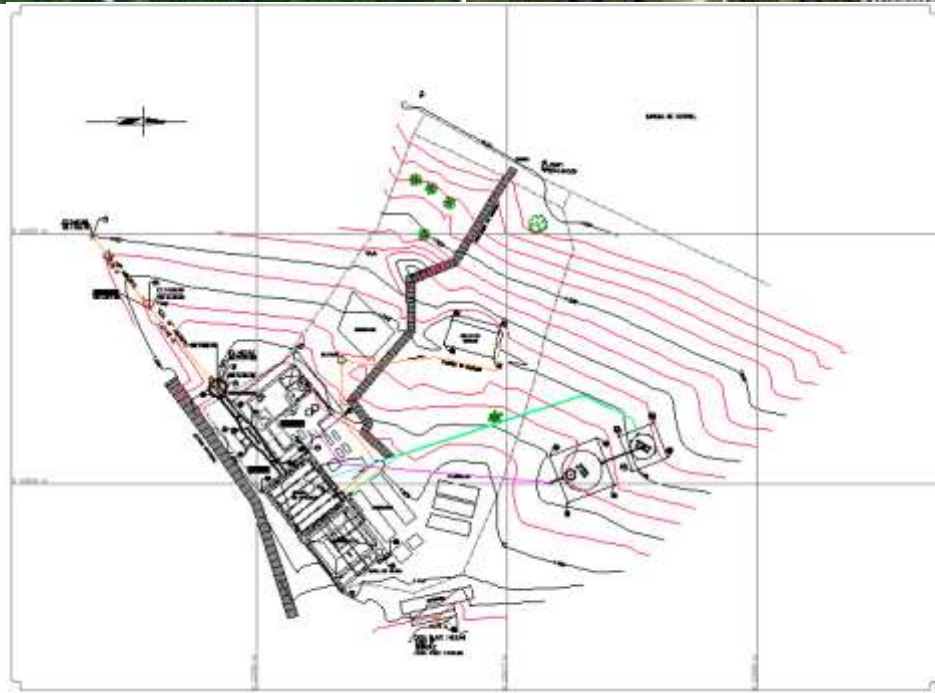
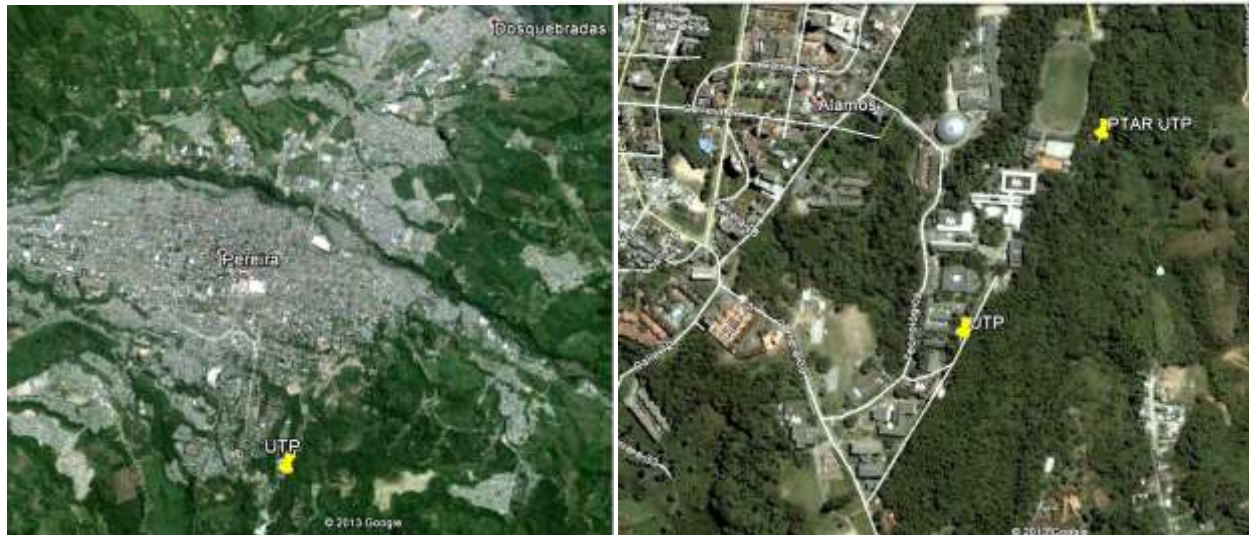


**MANUAL DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA DE PEREIRA**



MARZO 2014

CONTENIDO

1. ETAPAS DE TRATAMIENTO	4
1.1 ESTRUCTURAS DE REGULACIÓN DEL CAUDAL	4
1.2 TRATAMIENTOS PRELIMINARES	4
1.3 PROCESO DE LODOS ACTIVADOS	5
1.4 MANEJO Y TRATAMIENTO DE LODOS	6
2. PREPARACIÓN PARA EL ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA	7
3. PROCESO DE LODOS ACTIVADOS	8
3.1 ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA	8
3.2 CONTROL DEL FLUJO DE LOS LODOS DE RETORNO	9
3.3 CLARIFICADORES SECUNDARIOS	10
3.4 CONTROL DEL PROCESO BIOLÓGICO	11
3.5 PURGA Y EXTRACCIÓN DE LODOS DEL SISTEMA	12
4. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AFLUENTE Y EFLUENTE	13
4.1 CONSIDERACIONES BÁSICAS	13
4.2 PUNTOS DE MUESTREO	13
4.3 PRECAUCIONES DURANTE EL MUESTREO	13
4.4 TOMA DE MUESTRAS PARA CONTROL DE PROCESOS	14
5. MONITOREO DEL PROCESO AEROBIO	16
6. PARÁMETROS DE CONTROL	17
6.1 OXÍGENO DISUELTO	17
6.2 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	17
6.3 SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL LICOR MEZCLADO (SSLM)	17
6.4 SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN EL LICOR MEZCLADO (SSVLM)	17
6.5 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	18
6.6 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	18
6.7 NITRÓGENO AMONÍACAL	18
6.8 ÍNDICE DE DENSIDAD DE LODOS (IDL)	18
6.9 ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)	18
6.10 RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS (F/M)	18
6.11 TIEMPO DE RETENCIÓN CELULAR O DE LODOS (θ_c)	19
6.12 TEMPERATURA	19

6.13	PH	19
6.14	MEDICIÓN DE CAUDAL	19
7.	ENSAYOS ESPECIALES	19
7.1	SEDIMENTABILIDAD DE LODOS	19
7.2	ÍNDICE DE DENSIDAD DE LODOS (IDL)	20
7.3	ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS	21
7.4	CENTRIFUGACIÓN	21
8.	ACTIVIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO RUTINARIOS	21
9.	MEDIDAS HIGIÉNICAS	22
10.	HERRAMIENTAS DE TRABAJO	24
11.	DEFINICIONES Y TÉRMINOS	24
12.	REFERENCIAS	27

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 5.1,	Parámetros de monitoreo y frecuencia.	16
------------	--	----

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1.1,	Diagrama de flujo Optimización Planta de Tratamiento de Aguas Residuales UTP	6
Figura 3.1,	Esquema general del proceso de lodos activados implementado en la Universidad Tecnológica de Pereira.....	9

INSTRUCTIVO DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

PRESENTACIÓN

Todo sistema de tratamiento debe tener unos preparativos antes de iniciar su operación normal, lo cual tiene que ver con la capacitación previa de los operarios, inspección de la planta antes de su llenado y la manera de estabilizar el proceso para obtener la eficiencia esperada durante la operación normal.

