

CAPITULO 8

TRATAMIENTO DE LODOS

8.1 Introducción

Los principales constituyentes del agua residual eliminados en las plantas de tratamiento incluyen basuras, arena, espumas y lodo. El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamiento de las aguas residuales generalmente suele ser un líquido o líquido-semisólido con gran contenido en sólidos entre el 0.25 y el 12 % en peso. El lodo es, por mucho, el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos. Su tratamiento y evacuación es, probablemente, el problema más complejo al que se enfrentan los ingenieros sanitarios. El lodo está formado principalmente por las sustancias responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas. La fracción del lodo a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta principalmente de materia orgánica, y sólo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida.

Los lodos separados en el sedimentador primario y aquellos producidos en el tratamiento biológico deben ser estabilizados, espesados y desinfectados antes de ser retirados del sitio de tratamiento. A continuación se analizarán procesos que se utilizan para reducir el contenido de agua y materia orgánica del lodo, y se utilizan además para acondicionar el fango para su reutilización o evacuación final.

8.2 Estabilización del lodo

La estabilización del lodo se lleva a cabo principalmente para: 1.- reducir la presencia de patógenos, 2.- eliminar los olores desagradables, y 3.- reducir o eliminar su potencial de putrefacción. La supervivencia de microorganismos patógenos y la proliferación de olores en el lodo se producen cuando se permite que los microorganismos se desarrollen sobre la fracción orgánica del mismo.

Los medios de estabilización más eficaces para eliminar el desarrollo de estas condiciones son: la reducción biológica del contenido de materia volátil; la oxidación química de la materia volátil; la adición de agentes químicos para hacer el lodo inadecuado para la supervivencia de microorganismos y la aplicación de calor con el objetivo de desinfectar o esterilizar el lodo.

Las técnicas de estabilización de lodos más recurridas son: la digestión anaerobia; la digestión aerobia; la estabilización con cal; el tratamiento térmico, y el compostaje. A continuación se analizarán las primeras dos ya que son las dos tecnologías más importantes.

