

Programa Específico: Instalaciones hidráulicas y plantas potabilizadoras

TEMA 9: PROGRAMA ESPECÍFICO: EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS Y NEUMÁTICOS EMPLEADOS EN TRATAMIENTO DE AGUAS Y EN LA DESHIDRATACIÓN DE FANGOS DE DECANTACIÓN

1.- TRATAMIENTO DE AGUAS. GENERALIDADES.

(Este primer apartado es un recordatorio de otros temas, el Tema 4 y el Tema 8. En la exposición se aconseja centrarse en los siguientes apartados).

El tratamiento de aguas persigue aplicar al agua una serie de operaciones y procesos para recuperar determinadas propiedades o para añadirle otras modificando sus características para hacerlas adecuadas para determinados usos.

Los principales tratamientos de agua en que vamos a centrar este tema son la depuración de aguas residuales, la potabilización de agua y la regeneración de aguas para favorecer su reutilización.

En general, el tratamiento de aguas se basa en la aplicación de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que de forma aislada o combinada permiten adecuar dichas características al destino del agua.

Normalmente el destino o el uso previsto para el agua potabilizada es el consumo humano, el del agua depurada es el vertido al Dominio Público, bien sea hidráulico o marítimo terrestre) y el del agua regenerada es la reutilización, donde entran múltiples destinos como el riego agrícola, el aprovechamiento en procesos industriales, los usos urbanos (baldeo de calles, riego de jardines, ...).

En principio, el agua en su estado natural tiene un conjunto de propiedades y una composición química, que se puede ver sometida a procesos de contaminación en los que se le incorporan materias o formas de energía o se le inducen condiciones que, de forma directa o indirecta, le provocan una alteración perjudicial de su calidad en relación con sus usos posteriores o con su función ecológica y que el tratamiento permite revertir.

En principio, el tratamiento permite reducir en el agua, selectivamente y según el objetivo, las sólidos e impurezas que lleva en suspensión, el exceso de nutrientes y sales minerales, el exceso de materia orgánica o el de microorganismos y gérmenes patógenos que puedan acompañarlas, empleando procedimientos distintas tipologías:

En las plantas de tratamiento de agua se distinguen dos líneas de tratamiento:

- Línea de agua: incluye los procesos o tratamientos que permiten reducir los contaminantes presentes en las aguas.
- Línea de lodos: en ella se tratan la mayor parte de los subproductos que se originan en la línea de agua.

Para la línea de agua, los distintos procesos se aplican en fases sucesivas, en función del nivel de calidad que se quiera obtener en el agua tratada:

- Pretratamiento: en esta fase se aplican procesos físicos para eliminar los contaminantes más gruesos como los residuos que acompañan el agua, las arenas o las grasas, aplicando operaciones de desbaste, tamizado, desarenado y desengrasado.
- Tratamiento primario: en esta fase se aplican procesos físicos y químicos para eliminar la materia sedimentable y la flotante, como la decantación (primaria) o los tratamientos físico-químicos que la favorezcan.
- Tratamiento secundario: en esta fase se aplican procesos biológicos para eliminar la materia orgánica disuelta o coloidal, como la degradación bacteriana y de decantación (secundaria).
- Tratamiento terciario: en esta fase se aplican procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar los sólidos en suspensión, la materia orgánica residual, los nutrientes o los patógenos, como la coagulación y floculación, la filtración, la eliminación de nitrógeno y fósforo o la desinfección.
- Tratamientos adicionales específicos: en esta fase se aplican procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar o reducir contaminantes específicos que no responden a los previamente citados.

Para la línea de fangos, los distintos procesos se aplican en fases sucesivas, en función de las características que se busquen en el fango tratado en función de su destino:

- Tamizado: en esta fase se eliminan elementos perjudiciales que contengan los lodos (impropios, pelos, fibras, ...) y que pudieran afectar negativamente a los procesos posteriores de espesamiento, estabilización y deshidratación.
- Espesamiento: en esta fase se incrementa la concentración de los lodos mediante la eliminación de una parte del agua que contienen mediante procesos de espesado, siendo los habituales por gravedad y por flotación, el primero más apropiado para fangos procedentes de decantación primaria y el segundo para aquellos procedentes de decantación secundaria, o mecánicos.
- Estabilización: en esta fase se reduce la fracción biodegradable presente en los lodos, para evitar su putrefacción mediante procesos de digestión aerobia o anaerobia o estabilización química.
- Acondicionamiento: en esta fase se prepara el fango para facilitar y mejorar su posterior deshidratación mediante la adición de productos químicos. A veces también se efectúa acondicionamiento previamente el espesado mecánico.
- Deshidratación: en esta última fase se elimina una parte del agua contenida en los lodos, transformándolos en sólidos fácilmente manejables y transportables, mediante distintos métodos como la centrifugación, los filtros banda, el secado térmico o el secado solar.

Tanto en la línea de agua como en la de fangos se emplean otros numerosos equipos electromecánicos y neumáticos de uso general y no específicos del tratamiento de aguas, para facilitar el trasiego, estado o almacenamiento en las condiciones requeridas de caudal, presión, tiempo de retención, mezcla, ... como:

- Equipos de bombeo.
- Agitadores y circuladores de flujo.
- Válvulas de distinto tipo: compuerta, mariposa, retención, reguladoras, ...
- Compuertas de corte o regulación: a tres lados, a cuatro lados, de tajadera, ...
- Silos y tolvas de almacenamiento.

Y, naturalmente, todos los procesos deben estar alimentados con energía y contar, y cada vez más, con sistemas de control y automatización sobre los procesos mediante:

- Equipos eléctricos.
- Instrumentación y equipos de control y automatización: caudalímetros (Parshall, electromagnético, ...), medidores o accionadores de nivel (láser, radar, presión, boyas, ...), medidores de presión, sensores de temperatura, controladores lógicos programables (PLCs), ...

que, precisamente por dicho carácter, no se han incluido en el cuerpo de este tema, ciñendo el contenido a dar un repaso a los principales equipos específicos.

2.- EQUIPOS PARA TRATAMIENTO DE LA LÍNEA DE AGUA

2.1.- EQUIPOS DE PRETRATAMIENTO

- Separación de sólidos grandes: para retener sólidos de tamaño grande (>10 cm) en un pozo previo a la línea de tratamiento mediante una **reja de desbaste** de paso adecuado, con extracción mediante una **cuchara bivalva** anfibia de accionamiento hidráulico, descargando los residuos extraídos a contenedor para su adecuada gestión. La cuchara debe permitir movimientos de desplazamiento vertical y horizontal para lo que suele operarse mediante un **polipasto** sobre carril o **grúa pórtico**. (Ver fig.1)
- Separación de sólidos gruesos y finos: para retener sólidos de tamaño medio ($50/100\text{mm} > P > 10/15\text{mm}$) en un conjunto de canales aislables dotados **de rejas de desbaste de limpieza manual o automática**, de distintas tipologías con área de desbaste recta o curva enfrentada a la corriente de agua y que retiene los sólidos aguas arriba para su extracción por medios manuales (rastrillos) o automáticos (peines limpiadores). La de los sólidos de tamaño menor ($10/15 > P > 3/6$ mm) se ejecuta mediante **tamices** de distintas tipologías (autolimpiantes, rotativos o deslizantes) y menor paso de filtración, pero siendo la limpieza automática ya obligada, salvo en los autolimpiantes. Los residuos extraídos de los equipos de desbaste y tamizado pueden depositarse directamente en contenedores o descargarse en otros equipos que los transporten hasta aquellos (**tornillos transportadores sinfin**), en cuyo caso a veces se les somete a una compactación para reducción del volumen y del agua que contienen (**tornillos transportadores-compactadores**), que

se devuelve a la línea de agua, al igual que los escurridos a través de sus elementos de drenaje interno. (Ver fig.2 y fig. 3)

