

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Elaborado por:
AMPARO LOPERA OCHOA
Ingeniera Sanitaria - Contratista

Agosto de 2010

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVOS	8
3. GLOSARIO DE TÉRMINOS	9
4. ABREVIATURAS	12
5. REQUERIMIENTOS PREVIOS AL ARRANQUE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	13
5.1. ASPECTOS DE CONTROL	13
5.1.1. <i>Parámetros no controlables</i>	13
5.1.2. <i>Parámetros controlables</i>	14
5.2. PERSONAL DE LA PLANTA	14
5.2.1. <i>Personal de operación y mantenimiento</i>	14
5.2.2. <i>Personal de administración</i>	16
5.3. DOCUMENTACIÓN REQUERIDA	16
5.4. REQUERIMIENTOS ADMINISTRATIVOS Y DE INFRAESTRUCTURA.....	16
5.4.1. <i>Administrativos</i>	16
5.4.2. <i>Requerimientos físicos</i>	17
5.5. EQUIPO DE TRABAJO Y SEGURIDAD	17
5.5.1. <i>Equipo de trabajo</i>	17
5.5.2. <i>Seguridad</i>	19
6. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DEL PERSONAL OPERATIVO ...	20
7. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SUBSISTEMA DE COLECTORES EN CASO DE CONTAR CON ALCANTARILLADO COMBINADO	21
8. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA PRELIMINAR	21
8.1. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL CANAL DE ENTRADA	21
8.2. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS REJAS DE CRIBADO	22
8.2.1. <i>Frecuencia del mantenimiento</i>	23
8.2.2. <i>Disposición del material sobrante</i>	23
8.3. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS DESARENADORES	24
8.3.1. <i>Frecuencia del mantenimiento</i>	25
8.3.2. <i>Disposición del material sobrante</i>	25
8.4. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA CANALETA PARSHALL.....	25

8.5.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL TANQUE IMHOFF MODIFICADO	25
8.6.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA).....	26
8.7.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL RAFA	27
8.7.1.	<i>Operación del RAFA</i>	27
8.7.2.	<i>Mantenimiento del RAFA</i>	32
8.8.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVAS.....	33
8.8.1.	<i>Operación de las lagunas</i>	33
8.8.2.	<i>Prevención de olores</i>	35
8.8.3.	<i>Muestreo del afluente y efluente</i>	36
8.8.4.	<i>Mantenimiento de las lagunas</i>	37
8.9.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL REACTOR UASB	39
8.9.1.	<i>Operación del Reactor UASB</i>	40
8.9.2.	<i>Mantenimiento del Reactor UASB</i>	43
8.10.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS LECHOS DE SECADO	43
8.10.1.	<i>Operación de los lechos de secado</i>	44
8.10.2.	<i>Mantenimiento del lecho de secado</i>	45
9.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO INDIVIDUAL (TANQUE SÉPTICO + FAFA).....	46
9.1.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL TANQUE SÉPTICO.....	46
9.2.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL FAFA.....	48
10.	PROGRAMA DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE CONTROL.....	48
11.	PUNTOS CRÍTICOS QUE INFLUYEN NEGATIVAMENTE EN EL FUNCIONAMIENTO DE LAS PTAR	51
12.	ESQUEMAS TECNOLÓGICOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	52
12.1.	CONSIDERACIONES.....	52
12.2.	LISTADO DE ABREVIATURAS	54
12.2.1.	<i>Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales</i>	54
12.2.2.	<i>Tecnologías para el manejo de lodos</i>	55
12.3.	ESQUEMAS TECNOLÓGICOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	56
12.3.1.	<i>Esquemas para nivel de tratamiento primario</i>	56