8.2.1 Digestión anaerobia

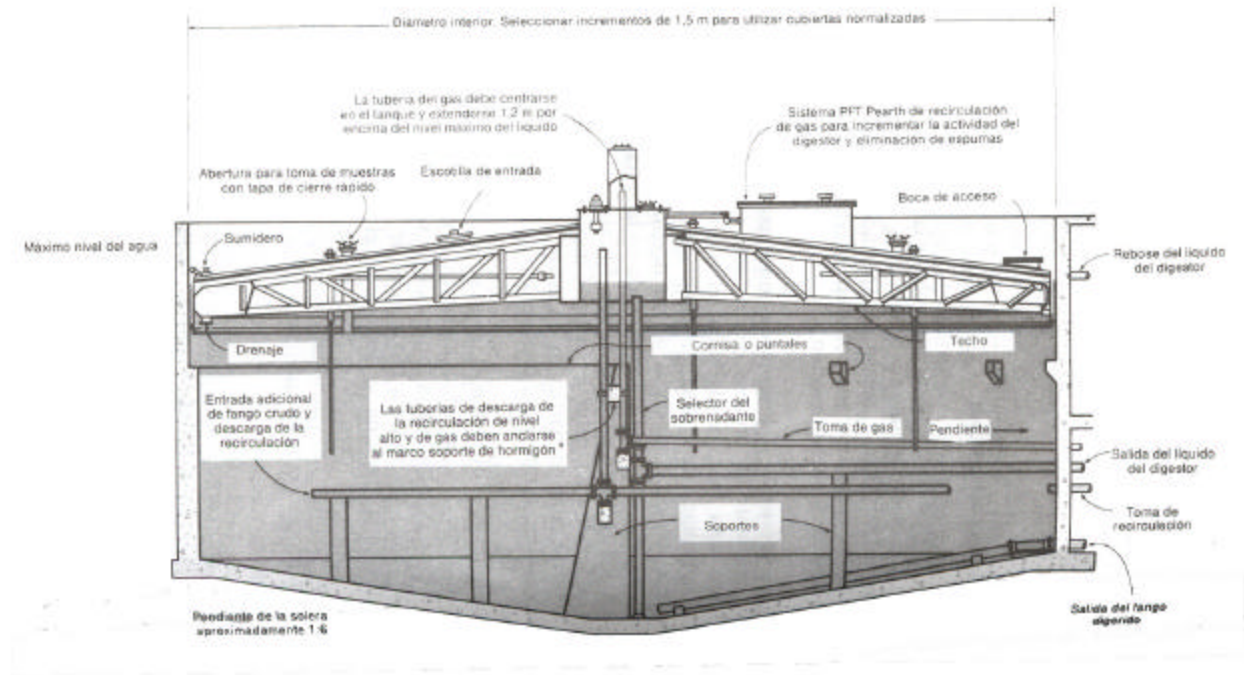
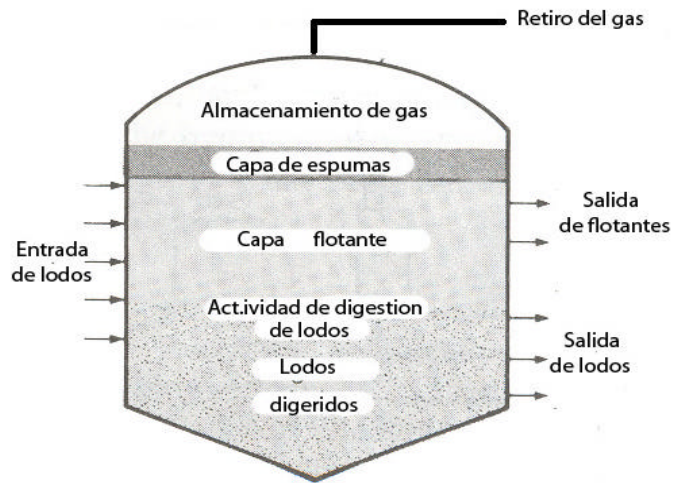
La digestión anaerobia es uno de los procesos más antiguos empleados en la estabilización de lodos. En este proceso se propicia la degradación de la materia orgánica contenida en el en ausencia de oxígeno molecular.

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica contenida en la mezcla de lodos primarios y secundarios se convierte en metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) principalmente. El proceso se lleva a cabo en un reactor completamente cerrado. Los lodos se introducen en el reactor de forma continua o intermitente, y permanecen dentro de estos tanques durante períodos de tiempo considerables. El lodo estabilizado que se extrae del proceso tiene un bajo contenido de materia orgánica y de microorganismos patógenos vivos.

8.2.1.1 Tipos de digestores anaerobios

Los dos tipos de digestores más empleados son los de alta y baja carga. En el proceso de digestión de baja carga, como se aprecia en las Figuras 8.1 y 8.2, no se suelen calentar ni mezclar el contenido del digestor, y los tiempos de retención varían entre 30 y 60 días.

En los procesos de digestión de alta carga (ver Figuras 8.3 y 8.4) el contenido del digestor se calienta y mezcla completamente. El lodo se mezcla mediante recirculación de gas, mezcladores mecánicos, bombeo o mezcladores con tubos de aspiración, y se calienta para optimizar la velocidad de digestión. El tiempo de retención generalmente es menor a 15 días.