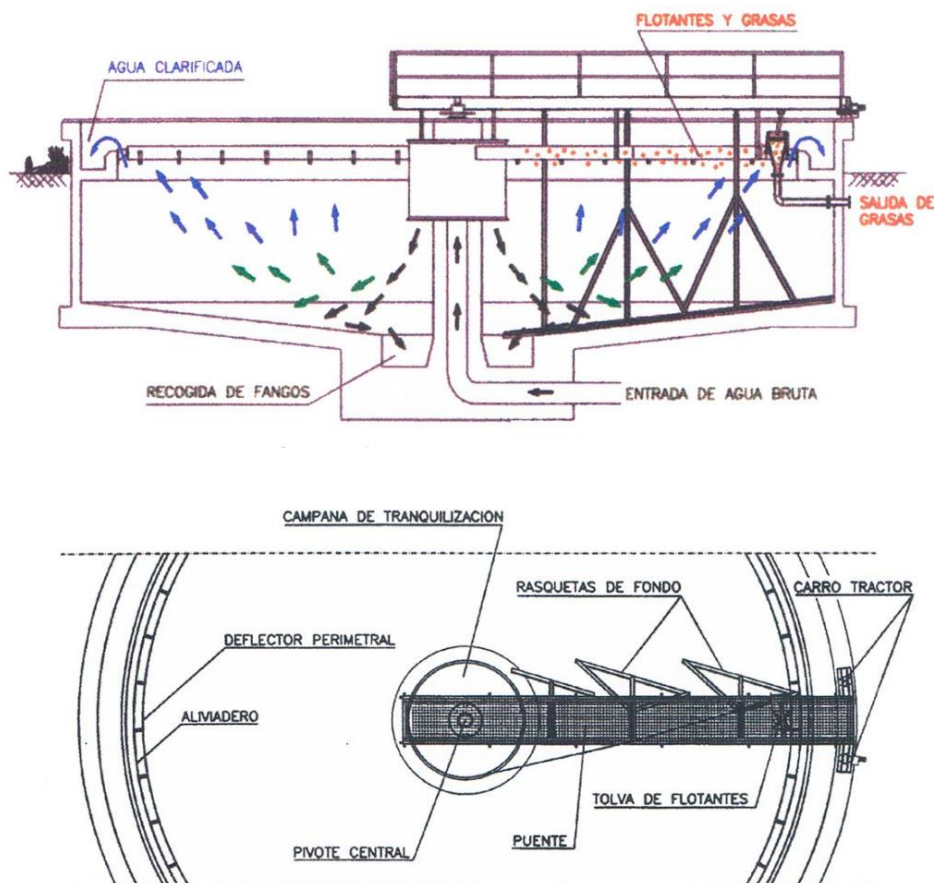
- Eliminación de arenas: la eliminación de partículas más pesadas de tamaño superior a 0,2 mm que no hayan sido retenidas en las operaciones previas se ejecuta mediante decantación gravitacional en depósitos habitualmente prismáticos alargados o troncocónicos de cuyo fondo se recogen periódicamente con medios manuales o automáticos (bombeo) para su descarga a contenedores específicos para su gestión, haciéndose pasar normalmente, y desde luego en plantas de tamaño medio y grande, por un **equipo clasificador lavador** previo. (Ver fig.4 y fig.5)
- Eliminación de grasas: la eliminación de grasas y partículas más ligeras flotantes se ejecuta mediante flotación de aquellas en depósitos habitualmente prismáticos, que pueden ser estáticos, donde el agua se hace pasar bajo un tabique haciendo que las grasas y flotantes queden retenidas en la cámara anterior, o aireados, donde se insufla aire para facilitar esa flotación de las grasas y partículas menos densas, siendo necesarios equipos de producción (**soplantes**) y/o inyección/distribución de aire (**difusores de burbuja gruesa, bombas eyectoras, turbinas, ...**) a la masa de agua donde se quiere favorecer la flotación. En ambos casos, las grasas y flotantes de superficie son retiradas mediante **skimmers dinámicos** (basculantes) y/o **barrederas** que los conducen a contenedores específicos para su gestión, haciéndose pasar normalmente, y desde luego en plantas de tamaño medio y grande, por un **equipo concentrador separador** previo.

En plantas de tratamiento de cierto tamaño es habitual que las operaciones de desarenado y desengrasado se efectúen simultáneamente en **desarenadores aireados**.

En la fig.6 se puede ver una panorámica global de la disposición de equipos en un tratamiento primario.

