



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**Facultad de Ingeniería
División de Ingeniería Civil,
Topográfica y Geodesica**

203
201

**PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES Y SU APLICACION EN LA
PLANTA DE C. U.**

T E S I S P R O F E S I O N A L
Elaborada para obtener el título de
I N G E N I E R O C I V I L

p o r

SOTO KOEHLER JUAN JORGE

México, D. F.

Noviembre/1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUCCION | 1 |
| 1. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES | 5 |
| 2. LA NECESIDAD DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO EN C.U. | 44 |
| 3. DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA | 46 |
| 4. USO Y DISTRIBUCION DEL AGUA TRATADA | 65 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 68 |
| BIBLIOGRAFIA | 70 |

INTRODUCCION

Las naciones crecen y se agudizan los problemas para satisfacer las necesidades de millones de seres humanos, que merecen llevar una vida digna en una sociedad justa. En ella, alimento, vivienda, trabajo, educación, servicios y esparcimiento deben ser sinónimos de bienestar individual y comunitario, y elementos de desarrollo.

El agua, elemento vital por excelencia, está distribuida desigualmente sobre nuestro planeta, en base a las diferentes condiciones físicas imperantes en las distintas regiones geográficas. Con frecuencia, se encuentra lejos de las comunidades humanas que crecen inconteniblemente y demandan, cada día, un volumen mayor del preciado líquido. El agua permite el crecimiento y la superación de las poblaciones, la industria, la ganadería y la agricultura. Esta última es, sobre todo en los últimos años, factor determinante en el desarrollo de los países, ya que tener agricultura productiva significa

tener suficientes alimentos, y en las naciones que logran tener un excedente exportable o, al menos, autoabastecerse de ellos, existe la posibilidad de conseguir la independencia económica y, con esto, un alto grado de desarrollo.

El "tener agua" implica mucho más de lo que pudiera pensarse en un primer instante, implica su captación en fuentes de abastecimiento frecuentemente lejanas al lugar donde se va a utilizar el líquido, su conducción, almacenamiento y distribución, así como su potabilización. Esta serie de procesos tiene un alto costo. Además, la captación y conducción de agua al lugar donde se requiere, significa afectar, de una u otra manera, a la región a la que, hasta entonces, había servido.

El agua, de presencia indispensable, aplicación cada vez más importante, demanda cada vez mayor y con un costo cada día más alto, es escasa y fácilmente contaminable; por ello debe cuidarse su uso. La que se utiliza para el abastecimiento de asentamientos humanos y fábricas, es eliminada posteriormente con mayor o menor grado de contaminación y vaciada, habitualmente, a las aguas de ríos, lagos, presas, mares o, en su defecto, a la tierra; como consecuencia, estas aguas y tierras, se contaminan y son afectados los cultivos, los abastecimientos de agua derivados de esas fuentes, la vida en las propias aguas y, en general, cualquier objeto de aplicación del líquido.

La escasez de agua y su contaminación son las principales razones que llevan al hombre a la necesidad de tratar las aguas residuales o servidas, con el fin de reutilizarlas y evitar, o al menos reducir, la contaminación de las corrientes y almacenamientos de agua donde se viertan.

La preocupación del hombre por el tratamiento de las aguas residuales es relativamente reciente y ha surgido como consecuencia de la explosión demográ-

fica. Salvo algunos intentos anteriores, éste se inició en Europa y los Estados Unidos durante la segunda mitad del siglo XIX. En la República Mexicana, el tratamiento de aguas servidas es aún más reciente y apenas en las dos últimas décadas se le ha comenzado a dar la importancia que merece. Ya existen en nuestro país algunas plantas de tratamiento de diversos tipos y capacidades, y se construyen algunas más para satisfacer los requerimientos de población e industrias; además, ya se llevan a cabo numerosos estudios relativos al control de la contaminación y se creó, recientemente, una legislación al respecto.

En la actualidad, existe la necesidad de aprovechar las aguas servidas, sobre todo las de la industria, pues los volúmenes con que opera son considerables y sus desechos, frecuentemente, muy contaminantes. Fue necesario crear una legislación adecuada, para que cada uno de los establecimientos industriales posea una planta de tratamiento acorde a sus desechos. Para la industria resultaba mucho más barato pagar las cuotas de agua potable y desalojarla una vez utilizada, que construir y operar una planta de tratamiento para reciclarla. Las aguas de servicio doméstico son menos problemáticas en su manejo que las antes mencionadas, además, sus volúmenes suelen ser menores.

En el Distrito Federal y zonas aledañas, recientemente se han puesto en marcha diversos programas tendientes a solucionar, entre otros, los problemas de contaminación ambiental, alcantarillado y agua potable. El "Sistema Cutzamala", aunque en modo insuficiente, incrementa notablemente el caudal de agua potable que abastece el área metropolitana; el Colector Central y el Oriente permitirán desalojar las aguas una vez usadas. A pesar de ellos, debido al incontenible crecimiento demográfico y a la situación geográfica de la metrópoli, que dificulta el abastecimiento de agua potable y la evacuación de aguas residuales, es cada vez más importante incrementar el nú-

mero de metros cúbicos de aguas tratadas para uso de la industria y el riego de áreas verdes, principalmente, ya que los problemas de escasez de agua y contaminación se agudizan día a día.

1

PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales o servidas, industriales o domésticas, se lleva a cabo en plantas de diversos tipos. En ellas, por medio de diferentes secuencias de procesos y operaciones, se eliminan los variados contaminantes contenidos en estas aguas, en mayor o menor grado, dependiendo de las necesidades que se presenten en cada caso.

Diversos autores han considerado diferentes clasificaciones para el tratamiento de las aguas residuales. Hay quienes prefieren clasificarlo en tratamiento primario, secundario y terciario, dependiendo del grado de depuración que se logre, y quienes lo hacen en función del tipo de medios que se utilicen para la eliminación de los contaminantes, que son físicos, químicos y biológicos. En este caso, se manejará principalmente la segunda clasificación.

Los tratamientos de aguas residuales en que se aplican predominantemente

fuerzas físicas se denominan operaciones unitarias y son: el cribado, el mezclado, la floculación, la sedimentación, la flotación, la elutriación, la filtración al vacío, la transferencia térmica y el secado.

Los tratamientos en los que la eliminación de contaminantes se obtiene con la adición de productos químicos o por actividad biológica se conocen como procesos unitarios y son, entre otros: la precipitación, la transferencia de gases, la adsorción, la desinfección, la combustión, y la oxidación biológica.

Tanto las operaciones unitarias, como los procesos unitarios químicos y biológicos, se presentan en combinaciones diversas, formando distintos sistemas de tratamiento, si bien, los principios fundamentales de su funcionamiento no cambian.

A. OPERACIONES UNITARIAS

A.1. CRIBADO

Es la primera operación unitaria en las plantas de tratamiento de aguas servidas. Consiste en hacer pasar el agua a través de rejas o tamices de limpieza mecánica o manual, con el fin de retener y eliminar los sólidos arrastrados de cierto tamaño, para proteger las bombas, válvulas, conducciones y otros elementos contra posibles daños y obturaciones por trapos u objetos grandes. Las plantas de aguas residuales industriales pueden o no requerir el cribado, dependiendo del tipo de desechos contenidos en dichas aguas, mientras que en las plantas de tipo municipal es indispensable. Las basuras producto del cribado pueden eliminarse triturándolas y retornándolas al agua residual, transportándolas a zonas de relleno sanitario, desechándolas junto con la basura municipal, o bien, incinerándolas.

las en instalaciones especiales.

A.2. MEZCLADO

El ~~mezclado~~ es una de las más importantes operaciones unitarias en muchas de las fases del tratamiento de aguas servidas, en las que una sustancia tenga que ser ~~entremezclada~~ con otra, como en el ~~mezclado~~ de productos químicos coagulates con el agua residual o con el lodo activado, o para asegurar un contacto íntimo entre el sustrato y los microorganismos. En los procesos biológicos, el aire debe mezclarse con el lodo activado a fin de proporcionar a los organismos el oxígeno requerido. El ~~mezclado~~ puede realizarse de varias formas:

- a) En salto hidráulico en canales
- b) En tubos tipo venturi
- c) En conducciones
- d) En bombas
- e) En recipientes con ayuda de medios mecánicos (paletas, turbinas, hélices), difusión de gases y bombas impelentes de chorro de aire y agua.

En el ~~mezclado~~ deben evitarse los vórtices o remolinos, que disminuyen la diferencia de velocidad entre el fluido y el impulsor, reduciendo la eficacia del proceso.

A.3. FLOCULACION

Una parte esencial de cualquier sistema de precipitación química o químicamente asistida es la agitación para aumentar la posibilidad del contacto entre partículas, denominada floculación, después de la adición de productos químicos. La floculación se ve favorecida por una agitación moderada y bien

controlada, con paletas a poca velocidad.

A.4. SEDIMENTACION

Es la separación de las partículas más pesadas que el agua, por la acción de la gravedad. Se utiliza para la eliminación de arenas, de la materia particulada en el tanque de decantación primaria, de los flóculos producto de la coagulación química y para la concentración de sólidos en los espesadores de lodo. En la mayoría de los casos, el propósito fundamental es obtener un efluente clarificado, pero también es necesario producir un lodo con una concentración de sólidos tal, que pueda ser manejado y tratado con facilidad y economía.

En base a la concentración y tendencia a la interacción de las partículas pueden efectuarse cuatro clasificaciones generales sobre la forma en que dichas partículas se depositan. Es frecuente que se produzca más de un tipo de decantación en un momento dado durante la sedimentación en incluso es posible que los cuatro tipos se presentene simultáneamente (ver figura 1).

El TIPO 1 se refiere a la sedimentación de partículas discretas en una sus pensión de sólidos de baja concentración. Las partículas se depositan individualmente y no existe interacción significativa con las partículas próximas. Un ejemplo típico es una suspensión diluída de partículas de arena. Este tipo se conoce como sedimentación libre.

El TIPO 2 se refiere a una suspensión bastante diluída de partículas que no actúan como entidades individuales, sino que se agregan, o flocculan, durante la sedimentación, aumentando su masa y depositándose más rápidamente. La cuantía en la que ocurre la flocculación o coalescencia depende de las oportunidades de contacto que tengan las partículas, lo que varía con la carga de superficie, profundidad del tanque, gradientes de velocidad en el

sistema, concentración de las partículas y gama de tamaños de las mismas. Este tipo se conoce como sedimentación retardada.

El TIPO 3 tiene lugar en suspensiones de concentración intermedia, en las que las fuerzas interparticulares son suficientes para retardar la sedimentación de las partículas vecinas. Las partículas tienden a permanecer, entre sí, en posiciones fijas y la masa de las mismas se deposita como una unidad. En la parte superior del lodo que sedimenta, se desarrolla una interfase sólido-líquido bien diferenciada. Este tipo se conoce como sedimentación zonal.

El TIPO 4 se conoce con el nombre de sedimentación por compresión y suele presentarse en las capas inferiores de las masas profundas de lodo. Tiene lugar cuando las partículas alcanzan tal concentración, que se forma una estructura y sólo puede producirse un nuevo asentamiento por compresión de aquella. La compresión ocurre por el peso de las partículas que continuamente se van añadiendo a la estructura por sedimentación del líquido sobrenadante.

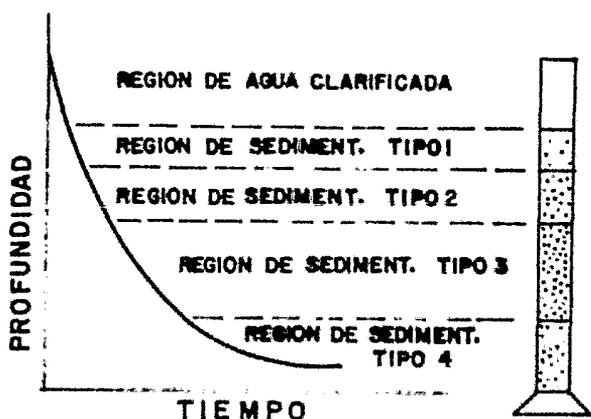


FIGURA 1
Esquema de las regiones de sedimentación para un lodo activado en un cilindro graduado.

Se ha observado que la agitación sirve para compactar el lodo en la región de compresión, al romper el flóculo y permitir que el agua se escape. La agitación también produce una mejor sedimentación en la región de sedimentación zonal. Por ello, los equipos de sedimentación suelen emplear rascadores para manipular el lodo y producir cierta agitación.

La velocidad de arrastre es importante en las operaciones de sedimentación, ya que el rozamiento del agua ejerce una determinada fuerza sobre las partículas sedimentadas. En los tanques de sedimentación, las velocidades horizontales se deben mantener bajas para que las partículas depositadas no sean arrastradas en el fondo.

A.5. FLOTACION

La flotación es una operación unitaria utilizada para separar partículas líquidas o sólidas de una fase líquida. La separación se consigue introduciendo burbujas finas de gas (generalmente aire) en la fase líquida. Las burbujas se adhieren a las partículas y la fuerza ascendente del conjunto partícula-burbujas de gas hace que la partícula suba a la superficie. De esta forma se puede hacer ascender a partículas con densidad mayor que el líquido y facilitar la elevación de las partículas con densidad menor que el líquido (por ejemplo, suspensión de aceite en agua).

En el tratamiento de aguas residuales, la flotación se utiliza para eliminar la materia suspendida y concentrar los lodos biológicos. La principal ventaja de la flotación sobre la sedimentación es que las partículas muy pequeñas o ligeras, que se depositan lentamente, pueden eliminarse mejor y en menor tiempo. Una vez que las partículas están flotando en la superficie, pueden recogerse mediante un rascado superficial.

La actual práctica de flotación se limita al uso de aire como agente de la operación unitaria. Las burbujas de aire se añaden, o se induce su formación por alguno de los métodos siguientes:

a) AERACION A PRESION ATMOSFERICA O FLOTACION POR AIRE

Las burbujas de aire se forman introduciendo la fase gas directamente en la fase líquido por medio de un impulsor giratorio o de difusores. La aeración por sí sola durante un corto período de tiempo no es especialmente eficaz para conseguir la flotación de sólidos, como grasa y otros.

b) FLOTACION POR AIRE DISUELTO

El aire se disuelve en el agua residual bajo una presión de varias atmósferas y a continuación se procede a la liberación de la presión hasta el nivel atmosférico (ver figuras 2 y 3). Se utilizan diversas instalaciones de flotación por presión para el tratamiento de residuos industriales y para la concentración de lodos.