Por lo anterior, en este instructivo se hacen recomendaciones para operación y mantenimiento de la planta de aguas residuales de la Universidad Tecnológica de Pereira. De igual manera, se da orientación con respecto a observaciones que el operador y los técnicos deben tener en cuenta durante el funcionamiento de los diferentes procesos, con el fin de detectar rápidamente si el sistema está bien o algo anda mal, de tal forma que se puedan tomar decisiones, sin necesidad de esperar varias horas mientras se realizan pruebas de laboratorio que demanden mucho tiempo.

Finalmente, para afianzar el conocimiento de los operadores, supervisores e ingenieros en el funcionamiento y manejo de todo el sistema de tratamiento, se discuten los principales parámetros que regulan la operación y control, y se presentan los procedimientos de los principales ensayos que se deben realizar en planta para el control y seguimiento de los procesos de tratamiento.

1. ETAPAS DE TRATAMIENTO

La planta está conformada por las siguientes etapas de tratamiento:

1.1 ESTRUCTURAS DE REGULACIÓN DEL CAUDAL

Se utilizan para evitar los cambios bruscos del caudal en épocas lluviosas, antes y en las estructuras de tratamiento preliminar. Estas estructuras son: una cámara de alivio y un vertedero lateral que permitirán controlar el caudal de exceso, para mantener con el mayor grado de aproximación el caudal de diseño de la planta.

1.2 TRATAMIENTOS PRELIMINARES

Los tratamientos preliminares son destinados a preparar las aguas residuales para que puedan recibir un tratamiento posterior, sin perjudicar los equipos mecánicos, obstruir

tuberías o causar depósitos permanentes en las estructuras de tratamiento o la presencia de materiales flotantes que crean un aspecto estético y ambiental desagradable. Estas estructuras son: rejillas de limpieza manual, dos cámaras desarenadoras en paralelo, una en funcionamiento y la otra en stand-by y un vertedero Sutro como estructura de aforo y control de velocidad.

La **rejilla** se utilizará para separar la fase líquida de los sólidos que se han dispersado en fragmentos gruesos, así como otros elementos que puedan estar presentes flotando o en suspensión en las aguas residuales domésticas.

La finalidad de las **cámaras desarenadoras** es evitar la formación de depósitos inertes que tienen un efecto negativo en los procesos biológicos y que representan una carga inútil en las estructuras de tratamiento.

El **vertedero tipo Sutro** o proporcional estará localizado la salida de las cámaras desarenadoras para controlar la velocidad en el orden de $0,30 \pm 20\%$ m/s y evitar o minimizar el arrastre de arena a las siguientes unidades y la sedimentación de materia orgánica.

1.3 PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

El proceso de lodos activados es quizás el proceso biológico de más amplio uso para el tratamiento de aguas residuales domésticas. En el proceso básico, el agua residual llega a un tanque o reactor, donde partículas floculantes de microorganismos entran en contacto con los componentes orgánicos del agua residual. Al contenido del reactor se le denomina licor mezclado. En el reactor biológico se produce la absorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. El licor mezclado se hace sedimentar para recircular una proporción determinada de lodos al tanque de aireación. La finalidad de este retorno, es mantener una concentración suficiente de lodo activado (como sólidos suspendidos volátiles, SSV) en el tanque de aireación, de modo que pueda obtenerse el grado requerido de tratamiento en el intervalo de tiempo deseado. El retorno del lodo desde el clarificador secundario hasta la entrada del reactor biológico es la característica esencial del proceso. Para mantener constante el nivel de sólidos suspendidos del licor mezclado (SSLM) y el tiempo promedio de retención de los lodos (retención celular), es preciso eliminar cierta cantidad de lodos desde el fondo del clarificador secundario (purga), que requieren de un manejo, tratamiento y disposición final especial.

El sistema básico del proceso de lodos activados incluye:

- ❖ Un reactor biológico de mezcla completa, con suficiente volumen para proveer un tiempo de retención hidráulico adecuado.
- ❖ Un mecanismo para crear turbulencia en el reactor y permitir la transferencia de oxígeno atmosférico.

- ❖ Un tanque sedimentador para separar los sólidos del licor mezclado y producir un efluente clarificado.
- ❖ Un sistema de bombeo para recircular los lodos desde el clarificador secundario hasta el tanque de aireación.

1.4 MANEJO Y TRATAMIENTO DE LODOS

Producto del tratamiento biológico aerobio se generan lodos de exceso con un alto porcentaje de inestabilidad que se deben extraer con alguna frecuencia para deshidratarlos y disponerlos adecuadamente. El sistema de manejo y tratamiento incluye:

- ❖ Bombeo hasta el espesador.
- ❖ Espesamiento del lodo.
- ❖ Estabilización anaerobia del lodo.
- ❖ Deshidratación de lodos en lechos de secado de arena.

En la Figura 1.1 se presenta el diagrama de flujo que esquematiza la secuencia de las diferentes etapas de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UTP.

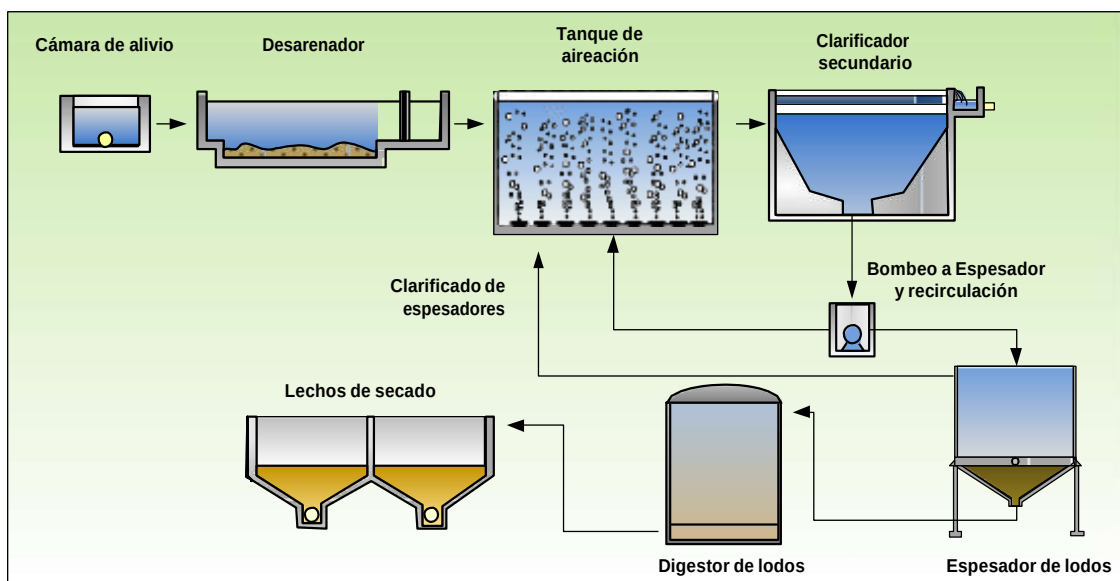


Figura 1.1, Diagrama de flujo Optimización Planta de Tratamiento de Aguas Residuales UTP.