2.2.- EQUIPOS EN TRATAMIENTO PRIMARIO

- Eliminación gravitacional de sólidos en suspensión: que se realiza en **decantadores primarios** consistentes en depósitos de forma cilíndrica o rectangular donde se hace pasar el agua y en condiciones adecuadas de velocidad ascensional reducida los sólidos en suspensión decantan hacia el fondo, logrando en paralelo eliminar una parte de la materia orgánica. Dichos decantadores van dotados de **puentes móviles con barrederas de superficie y de fondo** que permiten, las primeras, el barrido de los flotantes que asciendan a la superficie y su descarga a una arqueta adyacente desde la que se conducen a equipos concentradores separadores, y las segundas, el barrido de los lodos decantados hasta pocetas de salida desde las que se conducen a la línea de fangos para su tratamiento.



- Tratamiento físico-químico: que se realiza en **cámaras previas a la decantación primaria** donde se añaden reactivos químicos para aumentar la reducción de los sólidos en suspensión en la fase de decantación posterior, eliminando también sólidos coloidales, al incrementarse el tamaño y densidad de los sólidos por procesos de coagulación y floculación. En estos tratamientos se **necesitan equipos dosificadores de los reactivos y equipos de agitación rápida y lenta** instalados en cámaras adecuadas, la primera para favorecer el contacto de los reactivos con los sólidos y favorecer la neutralización de su carga eléctrica y la segunda para permitir la floculación y aumento de tamaño y densidad de los sólidos para mejorar su decantabilidad.

2.3.- EQUIPOS EN TRATAMIENTO SECUNDARIO

- Tratamiento biológico: se realiza en **reactores** (depósitos) donde se mantienen microorganismos que, en condiciones aerobias adecuadas, degradan la materia orgánica presente en las aguas a tratar, parte de la cual se emplea para proporcionar la energía necesaria para el mantenimiento celular y, el resto, en producción de nuevo tejido celular mediante reacciones de síntesis. Para el mantenimiento de las condiciones adecuadas es necesario garantizar determinadas concentraciones en de sólidos en el reactor, lo que obliga a disponer **equipos de recirculación externa** (bombas y conducciones). En este proceso es necesario incorporar oxígeno lo que se hace a través de **equipos de producción de aire (soplantes o turbocompresores, -**

ver fig.7-) que, mediante conducciones de distribución, alimentan **parrillas con difusores de burbuja fina** para inyectar ese aire a nivel del fondo del reactor, o **turbinas o rotores** o bombas eyectoras que lo añaden desde la superficie o desde el fondo (ver fig.8 y fig. 9).

Las nuevas bacterias que van apareciendo en los reactores floculan aumentando su tamaño y es necesario separarlas del agua en una fase posterior de **decantación secundaria** (ver fig.10), en elementos similares a los descritos para la decantación primaria.

2.4.- EQUIPOS EN TRATAMIENTO TERCIARIO

- **Filtración:** se realiza en depósitos donde se hace pasar al agua previamente sometida a tratamiento secundario por un proceso de filtración haciéndola atravesar un medio poroso caracterizado por un tamaño de paso determinado, existiendo distintas opciones desde las más simples como la filtración a través de **lechos de arena** (ver fig. 14, **antracita**, ... hasta el paso por **equipos dotados de superficies filtrantes** en distintas formas: discos de acero inoxidable, discos de tela, (ver fig. 15)...
- **Tratamiento físico-químico:** para favorecer la filtración en ocasiones se plantean tratamientos físico-químicos similares a los ya descritos en el tratamiento primario, intercalando en algunas ocasiones una fase de decantación gravitacional previa a la filtración para reducir la carga sobre el filtro (ver fig. 11),, siendo en esas ocasiones habitual favorecer la sedimentación mediante **decantadores lamelares** (ver fig. 12), dotados de un conjunto de planos inclinados para reducir los tiempos de sedimentación.
- **Tratamiento de reducción de nutrientes:** se realiza normalmente de forma simultánea al tratamiento secundario mediante procesos biológicos, operando los reactores de forma secuencial, o disponiendo zonas con distinto comportamiento en aquellos, para generar condiciones óxicas y anóxicas, en cuya operación son necesarios **equipos de recirculación interna** entre zonas del reactor (bombas o circuladores de flujo y conducciones), donde distintos tipos de bacterias consumen el nitrógeno liberándolo finalmente a la atmósfera como nitrógeno gaseoso e incorporando el fósforo a los lodos generados. Si se quiere aumentar los rendimientos de reducción del fósforo es necesario aplicar reactivos químicos que se combinan con el fósforo presente en el agua, lo que requiere **equipos adicionales de dosificación** (depósitos de reactivos, bombas dosificadoras y conducciones).
- **Tratamientos de desinfección:** se realiza normalmente como fase final del tratamiento para eliminar los patógenos que estén presentes en el agua a pesar de las reducciones provocadas por los tratamientos previos. La desinfección habitual era por cloración mediante adición de cloro en fase líquida o gaseosa al agua tratada, lo que obligaba contar con **equipos de dosificación de cloro** (bombas, conducciones y depósitos, ver fig.16), pero las exigencias cada vez más estrictas en la normativa para que el agua no tenga cloro residual obligaban a aplicar procesos de dechloración (por ejemplo, almacenando el agua desinfectada en depósitos con laberintos para aumentar el tiempo de contacto y de dechloración posterior) lo que ha facilitado numerosos avances en tecnologías alternativas como la aplicación de ozono, la radiación con lámparas ultravioleta o la ultrafiltración mediante membranas, cada