Figuras 8.1 y 8.2 Digestor anaerobio de carga baja (Metcalf & Eddy, 1991)

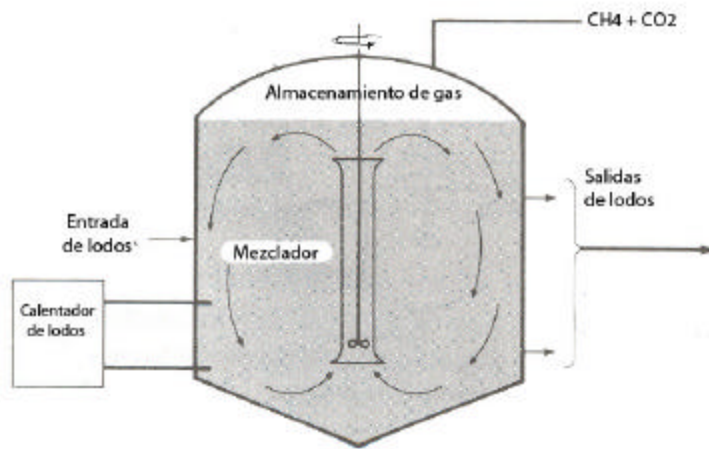


Figura 8.3 Digestor anaerobio de carga alta (Metcalf & Eddy, 1991)

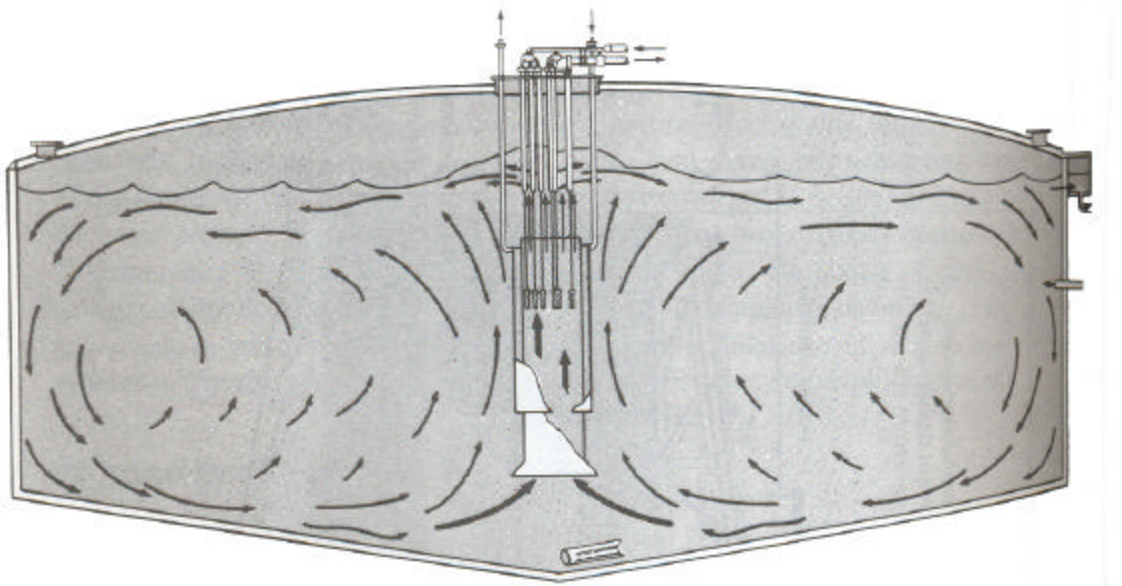


Figura 8.4 Digestor anaerobio de carga alta (Metcalf & Eddy, 1991)