2. PREPARACIÓN PARA EL ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA

Entre las actividades previas al llenado se recomienda:

- ❖ Estudiar los planos de diseño y mantener una copia permanentemente en la planta.
- ❖ Analizar responsabilidades del ingeniero supervisor y de los operadores.
- ❖ Preparar los formatos donde se llevarán todos los registros.
- ❖ Reunir información sobre la planta, incluyendo el instructivo de operación, catálogos de los equipos y otra literatura de interés que pueda ser útil en la aclaración y solución de problemas operativos.
- ❖ Inspeccionar detenidamente la planta de tratamiento y hacer una lista de herramientas rutinarias que pueden ser requeridas para reparaciones mecánicas y eléctricas, piezas de repuesto, grasa para lubricación, etc.
- ❖ Verificar que los tanques, mecanismos, ductos y canales se encuentren perfectamente nivelados, limpios y libres de obstrucciones y los sistemas eléctricos (fuerza y tierras) y de control estén en perfectas condiciones de operación.
- ❖ Revisar con los operadores que los equipos mecánicos estén funcionando correctamente, bien lubricados y engrasados, que no presenten ruidos y vibraciones anormales.
- ❖ Hacer pruebas hidrostáticas en todas las estructuras construidas, especialmente en concreto para verificar que no existan fugas, esto deberá hacerse de acuerdo con la normatividad vigente y de preferencia con agua limpia por si existe la necesidad de hacer reparaciones.
- ❖ Antes del llenado de cada estructura se deberá remover de tanques, canales y otros conductos trapos, restos de madera, piedras y otros desperdicios de la construcción que puedan obstruir la planta.
- ❖ Abrir y cerrar las válvulas y revisar que su operación sea fácil y normal.
- ❖ Revisar que los vertederos estén bien nivelados.
- ❖ Revisar y preparar todas las medidas de seguridad dentro de la planta especialmente aquellos que tengan que ver con equipos eléctricos, manejo de químicos, barreras de protección, etc.
- ❖ Reunir todas las personas que le van a colaborar al supervisor de la planta durante el arranque, definir procedimientos y responsabilidades.
- ❖ Hacer un inventario del equipo de laboratorio y solicitar los elementos faltantes.
- ❖ Si no se presentaron problemas en los pasos anteriores, proceder a cargar el sistema con agua residual.

3. PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

3.1 ARRANQUE Y PUESTA EN MARCHA

Iniciación del cultivo de lodos activados. Como las aguas residuales domésticas son diluidas no contienen una población de organismos aerobios o facultativos suficientes para conformar un cultivo o biomasa en la concentración suficiente a la establecida en los parámetros de diseño es necesario desarrollar una masa de microbios (lodo activado) y distribuirla y mantenerla a lo largo y ancho del tanque de aireación o reactor. A medida que los organismos se alimentan de las sustancias orgánicas y aumenta el número, estos pasan del tanque de aireación al clarificador donde se separan por sedimentación para recircular la biomasa sedimentada al tanque de aireación.

Procedimiento para el llenado. El llenado del tanque de aireación puede hacerse de dos formas: primero utilizando una semilla adecuada y suficiente en cantidad de lodos activados de otra planta, y segundo empezando con el desecho crudo de la siguiente manera.

Una vez lleno el tanque de aireación se debe desviar el flujo de aguas residuales del afluente (hacer un bypass por ocho horas) y airear las aguas residuales durante este tiempo, manteniendo la concentración de oxígeno disuelto en mínimo 2 mg/l.

Después de estas ocho horas se debe apagar el equipo soplador permitiendo que la mezcla aireada sedimente de treinta a sesenta minutos. El sobrenadante se debe evacuar o pasar a al tanque de sedimentación secundarios y el volumen que queda en el tanque de aireación debe completarse al volumen del tanque con aguas residuales crudas y continuar el procedimiento como en el caso anterior, hasta que se alcance una concentración de SSLM de al menos 500 mg/l o el ensayo de sedimentación en probeta graduada de un litro nos muestre un valor de 50 ml por litro o más. En este momento el tanque de aireación se debe colocar en flujo continuo con toda la planta hasta que los SSLM alcancen la concentración mínima.

El ensayo de oxígeno disuelto debe hacerse durante esta etapa de formación de lodo, siquiera una o dos veces por día, para asegurar que esté cumpliendo con los requerimientos mínimos de oxígeno.

Durante esta fase de aclimatación no se deben descargar lodos y en su lugar estos deben ser retornados continuamente al tanque de aireación, evitando así que se forme un manto de lodos en el tanque de sedimentación secundaria con limitaciones de oxígeno, creándose condiciones anaerobias que ocasionan la flotación de la biomasa sedimentada. Este procedimiento asegura la formación de un buen número de microorganismos.

Cuando se alcance la concentración de SSLM recomendada, la tasa de retorno de lodos debe ser ajustada según los análisis de sedimentación.

3.2 CONTROL DEL FLUJO DE LOS LODOS DE RETORNO

Uno de los aspectos más importantes en el control del proceso de lodos activados es el manejo adecuado del retorno del flujo de lodos, lo cual incluye lodos de descarga al espesador y lodos de retorno al tanque de aireación. En la Figura 3.1 se esquematiza el flujo de lodos de retorno y de descarga.

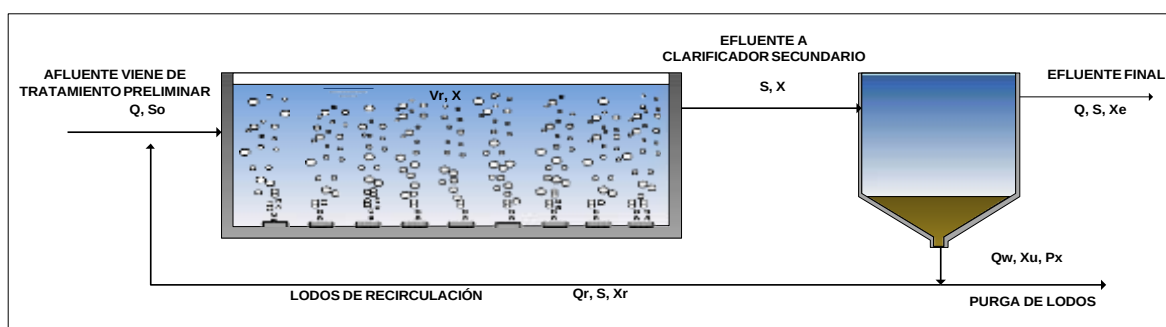


Figura 3.1, Esquema general del proceso de lodos activados implementado en la Universidad Tecnológica de Pereira.

La determinación de la cantidad de lodos de retorno se puede estimar a partir de cálculos sencillos o complejos según el grado de precisión que se requiera. Uno de los métodos utilizados es el siguiente:

Ajuste según el flujo. La determinación del flujo de lodos de retorno (Q_r) se puede estimar de una manera simple a partir de tres mediciones sencillas que son: ensayo de sedimentación durante 60 minutos, caudal afluente y tasa real de retorno de lodos, cuando se ha alcanzado la concentración deseada de SSLM.

La expresión que se utiliza es la siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{\% SSLM en el} \\ \text{ensayo de} \\ \text{sedimentación de} \\ \text{60 min. expresado} \\ \text{como decimal.} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Flujo afluente} \\ + \\ \text{Tasa de retorno de} \\ \text{lodos} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Tasa de bombeo} \\ \text{de los lodos} \\ \text{activados de} \\ \text{retorno} \end{array}$$

Nótese que inicialmente el tanque de aireación se empieza a operar sin descargar mucho lodo, hasta que se alcance una concentración deseada. De ahí en adelante, se continúa con una operación rutinaria de reciclaje y retorno de lodos para que no se acumulen.

Control del flujo de los lodos de desecho o desperdicio. El Flujo de los lodos de desecho (Q_w) en combinación con el flujo de los lodos de retorno (Q_w) debe ser ajustado principalmente cuando cambien las características de las aguas residuales y por consiguiente la concentración deseada de SSVLM en el flujo de los lodos de desecho (Q_w) debe ser aumentado o disminuido hasta que se logre un valor óptimo de SSVLM en los tanques de aireación.