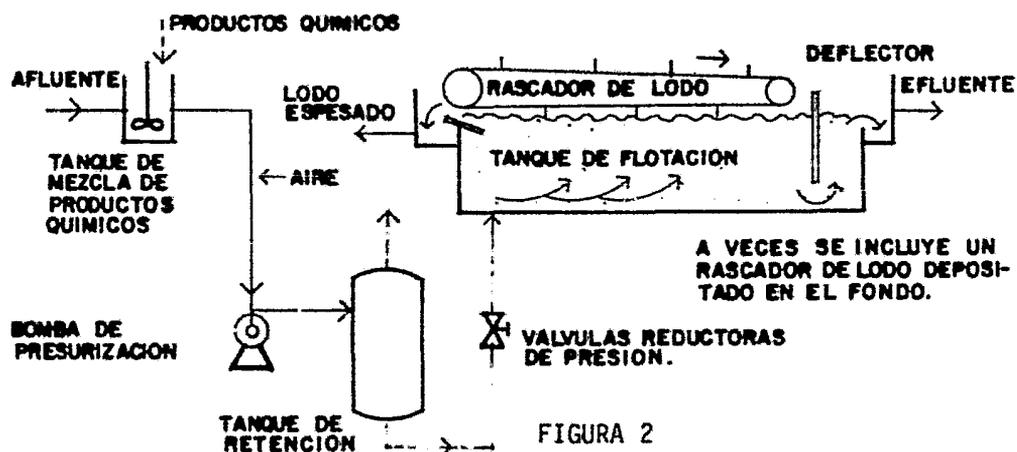


FIGURA 2

Esquema de un tanque de flotación por aire disuelto sin recirculación

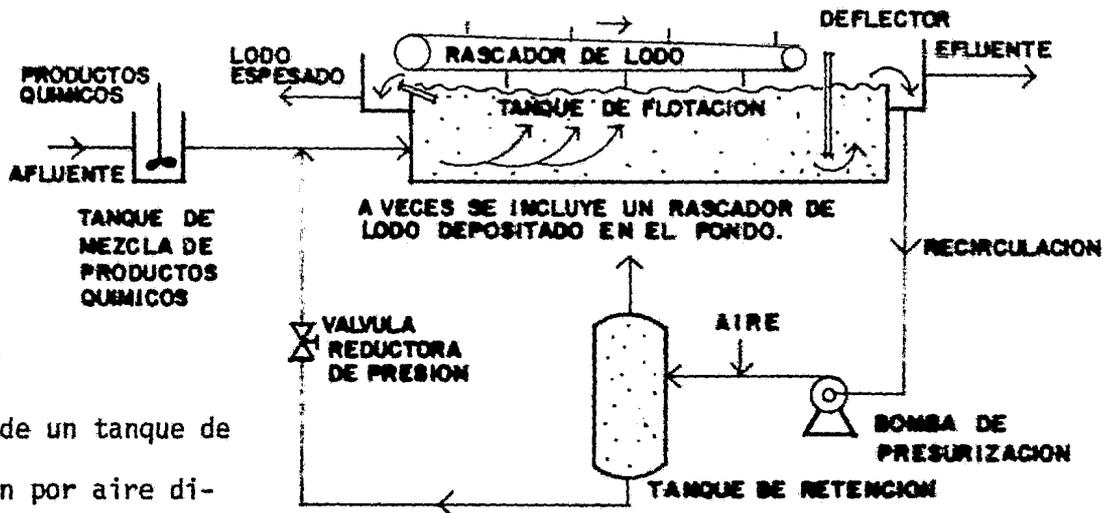


FIGURA 3

Esquema de un tanque de flotación por aire disuelto con recirculación.

c) FLOTACION POR VACIO

Consiste en saturar el agua residual directamente en un tanque de aeración o permitiendo que el aire entre en el conducto de aspiración de una bomba de aguas residuales. Al aplicar un vacío parcial, el aire disuelto abandona la solución en forma de diminutas burbujas, que suben a la superficie con las partículas sólidas adheridas, formando una capa de espuma que se elimina mediante un rascador superficial. La arena y otros sólidos pesados que se depositan en el fondo pueden transportarse por medio de rascadores hacia un pozo de lodos para su eliminación. Si esta instalación se utiliza para eliminar arena y lodo que ha de ser digerido, aquella deberá separarse de éste en un clasificador de arena antes de que se bombee a los digestores.

Para facilitar el proceso de flotación, normalmente se emplean algunos productos químicos (ver figuras 2 y 3). Estos productos, tales como las sales de hierro y aluminio y sílice activado, crean una superficie o estructura que puede absorber o atrapar fácilmente las burbujas de aire.

Los factores que han de tenerse en cuenta en el proyecto de equipos de flotación, incluyen la concentración de sólidos, cantidad de aire a utilizar, velocidad ascensorial de las partículas y carga de sólidos.

A.6. ELUTRIACION

Es una operación unitaria por medio de la cual diversos componentes químicos son lixiviados del lodo digerido. Consiste en mezclar íntimamente un sólido, o una mezcla de un sólido y un líquido, con otro líquido para transferir ciertos componentes del primero al segundo. Un ejemplo típico es el lavado del lodo digerido antes del acondicionamiento químico para eliminar ciertos componentes solubles orgánicos e inorgánicos que consumirían, de no ser extraídos, gran cantidad de productos químicos. El costo del lavado se ve, generalmente, compensado por la economía resultante de disminuir la cantidad de productos químicos necesarios.

La operación normal de lixiviación consta de dos fases:

- a) Un mezclado profundo del sólido o de la mezcla sólido-líquido con el líquido de lixiviación, y
- b) La separación de éste o lavado.

A cada combinación de mezclado y lavado se le llama etapa. Se dice que una etapa es ideal si se logra que la concentración del componente que se está lixiviando sea la misma en el líquido que se separa que en el que permanece con los sólidos. El mezclado y separación pueden llevarse a cabo en el mismo tanque o en tanques distintos, como generalmente se hace.

A.7. FILTRACION POR VACIO

La función de esta operación unitaria, no muy frecuentemente utilizada, es reducir el contenido de agua del lodo, ya sea crudo, digerido, o elutriado, de modo que la concentración de sólidos aumente del 5-10% hasta un 30% aproximadamente. A este porcentaje más elevado, el lodo de agua residual es fácil de manipular.

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, la filtración por vacío se efectúa, por lo general, en filtros cilíndricos de tambor. Estos filtros tienen una tela de fibras sintéticas o naturales, muelles en espiral o tela de malla metálica como medio filtrante. El tambor se halla suspendido por encima y se sumerge en un recipiente de lodo. Conforme el tambor va girando lentamente, parte de su circunferencia está sometida a un vacío interno que atrae el lodo hacia el medio filtrante. El agua es forzada a pasar a través de la torta porosa filtrante en dicho sector del cilindro. La disposición de las tuberías dentro del filtro permite mantener la succión hasta el punto de separación de la torta, en cuyo momento se inyecta aire comprimido a través del medio filtrante para despegar la torta y separarla con un rascador para su descarga. El medio filtrante puede lavarse entre el rascado y la succión (ver figura 4).

A.8. TRANSMISION TERMICA

Es la transferencia de energía calorífica de un medio a otro. Las operaciones unitarias que utilizan la transmisión térmica son: la digestión y el secado de lodos. Los digestores anaerobios se mantienen a 32°C o más mediante transmisión térmica por medio de intercambiadores de calor o serpentines, y el secado de los lodos se consigue mezclándolos íntimamente con aire caliente o situándolos en lechos de secado cubiertos con vidrio

o a cielo abierto.

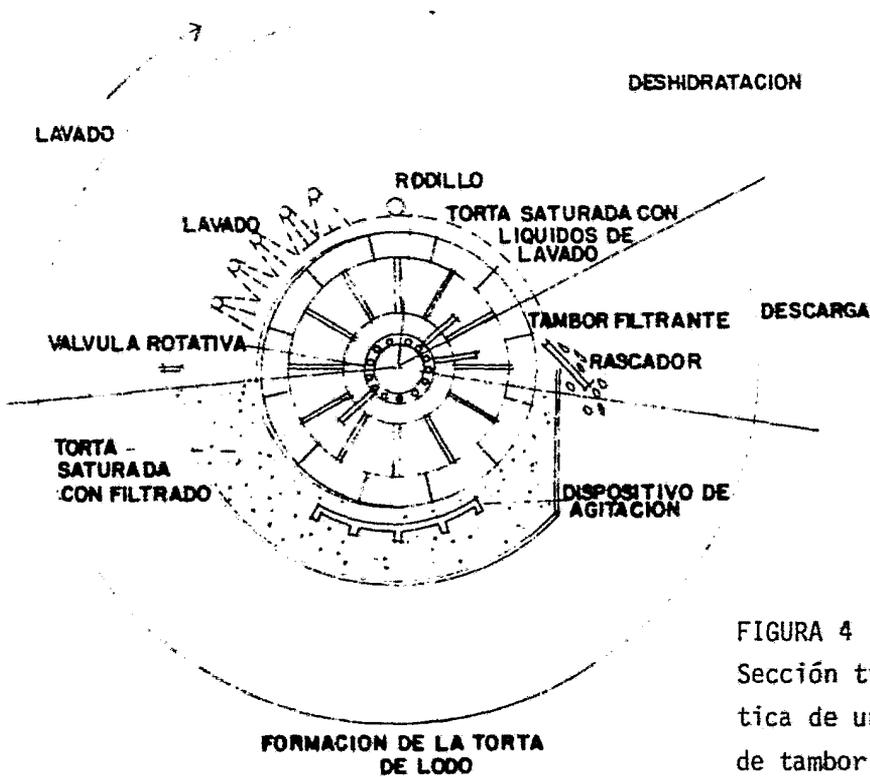


FIGURA 4
Sección transversal esquemática de un filtro de vacío de tambor rotativo continuo.

Durante la operación se forman depósitos y películas de partículas sucias sobre las superficies transmisoras de calor de los serpentines, intercambiadores de calor y radiadores, lo que impide notablemente el flujo de calor. Las superficies accesibles se limpian periódicamente. Cuando las superficies no son accesibles, los depósitos y películas pueden crecer hasta espesores que limitan la transmisión térmica, lo que debe considerarse al diseñar y calcular las instalaciones.

A.9. SECADO

El secado del lodo consiste en reducir el contenido de agua por vaporización de ésta al medio ambiente. En los lechos de secado, las diferencias de presión del vapor son la causa de la evaporación a la atmósfera. En los dispositivos mecánicos de secado se dispone de calor adicional para aumentar la

capacidad de retención de vapor del aire ambiente y proporcionar así calor latente de evaporación.

SECADO INSTANTANEO

Supone la pulverización del lodo en un molino o mediante una técnica de suspensión atomizada en presencia de gases calientes. El equipo debe diseñarse de manera que las partículas permanezcan en contacto con los gases calientes turbulentos el tiempo suficiente para que se efectúe la transferencia de la humedad del lodo a los gases. La operación consiste en que un molino recibe una mezcla de lodo húmedo o torta y lodo seco reciclado, conteniendo la mezcla aproximadamente un 50% de humedad. Los gases calientes y el lodo son forzados hacia un conducto donde tiene lugar la mayor parte del secado y hacia un ciclón que separa el vapor y los sólidos. En esta operación es posible conseguir un contenido de humedad del 8%. El lodo seco puede utilizarse como fertilizante o incinerarse.

Un secador de rociado hace uso de una tobera o cuba centrífuga de gran velocidad en la que se introduce el lodo líquido. La fuerza centrífuga atomiza el lodo en finas partículas y las rocía por la parte superior de la cámara de secado, donde se realiza la transferencia constante de humedad a los gases calientes.

SECADORES ROTATIVOS

Se han desarrollado diferentes tipos, incluyendo los de calentado directo, en los que el material que se seca se encuentra en contacto con gases calientes; los de calentado indirecto en los que los gases calientes están separados del material a secar por un tambor de acero y, finalmente, los de calentado indirecto donde los gases más calientes rodean el tambor cen

tral que contiene el material, pero retorna a través de él a temperaturas reducidas. Como combustible puede utilizarse carbón, aceite, gas, basura o lodo seco. Para remover el material cuando gire el tambor, y evitar adherencias, pueden utilizarse rascadores.

INCINERADORES

Con frecuencia se utiliza un incinerador de pisos múltiples para secar y quemar lodos que previamente se han deshidratado parcialmente por filtración al vacío. Consiste en una operación a contracorriente en la que el aire caliente y los productos de la combustión atraviesan el lodo finamente pulverizado, que se va rastrillando en forma continua para que quede expuesto a la acción de aquellos en toda su superficie.

B) PROCESOS QUIMICOS UNITARIOS

CINETICA DE REACCION

La velocidad a la que tiene lugar una reacción química es un aspecto importante en el tratamiento de aguas residuales. Los procesos de tratamiento pueden proyectarse en base a dicha velocidad más que al estado de equilibrio de la reacción, ya que ésta generalmente tarda demasiado en completarse. Pueden utilizarse cantidades de productos químicos mayores de las requeridas estequiométricamente, es decir, de la cantidad exacta que reacciona, para conseguir el grado de tratamiento en un período de tiempo razonable. Esto es válido, por ejemplo, en los procesos de desinfección y en los biológicos para la eliminación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O.) y su digestión.

B.1. PRECIPITACION QUIMICA

La precipitación química en el tratamiento de las aguas residuales, lleva consigo la adición de productos químicos con la finalidad específica de mejorar el rendimiento de la planta y eliminar determinados componentes del agua residual. En el pasado se utilizaba la precipitación química para mejorar el grado de eliminación de los sólidos suspendidos y de la D.B.O. en los siguientes casos:

- a) Cuando se producían variaciones estacionales en la concentración de agua residual (residuos de fábricas de conservas, por ejemplo)
- b) Cuando se requería un grado intermedio de tratamiento, y
- c) Como ayuda en el proceso de sedimentación.

Actualmente se ha renovado el interés por la precipitación química, debido a que puede utilizarse eficazmente para la eliminación del fósforo y puede combinarse con la adsorción por carbón activado, dando lugar a un tratamiento del agua residual, suprimiendo la necesidad del tratamiento biológico y aportando, al mismo tiempo, una mejor eliminación de los productos orgánicos del agua que son resistentes al tratamiento biológico. Por ejemplo, la Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.) remanente tras una precipitación química y adsorción por carbón activado es alrededor de 10 a 20 mg/lit, mientras que la D.Q.O. residual tras tratamiento biológico es aproximadamente de 100 a 300 mg/lit.

