en: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIAdmin/Numeros/35/43/a43.pdf>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

“Separación de lodo y agua en el flotador” [Imagen tomada de] RAMÍREZ QUIRÓS, F. “Lodos producidos en el tratamiento del agua potable”. *Técnica Industrial*. Nº 275, 2008, p. 48 [en línea]. Disponible en: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIAdmin/Numeros/35/43/a43.pdf>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 31

“Disposición en planta de eras de secado”. En: HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. 5ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001. 1151 p. Colección Seinor nº 9. ISBN: 84-380-0190-4. Página 1039

DIAPOSITIVA página 32

“Era de secado (corte)”. En: HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. 5ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001. 1151 p. Colección Seinor nº 9. ISBN: 84-380-0190-4. Página 1036

DIAPOSITIVA página 33

“Era de secado de la ETAP de Torrealta (Alicante)” © Francisco Javier Pérez de la Cruz

DIAPOSITIVA página 34

“Tipo de filtro banda”. En: HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. 5ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001. 1151 p. Colección Seinor nº 9. ISBN: 84-380-0190-4. Página 1052

DIAPOSITIVA página 35

“Filtro banda” [Imagen tomada de] RAMÍREZ QUIRÓS, F. “Lodos producidos en el tratamiento del agua potable”. *Técnica Industrial*. Nº 275, 2008, p. 48 [en línea]. Disponible en: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIAdmin/Numeros/35/43/a43.pdf>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 36

“Filtro banda de la ETAP de La Pedrera (Alicante)” © Francisco Javier Pérez de la Cruz

DIAPOSITIVA página 37

“Recogida de lodos en el filtro banda de la ETAP de La Pedrera (Alicante)” © Francisco Javier Pérez de la Cruz

DIAPOSITIVA página 38

“Alzado de un filtro prensa. Accionamiento hidráulico”. En: HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. 5ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001. 1151 p. Colección Seinor nº 9. ISBN: 84-380-0190-4. Página 1055

DIAPOSITIVA página 40

“Filtro prensa de placas” [Imagen tomada de] RAMÍREZ QUIRÓS, F. “Lodos producidos en el tratamiento del agua potable”. *Técnica Industrial*. Nº 275, 2008, p. 48 [en línea]. Disponible en: <http://www.tecnicaindustrial.es/TIAdmin/Numeros/35/43/a43.pdf>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 41

“Filtro prensa” [Imagen tomada de] “Diemme filtration. Products”. *Directindustry* [en línea]. Disponible en: <http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/filtro-prensa-320506.jpg>. [Consulta: 16 de abril de 2011]

DIAPOSITIVA página 42

“Filtro prensa automática” [Imagen tomada de] “Fraccaroli & Balzan. Productos”. *Directindustry* [en línea]. Disponible en: <http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/filtro-prensa-automatica-452578.jpg>. [Consulta: 5 de julio de 2011]

DIAPOSITIVA página 43

[Imagen tomada de] “Centrifuges”. *ANDRITZ-JOCHMAN. Environment & Process* [en línea]. Disponible en: <http://www.jochman-netzsch.sk/img/foto/odstredivky_principle.jpg>. [Consulta: 5 de julio de 2011]

DIAPOSITIVA página 44

[Imagen tomada de] “Centrifuges”. *ANDRITZ-JOCHMAN. Environment & Process* [en línea]. Disponible en: <http://www.jochman-netzsch.sk/img/foto/e_odstredivky_popis.jpg>. [Consulta: 5 de julio de 2011]

DIAPOSITIVA página 45

“Deshidratadoras centrífugas de la ETAP de Campotéjar (Murcia)” © Francisco Javier Pérez de la Cruz

DIAPOSITIVA página 47

“Almacen de fangos de la ETAP de La Pedrera (Alicante)” © Francisco Javier Pérez de la Cruz

DIAPOSITIVA página 48

[Imágenes tomadas de] “Restauración de canteras”. *Roc Máquina*. Nº 94, 2005, p. 37 y 38 [en línea]. Disponible en: <http://books.google.es/>. [Consulta: 16 de abril de 2011]