Cantidad de lodos de desecho o desperdicio. El flujo o la tasa bajo la cual se deben descargar los lodos de desecho es la siguiente:

$$\text{Lodos de desecho, m}^3 / \text{día} = \frac{\text{volumen} * \text{concentración de SSVLM}}{\text{conc. lodos de retorno} * \text{tiempo ret. celular}}$$

3.3 CLARIFICADORES SECUNDARIOS

El tanque de clarificación secundario sirve para proveer un efluente relativamente libre de sólidos suspendidos, y en el caso de los lodos activados, genera lodos concentrados que son devueltos a los tanques de aireación para mantener un nivel de concentración de acuerdo a los parámetros de diseño. Este valor es del orden de 3500 mg/l como SSLM.

La eficiencia del clarificador secundario se determina comparando la calidad del agua que sale por los vertederos con la de las aguas residuales afluentes. El tratamiento biológico convierte algunos sólidos orgánicos solubles e insolubles a sólidos orgánicos suspendidos. Sin embargo, el tratamiento final no es completo si estos sólidos orgánicos suspendidos no se sedimentan en los clarificadores secundarios.

La eficiencia del clarificador secundario depende de la forma como se estén operando los otros procesos. Por ejemplo, el cambiar constantemente la concentración de SSLM sin considerar los efectos adversos que esto cause en los clarificadores secundarios. La alta carga de sólidos asociada a una concentración alta de SSLM ocasionara que la capa o manto de lodos en el clarificador secundario se levante hasta un nivel que ocasiona el arrastre de sólidos hacia los vertederos. Por consiguiente, es muy importante mantener un balance de sólidos entre el tanque de aireación y el clarificador secundario.

El clarificador secundario no debe ser utilizado como un tanque de almacenamiento de los lodos activados. Los lodos deben ser removidos y una porción de ellos retornados a los tanques de aireación tan pronto como sea posible. El nivel de los lodos en el clarificador no debe ser mayor de 1/4 de la profundidad. Este nivel de lodos se controla con la tasa de remoción de los mismos.

Las espumas que se formen en la superficie del clarificador también deben ser removidas, pues estas se pueden ir en el efluente.

3.4 CONTROL DEL PROCESO BIOLÓGICO

Las observaciones y actividades para controlar la operación de la planta están relacionadas con el color de las aguas, olores, presencia de natas, espumas, sólidos en los efluentes, etc. El operador aprenderá con el transcurrir del tiempo a detectar rápidamente estos fenómenos y a tomar las medidas correctivas del caso sin necesidad de esperar varias horas mientras realiza todas las pruebas de laboratorio.

Observaciones en el tanque de aireación. La correcta operación del tanque de aireación de lodos activados puede ser percibida a través de observaciones visuales del color, tipo de lodo, ausencia o presencia de espumas lodos flotantes, etc. Por medio de estas observaciones el operador puede determinar en qué fase del proceso se encuentra, y si esta marcha correctamente o no. Estas observaciones le permiten obtener conclusiones físicas que se realizan en el laboratorio.

Las observaciones físicas que se describen deben ser hechas cada que se efectúan análisis de control.

Turbulencia. El operador debe siempre observar la superficie total del tanque de aireación. Aunque algunas conclusiones están basadas en la experiencia, la distribución uniforme de toda la turbulencia indica si todas las aguas residuales, lodos de retorno y licor mezclado están siendo aireados en la totalidad del tanque de aireación o si hay problema de daño en difusores por la presencia de turbulencia excesiva en algunas zonas del tanque.

Espumas y natas superficiales. El tipo de natas y espumas, si las hay, sobre la superficie del tanque de aireación y en menor grado el color de los lodos del licor mezclado revelan el estado del proceso e indican los requerimientos sobre descarga de lodos.

Espumas frescas y blancas. Solo una acumulación moderada de espuma blanca, o en algún caso ligeramente coloreado, se debe producir sobre la superficie del tanque de aireación, lo que indica que el proceso está debidamente balanceado y que se producen excelentes efluentes finales.

Cuando se presente abundancia de espumas acusadas muchas veces por la presencia excesiva de detergentes en el desecho. En estos casos el principal control es la aplicación de anti-espumantes, si se torna exagerada la espuma.

Espuma café oscura, espesa y espumosa. Otro extremo que se puede presentar es la presencia superficial en el tanque de aireación de una espuma densa, algo grasosa, de color café marrón. Este tipo de espuma indica que el lodo es muy viejo y posiblemente sobre oxidado.

La respuesta obvia para controlar este problema es aumentar la tasa de descarga de los lodos. En este caso, también la tasa de descarga de los lodos debe aumentarse gradualmente, cada día, aproximadamente en un 20% hasta que se observe que las espumas han desaparecido y la superficie del tanque de aireación es normal.

Color y olor de los lodos. En algunos casos en el tanque de aireación se puede dar la presencia de un lodo de pobre calidad aparentemente de un color café extremadamente oscuro, con tendencia a ser negro y liberando olores de anhídrido sulfuroso. La tendencia normal es la de aumentar el suministro de oxígeno inmediatamente hasta que se alcance una concentración de oxígeno disuelto de 2 a 3 mg/l en el tanque de aireación y disminuir la alimentación de aguas residuales crudas.

Observaciones en el sedimentador secundario. Cuando el efluente que sale del clarificador secundario aparece claro y atractivo, o está mejorando día a día, el operador debe continuar con la operación que tenga implantada en ese momento si todas las demás medidas de control están dentro de los rangos adecuados.

En el caso opuesto, si el efluente contiene demasiados sólidos y la apariencia es turbia, se debe modificar la operación. No hay una recomendación específica para mejorar la calidad del efluente, pero lo mejor es revisar todo el proceso y los parámetros de control, hacer los ajustes de disminución de carga de aguas residuales hasta que se obtenga un efluente de apariencia aceptable. La salida excesiva de sólidos en el efluente también es causada por una sobrecarga hidráulica.

Cuando un color café oscuro o gris se observa y se riegan por toda la superficie del clarificador. Estos dos problemas ocurren cuando la edad de los lodos ha aumentado considerablemente y para eliminarlos hay que aumentar la tasa de descarga de lodos a los espesadores.

3.5 PURGA Y EXTRACCIÓN DE LODOS DEL SISTEMA

Consiste en evacuar una cantidad determinada de lodos biológicos del fondo del clarificador secundario al espesador.

Para la operación de evacuación y concentración de los lodos se debe abrir con precaución la válvula correspondiente que permite el paso hasta el espesador. Cuando el espesador se llena se debe cerrar la válvula y se deja sedimentar por 1 hora o más si es del caso.

Enseguida se procede a abrir la válvula superior para evacuar el clarificado hasta la entrada de la planta, posteriormente se abre la válvula inferior del espesador para drenar los lodos concentrados en el fondo por la tubería que los conduce hasta el espesador.

4. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AFLUENTE Y EFLUENTE

4.1 CONSIDERACIONES BÁSICAS

La planta de tratamiento debe contemplar entre los controles ambientales, por lo menos, el monitoreo de la calidad del afluente y efluente, de tal modo que las fallas operacionales puedan detectarse rápidamente para poder tomar las medidas pertinentes.