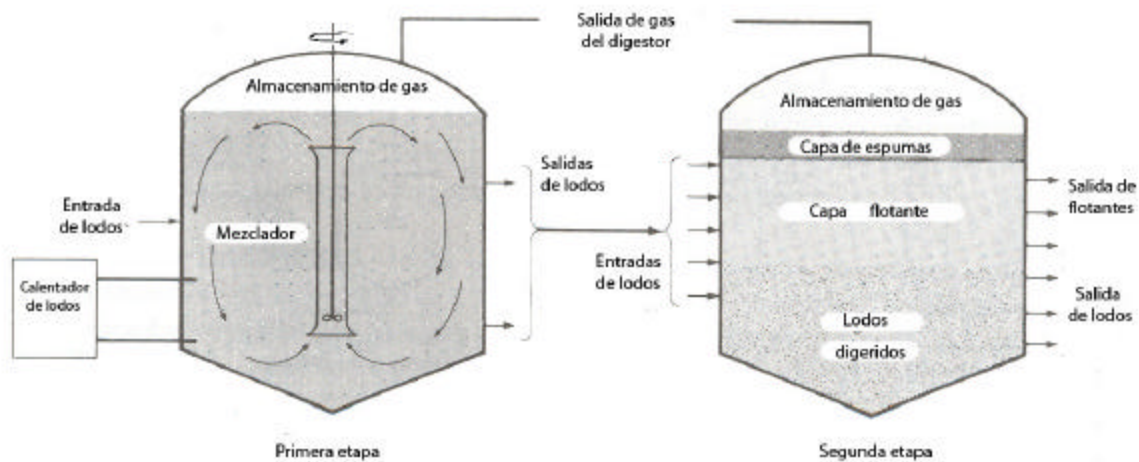


Figura 8.5 Digestor de doble etapa
(Metcalf & Eddy, 1991)

La combinación de estos dos procesos se conoce como proceso de doble etapa, la cual se ilustra en la Figura 8.5. El primer tanque se utiliza para la digestión, y se equipa con dispositivos para el mezclado. El segundo tanque se utiliza para el almacenamiento y concentración del lodo digerido, y para la formación de un sobrenadante relativamente clarificado.

8.2.1.2 Microbiología del proceso

La conversión biológica de la materia orgánica de los lodos se produce en tres etapas, como se muestra en la Figura 8.4. El primer paso del proceso comprende el rompimiento de las moléculas “grandes” de materia orgánica en sus monómeros (hidrólisis). El segundo paso, llamado acidogénesis se refiere a la conversión bacteriana de los monómeros generados

(carbohidratos, ácidos grasos y aminoácidos) en compuestos intermedios identificables de menor peso molecular. El tercer paso, llamado metanogénesis, implica la conversión bacteriana de los compuestos intermedios en productos finales más simples, principalmente metano y dióxido de carbono.

8.2.1.3 Forma de los tanques

Los tanques de digestión anaerobia pueden ser cilíndricos, rectangulares o con forma de huevo. La implantación de tanques ovalados (Figura 8.4) ha ido creciendo en los últimos años en Estados Unidos y en México mientras que su uso es muy común en Europa. El objetivo del diseño de los tanques ovalados es eliminar la necesidad de limpiar los tanques. En la parte inferior del tanque, las paredes forman un cono de inclinación suficientemente pronunciada para evitar la acumulación de arenas. Otras ventajas de estos tanques son el mejor mezclado, mejor control de la capa de espumas, y las menores necesidades de superficies. Se pueden construir de acero o de hormigón armado.

8.2.1.4 Gas producido

La composición volumétrica del gas generado en la digestión anaerobia del lodo de aguas residuales contiene 65-70 % metano (CH_4), 25- 30% dióxido de carbono (CO_2), y muy pequeñas cantidades de nitrógeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno y algunos otros gases.