12.3.2. Esquemas para nivel de tratamiento secundario	56
12.3.3. Esquemas para nivel de tratamiento terciario con remoción de nutrientes	57
12.3.4. Esquemas para nivel de tratamiento Terciario con remoción de Patógenos.....	58
12.3.5. Esquemas para sistemas de tratamiento y disposición en Terreno .	59
12.4. ESQUEMAS TECNOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE LODOS.....	59
13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
14. ANEXOS.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla No. 1. Herramientas necesarias para el mantenimiento de la PTAR	17
Tabla No. 2. Obtención de datos operacionales del RAFA	31
Tabla No. 3. Programa de determinaciones de campo para lagunas	36
Tabla No. 4. Puntos críticos que influyen negativamente en el funcionamiento de las PTAR	52
Tabla No. 5. Parámetros de control	53
Tabla No. 6. Número de esquemas de tratamiento de acuerdo con la categoría	54
Tabla No. 7. Esquemas para Nivel de Tratamiento Primario	56
Tabla No. 8. Esquemas para Nivel de tratamiento secundario	56
Tabla No. 9. Esquemas para Nivel de Tratamiento Terciario con Remoción de Nutrientes	57
Tabla No. 10. Esquemas para Nivel de Tratamiento Terciario con remoción de Patógenos	58
Tabla No. 11. Esquemas para Sistemas de Tratamiento y disposición en Terreno	59
Tabla No. 12. Esquemas para Manejo de Lodos	59

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura No. 1. Equipo de Protección Personal (EPP)	17
Figura No. 2. Medidas de Higiene Personal	19
Figura No. 3. Operación de limpieza de las rejjas del cribado	22
Figura No. 4. Operación de limpieza de natas en lagunas	34

1. INTRODUCCIÓN

Una adecuada operación y mantenimiento de una planta de tratamiento garantiza el éxito del tratamiento de las aguas residuales como una medida de mitigación que ayuda a disminuir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua.

En el presente manual se describen las acciones de operación, conservación, supervisión y control que deben ser ejecutadas por el personal responsable de velar por el buen funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), para garantizar que se obtengan los resultados esperados en cuanto a remoción de carga orgánica (DBO) y sólidos (SST) y de paso prolongar al máximo la vida útil de las estructuras.

Este manual es una guía para prevenir, corregir y disminuir anomalías que puedan presentarse en el funcionamiento de las diferentes estructuras que conforman los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas.

El operador de la planta debe llevar un diario de la operación, en el cual deben anotarse por separado los trabajos rutinarios efectuados, las medidas de mantenimiento, los resultados obtenidos del tratamiento, y los sucesos específicos. Deben existir los equipos necesarios para efectuar el mantenimiento.

La operación y el mantenimiento deben efectuarse de modo tal, que no presenten ningún peligro o molestias para los seres humanos, ni el ambiente. Esto se aplica en especial a la extracción y la disposición final del lodo, de las natas y del material acumulado en las rejillas.

El conocimiento y utilización de este manual por parte del personal que desempeñe labores de supervisión de las actividades de operación y mantenimiento de la PTAR, facilitará y hará más efectiva su tarea, puesto que indica los aspectos sobre los cuales debe centrar las actividades de supervisión del personal bajo su mando; aspectos que a la vez son los mismos que debe observar para verificar y controlar la diligencia y eficacia con las que dicho personal desempeña las funciones que le han sido encomendadas.

Asumiendo que se contará con los recursos para la adecuada prestación del servicio, se describirán enseguida los recursos técnicos y humanos requeridos, además de los aspectos básicos a tener en cuenta para una adecuada y eficiente operación de la PTAR.

Existen algunos puntos críticos que influyen negativamente en el funcionamiento de las PTAR los cuales se resumen en el bajo porcentaje de buen funcionamiento y en la poca cobertura que se brinda. Es por eso que en este manual se dedica un capítulo para evaluar y discutir este tema.

Otro tema importante que se trata en el presente manual son los esquemas tecnológicos que se incluyen en el modelo conceptual de selección de tecnología para el control de contaminación por aguas residuales domésticas.

Para operar y mantener cualquier tipo de sistema se debe tener pleno conocimiento sobre su funcionamiento. Se espera que este documento sea de ayuda al personal técnico que se encargue de controlar y atender las diferentes instalaciones de los sistemas de tratamiento.

2. OBJETIVOS

Los objetivos de este manual de operación y mantenimiento son:

- Identificar y uniformizar los procedimientos básicos de operación y mantenimiento en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Dar información al personal técnico de mando medio y al encargado de la Planta de Tratamiento, sobre el mantenimiento y operación mínimos para el buen funcionamiento de las unidades que constituyen los sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Tomar en consideración los controles necesarios del sistema, es decir, presentar en forma precisa los parámetros de control que deben efectuarse en cada una de las unidades.
- Capacitar a los operadores en la administración de la planta de tratamiento, de modo que requieran sólo de instrucciones específicas sobre el funcionamiento de las unidades.
- Determinar los requisitos de seguridad e higiene que deben reunir las plantas de tratamiento contribuyendo así con la protección del operador y de la población aledaña.

3. GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DEL AGUA:** Es aquel que se efectúa para determinar sus características físico - químicas y bacteriológicas.
- **ARQUETA:** Pequeño depósito utilizado para recibir, almacenar y distribuir canalizaciones subterráneas; suelen estar enterradas y tienen una tapa superior para evitar accidentes y poder limpiar su interior de impurezas.
- **DESECHOS LÍQUIDOS (AGUAS RESIDUALES):** Son los resultantes de una actividad humana, que presentan diversos tipos y grados de contaminación, según su uso previo.
- **AFORO:** Es la medida del caudal, o de la cantidad de agua que pasa en un determinado tiempo por algún sistema, siendo las formas más comunes de aforar, las volumétricas, los correntómetros, u otros instrumentos previamente calibrados como canaletas Parshall etc.
- **AGUAS LLUVIAS:** Aguas provenientes de la precipitación pluvial.
- **AGUAS RESIDUALES:** Desechos líquidos provenientes de residencias, edificios, instituciones, fábricas o industrias.
- **AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS:** Desechos líquidos provenientes de la actividad doméstica en residencias, edificios e instituciones.
- **ALCANTARILLADO:** Conjunto de obras para la recolección, conducción y disposición final de las aguas residuales o de las aguas lluvias.
- **ALCANTARILLADO DE AGUAS COMBINADAS:** Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte, tanto de las aguas residuales como de las aguas lluvias.
- **ALCANTARILLADO DE AGUAS LLUVIAS:** Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de aguas lluvias.
- **ALCANTARILLADO DE AGUAS RESIDUALES:** Sistema compuesto por todas las instalaciones destinadas a la recolección y transporte de las aguas residuales domésticas y/o industriales.
- **ALCANTARILLADO SEPARADO:** Sistema constituido por un alcantarillado de aguas residuales y otro de aguas lluvias que recolectan en forma independiente en un mismo sector.

- **ALIVIADERO:** Estructura diseñada en colectores combinados, con el propósito de separar los caudales que exceden la capacidad del sistema y conducirlos a un sistema de drenaje de agua lluvia.
- **CAÑUELA:** Parte interior inferior de una estructura de conexión o pozo de inspección, cuya forma orienta el flujo.
- **CÁMARA DE INSPECCIÓN:** Estructura de ladrillo o concreto, de forma usualmente cilíndrica, que remata generalmente en su parte superior en forma tronco-cónica, y con tapa removible para permitir la ventilación, el acceso y el mantenimiento de los colectores.
- **CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES:** Determinación de la cantidad y características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales.
- **COLECTOR PRINCIPAL Ó MATRIZ:** Conducto cerrado circular, semicircular, rectangular, entre otros, sin conexiones domiciliarias directas que recibe los caudales de los tramos secundarios, siguiendo líneas directas de evacuación de un determinado sector.
- **CUERPO RECEPTOR:** Cualquier masa de agua natural o de suelo que recibe la descarga del afluente final.
- **DIÁMETRO:** Diámetro interno real de conductos circulares.
- **ESCORRENTÍA:** Volumen que llega a la corriente poco después de comenzada la lluvia.
- **INTERCEPTOR:** Conducto cerrado que recibe las afluencias de los colectores principales, y generalmente se construye paralelamente a quebradas o ríos, con el fin de evitar el vertimiento de las aguas residuales a los mismos.
- **OPERACIÓN:** Por operación se entienden las acciones que garantizan el funcionamiento adecuado del sistema hidráulico y del proceso biológico de una planta.
- **PERTIGA:** Vara de madera de Ø2" forrada en la parte inferior con un paño blanco para medir la altura de los lodos en estructuras.
- **PLAN MAESTRO DE ALCANTARILLADO:** Plan de ordenamiento del sistema de alcantarillado de una localidad para un horizonte de planeamiento dado.