La persona encargada de recoger las muestras debe dar información acerca de las condiciones del lugar y la forma en que se realiza el muestreo. Esta información debe ser lo más detallada posible para que el analista del laboratorio y el químico que la interpretará puedan tener una visión cabal de las condiciones y problemas de funcionamiento de la planta. Este conocimiento proporciona la base para interpretar los resultados analíticos. El personal del laboratorio debe reproducir las condiciones principales del sitio de muestreo y para ello utilizará las anotaciones del recolector de muestras.

El registro debe incluir una descripción sobre el aspecto del agua residual, su color, presencia de sólidos y material flotante, características olorosas. Es imprescindible medir la temperatura y el pH del agua in situ.

4.2 PUNTOS DE MUESTREO

Si se tratase de evaluar la eficiencia total de la planta los puntos de muestreo más importantes son la entrada (desecho crudo) y el efluente final.

4.3 PRECAUCIONES DURANTE EL MUESTREO

Las muestras de aguas residuales deben recogerse de manera tal que al analizarlas se obtenga información representativa sobre su composición, o en los casos necesarios, sólo para problemas específicos. Debe evitarse todo tipo de contaminación secundaria de la muestra, ya sea debido al método empleado, a los recipientes de muestreo, etc. En lo posible, se deben evitar los cambios físicos, químicos o biológicos en composición de las aguas residuales. Si no pueden evitarse dichos cambios secundarios, las muestras deben ser preservadas. Generalmente bastará con refrigerar la muestra de inmediato y trasladarla lo más rápido posible al laboratorio. Esta refrigeración inmediata es particularmente importante para los análisis microbiológicos de las aguas residuales y para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) o la demanda química de oxígeno (DQO).

En el muestreo de las aguas residuales hay pasos de particular importancia como la refrigeración o la preservación química de la muestra. Las aguas residuales generalmente contienen múltiples microorganismos cuyas reacciones microbiológicas continúan en la

muestra tomada. La refrigeración reduce estas actividades, pero deben ser llevadas lo más pronto posible al laboratorio de análisis. Una vez en el laboratorio, no deberán permanecer mucho tiempo antes de ser analizadas.

Las muestras de agua residual se pueden tomar a través de un muestreo aleatorio, de varios muestreos aleatorios, de un muestreo de acuerdo al tiempo o de un muestreo de acuerdo al volumen.

Generalmente de 1 a 2 litros de agua son suficientes para realizar los análisis convencionales del agua residual. Cuando se necesitan análisis especiales, por ejemplo, para determinar grasas y aceites, la persona que tome las muestras debe estar debidamente informada que el recipiente de almacenamiento debe ser en material de vidrio, boca ancha y de 500 a 1000 mililitros de capacidad.

En todo caso el supervisor debe dar las indicaciones necesarias a la persona que va a recoger las muestras antes de que ésta inicie sus funciones. Si fuese necesario, ambos deben ponerse de acuerdo sobre las técnicas más apropiadas para llevar a cabo el muestreo, sobre la forma de embotellado, así como sobre la mejor forma de preservar las muestras.

Una vez recogidas las muestras, deben ser inmediatamente etiquetadas en forma adecuada, utilizando tanto rótulos como etiquetas autoadhesivas. Las etiquetas pueden ser pre-impresas, debiendo incluir información acerca del lugar, punto de muestreo, fecha y hora del mismo; la preservación eventual de la muestra y la técnica de muestreo.

4.4 TOMA DE MUESTRAS PARA CONTROL DE PROCESOS

El muestreo de afluente y efluente es la única forma para establecer las eficiencias de remoción y el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Un dato confiable del funcionamiento solamente puede ser obtenido con base en muestras compuestas y en ningún caso de muestras puntuales. Esto se puede ilustrar por el hecho de que el efluente saliendo del proceso de lodos activados, en cierto momento, corresponde a un afluente que entró, en promedio, un tiempo igual al tiempo de retención hidráulico de todo el sistema. De aquí que la muestra tomada del afluente no tiene relación con la muestra del efluente del mismo momento. Este efecto se disminuirá con la toma de muestras compuestas, sin embargo, a medida que se establezcan las condiciones de estado estable en el proceso de lodos activados tendrán más validez las muestras puntuales.

Muestreo aleatorio. El muestreo aleatorio, es decir, la recolección de muestras individuales cada cierto tiempo, proporciona únicamente la composición del agua residual en el momento del muestreo. Se recomienda tomar una muestra aleatoria simple sólo cuando se espera un cambio muy lento en la composición del agua a ser analizada.

Las muestras aleatorias no pueden utilizarse para reunir información sobre los niveles de contaminación o la eficiencia del tratamiento. La información que puede obtenerse a partir de una muestra aleatoria simple de agua residual, por lo general es insuficiente.

Muestreo de acuerdo al tiempo. El muestreo de acuerdo al tiempo o en proporción al tiempo, que se conoce también como muestreo semicontinuo, consiste en la toma de muestras de volúmenes iguales de agua residual a intervalos específicos en un período determinado, por ejemplo cada 15 o 30 minutos, cuya combinación y mezcla conforma la muestra compuesta.

Cuando las muestras en proporción al tiempo se recogen durante períodos de más de 2 horas se recomienda tomar dos muestras a la vez. Una de ellas se utiliza para producir la muestra compuesta de acuerdo al tiempo y la segunda pasa a formar parte de una muestra compuesta de 2 horas que se utiliza para medir ciertos parámetros puntuales tales como el pH y temperatura, el alícuota o porción para conformar la muestra de grasas y aceites, o para determinar los sólidos sedimentables.

Muestreo de acuerdo al caudal. La técnica de muestreo de acuerdo al caudal resulta especialmente adecuada para determinar cargas de contaminación, sobre todo cuando varían las cantidades y concentraciones del agua residual. Esta técnica exige conocer el volumen del efluente de agua residual por unidad de tiempo. El volumen de la alícuota se calcula mediante la siguiente expresión:

$$V_a = V_p(Q_m/Q_p)$$

Donde,

V_a = Volumen alícuota en mililitros

V_p = Volumen constante para condiciones de caudal promedio medido en mililitros

Q_m = caudal medido en el instante t, l/s

Q_p = caudal promedio, l/s

Para el muestreo de acuerdo al volumen también es necesario anotar siempre la información relativa a las mediciones en el punto de muestreo; por ejemplo, la temperatura, el pH y la determinación de los sólidos sedimentables en cada muestra compuesta parcial.

Preservación de las muestras y precauciones especiales. Todo el equipo y los recipientes que se utilicen para recoger las muestras deben estar limpios y secos o habrá que enjuagarlos varias veces con el agua residual donde se tomará la muestra, antes de usarlos.

Hasta donde sea posible una muestra debe ser analizada inmediatamente después de su recolección; sin embargo, en la práctica es poco factible realizar la mayoría de los análisis en forma inmediata. Dependiendo de las características de la muestra, algunos

parámetros se pueden afectar en mayor o menor grado por el almacenamiento o por el tiempo transcurrido entre su toma y el análisis. Para evitar hasta donde sea posible los cambios que puedan ocurrir en ella se ha formulado un conjunto de reglas fijas que puedan aplicarse a todas las muestras. En este aspecto se han desarrollado una serie de medidas que tratan de preservar hasta el máximo los constituyentes de una muestra. Dichos métodos de preservación se limitan generalmente al control de pH, adición química, refrigeración y congelación (ver referencia 2).

Cuando se guardan las muestras de agua residual habrá que prestar especial atención al hecho de que las reacciones químicas y principalmente las biológicas, continúan produciéndose después de recibidas las muestras. El congelamiento mantiene a un bajo nivel la velocidad de las reacciones. Las reacciones microbiológicas pueden llevar a una transformación o degradación de las sustancias orgánicas presentes en el agua por lo que los parámetros que se midan serán poco confiables o representativos.