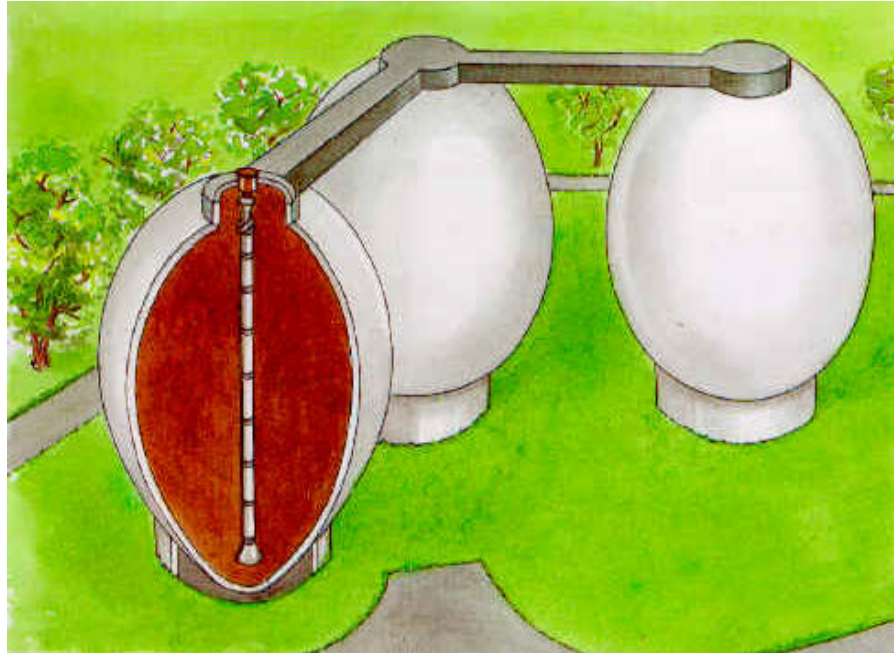


Figura 8.6 Tanques ovalados para digestión de lodos
(Planta de tratamiento de agua residual San Fernando)

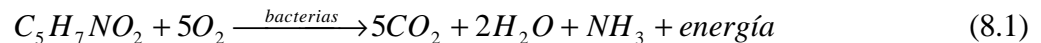
Un metro cúbico de metano, tiene un poder calorífico de $\sim 35,800$ kJ. Como se mencionó anteriormente el gas suele tener un 65 % de metano por lo que el poder calorífico del gas de digestión es de $\sim 22,400$ kJ/m³. Comparado con el gas natural, el cual tiene un poder calorífico de $37,300$ kJ/m³, su poder calorífico es considerable. El gas de digestión se puede emplear como combustible para calderas y motores de combustión internos que, a su vez, se pueden utilizar para el bombeo de agua residual, generación de electricidad y funcionamiento de soplantes.

8.2.2 Digestión aerobia

La digestión aerobia se emplea generalmente en plantas de tratamiento con capacidad inferior a 20, 000 m³/día sin embargo, en algunas ocasiones se ha empleado en plantas con mayor capacidad.

Las ventajas principales de este proceso, comparado con la digestión aerobia, son: 1.- se consiguen menores concentraciones de DBO en el líquido sobrenadante, 2.- puede requerir menores costos iniciales y 3.- la producción de un producto final biológicamente estable, sin olores. No obstante, sus desventajas pueden resultar significativas: 1.- un mayor costo energético asociado al suministro de oxígeno necesario, 2.- se produce un lodo digerido de pobres características para la deshidratación mecánica, y 3.- la digestión anaerobia también es muy delicada en cuanto a operación se refiere.

La digestión aerobia es similar al proceso de lodos activados. Conforme se agota el suministro de sustrato disponible (alimento), los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma (respiración endógena) para obtener la energía necesaria para las reacciones de mantenimiento celular.



El tejido celular se oxida a dióxido de carbono, amoníaco y agua por vía aerobia. En la práctica sólo se puede oxidar entre el 75 y 80 % del tejido celular, puesto que el resto está formado por componentes inertes y compuestos orgánicos no biodegradables.

8.3 Espesado (concentración)

El espesado es un procedimiento que se emplea para aumentar la fracción sólida del lodo de desecho mediante la reducción de la fracción líquida del mismo. Por ejemplo, si un lodo activado que normalmente se bombea desde los tanques de sedimentación secundaria con un contenido de sólidos del 0.8 %, se pudiera espesar hasta un contenido de sólidos del 4 %, por lo tanto se conseguiría reducir el volumen de lodo a una quinta parte.