- **SUMIDERO:** Estructura diseñada y construida para cumplir con el propósito de captar las aguas de escorrentía que corren por las cunetas de las calzadas de las vías para entregarlas a las estructuras de conexión o pozos de inspección de los alcantarillados.

4. ABREVIATURAS

- AGV = Ácidos grasos volátiles
- Ca(OH)_2 = Hidróxido de calcio
- CaCO_3 = Cal
- CO_2 = Anhídrido carbónico
- DBO = Demanda bioquímica de oxígeno
- DQO = Demanda química de oxígeno
- ha = hectárea
- m = metro
- meq = miliequivalente
- mg/l = miligramo por litro
- ml = mililitro
- NaHCO_3 = Bicarbonato de sodio
- NaOH Soda cáustica
- NMP = Número más probable
- OD = Oxígeno disuelto
- pH = Indicador de acidez y alcalinidad
- PVC = Cloruro de polivinilo
- RAFA = Reactor anaeróbico de flujo ascendente
- SST = Sólidos suspendidos totales
- SSV = Sólidos suspendidos volátiles
- ST = Sólidos totales
- Tagua = Temperatura del agua

5. REQUERIMIENTOS PREVIOS AL ARRANQUE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para la puesta en marcha de una planta de tratamiento, el operador deberá tener presente los siguientes alcances y requisitos para un adecuado desarrollo de las actividades que conformarán el arranque, operación y mantenimiento:

5.1. ASPECTOS DE CONTROL

Las condiciones hidráulicas y biológicas que forman parte del proceso de depuración de las aguas residuales, pueden verse afectadas por una serie de factores. Algunos de éstos son fácilmente controlables y adaptables al proyecto, pero otros, por su propia naturaleza, no se pueden controlar y deben ser considerados con buen criterio, de modo que su interferencia no afecte el proceso.

5.1.1. Parámetros no controlables

Son los factores fuera del control del hombre y están representados básicamente por parámetros meteorológicos, así como por algunos de tipo local. Entre éstos se tienen:

5.1.1.1. Factores meteorológicos

- a. Evaporación:** La evaporación del agua altera la concentración de sólidos, de materia orgánica y de los elementos presentes en el agua, pudiendo modificar el equilibrio biológico.
- b. Temperatura:** Es el parámetro más importante, dado que es una medida indirecta de otros factores importantes, como por ejemplo, la radiación solar, velocidad de fotosíntesis y la velocidad de metabolismo de los microorganismos.
- c. Vientos:** Tienen importancia para las lagunas de estabilización y para los estanques de acuicultura, ya que favorecen la homogenización de la masa líquida.
- d. Nubes:** Interfieren como elemento capaz de interponerse al paso de la luz solar.

5.1.1.2. Factores locales

Son factores propios de cada zona, tales como temperatura del agua, características de las aguas servidas e infiltración.

5.1.2. Parámetros controlables

En general, son aquellos parámetros relacionados con el diseño mismo de las unidades. Estos factores son entre otros: la carga orgánica aplicada, el período de retención hidráulico y la profundidad de los niveles de agua en las unidades, los cuales dependen entre sí y demandan especial interés del operador.

- **Parámetros de control operacional (ver Anexo 2)**

Tienen relación directa con el funcionamiento de los procesos y su control periódico permite observar el comportamiento de cada unidad de tratamiento. Para esto, se deberá contar con instrumentación de análisis y equipo de muestreo adecuado. Se deben controlar los siguientes parámetros básicos: caudal, temperatura, pH, remoción de DBO, remoción de sólidos, remoción de coliformes y concentración de nutrientes.

Si las unidades de tratamiento funcionan de acuerdo con la carga orgánica y bacteriológica consideradas en el proyecto, la operación se reducirá a un control periódico de la eficiencia del proceso.

En cuanto al monitoreo de la calidad de los efluentes de las distintas unidades de tratamiento, el laboratorio encargado de efectuar los análisis deberá estar equipado y contar con el personal y reactivos necesarios para implementar como mínimo las siguientes pruebas:

DBO total y soluble, DQO total y soluble, sólidos totales, sólidos en suspensión y volátiles, ácidos grasos volátiles, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, oxígeno disuelto, temperatura, pH, coliformes totales, coliformes fecales, parásitos y detección de trazadores colorantes.