Las muestras de agua residual que se empleen para determinar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) o la demanda química de oxígeno (DQO), fósforo y nitrógeno deben refrigerarse y enviarse al laboratorio lo más pronto posible.

5. MONITOREO DEL PROCESO AEROBIO

La Tabla 5.1 muestra los parámetros de importancia para la evaluación y su frecuencia para establecer la eficiencia de remoción y funcionamiento del proceso de lodos activado.

Tabla 5.1, Parámetros de monitoreo y frecuencia.

Parámetro	Frecuencia	Observación
Observación del efluente	Diferentes horas del día	El efluente debe tener tendencia a color rojizo claro característico del lixiviado
Temperatura	Diario	
pH	Diario a mañana y tarde	Con control inmediato si el pH está el reactor (pH >8,5), preferiblemente debe mantenerse ≤ que 8
Oxígeno disuelto	Diario	Con control inmediato si esta sí está por debajo de 2.0 mg/l
DBO total y soluble	Una vez cada 3 meses	Muestra del efluente
DQO total y soluble	Una vez cada 3 meses	Muestra del efluente
Nitrógeno amoniacal	Una vez cada 3 meses	Muestra efluente clarificador
Sólidos suspendidos totales y volátiles licor mezclado	Una vez cada 3 meses	En el tanque de aireación
Índice de densidad de lodos (IDL)	Dos veces por semana	En el tanque de aireación
Índice volumétrico de lodos (IVL)	Dos veces semana	En el tanque de aireación

6. PARÁMETROS DE CONTROL

Las estructuras que conforman todo el sistema de tratamiento por si solas no garantizan su efectivo funcionamiento, se hace necesario que el operario esté al tanto de cada uno de los procesos que se llevan a cabo y evalúe algunos parámetros claves que le permiten concluir si los procesos se están dando de manera eficiente o no.

Para entender mejor como se utilizan estos parámetros, a continuación se hace una relación de cada uno de los parámetros de control y su principal significado, tanto para el control del proceso anaerobio como del aerobio.

6.1 OXÍGENO DISUELTO

Al menos una vez al día se deben hacer determinaciones de oxígeno disuelto a la entrada y salida de los tanques de aireación. También se deben hacer mediciones de oxígeno disuelto en puntos específicos de los tanques de aireación con el fin de conocer variaciones durante el día. La concentración de oxígeno disuelto en los tanques de aireación debe ser de 2 a 3 mg/l. Se debe utilizar un medidor de oxígeno con electrodo selectivo en lugar del método de Winkler.

6.2 SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

Los sólidos suspendidos totales se utilizan para conocer la calidad del efluente de la planta de tratamiento. Si la planta de tratamiento está bien operada la remoción de estos en la planta debe ser mayor del 95 %.

6.3 SÓLIDOS SUSPENDIDOS EN EL LICOR MEZCLADO (SSLM)

Se utilizan para controlar la concentración de sólidos en el tanque de aireación con el fin de mantener las condiciones operativas previstas en el diseño del proceso, además permite regular el bombeo de lodos de retorno.

6.4 SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN EL LICOR MEZCLADO (SSVLM)

Si al análisis anterior se le determina la fracción volátil después de quemar estos a 600 °C se obtienen los SSVLM. Este ensayo muestra indirectamente la fracción biológica activa de los lodos del tanque de aireación. Típicamente, los SSVLM representan de 70 a 80% de los SSLM.

6.5 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)

La DBO también se utiliza como en el caso de los sólidos suspendidos para evaluar la calidad del efluente. Se debe hacer un análisis de DBO en el afluente y efluente final de cada etapa de tratamiento para comprobar si las remociones obtenidas son las adecuadas.

6.6 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)

La DQO también se utiliza como en el caso de la DBO y los sólidos suspendidos para evaluar la calidad del efluente. Se debe hacer un análisis de DQO en el afluente y efluente final de cada etapa de tratamiento para comprobar si las remociones obtenidas son las adecuadas. Tiene la ventaja de ser una prueba que requiere mucho menor tiempo que la DBO, y por lo tanto, permite conocer con mayor rapidez los resultados de la evaluación.

6.7 NITRÓGENO AMONIACAL

El nitrógeno amoniacal se utiliza como en el caso de la DBO y los sólidos suspendidos y otras sustancias para evaluar la calidad del efluente. Sí para su determinación en la planta se utiliza el electrodo selectivo para nitrógeno, su ventaja con el método de digestión es que permite conocer con mayor rapidez los resultados de la evaluación y controlar los parámetros que regulan su remoción biológica en el tanque de aireación.

6.8 ÍNDICE DE DENSIDAD DE LODOS (IDL)

La tasa bajo la cual los lodos activados sedimentan al fondo del tanque de clarificación depende de las características de sedimentación del lodo. Estas características se determinan con el ensayo del IDL.

6.9 ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS (IVL)

Este parámetro también se utiliza para reflejar las características de sedimentación del lodo activado. En este caso, mientras más bajo es el IVL más denso es el lodo.

6.10 RELACIÓN ALIMENTO/MICROORGANISMOS (F/M)

Este parámetro se usa para expresar la carga total de materia orgánica en el sistema biológico aerobio y se calcula como la relación entre los kilogramos de DBO_5 que entran al tanque de aireación por día y los kilogramos de SSVLM en el tanque de aireación y el clarificador secundario.

6.11 TIEMPO DE RETENCIÓN CELULAR O DE LODOS (θ_c)

El Tiempo de retención de lodos (θ_c) es el tiempo promedio que los sólidos de lodo activado o del reactor anaerobio son mantenidos en el proceso.

6.12 TEMPERATURA

Todas las actividades biológicas y las reacciones químicas están reguladas por la temperatura. En particular los procesos anaerobios son muy sensibles a las bajas temperaturas e incrementan su actividad cuando la temperatura aumenta.

6.13 PH

Al igual que en el caso anterior las actividades biológicas y las reacciones químicas están reguladas por el pH. En particular la remoción biológica de nitrógeno es más eficiente cuando el pH se mantiene en el rango de 7 a 8.

6.14 MEDICIÓN DE CAUDAL

La eficiencia del sistema de tratamiento se obtiene por las diferencias de carga orgánica y de sólidos (kg/d) entre el afluente y el efluente, por tanto el caudal es un parámetro primordial para evaluar el comportamiento del sistema.

7. ENSAYOS ESPECIALES

7.1 SEDIMENTABILIDAD DE LODOS

La sedimentación de los lodos del licor mezclado o del reactor anaerobio se determina por medio de un ensayo de sedimentación en una probeta de 1.0 con fondo plano.

Inicialmente los lodos del licor mezclado o del reactor anaerobio se deben mezclar y luego colocar cuidadosamente en una probeta de 1.0 litro. El contenido de la probeta se debe agitar suavemente antes de empezar a medir los tiempos de sedimentación.

El volumen ocupado por los lodos sedimentados debe ser leído y registrado cada minuto durante un periodo de treinta minutos y durante un segundo periodo de treinta minutos cada cinco minutos. La duración total del ensayo es de una hora.

Cuando la sedimentación es lenta o hay abultamiento, las lecturas se deben extender después de las realizadas la primera hora observando la sedimentación de los lodos a las 2, 3, 4 etc. horas De esta manera se determina la máxima compactación posible.