Se utilizan muchas y muy diversas sustancias químicas como agentes de precipitación. El grado de clarificación que se obtiene depende de la cantidad de productos químicos utilizados y del cuidado con que se controló el proce-

so. Por medio de la precipitación química es posible obtener un efluente limpio, sustancialmente exento de materia en suspensión o en estado coloidal. Por este proceso llega a eliminarse del 80 al 90% de la materia total suspendida, del 50 al 55% de la materia orgánica y del 80 al 90% de las bacterias. Estas cifras pueden compararse con las de la sedimentación normal, donde se elimina solamente del 50 al 70% de la materia suspendida y del 30 al 40% de la materia orgánica.

Los productos químicos añadidos al agua residual en la precipitación química reaccionan con las sustancias que se hallen normalmente presentes en dicha agua o que se añaden para tal fin, por lo tanto, en ocasiones, se añade más de una sustancia química al agua.

El fosfato contenido en el agua residual puede eliminarse mediante precipitación química con diversos iones metálicos polivalentes, como iones calcio, aluminio y hierro, o con cal.

B.2. TRANSFERENCIA DE GASES

La transferencia de gases es una parte vital de los procesos de tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo, el funcionamiento de los procesos aerobios, tales como lodos activados, filtros biológicos y digestión aerobia, dependen de la disponibilidad de cantidades suficientes de oxígeno. El gas cloro es transferido al agua para la desinfección de ésta. Un proceso para eliminar compuestos de nitrógeno consiste en la conversión del nitrógeno en amoníaco y en transferir éste del agua al aire. Si el agua residual que entra en la planta de tratamiento es séptica se tendrá que añadir aire antes de la alimentación primaria, en decántos de preaeración o en los decantadores aerados, a fin de eliminar los olores y mejorar su tratabilidad.

A través de la interfase normal aire-agua, no entra oxígeno suficiente en el agua para poder satisfacer las necesidades del tratamiento aerobio de las aguas residuales, debido a la baja solubilidad del oxígeno y a su consiguiente baja tasa de transferencia. Para poder transferir las grandes cantidades de oxígeno que se requieren, es preciso formar interfases adicionales, por ejemplo, introduciendo burbujas de aire en el agua. En las plantas de tratamiento de aguas residuales, la aeración se logra casi siempre con burbujas de aire que se dispersan en el líquido a profundidades de hasta 4.5 metros mediante pequeños orificios. Los dispositivos de aeración más utilizados son tubos y placas porosas, tuberías perforadas y difusores plásticos y metálicos de diversos tipos y tamaños. También se emplean, a veces, dispositivos basados en la formación de esfuerzos cortantes para crear pequeñas burbujas, haciendo que un flujo de líquido choque en un orificio de modo que las burbujas de aire se rompan en otras de menor tamaño.

Se pueden utilizar mezcladores mecánicos de alta velocidad para dispersar las burbujas de aire introducidas por debajo del centro del mezclador. Estos mezcladores o aeradores mecánicos consisten, generalmente, en turbinas de alta velocidad que funcionan en la superficie del líquido, parcialmente sumergidas. Se diseñan de forma que mezclen íntimamente y recirculen grandes volúmenes de aire y agua.

Para una cantidad dada de aire introducida en un líquido, la superficie disponible por la que puede tener lugar la transferencia de gas aumenta a medida que el tamaño de las burbujas disminuye. La transferencia efectiva de gas depende también de la agitación del agua, debido a que la turbulencia disminuye el espesor de la capa líquida y la resistencia a la transferencia y a la dispersión del gas disuelto. Las burbujas de aire tienen un efecto ascensional debido al arrastre viscoso y favorecen la turbulencia y circulación del

líquido.

B.3. ADSORCION

El proceso consiste, en general, en la captación de sustancias solubles presentes en una solución por una interfase conveniente. La interfase puede encontrarse entre el líquido y un gas, un sólido, u otro líquido. La adsorción en la interfase aire-líquido se produce en el proceso de flotación.

La adsorción en la interfase líquido-sólido es la más importante en el tratamiento de aguas residuales. La adsorción es un proceso terciario o de afinación y no se ha empleado mucho hasta ahora en la purificación de aguas residuales, pero la necesidad de una mayor calidad en el efluente del agua residual tratada ha llevado a un detenido examen del proceso de adsorción sobre carbón activado, para satisfacer estas demandas.

La adsorción puede describirse como el proceso en el que las moléculas abandonan la solución y quedan retenidas en la superficie sólida mediante enlaces físicos y químicos. A las moléculas se les denomina adsorbatos y al sólido adsorbente. Si los enlaces que se forman entre ellos son muy fuertes, el proceso es casi siempre irreversible y se dice que ha tenido lugar una adsorción o quimioadsorción. Si los enlaces que se forman fueran muy débiles, se dice que ha tenido lugar una adsorción física. Las moléculas así adsorbidas se eliminan fácilmente, o son desorbidas, por un cambio en la concentración de la solución y por esta razón el proceso es reversible. La adsorción física es el proceso que se presenta más frecuentemente en la eliminación de los constituyentes del agua residual por carbón activado. La cantidad de adsorbato que puede retener un adsorbente es función de la concentración de aquel y de la temperatura.

En la actualidad, el carbón activado es el elemento más prometedor dentro del tratamiento por adsorción de las aguas residuales, aunque se ha utilizado desde hace muchos años para la eliminación de compuestos orgánicos causantes de sabor y olor en abastecimientos de agua potable. El tratamiento del agua residual con carbón activado, suele considerarse como un proceso de acabado o afinación del agua ya tratada por procesos de tratamiento biológico. El carbón se utiliza para eliminar parte de la materia orgánica residual disuelta y es un posible sustituto del tratamiento biológico de las aguas residuales municipales.

Con frecuencia se utiliza una columna como medio de contacto del agua residual con el carbón activado granular. El agua se introduce por la parte superior de la columna, pasa a través del carbón y sale por la parte inferior. Es necesario prever instalaciones de lavado ya que la materia particulada en el afluente tiene una concentración media de 10 mg/l y es retenida casi totalmente por el filtro. El lavado a contracorriente es necesario para evitar las pérdidas excesivos de carga (ver figura 5). Tales columnas pueden operar solas, en serie o en paralelo. El carbón consumido se va sustituyendo en forma continua por nuevo carbón.

Otro medio de aplicación es el de añadir carbón activado en polvo al efluente del tratamiento biológico en un tanque de contacto. Una vez transcurrido el tiempo de contacto deseado se deja que el carbón se sedimente en el fondo del tanque y seguidamente se extrae del mismo el agua tratada. Puesto que el carbón es muy fino, puede necesitarse un coagulante, como un polielectrolito, para facilitar la eliminación de las partículas, o bien, una filtración a través de filtros rápidos de arena.

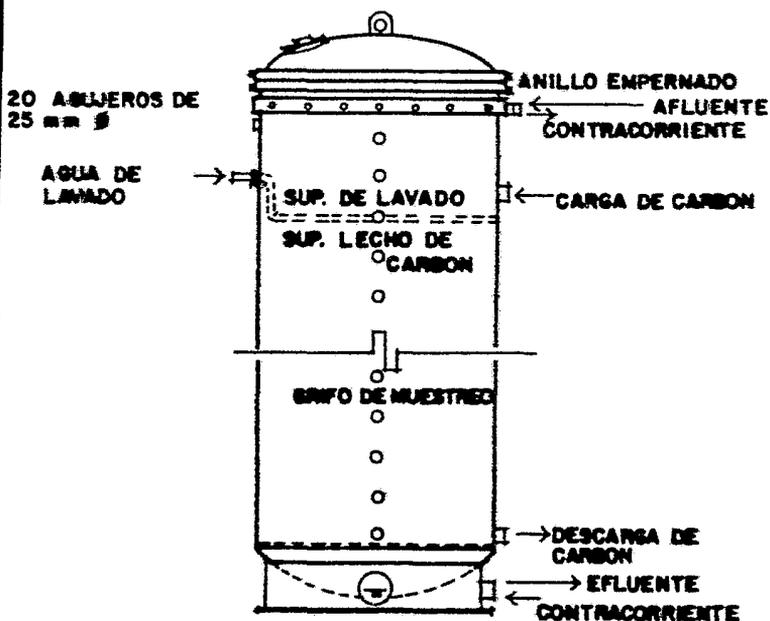


FIGURA 5

Columna típica de adsorción con carbón activado.

La aplicación económica del carbón depende de la existencia de un medio eficaz para regenerarlo una vez que se haya alcanzado su capacidad de adsorción.

B.4. DESINFECCION

La desinfección consiste en la destrucción selectiva de los organismos causantes de enfermedades, que son bacterias, virus y quistes amibianos. No todos los organismos se destruyen durante el proceso y esto es lo que diferencia la desinfección de la esterilización, la cual implica la destrucción de todos los organismos.

La desinfección suele realizarse mediante:

- a) Agentes químicos
- b) Agentes físicos
- c) Medios mecánicos
- d) Radiación

AGENTES QUIMICOS

Los agentes químicos utilizados como desinfectantes son:

- a) Fenol y compuestos fenólicos
- b) Alcoholes
- c) Yodo
- d) Cloro y sus compuestos
- e) Bromo
- f) Ozono
- g) Metales pesados y compuestos afines
- h) Colorantes
- i) Jabones y detergentes sintéticos
- j) Compuestos amoniacales cuaternarios
- k) Agua oxigenada
- l) Diversos álcalis y ácidos

Los desinfectantes más comunes son los productos químicos oxidantes, de los cuales el cloro es el más usado. El ozono es un desinfectante muy eficaz, cuyo uso va en aumento. También se utiliza agua alcalina o muy ácida, ya que el agua con un pH mayor de 11 o inferior a 3 es tóxica para la mayoría de las bacterias.

AGENTES FISICOS

Los desinfectantes físicos más utilizados son la luz y el calor. El agua a la temperatura de ebullición destruye las principales bacterias, pero no es un medio factible de aplicación a grandes cantidades de aguas residuales debido a su elevado costo. La luz solar también es buen desinfectante, pudiendo usarse especialmente la radiación ultravioleta, cuya eficacia

depende de la penetración de los rayos en el agua, la cual suele dificultarse.

MEDIOS MECANICOS

Las bacterias pueden también eliminarse por medios mecánicos durante el tratamiento del agua residual. Estos medios son, por ejemplo, rejas, tanques desarenadores y filtros.

RADIACION

Los principales tipos de radiación son electromagnética, acústica y de partículas. Los rayos gamma se emiten a partir de radioisótopos, tales como el Cobalto 60. Dado su poder de penetración, los rayos gamma se han utilizado para desinfectar o esterilizar tanto agua potable como agua residual.

La tabla I muestra algunos rendimientos típicos de eliminación de bacterias para diversos procesos de tratamiento.

Los factores que influyen en la acción de los desinfectantes son:

- a) Tiempo de contacto
- b) Concentración y tipo de agente químico
- c) Intensidad y naturaleza del agente físico
- d) Temperatura
- e) Número de organismos
- f) Tipos de organismos
- g) Naturaleza del medio líquido

| PROCESO | % ELIMINACION |
|---------------------------|---------------|
| REJAS GRUESAS | 0-5 |
| REJAS FINAS | 10-20 |
| TANQUES DESARENADORES | 10-25 |
| SEDIMENTACION SIMPLE | 25-75 |
| PRECIPITACION QUIMICA | 40-80 |
| FILTROS PERCOLADORES | 90-95 |
| LODOS ACTIVADOS | 90-98 |
| CLORACION DE AGUA TRATADA | 98-99 |

TABLA I.- Eliminación o destrucción de bacterias mediante diferentes procesos de tratamiento.

B.5. COMBUSTION

Con el fin de reducir el peso y volumen del lodo y producir un residuo inerte e inodoro para su eliminación final, se practica la combustión de los productos orgánicos en muchas de las grandes instalaciones de tratamiento de aguas residuales, industriales y municipales. Se utilizan dos tipos principales de combustión:

- a) Combustión seca o incineración de lodos
- b) Oxidación por vía húmeda.

COMBUSTION SECA O INCINERACION DE LODOS

Para este proceso, generalmente se somete el lodo previamente a filtración por vacío para reducir su contenido de agua. La incineración puede conseguirse en un horno de pisos múltiples, en el que se mantienen temperaturas máximas ligeramente por encima de 760°C para evitar los olores. En otro tipo de instalación, el lodo seco se introduce en el horno y sirve como combustible para calentar el aire que, a su vez, se utiliza para el secado instantáneo y/o la incineración del lodo. La incineración implica la combustión de todas las sustancias orgánicas presentes. Los elementos predominantes en los carbohidratos, grasas y proteínas que contiene la materia volátil del lodo son: carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno (C-O-H-N). El valor calorífico del lodo oscila entre las 2,500 y 5,500 Kcal/kg de sólidos secos, según el tipo de lodo y su contenido volátil, lo que equivale a algunas de las calidades más bajas de carbón.

OXIDACION POR VIA HUMEDA

Para este proceso, se quema el lodo en estado líquido. Las sustancias orgánicas pueden ser oxidadas a altas presiones y elevadas temperaturas al alimentar aire comprimido en un recipiente bajo presión. Este proceso ha sido empleado para la oxidación de lodos sin tratar, procedentes de aguas residuales, bombeados directamente desde el depósito de sedimentación primaria o el espesador. La combustión no es completa, el valor medio es de un 80% a un 90%. Por lo tanto, los productos finales contendrán algo de materia orgánica y amoníaco.

C. PROCESOS UNITARIOS BIOLÓGICOS

Los objetivos del tratamiento biológico de aguas residuales son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el agua residual doméstica, el principal objetivo es reducir el contenido orgánico. Al tratar agua que ha de ser utilizada para riego agrícola se pretende eliminar los nutrientes, tales como nitrógeno y fósforo, que estimulan el crecimiento de las plantas acuáticas. Para las aguas residuales industriales, la finalidad es eliminar o reducir la concentración de los compuestos orgánicos e inorgánicos. Dado que muchos de estos compuestos son tóxicos a los microorganismos empleados en el tratamiento biológico, en algunos casos puede ser necesario efectuar un pretratamiento. En la mayoría de los casos, el agua residual puede ser tratada biológicamente, a fin de conseguir un control ambiental adecuado.