Si el laboratorio encargado de realizar dichos análisis no cuenta con la infraestructura o no tiene implementadas las técnicas requeridas, deberá realizar a la mayor brevedad las gestiones que permitan dar fiel cumplimiento a lo establecido en el presente manual.

5.2. PERSONAL DE LA PLANTA

Debe estar conformado por un área administrativa y otra de operación y mantenimiento.

El estudio de diversas experiencias de otros países en desarrollo (referencia 1) permite prever el siguiente personal:

5.2.1. Personal de operación y mantenimiento

- **Un jefe de planta, supervisor ó coordinador.** (Un cuarto de jornada). Tendrá a su cargo la planta de tratamiento, así como la coordinación de los operarios

encargados de la operación y mantenimiento. Éste debe desarrollar entre otras las siguientes actividades:

- Elaborar un reglamento de trabajo en la PTAR.
 - Elaborar una guía de funciones y responsabilidades.
 - Diseñar una guía para el muestreo en las diferentes unidades y puntos, con tipos de muestreo, parámetros de control, horarios determinados, número de muestreos, etc.
 - Coordinar el programa de muestreo y transporte de muestras de parámetros que por su especificidad no se puedan procesar en el laboratorio de la planta.
 - Velar por la operación normal de la PTAR.
 - Controlar el cumplimiento de las funciones, horarios y reglamento interno de trabajo.
 - Diseñar los diferentes formularios y formatos para el registro y archivo de la información.
 - Mantener en la planta, en un lugar visible para el personal con funciones operativas, la información sobre la misma como planos, manuales, memorias de diseño, además de bibliografía útil para el personal en lo que tiene que ver con soluciones a posibles problemas (documentos, catálogos, libros, revistas, etc.).
 - Velar por la seguridad laboral del personal.
 - Mantener actualizado el inventario de reactivos y equipos.
 - Implementar un programa preventivo de mantenimiento continuo de las instalaciones, estructuras y equipos.
 - Realizar reuniones periódicas con todo el personal a fin de estandarizar los procedimientos que se llevan a cabo en la planta.
 - Capacitarse continuamente en el campo del tratamiento de las ARU, con el fin de realizar investigaciones, utilizando las instalaciones e información de la operación que conlleva a la optimización de la PTAR.
- **Tres operadores.**- (Jornada de 8 horas/día). Serán los encargados de realizar las tareas de control de la planta de tratamiento. Deberán tener conocimientos sobre mantenimiento y operación, para lo cual requerirán de cursos de capacitación.

Las responsabilidades que les serán asignadas son:

1. Informar periódicamente al jefe sobre el funcionamiento y estado de las unidades en general.
2. Realizar los controles necesarios para la normal operación de las plantas, entre ellos:
 - Medición de caudales o Controles fisicoquímicos: lectura de parámetros, toma de muestras de agua.
 - Llevar a cabo los programas de mantenimiento físico de todas las unidades.

- **Dos obreros.**- (Jornada de 8 horas/día). Deberán preocuparse del mantenimiento de las unidades de tratamiento, fundamentalmente mantener los taludes libres de vegetación; limpiar las canaletas, vertederos, desarenador y cámara de rejillas; remover grasas y materia orgánica flotante (con la frecuencia propuesta en los puntos posteriores); y mantener las áreas verdes.

5.2.2. Personal de administración

- **Una secretaria.** Deberá trasladar los datos obtenidos a los registros de control de la planta y procesar la información que se enviará a los demás niveles.

5.3. DOCUMENTACIÓN REQUERIDA

La documentación disponible en todo momento en la planta, deberá contar con los antecedentes propios del proyecto, a fin de conocer tanto las bases de diseño de la planta como también la ubicación de cada uno de los elementos del sistema. Como mínimo, es recomendable contar con lo siguiente:

- Memoria técnica del proyecto
- Un juego completo de los planos de construcción
- Especificaciones técnicas de construcción
- Formularios de registro de datos operacionales y de análisis de calidad (detallados más adelante)
- Una colección de referencias técnicas. En la bibliografía del presente manual se presenta una lista del material que podría adquirirse.
- Cuaderno de observaciones. En este cuaderno o bitácora, el operador anotará diariamente las lecturas efectuadas, así como los resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos, medidos o analizados tanto en la planta como fuera de ella.