El ensayo de sedimentación se hace a varias muestras diluidas de los lodos para determinar si se debe aumentar o disminuir la tasa de descarga de lodos. Se hace al menos dos diluciones. Una dilución debe contener en volumen, 75% de lodos del licor mezclado o del reactor anaerobio y 25% del efluente final. La segunda dilución debe tener 50% de lodos del licor mezclado o reactor anaerobio y 50% de efluente final. En particular con los lodos anaerobios se pueden manejar mayores diluciones.

El ensayo de sedimentación de lodos diluidos se debe hacer solo una vez al día cuando existe un problema de sedimentación lenta o de arrastre en el efluente.

Los resultados de estos ensayos múltiples de sedimentación de lodos pueden revelar la necesidad de los siguientes ajustes.

Si las muestras diluidas sedimentan mucho más rápido que la muestra no diluida (especialmente durante los primeros diez minutos): el sistema de tratamiento contiene lodos entre regulares y buenos y por consiguiente la tasa de descarga de lodos debe aumentarse.

Si las muestras diluidas sedimentan a la misma tasa o solo ligeramente más rápido que la muestra no diluida del licor mezclado (especialmente durante los primeros diez minutos), los lodos del licor mezclado casi con seguridad están abultados. Esta situación es causada frecuentemente por una descarga excesiva de lodos que reduce la edad de lodos muy por debajo del punto óptimo. La tasa de descarga de lodos se debe reducir en este caso día a día de una manera gradual hasta que se alcance un lodo que sedimente bien.

7.2 ÍNDICE DE DENSIDAD DE LODOS (IDL)

Este ensayo consiste en colocar 1000 ml de muestra de lodos activados tomados del tanque de aireación en un cilindro graduado de 1000 ml, permitiendo una sedimentación durante 30 minutos. El volumen de lodos sedimentados se lee al final de los 30 minutos y se hace el siguiente cálculo:

$$IDL = \frac{SSLM(mg/l)}{\text{después de 30 minutos}} \times \text{ml. de lodo sedimentado} \times 10$$

Un buen IDL es de alrededor de 1.0 - 1.5. Un lodo activado con un IDL de 1.5 es denso y sedimenta rápidamente. Un IDL menor de 1.0 indica un lodo liviano que sedimenta lentamente.

7.3 ÍNDICE VOLUMÉTRICO DE LODOS

Es una medida de las características de sedimentabilidad de los lodos biológicos y su facilidad para concentrarse. Consiste en colocar 1000 ml de muestra de lodos activados tomados del tanque de aireación en una probeta graduada de 1000 ml, permitiendo una sedimentación durante 30 minutos. El volumen de lodos sedimentados se lee al final de los 30 minutos en ml/l y se hace el siguiente cálculo:

$$IVL = \frac{ml. \text{ de lodo sedimentado después de 30 min. de sedimentación} * 1000}{SSLM \text{ (mg/l)}}$$

En este caso, mientras más bajo es el IVL más denso es el lodo. Un IVL entre 100 y 150 es un lodo con buenas características de sedimentación.

7.4 CENTRIFUGACIÓN

La centrifuga permite la rápida determinación de las concentraciones de sólidos en el licor mezclado y en los lodos de retorno. Estas determinaciones son de gran ayuda para ajustar las tasas de retorno de lodo, edad de los lodos, tiempo de detención de los lodos en el clarificador y otras variables operacionales. Para el ensayo de centrifugación se usan tubos de 12.5 ml que rotan a la máxima velocidad. Se elabora una curva que relacione SS versus ml de sólidos. Después basta hacer la centrifugación y se lee la equivalencia de SS.

Los lodos del licor mezclado como los lodos de retorno deben ser centrifugados durante 15 minutos para asegurar una compactación adecuada.

Con los ensayos de centrifugación se determinan rápidamente los porcentajes de sólidos en el licor mezclado y lodos de retorno, valores que se utilizan para controlar los flujos de lodos en el sistema.

8. ACTIVIDADES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO RUTINARIOS

Con la dirección y supervisión de un ingeniero, el trabajo rutinario de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento debe ser realizado por un operador con cierto grado de escolaridad que le permita asimilar algunos conceptos fundamentales que rigen el tratamiento de aguas residuales (el ¿por qué y para qué?).

Entre las actividades rutinarias que debe realizar el operador están:

- ❖ Remover la arena que se retiene en los desarenadores y hacerles mantenimiento en general.
- ❖ Remover las natas, espumas, grasas y aceites que se acumulen en la parte superior del tanque de aireación y clarificador secundario utilizando un cedazo. Estos materiales deben almacenarse y disponerse adecuadamente para evitar los malos olores producto de su descomposición.
- ❖ Recoger las muestras del afluente y el efluente cuando sea necesario. Para ello debe seguir el procedimiento de muestra puntual o compuesta.
- ❖ Realizar la evacuación de lodos del clarificador secundario a los espesadores cada que se requiera.
- ❖ Realizar el lavado con agua limpia de los filtros a presión en cada turno.
- ❖ Controlar la recirculación de lodos desde el clarificador secundario al tanque de aireación.
- ❖ Controlar el nivel de los lodos en los clarificadores secundarios para que no sean arrastrados con el efluente.
- ❖ Realizar mediciones diarias de pH, temperatura, caudal, sólidos sedimentables en cono Imhoff diariamente, con el fin de controlarlos en los niveles requeridos para el tratamiento.

9. MEDIDAS HIGIÉNICAS

A pesar de que el operador sabe perfectamente que está trabajando en una planta de tratamiento de aguas residuales, y que esta puede ser un foco infeccioso, es normal que con el paso del tiempo *pierda el miedo* y olvide el carácter de riesgo para la salud que su trabajo puede adquirir si no se toman algunas precauciones básicas. Precisamente cuando se alcanza este punto, la probabilidad de que surjan accidentes aumenta en gran medida. Por esta razón, es aconsejable colocar en algún lugar bien visible una lista de instrucciones higiénicas que sirvan de recordatorio de que existe un riesgo real que afortunadamente es fácil de prevenir.

Las medidas de seguridad que se enumeran a continuación han sido recomendadas por la Organización Mundial de la Salud para operadores de plantas de tratamiento de aguas residuales [W. H. O. 1987]:

- ❖ La planta debe contar siempre con disponibilidad de agua limpia, jabón y toallas. Es aconsejable utilizar toallas desechables de papel, para evitar que debido a la

necesidad de transporte para la limpieza de las toallas de tela, éstas permanezcan demasiado tiempo sin lavar.

- ❖ La planta debe contar con un botiquín en el que se incluya, como mínimo, esparadrapo, algodón, alcohol, una disolución detergente desinfectante, tijeras y pinzas.
- ❖ El operador debe disponer de guantes y botas de goma, casco de trabajo y overol. Todas las prendas utilizadas en la planta deben permanecer en ella al finalizar la jornada laboral.
- ❖ Siempre que se vaya a comer, a beber, o incluso a encender un cigarrillo, hay que lavarse las manos. Si se hace alguna comida en el recinto de la planta, hay que designar un área de ésta para este fin, y evitar en todo momento comer a la vez que se está efectuando alguna labor que pueda ocasionar el contacto de la comida con algún elemento que haya estado en contacto a su vez con aguas residuales o lodos. Si es posible, es preferible evitar las comidas en el interior del recinto.
- ❖ Todas las herramientas de trabajo deben limpiarse con agua limpia antes de ser guardadas después de su uso.
- ❖ Los cortes, arañazos y abrasiones que pueda sufrir el operador deben desinfectarse inmediatamente después de que se hayan producido.
- ❖ Si el operador debe también ocuparse del mantenimiento de equipos eléctricos, debe asegurarse de que sus manos, ropas y calzado estén secos. Así mismo, debe disponer de guantes y herramientas dotados de aislamiento eléctrico.
- ❖ El acceso a la planta debe mantenerse cerrado, incluso cuando el operador está trabajando en el recinto, ya que éste no puede estar pendiente todo el tiempo de posibles visitas, y existe un riesgo importante de accidentes, especialmente para los niños.
- ❖ Es importante recordar los riesgos higiénicos para los visitantes si no están suficientemente informados y tocan las estructuras y demás elementos de la planta que están en contacto con las aguas residuales.
- ❖ El operador debe vacunarse contra el tétano, así como otras posibles enfermedades que indiquen las autoridades de la salud. También debe someterse a un chequeo médico periódico.
- ❖ Antes de empezar su labor como operador, la persona seleccionada para este trabajo debe recibir instrucción en primeros auxilios.