C.1. FUNDAMENTOS DE MICROBIOLOGIA

El entendimiento de la forma, estructura y actividades bioquímicas de los microorganismos importantes es básico para el diseño o la selección de un proceso de tratamiento biológico.

Actualmente, los microorganismos se dividen para su estudio en tres reinos: Protistas, Vegetales y Animales (ver tabla II). Los tres reinos son semejantes, ya que la célula es la unidad de la vida en todos ellos y la mayoría de las células vivientes son muy similares. Tienen una pared celular que puede ser una membrana rígida o flexible. Si son móviles, poseen por lo general flagelos o algunos apéndices de apariencia capilar. El interior de la célula contiene una suspensión coloidal de proteínas, carbohidratos y otros compuestos orgánicos complejos, llamada citoplasma (ver figura 6). La región citoplasmática contiene ácido ribonucléico (ARN).

cuya misión principal es la síntesis de proteínas. También, en el interior de la pared celular existe la región del núcleo, rica en ácido desoxiribonucleico (ADN), que contiene toda la información necesaria para la reproducción de la célula.

| REINO | MIEMBROS REPRESENTATIVOS | CARACTERISTICAS |
|----------------------|---|--|
| ANIMAL | ROTIFEROS CRUSTACEOS | MULTICELULARES, CON DIFERENCIACION DE TEJIDOS |
| VEGETAL | MUSGOS HELECHOS PLANTAS DE SEMILLAS | |
| PROTISTAS SUPERIORES | ALGAS PROTOZOOS HONGOS MUCILAGOS | UNICELULARES O MULTICELULARES, SIN DIFERENCIACION DE TEJIDOS |
| INFERIORES | ALGAS VERDIAZULES BACTERIAS | |

TABLA II.- Los tres reinos de los microorganismos

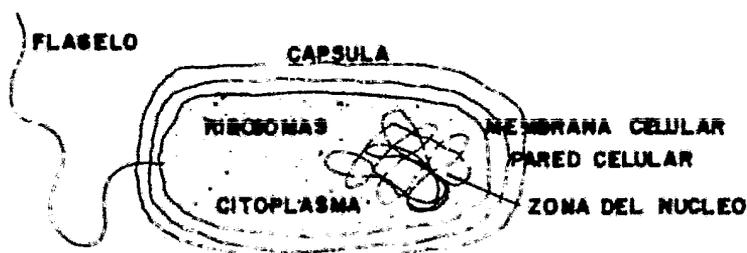


FIGURA 6.- Esquema de una célula bacteriana.

El ingeniero debe conocer las características de los siguientes microorganismos, por su importancia en los procesos de tratamiento biológico:

- a) Bacterias
- b) Hongos
- c) Algas
- d) Protozoos
- e) Rotíferos
- f) Crustáceos
- g) Virus

BACTERIAS

Son protistas unicelulares, consumen alimentos solubles y, por lo general, se encuentran donde haya alimentos y humedad. Su modo habitual de reproducción es por escisión binaria, aunque algunas especies se reproducen por germinación o sexualmente. Si bien existen miles de diferentes especies de bacterias, su forma general es esférica, cilíndrica o helicoidal. La temperatura y el pH del medio juegan un papel muy importante en la vida y muerte de las bacterias, así como en otros microorganismos. Las bacterias son de suma importancia en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales.

HONGOS

En ingeniería sanitaria se considera que los hongos son protistas heterótrofos, no fotosintéticos y multicelulares. Se clasifican generalmente por su modo de reproducción, que puede ser sexual o asexual, por escisión, germinación o formación de esporas. La mayoría de los hongos son aerobios estrictos. Pueden crecer con poca humedad, toleran un medio ambiente con pH relativamente bajo y tienen una demanda baja de nitrógeno. Estas dos

últimas características los hacen muy importantes en el tratamiento de algunas aguas residuales industriales y en la formación de composta a partir de residuos sólidos orgánicos.

ALGAS

Son protistas unicelulares o multicelulares, autótrofas y fotosintéticas. No son deseables en los abastecimientos de agua potable, porque producen olores y sabores desagradables, además, el color verde de la mayoría de las especies y su capacidad para formar capas disminuye el valor estético del agua. En las plantas de filtración, la presencia de algas reduce el tiempo de filtrado entre lavados. En los estanques de oxidación las algas son un valioso elemento porque producen oxígeno a través del mecanismo de fotosíntesis. La capacidad de las algas para producir oxígeno es vital para la ecología del medio acuoso. Para que un estanque aerobio o facultativo (aerobio-anaerobio) funcione eficazmente es imprescindible que las algas proporcionen oxígeno a las bacterias aerobias y heterótrofas, en una relación simbiótica. Las algas, al igual que otros microorganismos, requieren compuestos inorgánicos para reproducirse. Además del anhídrido carbónico, los principales nutrientes necesarios son el nitrógeno y el fósforo, pero también son muy importantes vestigios de oligoelementos, como hierro, cobre y molibdeno. Por lo anterior, el problema de evitar el crecimiento excesivo de las algas en las aguas naturales se ha centrado en la eliminación de los nutrientes. Seguidamente se describen cuatro tipos importantes de algas de agua dulce.

a) ALGAS VERDES (Chlorophyta)

Son principalmente de agua dulce y pueden ser unicelulares o multicelulares. Una característica que las distingue es que poseen cloroplastos.

Las algas verdes comunes son las del grupo chlorella, encontradas en los estanques de estabilización.

b) ALGAS VERDES MOVILES (Volvocales euglenophyta)

Viven en colonias, son de color verde brillante, unicelulares y flageladas. La euglena pertenece a este grupo; la mastigóphora, que contiene clorofila, se incluye con frecuencia en él.

c) ALGAS VERDIAMARILLAS O MARRON DORADO (Chrysophyta)

Casi todas las formas de estas algas son unicelulares. Viven en agua dulce y su color característico se debe a pigmentos pardoamarillentos que esconden la clorofila. De este grupo las más importantes son las diatomeas, que se encuentran indistintamente en aguas dulces y saladas, tienen concha, compuesta principalmente por sílice. Los depósitos de estas conchas son conocidos como tierra de diatomáceas y se utiliza como ayudante de filtración.

d) ALGAS VERDIAZULES (Cyanophyta)

Son de una forma muy simple y muy semejantes a las bacterias en algunos aspectos. Son unicelulares, generalmente encerradas en una envoltura, y sin flagelos. Su clorofila no está contenida en los cloroplastos, sino repartida por toda la célula. Por varias razones, estas algas son de interés en la tecnología del agua y aguas residuales. Una de sus características importantes es la capacidad para utilizar nitrógeno de la atmósfera como nutriente en la síntesis celular, lo cual evita que la eliminación de los compuestos nitrogenados afecte a las algas. Sin embargo, estas algas pueden llegar a formar grandes y densas capas sobre la superficie del agua, disminuyendo el valor estético de ésta, o impartiendo

dole mal olor y sabor.

PROTOZOOS

Son protistas móviles microscópicos y, por lo general, unicelulares. La mayoría son heterótrofos aerobios, aunque existen anaerobios. Son generalmente de un orden de magnitud mayor que las bacterias y suelen consumir bacterias como fuente de energía, así como partículas orgánicas, actuando, de esta manera, como purificadores de los efluentes de procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. Los protozoos suelen dividirse en cinco grupos: Sarcodina, Mastigophora, Sporozoa, Infusoria o Ciliata y Suctoria. Algunos de ellos tienen pseudópodos, flagelos, pestañas o tentáculos, que utilizan para desplazarse y para capturar alimentos. Varios de estos microorganismos causan enfermedades al hombre, como padecimientos intestinales (endamoeba histolytica) y malaria (plasmodium), y varios de ellos son útiles en los procesos de tratamiento biológicos, como el proceso de lodos activados.

ROTIFEROS

Son animales aerobios, heterótrofos y multicelulares. Su nombre procede del hecho de que tienen dos juegos de pestañas giratorias sobre la cabeza, que utilizan para su movimiento y captura de alimentos. Son muy eficaces al consumir bacterias dispersas, y floculadas, así como pequeñas partículas de materia orgánica. Su presencia en un efluente indica un proceso de purificación biológica aerobio muy eficiente.

CRUSTACEOS

Como los rotíferos, son animales aerobios, heterótrofos y multicelulares, pero tienen un cuerpo duro o coraza. Los crustáceos se encuentran en la mayoría de las aguas naturales y son una importante fuente de alimentación

de los peces. Excepto en los estanques de oxidación con poca carga, donde a veces se detecta su presencia, los crustáceos no existen en los sistemas de tratamiento biológico en cantidades apreciables. Su presencia implica que el efluente está bajo en materia orgánica y que es rico en oxígeno disuelto.

VIRUS

Son las más pequeñas estructuras biológicas que contienen toda la información necesaria para su reproducción. Son tan pequeños que sólo pueden observarse con un microscopio electrónico. Son parásitos obligados y suelen clasificarse según el huésped que infectan. Muchos virus que producen enfermedades al hombre son excretados en las heces humanas, por lo cual, en el tratamiento de aguas residuales domésticas, se debe asegurar que estos virus estén debidamente controlados, lo que se logra mediante cloración y la adecuada evacuación del efluente.

C.2. CRECIMIENTO BACTERIANO

El control eficaz del medio ambiente en el tratamiento biológico de las aguas residuales se basa en el conocimiento de los principios básicos que gobiernan el crecimiento de los microorganismos para lograr una comunidad biológica. Las condiciones ambientales pueden controlarse mediante regulación del pH, de la temperatura, adición de nutrientes o elementos de traza, adición o exclusión de oxígeno y también mediante una mezcla correcta, para asegurar que los microorganismos puedan desarrollarse.

A fin de asegurar que los microorganismos crezcan, se les debe permitir que permanezcan en el sistema el tiempo suficiente para que se reproduzcan. Este período depende de la tasa de su crecimiento, la cual está en relación directa con la tasa a la que metabolizan o utilizan el residuo. Suponien-

do que las condiciones ambientales estén debidamente controladas, puede asegurarse una estabilización eficaz mediante el control de la tasa de crecimiento de los microorganismos.

Existen dos importantes ciclos de la naturaleza que suponen el crecimiento y descomposición de la materia orgánica y que, por lo mismo, son de gran interés en el tratamiento de aguas residuales:

- a) El CICLO AEROBIO, en el que el oxígeno se utiliza para la descomposición de la materia orgánica.
- b) El CICLO ANAEROBIO, en el que no se utiliza oxígeno para la descomposición de la materia orgánica.

Los recipientes, tanques o depósitos en los que se llevan a cabo las reacciones químicas y biológicas se llaman reactores. Los cuatro tipos principales de reactores utilizados para el tratamiento biológico de residuos, según sus características de flujo hidráulico, son:

- a) Reactor de flujo discontinuo
- b) Reactor de flujo en pistón
- c) Reactor de mezcla completa o de tanque de agitación y flujo continuo.
- d) Reactor de flujo arbitrario.

C.3. PROCESOS DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Los procesos biológicos se clasifican según la dependencia del oxígeno por parte de los microorganismos fundamentalmente responsables del tratamiento de los residuos. En los procesos aerobios, la estabilización de los residuos se consigue con microorganismo aerobios y facultativos, en los procesos

anaerobios, se utilizan los microorganismos anaerobios y facultativos. Cuando se encuentran presentes los tres tipos de microorganismos, a los procesos se les llama aerobio-anaerobios o facultativos.

C.3.1. TRATAMIENTO AEROBIO

Los principales procesos aerobios de tratamiento de aguas residuales son:

a) LODOS ACTIVADOS

Es un proceso que se usa casi exclusivamente en grandes ciudades. El agua residual doméstica, se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aerobias, logradas mediante difusores o sistemas mecánicos. Una vez que el agua ha sido tratada en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación y parte de los sólidos biológicos sedimentados son retornados al reactor; la masa sobrante es eliminada o purgada ya que de no ser así, la masa de microorganismo continuaría aumentando hasta saturar el sistema. El nivel al cual se debe mantener la masa biológica depende de la eficiencia deseada del tratamiento y de otras consideraciones referentes a la cinética del crecimiento. Las bacterias son los microorganismos que realmente degradan el residuo orgánico, sin embargo, las actividades metabólicas de otros microorganismos son igualmente importantes en el sistema de lodos activados; por ejemplo, los protozoos y rotíferos actúan como depuradores de los efluentes, consumiendo las bacterias dispersas que no han flocculado y cualesquiera partículas biológicas pequeñas que no se hayan sedimentado, respectivamente. Así como es importante que las bacterias descompongan el residuo orgánico tan rápidamente como sea posible, también lo es el que se forme un flóculo adecuado, ya que ello es un requisito previo para la separación de los

sólidos biológicos en la instalación de sedimentación. Se ha observado que cuando se aumenta el tiempo medio de retención celular, mejoran las características de sedimentación del flóculo biológico, requiriéndose, en el caso de aguas residuales domésticas, de tres a cuatro días. Aunque se logre una excelente formación de flóculos, el efluente podría tener un alto contenido de sólidos biológicos, como consecuencia de un mal diseño de la unidad de sedimentación secundaria, mal funcionamiento de los dispositivos de aeración, o por la presencia de microorganismos filamentosos. La degradación biológica aerobia de la materia orgánica es el principal objetivo del tratamiento de aguas residuales domésticas. Conviene también estabilizar aquellos compuestos inorgánicos que produzcan D.B.O., principalmente el amoníaco, que se oxida biológicamente a nitrato. La temperatura es un muy importante factor que afecta la constante de velocidad de la reacción biológica, pues no solamente influye en las actividades metabólicas de la población microbiológica, sino que influye en factores tales como las tasas de transferencia de gases y las características de sedimentación de los sólidos biológicos.