La reducción del volumen de lodo es muy beneficiosa para los procesos de tratamiento subsecuentes tanto por la capacidad de tanques y equipos necesarios como por la cantidad de reactivos químicos necesarios para el acondicionamiento del lodo, y por la cantidad de calor necesario para los digestores. La reducción del volumen permite reducir tamaños de tuberías, bombas y tanques digestores.

El espesado se suele llevar a cabo mediante procedimientos físicos, y los más utilizados son:

1.- el espesado por gravedad o sedimentación, 2.- por centrifugación y 3.- por flotación.

8.3.1 Espesado por gravedad

Se lleva a cabo en un tanque de diseño similar al de un tanque de sedimentación convencional. Generalmente se utilizan tanques circulares. El lodo diluido se conduce a una cámara de alimentación central. El lodo alimentado sedimenta y compacta, y el lodo espesado se extrae por la parte inferior del tanque. El lodo espesado que se recoge en el fondo del tanque se bombea a los digestores, mientras que el sobrenadante que se origina, se retorna al sedimentador primario. El espesado por gravedad resulta más efectivo en el tratamiento del lodo primario.

8.3.2 Espesado por flotación

Existen algunas variantes de este proceso, aunque la flotación por aire disuelto es la más utilizada. En este proceso, se introduce aire en una solución que se mantiene a una presión determinada. Cuando se despresuriza la solución, el aire disuelto se libera en forma de burbujas finamente divididas que arrastran el lodo hasta la superficie, en donde es recogido con un desnatador. Este proceso resulta muy efectivo para el tratamiento de cultivo biológico en suspensión, por ejemplo para lodos activados, aunque también puede ser empleado para el tratamiento de otros lodos.

8.3.3 Espesado por centrifugación

Se utilizan tanto para espesar lodos como para deshidratarlos. Su aplicación para el espesado se limita al espesado de lodos activados. Este proceso implica la sedimentación de las

partículas de lodo bajo la influencia de fuerzas centrífugas. Existen dos principales tipos de espesado por centrifugación: la de camisa maciza y la de cesta.

8.4 Desinfección

La desinfección del lodo ha adquirido mucha importancia como proceso adicional debido a las restrictivas normas aplicables a la reutilización del lodo y a su aplicación al suelo. En la aplicación del lodo al suelo, la protección de la salud pública obliga a controlar el posible contacto con organismos patógenos.

Existen muchos medios para conseguir la eliminación de los patógenos presentes en los lodos líquidos y deshidratados. Algunos procesos de estabilización, como la digestión anaerobia y digestión aerobia, no desinfectan el lodo, pero permiten reducir considerablemente la presencia de organismos patógenos. Los métodos más adecuados para la desinfección de líquidos procedentes, tanto de la digestión aerobia como de la anaerobia, son la pasteurización y el almacenamiento a largo plazo.

8.4.1 Pasteurización

La pasteurización se emplea principalmente en Europa, en países como Alemania y Suiza, en donde es un proceso obligatorio para la desinfección de los lodos que se esparcen sobre los pastos durante la temporada de crecimiento de primavera y verano. Los métodos más usados son la inyección directa de vapor, y el intercambio indirecto de calor. Los equipos que se

emplean actualmente para la pasteurización del lodo pueden resultar poco rentables, debido a sus altos costos de inversión.

8.4.2 Almacenamiento a largo plazo

El lodo líquido digerido se suele almacenar en lagunas excavadas en el suelo, lo cual requiere disponer de un terreno suficiente. En los sistemas de aplicación al suelo, el almacenamiento suele ser necesario para retener el lodo durante los períodos en los que no se puede aplicar al terreno debido a las condiciones climáticas o a las características de los cultivos. El lodo almacenado en lagunas aumenta su concentración y sufre un proceso de estabilización adicional debido a la continua actividad de las bacterias anaerobias. Los tiempos de retención típicos varían entre 60 días a 20 °C y 120 días a 4 °C.