una de las cuales demanda equipos específicos de aplicación: **generadores de ozono, reactores UV cerrados en tubería -ver fig.15- o bastidores de lámparas UV para aplicaciones en canal, bastidores de membranas, ...** con todo un conjunto de equipos complementarios de bombas, almacenamiento y dosificación de reactivos, válvulas, conducciones, ...

2.5.- TRATAMIENTOS ADICIONALES ESPECÍFICOS

Si los contaminantes a eliminar, por sus características, no responden a los tratamientos señalados, es necesario aplicar otros más específicos como los ejemplos que se ofrecen a continuación:

- Si se quiere reducir la salinidad del agua, es necesario emplear técnicas de filtración a base de membranas permeables (ósmosis inversa) o procesos como la electrodiálisis reversible.
- Si se quiere reducir determinados contaminantes químicos como el boro, es necesario acudir a otras técnicas como el intercambio iónico.
- Si se quieren eliminar sabores u olores se aplican tratamientos específicos como la filtración en carbón activo.
- Si se quieren reducir el contenido en sales minerales, se acude a técnicas como el ablandamiento.

2.6.- FOTOGRAFÍAS DE ALGUNOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE AGUA

En las dos páginas siguientes se muestran fotografías de equipos reales explicados anteriormente.



Fig. 1 Cuchara bivalva manejada desde grúa pórtico en pozo de extracción de sólidos grandes



Fig. 2 Rejas de desbaste de sólidos gruesos con tornillo transportador

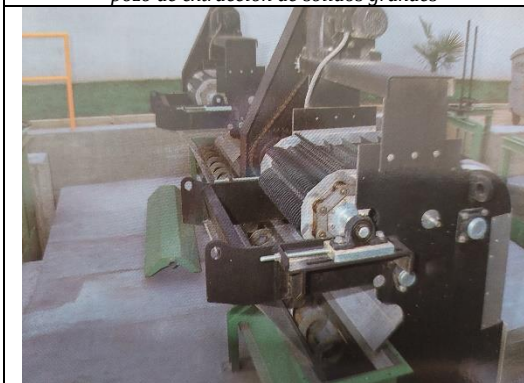


Fig. 2 Tamices de desbaste de sólidos



Fig. 3 Desarenador aireado con cubierta retráctil



Fig. 4 Equipo clasificador-lavador de arenas



Fig. 5 Vista general de pretratamiento



Fig. 6 Turbocompresor para producción de aire para tratamiento biológico



Fig. 7 Reactor biológico con parrillas de aireación con difusores de burbuja fina



Fig. 8 Turbina de aireación para reactor biológico



Fig. 9 Decantador secundario con puente barredor



Fig. 10 Cámaras de mezcla y floculación (tratamiento físico-químico).



Fig. 11 Decantación lamelar.



Fig. 12 Equipo de filtración de discos de tela.