b) FILTRO PERCOLADOR O BIOFILTRO

Es un proceso en el cual el agua residual es rociada sobre un lecho y se deja que filtre a través de éste. El lecho está formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual se filtra el agua residual. El medio filtrante consiste generalmente en piedras cuyo tamaño oscila de 2.5 a 10 cm de diámetro, la profundidad del lecho varía, con cada diseño particular, de 0.9 a 2.4 m. Otros filtros percoladores, conocidos con el nombre de torres biológicas, utilizan un medio filtrante plástico y tienen profundidades entre los 6 y los 12 m. El lecho del filtro es generalmente con-

cular y el agua residual es rociada por encima del lecho mediante un distribuidor giratorio. Cada filtro posee, para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se hayan separado del medio, un sistema de desagüe inferior que, por su estructura porosa, permite la circulación del aire requerido por los microorganismos adheridos al medio. Al pasar por el filtro, la materia orgánica contenida en el agua residual es adsorbida sobre la película biológica o capa viscosa, en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos aerobios. Al aumentar el espesor de la película, ésta es arrastrada por el líquido y comienza el crecimiento de otra nueva. La comunidad biológica presente en un filtro se compone principalmente de protistas: bacterias facultativas, aerobias y anaerobias, que descomponen la materia orgánica; hongos, que ayudan a la estabilización del agua residual; algas, que añaden oxígeno al agua durante el día, pero pueden taponar la superficie del filtro si no se controlan; y protozoos, que, como en el proceso de lodos activados, controlan la población bacteriana. En los filtros, suelen también encontrarse animales superiores, como gusanos, larvas de insectos y caracoles, que, al alimentarse de las capas biológicas, ayudan a mantener la población bacteriana en estado de gran crecimiento o de rápida utilización del alimento. Las poblaciones individuales de la comunidad biológica varían en toda la profundidad del filtro en función de los cambios que se produzcan en la carga orgánica, carga hidráulica, composición del agua residual afluyente, pH, temperatura, disponibilidad de aire, luz solar y otros factores. La instalación de sedimentación juega un papel muy importante para eliminar los sólidos desprendidos del medio. Si se utiliza recirculación para un tratamiento adicional del agua, puede reciclarse una parte de los sólidos sedimentados y desecharse el resto.

c) LAGUNAS AERADAS Y ESTANQUES DE ESTABILIZACION FOTOSINTETICOS Y DE AERACION MECANICA

En las lagunas aeradas se utiliza una aeración por medios mecánicos para proporcionar oxígeno a las bacterias, por lo que el proceso es sustancialmente el mismo que el del lodo activado sin recirculación. En los estanques aerobios fotosintéticos, el oxígeno es suministrado mediante la aeración superficial natural y por la fotosíntesis de las algas. Excepto por la población de algas, la comunidad biológica de los estanques de estabilización es igual a la de un sistema de lodos activados. El oxígeno liberado por las algas en la fotosíntesis es utilizado por las bacterias en la degradación aerobia de la materia orgánica, y, a su vez, los nutrientes y el anhídrido carbónico liberados en la degradación son utilizados por las algas en una relación cíclica simbiótica. Animales superiores, como rotíferos y protozoos, también están presentes en el estanque y su función principal es mejorar el efluente. Debido a las instalaciones de aeración, las algas no tienen tanta importancia en los estanques de estabilización de aeración mecánica. Las instalaciones de aeración sirven también para mezclar el contenido del estanque y evitar la sedimentación de los sólidos suspendidos, los cuales, si se depositaran, formarían una capa de lodo anaerobio en el fondo y el estanque se convertiría en aerobio-anaerobio (facultativo). El grupo específico de algas, animales superiores o bacterias presentes en cualquier sección del estanque aerobio depende de factores tales como la carga orgánica, grado de mezcla del estanque, pH, nutrientes, luz solar y temperatura. La temperatura es un factor importantísimo, especialmente en zonas que sufran inviernos crudos y se forme una capa de hielo sobre el estanque, reduciéndose las actividades metabólicas de los microorganismos, disminuyéndose las actividades

fotosintéticas y dificultándose la aeración, por lo que se imponen condiciones anaerobias.

d) BIODISCOS

Es un sistema de tratamiento secundario de película biológica fija, que utiliza una estructura rotatoria cilíndrica, formada por discos alternados de polietileno de alta densidad, planos y corrugados, montados en un eje central de acero. El conjunto gira, impulsado por un motor eléctrico con engranaje reductor, parcialmente sumergido, en un tanque de retención de concreto con flujo de paso continuo, sin sedimentos ni reciclaje del efluente. La unidad está protegida por una cubierta de plástico o fibra de vidrio contra las adversidades del clima. El agua residual fluye por gravedad a lo largo del tanque y al salir pasa a un sedimentador. La flexibilidad en la instalación y operación del proceso de biodiscos permite que se pueda aplicar en una amplia variedad de problemas de tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas, sin importar el tamaño de la planta. En la mayoría de los casos, el proceso de biodiscos se utiliza para estabilizar el amoníaco y/o reducir la D.B.O. en aguas residuales domésticas. Debido a que se requiere un buen contacto entre el agua y la película biológica adherida al medio del biodisco, la velocidad de rotación es muy baja (1.6 R.P.M. en promedio). Los tanques de concreto, con flujo paralelo al eje de rotación, pueden ser de fondo plano o trapezoidal.

C.3.2. TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento anaerobio supone la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. La principal aplicación está en la digestión de lodos concentrados de aguas residuales domésticas, así

como el tratamiento de algunos residuos industriales; sin embargo, también pueden tratarse residuos orgánicos diluïdos, o sea, aguas servidas.

En el tratamiento anaerobio se utiliza un sistema reactor de mezcla completa y mínima recirculación celular; cuyo objeto es el calentamiento mezclado del contenido del tanque. El tiempo de retención del líquido en el reactor oscila, generalmente, entre 10 y 30 días, pero puede ser mayor.

El proceso comprende dos etapas:

- a) Fermentación ácida
- b) Formación de metano.

En la fermentación ácida, los compuestos orgánicos complejos, son hidrolizados y fermentados a ácidos orgánicos simples, como el ácido acético, el propiónico y el butírico, por bacterias facultativas y anaerobias, denominadas "bacterias formadoras de ácidos".

En la formación de metano, los ácidos orgánicos, formados en la fermentación ácida, son convertidos en gas metano y anhídrido carbónico. Las bacterias responsables de esta conversión son anaerobias estrictas y se llaman "bacterias formadoras de metano". En esta segunda etapa realmente tiene lugar la estabilización del residuo. Muchos otros grupos de bacterias facultativas y anaerobias utilizan los distintos iones orgánicos presentes en el lodo.

Para mantener un sistema de tratamiento anaerobio que establezca correctamente el residuo orgánico, los microorganismos formadores de ácidos y de metano deben estar en estado de equilibrio dinámico. Para ello, el contenido del reactor deberá carecer de oxígeno disuelto y de concentraciones inhibitorias de metales pesados y sulfuros, debiendo encontrarse a un pH entre 6.6

y 7.6. Además, la temperatura y una cantidad suficiente de nutrientes son importantes.

Los inconvenientes del tratamiento anaerobio son el lento crecimiento de las bacterias formadoras de metano, que implica períodos de tiempo relativamente largos para establecer un sistema equilibrado, y las altas temperaturas necesarias en el proceso. Sin embargo, dichas temperaturas no siempre se requieren. Los malos olores, asociados con la producción de ácido sulfúrico y mercaptanos, limitan el uso de estos procesos, principalmente en zonas urbanas.

Las ventajas del tratamiento anaerobio son varias. La mayor parte del residuo orgánico se transforma en gas metano, que es combustible y, por lo tanto, un producto final útil. La escasa producción de microorganismos implica un bajo requerimiento de nutrientes orgánicos, como nitrógeno y fósforo, y la cantidad de microorganismos a purgar es menor que en los procesos aerobios. La materia sólida resultante de los procesos anaerobios está bastante bien estabilizada y, frecuentemente, es apta para ser secada o deshidratada y descargada en vertederos o extendida sobre la tierra como acondicionador o material similar al humus. El hecho de no requerir sistemas de aeración, hace a los procesos anaerobios más económicos que los aerobios.

Los principales procesos anaerobios son:

- a) Lagunas anaerobias
- b) Tanques Imhoff
- c) Fosas sépticas
- d) Procesos de contacto anaerobios
- e) Filtro anaerobio.

C.3.3. TRATAMIENTO AEROBIO-ANAEROBIO

Los estanques en los que la estabilización de aguas residuales se efectúa mediante una combinación de bacterias aerobias, anaerobias y facultativas, se conocen como estanques de estabilización aerobios-anaerobios. Tienen una capa aerobia superior, en la que el oxígeno se mantiene por la presencia de algas o por el uso de aeradores de superficie, y una capa anaerobia inferior. La comunidad biológica en la capa superior es similar a la de un estanque aerobio, mientras que los microorganismos en la capa inferior son bacterias facultativas y anaerobias.

2

LA NECESIDAD DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA C.U.

La Universidad Nacional Autónoma de México no es ajena a los problemas de la ciudad y el país. Desde hace muchos años, se había tenido la idea de diseñar y contruir una planta para tratar las aguas residuales de la Ciudad Universitaria, con el objeto de reusarlas y, así, disminuir el consumo de agua potable.

El agua potable que se utiliza en la Ciudad Universitaria proviene de tres pozos profundos localizados en sus propios terrenos. Actualmente, ante la amenaza de que se agote uno de estos pozos, se está construyendo otro, el cual ha sido perforado hasta una profundidad de casi 200 metros y a un altísimo costo, ya que gran parte de la perforación se ha hecho en roca.

Se ha observado que, en la época de estiaje, la mayor parte del agua que se consume en la Ciudad Universitaria es la utilizada para el riego de las áreas verdes. Por lo tanto, el reuso de aguas residuales, previo tratamiento de las mismas, en el riego, implicaría un enorme ahorro en el consumo

de agua potable.

Se habían llevado a cabo varios anteproyectos y proyectos para una planta de tratamiento de aguas residuales en C.U., pero no fue sino hasta 1978 cuando, al agudizarse los problemas de agua de la ciudad de México, las autoridades de la U.N.A.M. y del Departamento del Distrito Federal tomaron un nuevo interés en desarrollar un proyecto definitivo y construir la planta. Se consideró que los investigadores del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., autores de varios de los anteriores proyectos, eran las personas indicadas para desarrollar este proyecto y a ellos se les encomendó.

La planta, además de cumplir con la función específica de tratar las aguas residuales de la C.U. en un grado determinado que permitiera su reuso, debería cumplir otra función no menos importante: servir a la investigación y la docencia de esta Universidad y otras instituciones, permitiendo a investigadores y alumnos observar y estudiar su diseño y su funcionamiento en forma práctica.

Para la realización del proyecto de esta planta de tratamiento fue necesario considerar diversos factores, como son: las características de las aguas residuales de la C.U., las características del agua tratada requeridas para el reuso específico, las posibilidades para la disposición final de lodos resultantes del tratamiento, la forma en que se puede afectar el medio ambiente, la economía en la construcción, operación y mantenimiento, y otros. Por ello, fue indispensable estudiar y evaluar todos los procesos de tratamiento de aguas residuales existentes y sus posibles combinaciones.

3

DESCRIPCION Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA

La planta de tratamiento está ubicada en uno de los puntos de menor elevación de C.U., en donde confluyen, además, los colectores principales de aguas residuales. Este lugar está localizado en donde la avenida Cerro del Agua desemboca en el Circuito Escolar, al noreste de la Facultad de Medicina. En este sitio existía, desde antes de la construcción de la planta, un tanque para amortiguar los escurrimientos pluviales.

Las aguas residuales que llegan a la planta de tratamiento, a través de tres colectores, provienen de una gran parte de las instalaciones de la C.U. y de la colonia Copilco el Alto. La aportación de agua de esta colonia es muy pequeña y sólo tiene importancia para la planta en época de vacaciones de los estudiantes, cuando la aportación de los colectores de C.U. se vuelve casi nula.

La planta, que maneja actualmente unos 30 lts/seg de agua, lleva a cabo un tratamiento de tipo biológico secundario y consta de las siguientes instala-

ciones, que pueden localizarse en la figura 7:

1. Tanque regulador de tormentas
2. Cárcamo de aguas negras
3. Medidor Parshall
4. Desarenador
5. Tanque de aeración (Línea 1)
6. Sedimentador secundario (Línea 1)
7. Cárcamo para aguas de lavado y pluviales
8. Biodiscos (Línea 2)
9. Sedimentador secundario (Línea 2)
10. Cárcamo de recirculación de lodos (Línea 1)
11. Filtros de arena
12. Cárcamo doble de recirculación de lodos (Línea 3)
13. Biofiltro (torre biológica) (Línea 3)
14. Sedimentador secundario (Línea 3)
15. Cárcamo de aguas tratadas
16. Clorador
17. Edificio de oficinas y laboratorio.

El agua, proveniente de la red de alcantarillado, entra al cárcamo de aguas negras (figura 8), con capacidad de 57.3 m^3 , por unas rejillas. Cuando, debido a grandes aportaciones pluviales, se sobrepasa la capacidad del cárcamo, el agua se almacena en el tanque regulador de tormentas, para pasar después, lentamente, al cárcamo de aguas negras.

Del cárcamo, se bombea el agua, con tres bombas centrífugas verticales inatacables de 10 H.P. cada una, hasta el desarenador, ubicado en el extremo opuesto de la planta, pasando por el medidor Parshall.