10. HERRAMIENTAS DE TRABAJO

Para que el operador pueda adelantar eficientemente su trabajo, además de los equipos, materiales y vidriería básica de laboratorio debe contar con algunas herramientas que faciliten su labor rutinaria de mantenimiento, entre las cuales están:

- ❖ Cedazo para recolección de natas. Se construirá con una vara de aproximadamente 1.5 metros que tendrá sujeto en el extremo un recipiente plástico o de aluminio con perforaciones para que el líquido pase y los sólidos se queden.
- ❖ Caneca de plástico o metálica para depositar natas.
- ❖ Pala.
- ❖ Carretilla.
- ❖ Manguera con boquilla de salida a presión para limpieza de las instalaciones.
- ❖ Recipientes para almacenamiento de sólidos, que pueden ser canecas plásticas o canecas metálicas de 55 galones cortadas a la mitad, a las cuales se les dispone una agarradera a cada lado.
- ❖ Guantes.
- ❖ Tapabocas.
- ❖ Botiquín con los elementos ya citados.
- ❖ Jabón y toallas de papel.

11. DEFINICIONES Y TÉRMINOS

Afluente. Corriente o flujo entrante de agua residual de un sistema de tratamiento.

Bióxido de carbono (CO₂). Gas resultante de los procesos metabólicos de oxidación aerobia o anaerobia de la materia orgánica.

Carga orgánica (CO). Se considera como la concentración de un contaminante dado, multiplicado por el caudal de la descarga y expresada en kg/día.

Caudal (Q). Es la relación que expresa la cantidad volumétrica de un fluido en la unidad de tiempo.

Caudal de recirculación (Q_r). Es la relación del caudal que debe retornar del efluente final a la entrada de las lagunas anaerobias.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Esta prueba es una medida de la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos par oxidar la materia orgánica presente en un agua residual.

Demanda química de oxígeno (DQO). Es una medida de la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar la materia orgánica en presencia de un agente oxidante fuerte, condiciones ácidas y alta temperatura, incluye materia orgánica biodegradable y no biodegradable.

Nitrificación. Es el proceso biológico por el que el nitrógeno amoniacal se convierte en nitrato.

Des-nitrificación. Es la etapa anóxica de la remoción biológica del nitrógeno amoniacal por el cual el nitrato se convierte en gas nitrógeno y otros productos gaseosos.

Eficiencia de remoción. Se denomina así a la capacidad de un sistema de tratamiento para remover una carga contaminante (DQO, DBO, ST, etc.) y se expresa en porcentaje.

Efluente. Corriente o flujo saliente de agua residual de un sistema de tratamiento.

Eliminación de la DBO carbonosa. Es la conversión biológica de la materia orgánica carbonosa del agua residual en tejido celular y diversos productos gaseosos. En la conversión se supone que el nitrógeno presente en los diversos compuestos se convierte en amoniaco.

Enzima. Proteína cuya función es la catálisis en los organismos vivos, la cual promueve reacciones o grupos de reacciones específicas.

Estabilización. Es el proceso biológico en el que la materia orgánica de los lodos producidos en el tratamiento biológico del agua residual se estabiliza, generalmente por conversión en gases y en tejido celular. Según se lleve a cabo la estabilización, bajo condiciones anaerobias o aerobias, el proceso se conoce como digestión anaerobia o aerobia. También puede darse la estabilización química.

Índice volumétrico de lodos (IVL). Es una medida de las características de sedimentabilidad de los lodos biológicos y su facilidad para concentrarse.

Inóculo. Material utilizado para iniciar un cultivo microbiano.

Nitrificación. Es el proceso biológico de dos etapas por el cual el amoniaco se transforma primero en nitrito y luego en nitrato.

Nutriente. Sustancia tomada de su ambiente por una célula y utilizada en reacciones catabólicas o anabólicas.

Oxidación. Proceso por el cual un compuesto cede electrones, actuando como donador de electrones y oxidándose.

Procesos aerobios. Son los procesos de tratamiento biológico que se dan en presencia de oxígeno. Aquellas bacterias que pueden sobrevivir únicamente en presencia de oxígeno disuelto se conocen como aerobias obligadas (restringidas a una condición específica de vida).

Procesos anaerobios. Son los procesos de tratamiento biológico que se dan en ausencia de oxígeno. Las bacterias que pueden sobrevivir solamente en ausencia de oxígeno disuelto se conocen como anaerobias obligadas.

Procesos facultativos. Son los procesos de tratamiento biológico en los que los organismos responsables de ellos son indiferentes a la presencia del oxígeno disuelto. Estos organismos se conocen como organismos facultativos.

Sedimentación. Es la separación de las partículas suspendidas más pesadas que el agua, mediante la acción de la gravedad.

Sólidos suspendidos (SS). Es el material que permanece en suspensión en el agua residual y se determina como la cantidad de material retenido después de realizada la filtración de una muestra de agua. Hacen parte de los sólidos suspendidos el material sedimentable que es de fácil remoción por gravedad.

Sólidos totales (ST). Es la cantidad de materia que permanece como residuo después de una evaporación entre 103 y 105 C, de estos hacen parte de los sólidos suspendidos y disueltos.

Sustrato. Es el término utilizado para representar la materia orgánica o los nutrientes que sufren una conversión o que pueden constituir un factor limitante en el tratamiento biológico. Por ejemplo, la materia orgánica carbonosa del agua residual es el sustrato que es objeto de conversión en el tratamiento biológico.

Tiempo de retención de lodos (θ_c). Es el tiempo promedio durante el cual el lodo o biomasa permanece en el sistema.

Tiempo de retención hidráulica (TRH). Es el tiempo durante el cual un volumen de un fluido permanece en un sistema. Se expresa como la relación entre el volumen de la estructura y el caudal que pasa por ella.

Tratamientos preliminares. Son aquellos que permiten eliminar de las aguas residuales domésticas e industriales los objetos voluminosos y abrasivos, permitiendo así una mayor efectividad en tratamientos posteriores.

Tratamientos primarios. Son aquellos que permiten remover de las aguas residuales domésticas e industriales los contaminantes que pueden sedimentar, flotar o producir un aspecto estético desagradable.

Tratamientos secundarios. El objetivo de este tratamiento es remover la DBO soluble que escapa al tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos suspendidos, a través de procesos físicos, químicos y biológicos.

12. REFERENCIAS

Centro Panamericano De Ingeniería Sanitaria (CEPIS). Procedimientos simplificados para el examen de aguas - Manual de Laboratorio, Publicación Científica N° 369, Lima 1989.

APHA - AWWA - WPCF; Standard Methods for the examination of water and wastewater, 18th edition, 1995.

CUERVO F, H. Tratamiento de aguas residuales: Diseño, Operación y Control, Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental- Universidad de Antioquia, 1994.