Fig. 13 Depósitos para filtros de arena



Fig. 14 Reactor de desinfección por radiación ultravioleta

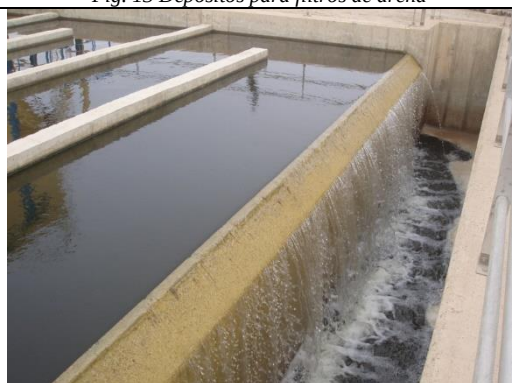


Fig. 15 Laberinto de cloración

3.- EQUIPOS PARA TRATAMIENTO DE LA LÍNEA DE FANGOS

Durante el tratamiento en las distintas fases señaladas para la línea de agua se producen fangos que demandan una línea de tratamiento específica.

3.1.- EQUIPOS DE TAMIZADO

- Tamizado: se realiza normalmente sobre los fangos procedentes de decantación primaria. Los equipos empleados suelen ser **tamices rotativos** de paso entre 1 y 3 mm (ver fig. 17), o **equipos especiales que combinan tamizado, prensado y filtrado**.

3.2.- EQUIPOS DE ESPESAMIENTO

- Espesamiento por gravedad: se realiza sobre fangos purgados de los decantadores primarios o secundarios que se someten a una decantación gravitacional adicional en depósitos adecuados, normalmente cilíndricos. Dichos depósitos cuentan como equipo principal con un **equipo espesador** giratorio provisto de unas rasquetas de fondo para el barrido de los fangos y su conducción a una poceta central desde donde se extraen, y de unas piquetas verticales cuya finalidad es la homogeneización de la masa, así como la creación de canales preferenciales que faciliten la evacuación del agua y de los gases ocluidos. El líquido sobrenadante se recoge por un vertedero perimetral y es enviado a cabecera de la planta (ver fig. 19),

- Espesamiento por flotación: se realiza sobre fangos purgados de los decantadores secundarios o mezcla de fangos primarios y secundarios que se someten a un proceso de flotación que logra separar las partículas sólidas de las líquidas mediante la adición de burbujas de aire muy finas que se adhieren a las partículas de los fangos para conseguir que floten, todo ello en depósitos adecuados, normalmente cilíndricos (*ver fig. 20*). Dichos depósitos cuentan como equipo principal con un **equipo flotador** giratorio dotado de un sistema de rasquetas superficiales para recoger el fango flotado y de rasquetas de fondo para poder eliminar los fangos decantados en el fondo del depósito y para la flotación se necesitan otros equipos complementarios como **bomba de presurización de fangos, calderín de presurización** (*ver fig. 21*)...
- Espesamiento mecánico: se realiza la concentración de lodo aumentando las fuerzas gravitacionales en distintos posibles equipos:
 - **Tambor rotativo o espesador dinámico**: separación por filtración, a través del tambor rotativo. Se emplea en caso de lodos biológicos (*ver fig. 22*).
 - **Mesas espesadoras**: la separación se produce por drenaje del agua a través de una cinta horizontal porosa en movimiento.

3.3.- EQUIPOS DE ESTABILIZACION

- Digestión aerobia: se realiza normalmente en reactores (depósitos) en los que continúa reduciéndose la fracción biodegradable contenida en los fangos en condiciones aerobias, para lo que se necesitan equipos de aireación similares a los comentados en la línea de agua para el tratamiento secundario.
- Digestión anaerobia: se realiza normalmente en reactores (depósitos) – *ver fig. 23*- en los que continúa reduciéndose la fracción biodegradable contenida en los fangos en condiciones anaerobias, para lo que se necesita todo el conjunto de conducciones de aducción, extracción y movilización de los lodos, agua en exceso y gas biológico, separadores de agua de condensación, filtros, **válvulas telescópicas** de extracción de lodos, de rebose y de extracción de aguas en exceso, **compresor** para biogás – *ver fig. 24*- y todos los equipos de medida y control necesarios para el buen funcionamiento del digestor, además de una **central térmica** para calentamiento de los lodos.
- Estabilización química: se ejecuta mediante la adición de un producto químico (generalmente cal viva o apagada) para obtener un pH elevado e inertizar la materia orgánica. No se produce reducción de la materia volátil y se aumenta (en casi un 20 %) la materia seca producida. Se necesitan **equipos de almacenamiento del aditivo químico y equipos de dosificación**.