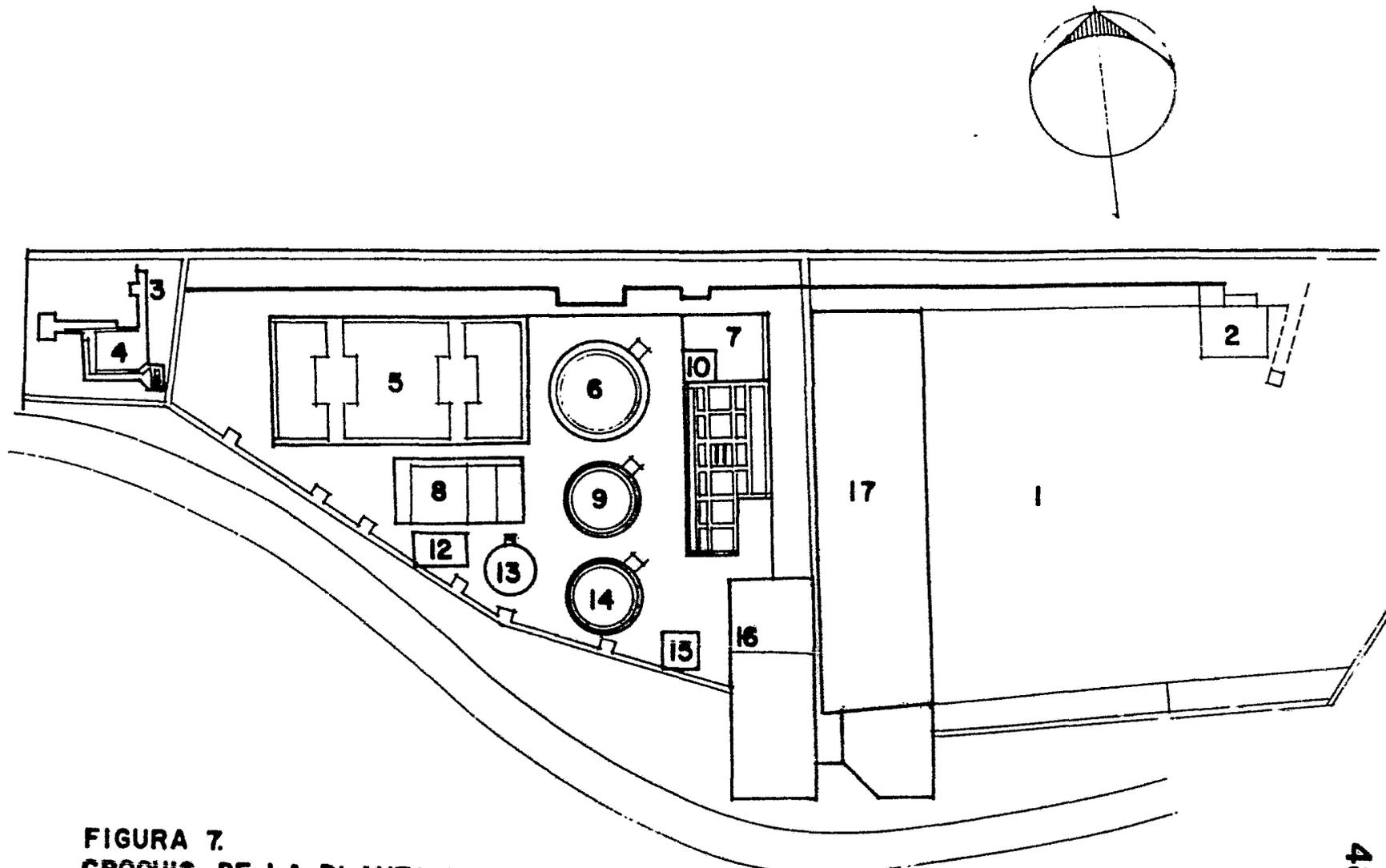


FIGURA 7.
CROQUIS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS DE C.U.

El medidor Parshall (ver figura 9) consiste en un canal de concreto de sección conocida en el que, mediante un transmisor de gasto de tipo flotador, se miden los distintos tirantes que se producen por la variación de gastos. Las mediciones del transmisor se transforman en señal mecánica que se registra en una gráfica circular.

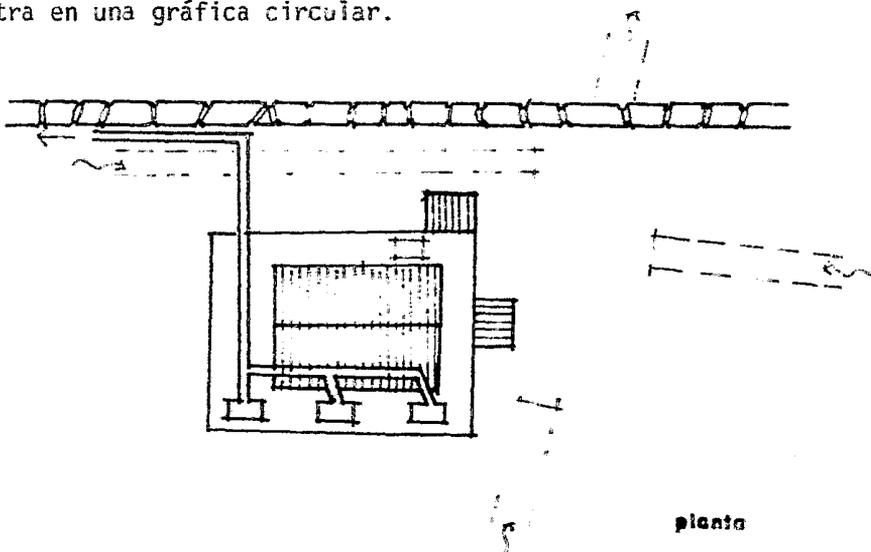


FIGURA 9

El desarenador (figura 9) se utiliza para sedimentar y eliminar los sólidos inorgánicos, como arenas y gravas finas, que pasaron a través de las rejillas. Consiste en un tanque de concreto de forma rectangular en su parte superior y cilíndrico en la inferior, en donde un equipo de rastras recoge las arenas sedimentadas y las dirige a un punto de recolección, del cual se extraen por medio de un tornillo sinfín que, impulsado por un motor de 1 H.P., las lleva a una caja de almacenamiento para su disposición final. El equipo de rastras gira bajo el impulso de un motor eléctrico de 1/2 H.P., que acciona un reductor de velocidad a base en engranes; el tirante del agua se mantiene constante gracias a un vertedor para el agua efluente.

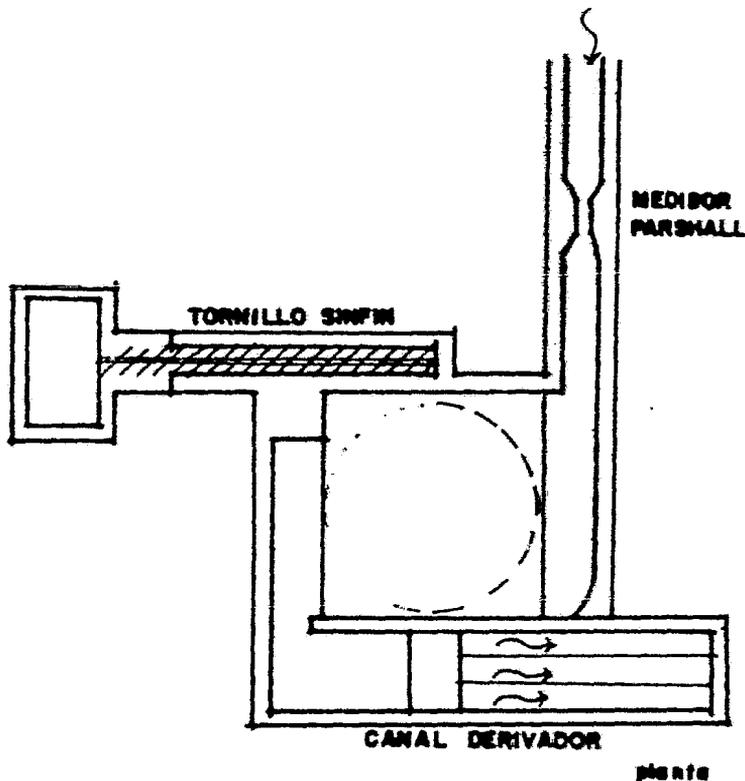


FIGURA 9

Desarenador.

El agua efluente del desarenador pasa a un canal derivador (figura 10) en el que se reparte a las líneas 1, 2 y 3, que corresponden a tres diferentes procesos secundarios, mediante un sistema de compuertas. En este canal, adelante de las compuertas, hay tres medidores Parshall de acero, en los que el gasto es medido con un equipo electrónico.



FIGURA 10

Canal derivador,-

Pueden observarse las compuertas y los medidores Parshall.

LÍNEA 1. ECOSYS ACTIVADOS

Este proceso se lleva a cabo en tres instalaciones principales. En primer lugar, un sistema de aeración, un sedimentador secundario y un cárcamo de recuperación de lodos (ver diagrama de flujo).

El tanque de aeración o reactor (figura 11) es de concreto, rectangular, de 17.75 m X 8.80 m y 3.05 m de tirante, con un volumen de 476 m³ y tiempo de retención de aproximadamente 6 1/2 horas, para un gasto de 20 lts/seg. El agua llega al tanque por gravedad; por medio de dos aeradores de turbina con motores de 10 H.P. y reductores de velocidad, se agita la superficie del agua para ponerla en contacto con el aire y oxidar la materia orgánica en suspensión. Del tanque, a través de un vertedor y una tubería, pasa el agua al sedimentador secundario.

Este tanque sedimentador (figura 12) sirve para separar los sólidos sedimentables, flóculos en este caso, del agua. El tanque es cilíndrico de concreto y cuenta con un equipo de rastras para recoger los lodos sedimentados y dirigirlos a un punto de recolección o pozo de lodos, de donde pasan al cárcamo de recirculación de lodos, para ser reciclados o eliminados. El equipo de rastras gira, impulsado por un motor eléctrico de 3/4 H.P., que acciona un reductor de velocidad a base de engranes, alrededor de una columna central, dentro de la cual se encuentra la tubería de agua afluyente. La columna soporta un puente metálico giratorio, sobre el que va montado el equipo de rastras y una plataforma de acceso. Existe un desnatador en la superficie, sujeto a la estructura de las rastras, que lleva las partículas flotantes a una caja de natas, conectada directamente al drenaje. El tanque tiene un diámetro de 6.75 m y 4.05 m de tirante de agua. El agua efluente pasa, a través de un vertedor, a los filtros de arena.

El cárcamo de recirculación de lodos (figura 13) es de concreto, con medidas interiores de 2.00 X 2.00 m y 6.21 m de profundidad. En su interior hay dos bombas centrífugas, verticales, inatascables, de 10 H.P. cada una, que envían los lodos provenientes del sedimentador secundario a la entrada del tanque de aeración.

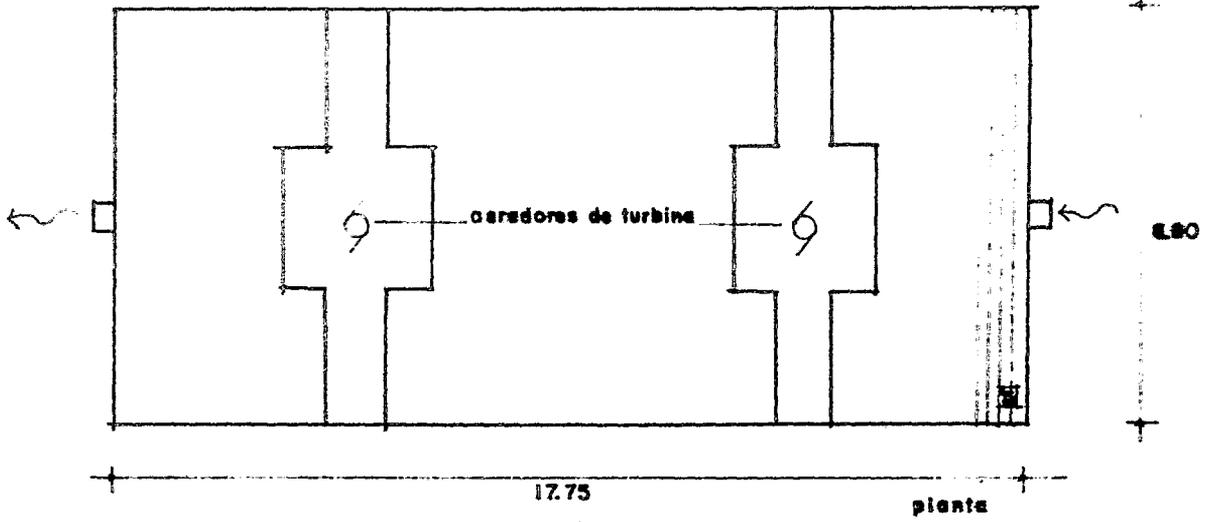


FIGURA 11

Tanque de aeración.



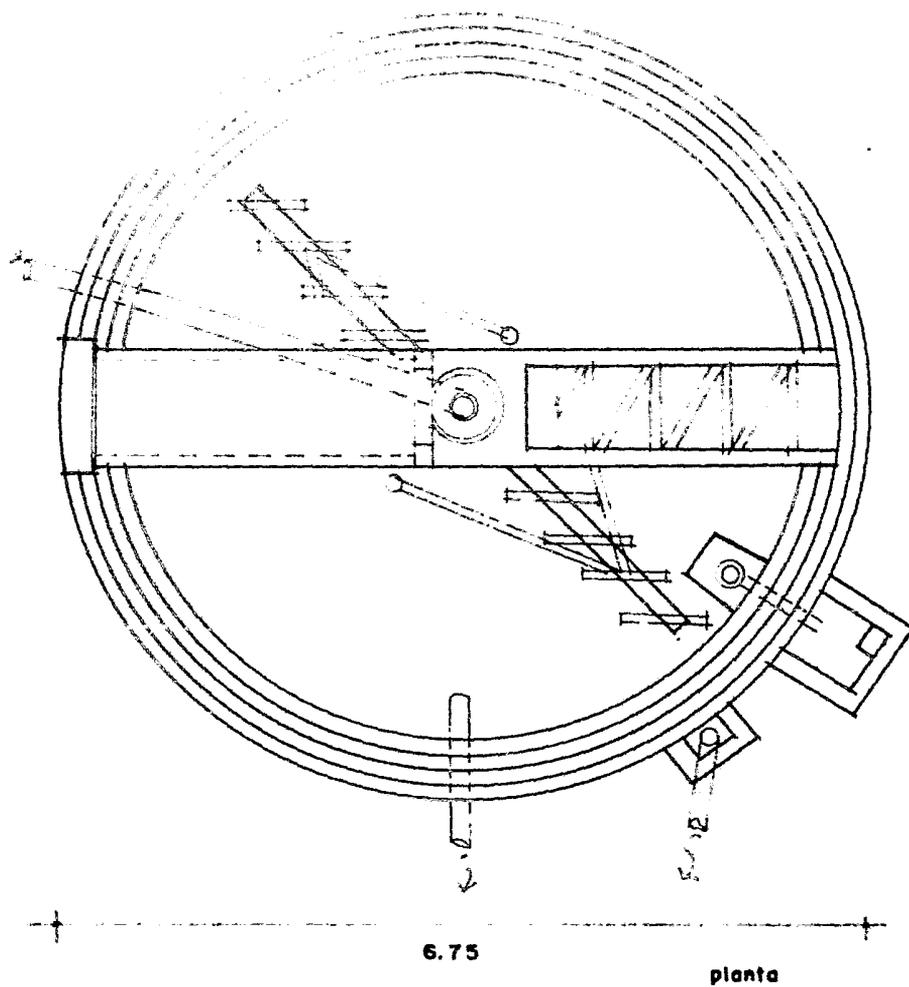
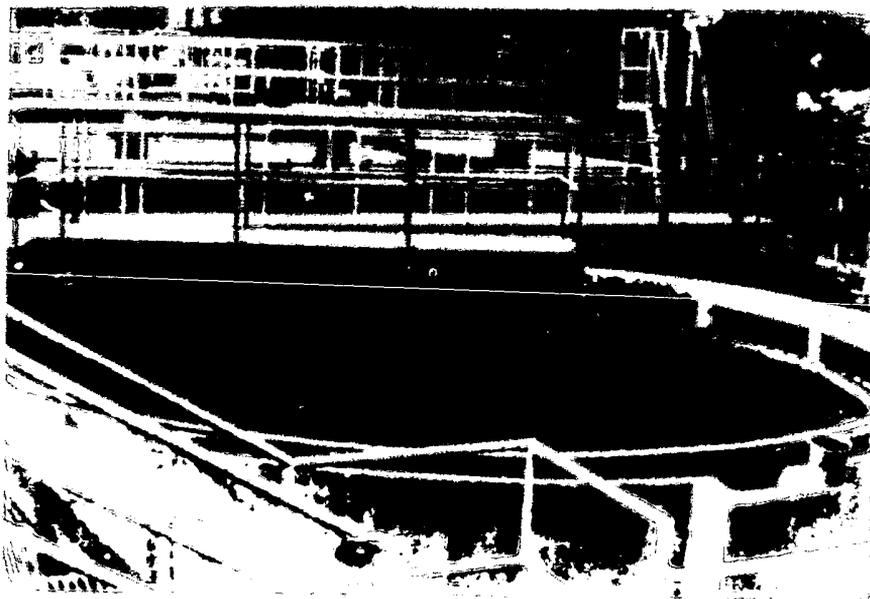


FIGURA 12.- Sedimentador secundario de la Línea 1.



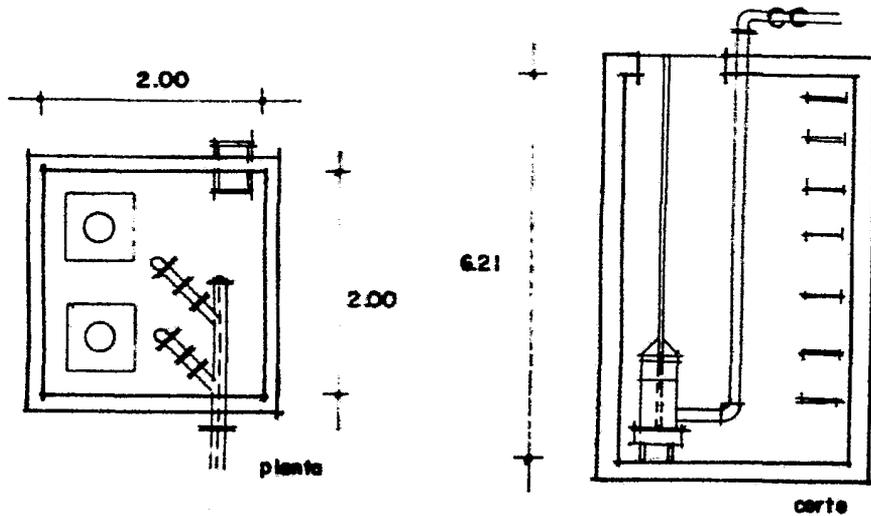


FIGURA 13

Cárcamo de recirculación de lodos.

LINEA 2, BIODISCO

La unidad del biodisco está constituida por una serie de discos rotatorios parcialmente sumergidos en un tanque y por un sedimentador secundario (ver diagrama de flujo).

Los discos son de polietileno de alta densidad corrugados, de 3.65 m de diámetro y están colocados, paralelamente, agrupados en cuatro módulos separados 30 cm entre sí, sobre una flecha de acero impulsada por un motor eléctrico horizontal con 5 H.P. con reductor de velocidad. Giran sumergidos 2/5 partes en el agua que pasa por el tanque de retención, de forma prismática, con medidas de 4.36 X 8.07 m y 2.15 m de profundidad, 92.5 m³ de volumen y gasto de 10 lts/seg. Su giro es muy lento (aproximadamente 2 R.P.M.)

con el objeto de lograr un buen contacto entre el agua y la capa biológica adherida a los discos.

La unidad de biodisco está protegida de la intemperie por una cubierta de fibra de vidrio con nueve ventanillas y una puerta que permite el acceso del personal de la planta (ver figura 14 y 15).

El agua fluye a lo largo del tanque por efecto de la gravedad y, al salir, pasa por una tubería al sedimentador secundario.

El sedimentador es muy similar al de la Línea 1 (proceso de lodos activados) en su funcionamiento y características, con excepción de que los sólidos sedimentables que se manejan aquí son, en su mayoría, segmentos de las películas de microorganismos que, al aumentar de espesor, se desprenden de la superficie de los discos. Otra diferencia de este tanque sedimentador con el de la Línea 1 es su diámetro, de 4.75 m (ver figura 16). Del sedimentador, el agua pasa a los filtros de arena. Los lodos, en este proceso, no son recirculados.

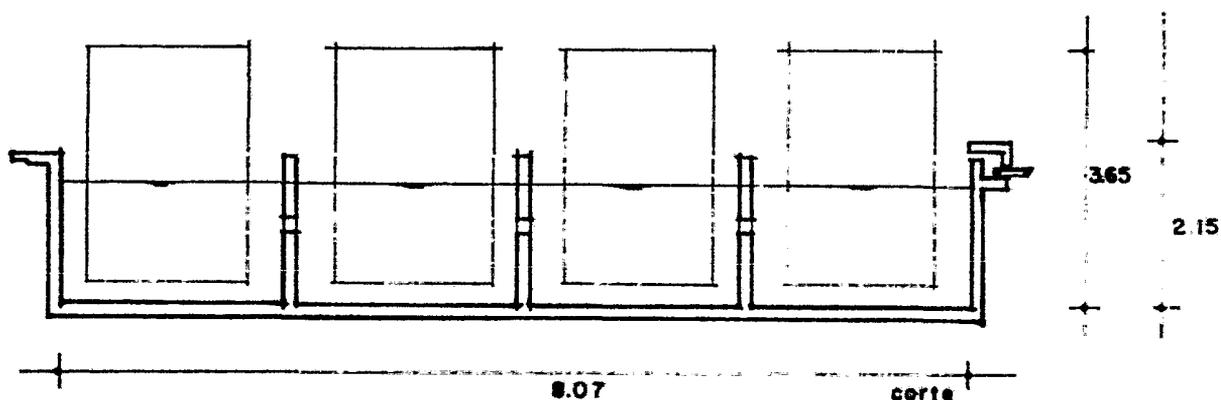


FIGURA 14

Corte esquemático de la unidad de biodisco.

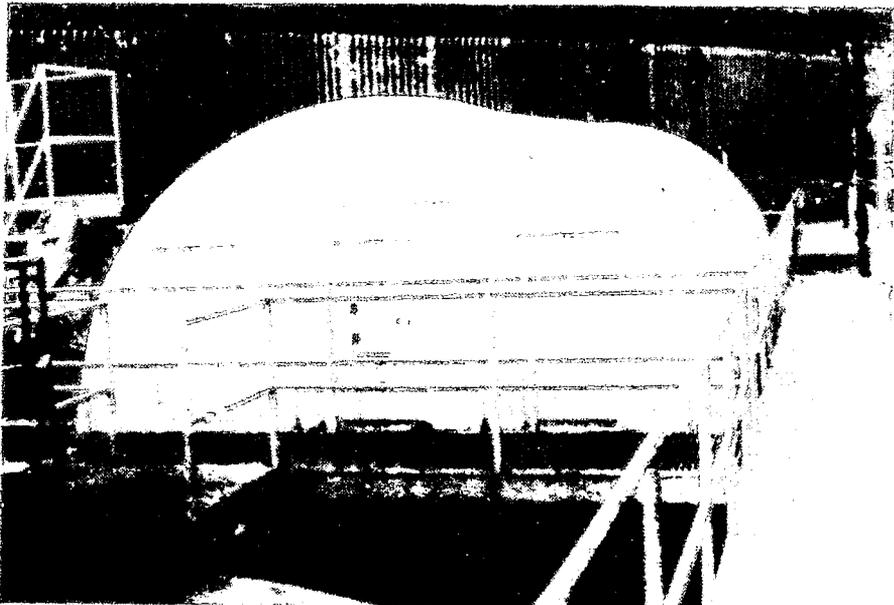


FIGURA 15.- Cubierta de la unidad de biodisco.

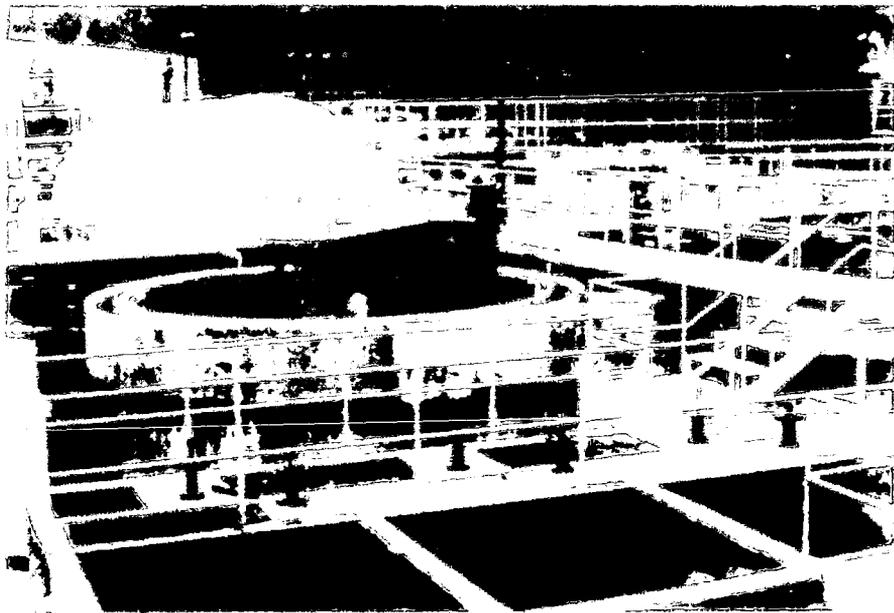


FIGURA 16.- Representación general de la unidad 2.

LINEA 3, BIOFILTRO

El proceso de biofiltro o torre biológica empacada se lleva a cabo en un cárcamo doble de recirculación de lodos, la torre biológica, una caja partidora de aguas efluentes y un sedimentador secundario (ver diagrama de flujo).

El agua, que llega del canal derivador a uno de los tanques del cárcamo doble (figura 17), de 1.70 X 2.00 m y 3.85 m de profundidad, es elevada, por medio de dos bombas de 10 H.P. y gasto de 20 lts/seg, hasta la parte alta de la torre.

La torre biológica (figura 18) es un tanque cilíndrico de concreto, de 3.04 m de diámetro y 6.64 m de altura, con gasto de 10 lts/seg. Tiene una columna central, dentro de la cual hay una tubería por la que sube el agua hasta el sistema rociador, montado sobre la columna.

El sistema rociador o distribuidor está formado por un cilindro vertical de acero al carbón, de donde salen, formando una cruz, cuatro tubos horizontales de 10 cm de diámetro, con cuatro orificios laterales cada uno. Al salir el agua por esos orificios, hace girar el sistema, logrando una adecuada distribución del líquido sobre el medio filtrante, contenido en la torre.

El medio filtrante ocupa todo el volumen de la torre biológica. Está formado por módulos de láminas acanaladas de P.V.C. El diseño de las láminas proporciona una mayor superficie de contacto entre el agua y los microorganismos adheridos al medio (de 140 a 200 m²/m³). Además, el acanalado cruzado de los módulos, aumenta el recorrido del agua y facilita la circulación del aire. Dos orificios de desagüe, en la parte inferior de la torre, permiten la circulación del aire.

El efluente del biofiltro va a una caja partidora que, por medio de un mecanismo manual, lo puede enviar a cualquiera de los dos tanques del cárcamo doble. Del primero, el efluente es recirculado, junto con el agua que llega del canal derivador, al biofiltro. Del segundo, el agua es impulsada, por dos bombas de 2 H.P. y gasto de 10 lts/seg, al sedimentador secundario.

El sedimentador es casi idéntico al de la Línea 2 (proceso de biodiscos). Al igual que en aquel, los sólidos que se manejan son, principalmente, segmentos de las películas de microorganismos desprendidas del medio.

El agua efluente del sedimentador va a los filtros de arena. Los lodos no son recirculados.

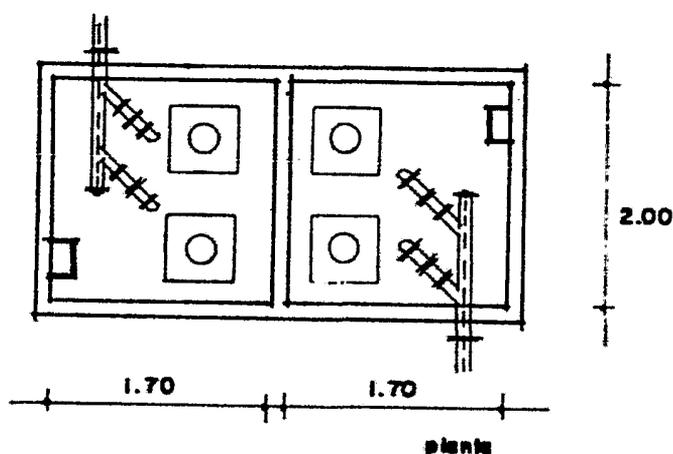


FIGURA 17

Cárcamo doble de recirculación de lodos.



FIGURA 18

Biofiltro. Aspecto de la torre (arriba), sistema distribuidor (abajo).



El sistema de filtros de arena (figura 19) está constituido por seis secciones interconectadas. Cada una de ellas tiene un medio filtrante que consta de una capa superior de 50 cm de espesor de antracita, una capa intermedia de 25 cm de arena y una capa inferior de 50 cm de grava, sobre un falso fondo consistente en una losa de concreto con una serie de tubos que permiten el paso del líquido. El agua llega al filtro por medio de tuberías y pasa a través del medio filtrante. Bajo el falso fondo, el agua filtrada es recolectada y conducida a cuatro tanques interconectados de donde pasa, a través de un vertedor y una tubería, al cárcamo de aguas tratadas.