3.4.- EQUIPOS DE ACONDICIONAMIENTO

- Acondicionamiento: se realiza con carácter previo al espesado mecánico o a la deshidratación por centrifugación para mejorar los efectos de estas operaciones. Para ello se emplean **depósitos de almacenamiento de reactivos, equipos de preparación y dilución y bombas dosificadoras** (*ver fig. 18*).

3.5.- EQUIPOS DE DESHIDRATACIÓN

- Centrifugación: se realiza mediante **equipos centrifugadores** que aprovechando la fuerza centrífuga asociada al giro separan la fracción sólida de la líquida en los fangos transformándolos en sólidos fácilmente manejables y transportables, que posteriormente se almacena en silos o tolvas para su evacuación (ver fig. 25).
- Prensado: se realiza mediante equipos **filtros banda o filtros prensa** en que se hace pasar el fango entre dos superficies filtrantes y se le somete a presión entre ellas para facilitar la separación sólido-líquido (ver fig. 26).
- Secado térmico: se realiza mediante un **conjunto de equipos** que pueden variar según la tecnología empleada: **secador de tambor por convección, secador por conducción rotativo, secador vertical de bandejas, secador de cinta o banda, secador de capa fina o mixto y secador de lecho fluido**, contando en todo caso con **intercambiadores de calor, trituradores y clasificadores de gránulos, ciclones, el propio equipo de secado, ...**
- Secado solar: se realiza en depósitos prismáticos abiertos (eras de secado) en los que se almacena el lodo húmedo y se somete a un proceso de evaporación natural por efecto del sol y del viento hasta reducir su contenido de agua. No necesita más equipos que los necesarios para el llenado de dichos depósitos (bombas, conducciones y valvulería) o el vaciado de los lodos deshidratados bien mecanizado mediante minicargadoras frontales y dumpers o manual, mediante palas y carretillas.

3.6.- FOTOGRAFÍAS DE ALGUNOS EQUIPOS DE LA LÍNEA DE FANGOS



Fig. 16 Tamiz de fangos



Fig. 17 Equipo de preparación y dosificación de polielectrolito (acondicionamiento).



Fig. 18 Espesador por gravedad



Fig. 19 Espesador por flotación



Fig. 20 Calderín para presurización de fangos en espesamiento por flotación



Fig. 21 Espesador dinámico de fangos

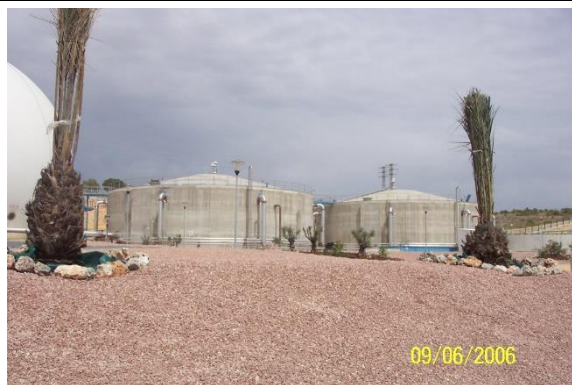


Fig. 22 Digestores anaerobios



Fig. 23 Gasómetro de membrana



Fig. 24 Centrifuga

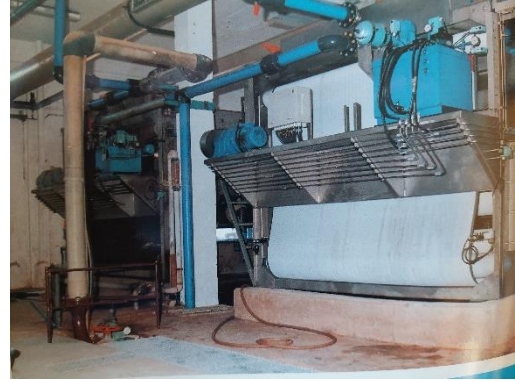


Fig. 25 Filtro de bandas



Fig. 26 Tolvas de almacenamiento de fango deshidratado