Los filtros cuentan con un sistema de retrolavado, a fin de evitar que se obture el medio o cama de filtración.

En el cárcamo de aguas tratadas (figura 20) se lleva a cabo la cloración, mediante un equipo de gas cloro, una bomba de vacío y un dosificador. Se le añade, al agua tratada, cloro en proporción de 7 mg/lit, teniendo 1.0 a 1.2 mg/lit de cloro residual.

De este cárcamo, por medio de dos bombas con gasto de 10 lt/seg y dos con gasto de 20 lt/seg, el agua es enviada a la red de distribución, para ser utilizada en el riego de áreas verdes de C.U.

Existe, además, en la planta, un cárcamo de aguas de lavado y pluviales, al cual llegan, como su nombre lo indica aguas de lavado y de lluvia, recolectadas de diversos puntos de las instalaciones. También llegan, a este cárcamo, los lodos efluentes de los distintos procesos. Dos bombas para agua (de 5 H.P. y 13.3 lt/seg) y dos para lodos (de 5 H.P. y 13.3 lt/seg), envían el contenido del depósito a la red de drenaje municipal.

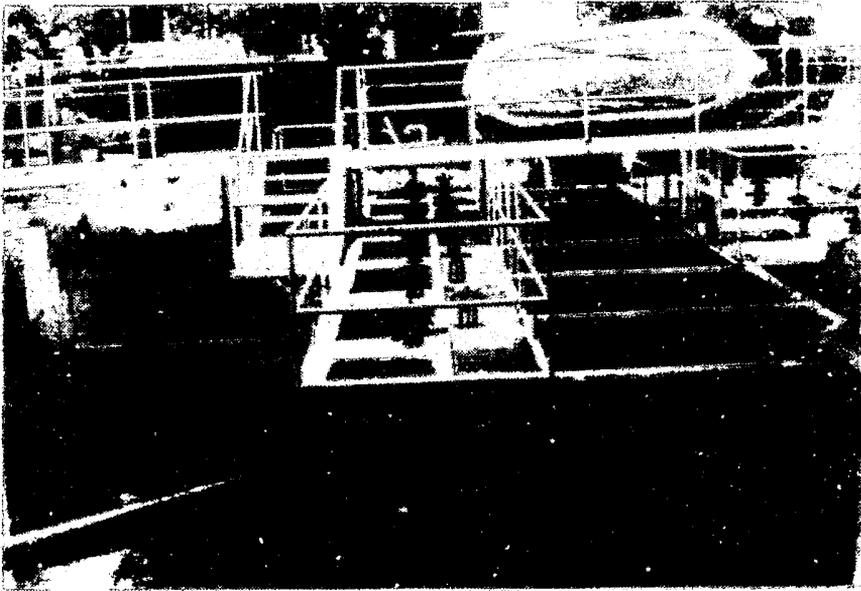


FIGURA 19.- Sistema de filtros de arena.

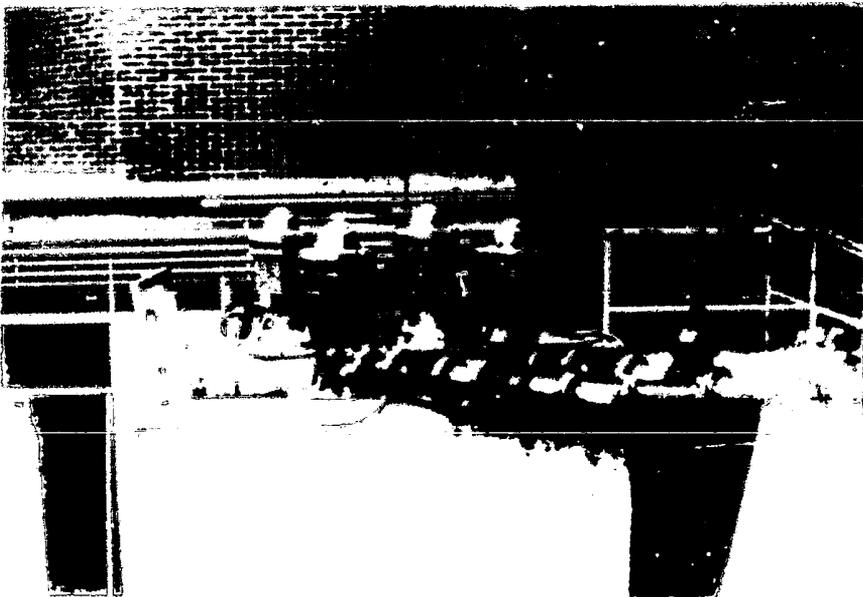


FIGURA 20.- Vista interior de un filtro de arena.

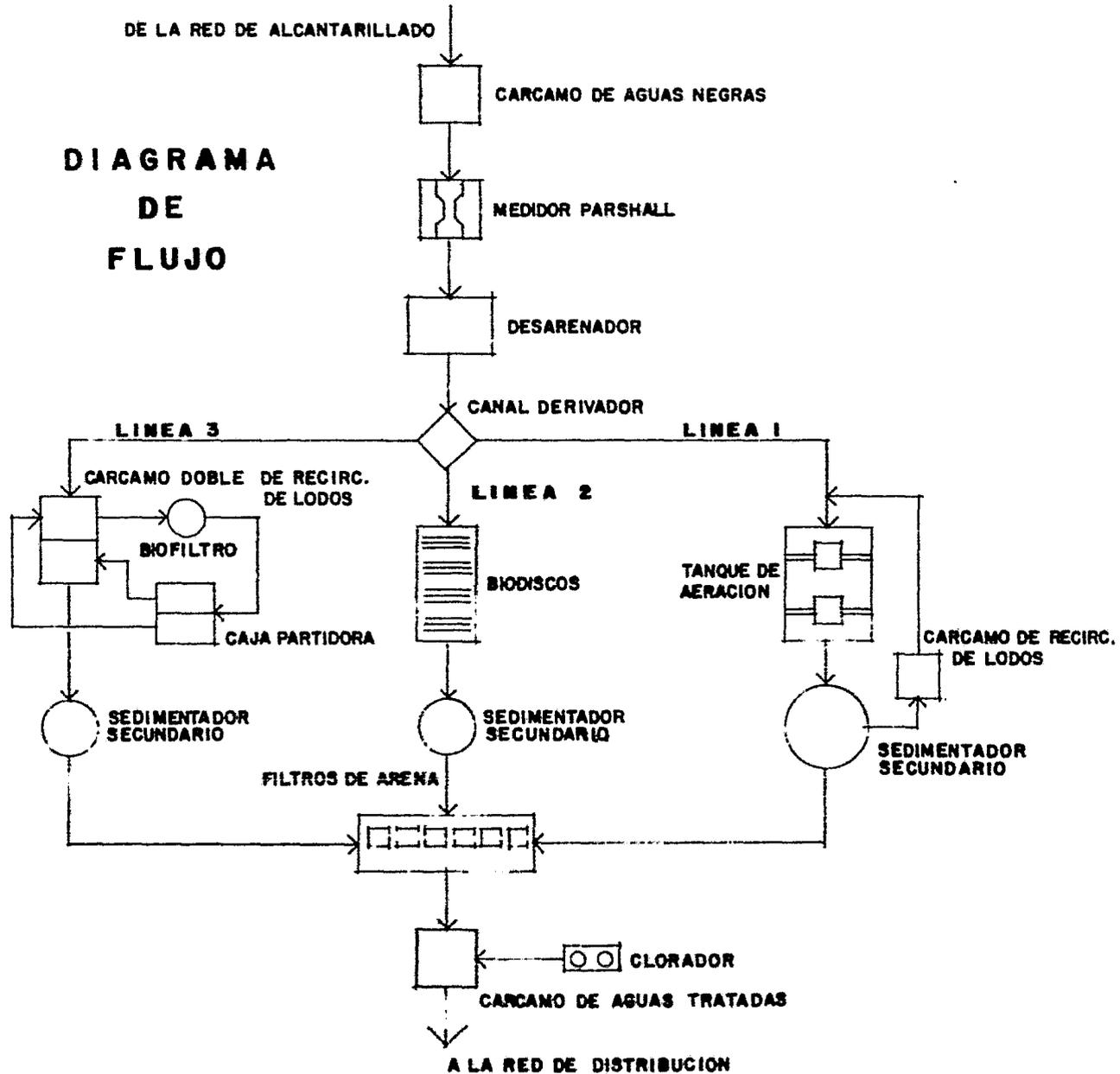
El edificio de la planta (figura 21) cuenta con laboratorios en los que se analizan, constantemente, muestras de agua y lodo, tomadas de diversos puntos de la planta, a fin de controlar los procesos mediante la verificación de una serie de parámetros. Además, el edificio incluye cubículos para el personal de la planta e investigadores, una oficina de control, un taller, una bodega, un cuarto de cloración, servicios sanitarios y una subestación eléctrica.



FIGURA 21

Aspecto exterior del edificio de la planta.

DIAGRAMA DE FLUJO



4

USO Y DISTRIBUCION DEL AGUA TRATADA

El agua tratada, proveniente de la planta de tratamiento de aguas negras de Ciudad Universitaria, será destinada al riego de las áreas verdes de la propia C.U. El proyecto de riego contempla áreas verdes de la zona escolar y de los campos deportivos en una primera etapa, y de la zona de Vivero Alto y el Centro Cultural Universitario en etapas subsecuentes. El area total de riego es de unas 50 Ha, de las cuales 24 corresponden a la primera etapa.

Para proporcionar el riego necesario para la zona escolar y los campos deportivos, la planta de tratamiento de aguas residuales deberá proporcionar 40 lts/seg ($3,456.00 \text{ m}^3/\text{día}$). De acuerdo con el análisis efectuado, la demanda máxima de riego corresponde a los meses de abril y mayo con 78.28 y 72.58 mm, respectivamente. Según el mismo análisis, aún en los años más críticos, no se requerirá riego en los meses de julio, agosto y septiembre, que corresponden a la temporada de lluvias.

Debido a que el tiempo de regado diario es como máximo de 8 horas, se hace necesario el almacenamiento del agua tratada por la planta durante las 24 horas del día. Este almacenamiento se llevará a cabo en cisternas convenientemente distribuidas. Actualmente se han construido cinco cisternas, que corresponden al Estadio Olímpico, el Campus, la zona del Instituto de Ingeniería y Facultad de Química, los campos deportivos y el multifamiliar, y se construirá otra en la zona del Centro Médico Universitario.

Debido a las características del terreno de C.U., la red de distribución se proyectó y construyó con tubería "Extrupak", que es de polietileno y presenta la ventaja de ser sumamente flexible, lo que facilita los cambios de dirección y la colocación.

La red se proyectó de manera que afectara la menor cantidad posible de pavimentos y edificios ya construídos, recorriendo grandes tramos de áreas verdes.

Debido a que actualmente el riego de C.U. es de operación manual, por medio de aspersores móviles y sets portátiles, se consideró conveniente conservar el mismo sistema e incluso aprovechar la mayor parte de los aspersores existentes.

Las bombas del cárcamo de aguas tratadas de la planta de aguas residuales (cota 260.00) envían el agua a las seis cisternas (la más alta de las cuales está ubicada en la cota 312.00), que se van llenando sucesivamente a partir de las cisternas; por medio de otros equipos de bombeo, el agua es distribuida a los aspersores de cada zona.

Etapas subsecuentes de la red de distribución de agua tratada, consideran enviar el agua al Vivero Alto, donde se construirá una laguna artificial

de agua tratada para, desde ahí, distribuirla por gravedad, y el riego de las áreas verdes del Centro Cultural Universitario, en donde se requerirá la construcción de otra red de distribución y cisternas.

5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La planta de tratamiento de aguas residuales de C.U. representa un esfuerzo de la U.N.A.M. para dar solución a dos de los problemas más críticos de los últimos tiempos: la escasez de agua potable y la contaminación ambiental. Si bien esta solución es a muy pequeña escala, es un modelo para el desarrollo de nuevas instalaciones a nivel nacional, que requerirán la creación de tecnología propia.

La planta fué construida con el propósito de que, además, sirviera a la docencia y la investigación. El hecho de que se hayan diseñado y construido tres diferentes líneas o procesos de tratamiento dentro de la misma planta, amplía las aplicaciones a ambas actividades.

Es recomendable que se controlen los procesos de tratamiento, mediante análisis químicos y mediciones, en forma constante, a fin de que la calidad del agua tratada se mantenga más o menos uniforme y acorde a las normas, y se puedan detectar problemas en el funcionamiento de las instalaciones y solu-

cionarlos oportunamente.

La planta deberá ser operada por personal capacitado y bajo la supervisión de profesionales de la ingeniería sanitaria.

La cloración del agua tratada se lleva a cabo como una medida de seguridad, previendo usos diferentes del riego. Sin embargo, debe evitarse, en lo posible, que el agua se emplee para usos distintos al proyectado. Para ello, deberá instruirse a los jardineros encargados del riego y colocarse letreros que adviertan que el agua no es potable.

En la operación de la planta, es necesario ir corrigiendo y ajustando los procesos, conforme se vayan detectando problemas y errores de diseño. De esta forma, se puede mejorar la eficiencia de la planta, la cual, de hecho, ya es bastante buena actualmente.

En el diseño original, no se consideró ningún tipo de tratamiento para los lodos efluentes de los procesos. Sería muy conveniente tratar estos lodos antes de su eliminación.

La planta de tratamiento y la red de distribución del agua tratada tienen un alto costo de construcción; su operación y mantenimiento también son costosos. Sin embargo, el sistema cumple con los objetivos para los que fue diseñado.

BIBLIOGRAFIA

1. Apuntes del Curso de Tratamiento de Aguas Residuales, Industriales, Municipales y Reusos. División de Educación Continua Fac. de Ingeniería. UNAM. 1981.
2. Albarrán J., Manzano R., Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de C.U. Instituto de Ingeniería. UNAM.
3. Antonie R.L., Hynek R.J., Field Experience with Rotating Biological Contractors Treating Domestic and Industrial Waste-Waters. Sociedad Mexicana de Ingenieros Sanitarios. 1982.
4. Ramalho R.S., Introduction to Waste Water Treatment Processes. Academic Press. New York, USA. 1977.
5. Normas de Ingeniería de Diseño. Tratamiento de Aguas. IMSS. 1980.
6. Normas Técnicas para el Proyecto de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. SAHOP. 1981.
7. Metcalf-Eddy. Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales. Ed. Labor. España. 1977.