5.4. REQUERIMIENTOS ADMINISTRATIVOS Y DE INFRAESTRUCTURA

5.4.1. Administrativos

Para el desarrollo de las funciones administrativas, la planta piloto deberá contar con los siguientes requerimientos:

- Una oficina para el jefe y el operador de la planta.
- Una oficina para la secretaria. Este ambiente debe disponer por lo menos de lo siguiente:
 - Un escritorio
 - Un mueble para conservar la documentación de la planta
 - Un computador personal para el almacenamiento de los registros de control y emisión de documentos
 - Una impresora para la edición de la documentación que se emita

- Un teléfono
- Material de escritorio
- Servicios higiénicos
- Servicio de cocina.

5.4.2. Requerimientos físicos

En este punto se exponen los requerimientos físicos y de infraestructura mínimos que se necesitan en el arranque, operación y mantenimiento de la planta.

▪ Sistema de agua potable

Se requiere de un sistema de entrega de agua potable para el lavado de las unidades de pretratamiento, tales como la cámara de rejillas y el desarenador.

▪ Disposición final de los residuos sólidos

Todo el material retenido en las rejillas, como del desarenador será depositado en algún pozo habilitado dentro del recinto de la planta. Para tal efecto se requiere la construcción de un pozo de sección de 2 por 2 m y una profundidad de 3 m. Es aconsejable que su ubicación esté próxima a dichas unidades a fin de no dificultar el transporte de los residuos por parte de los obreros.

5.5. EQUIPO DE TRABAJO Y SEGURIDAD

A fin de lograr el óptimo desarrollo de la puesta en marcha, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, es necesario que el personal cuente con herramientas básicas para su trabajo, así como el equipo de protección necesario para realizar las funciones en condiciones seguras.

5.5.1. Equipo de trabajo

En una planta de tratamiento el equipo de trabajo se reduce a herramientas necesarias para mantenimiento. Es aconsejable que la planta cuente con el mínimo de herramientas de trabajo descritas en la tabla No. 1 (el número de ellas variará conforme a las necesidades):

Tabla No. 1. Herramientas necesarias para el mantenimiento de la PTAR

HERRAMIENTAS Y ACCESORIOS	CANTIDAD NECESARIA
Carretillas de mano	Una por cada 2 obreros
Pala	Una por cada obrero
Cuchara de 12" de diámetro de malla metálica, con asa metálica (tubería de fierro galvanizado de 1") de 2 m. de largo	Una por cada obrero
Caja de herramientas con martillo, alicate, clavos, llave de expansión ó expansiva, llave de tubo, etc.	Un juego por cada 2 obreros
Manguera para lavado de unidades de pretratamiento	Una

Rastrillo	Uno por cada obrero
pHmetro para medir en profundidad	Uno
Oxímetro para medir en profundidad	Uno
Comparador de pH con rango de 1 a 11	Uno
Termómetro para medición de temperatura en °C (rango 0 – 100 °C)	Dos

El Equipo de Protección Personal (EPP) recomendable para todo el personal de la planta (jefe, operarios y trabajadores) es el siguiente:

1. Gorra ó cascos de seguridad
2. Mascarilla
3. Guantes de protección de goma para evitar infecciones al extraer muestras de aguas servidas ó de cuero para labores mayores, como abertura de compuertas, limpieza, etc.
4. Uniforme completo
5. Botas de hule



Figura No. 1. Equipo de Protección Personal (EPP)

Se hace énfasis en que los operadores deben verificar el buen estado del Equipo de Protección Personal (EPP) antes de usarlo e informar al jefe ó supervisor si éste está dañado o deteriorado.

Para el resguardo y mantenimiento adecuado del equipo de trabajo es necesario disponer de un almacén. Para tal efecto, se deberá asignar alguna de las instalaciones existentes para dicho fin. Una vez concluidas las actividades diarias el personal de operación deberá limpiar y guardar cuidadosamente el equipo usado. El almacén permanecerá cerrado y con llave para asegurar las herramientas y equipos de medición propios de la planta. La responsabilidad del cuidado será del operador de turno.

De igual forma, se deberá contemplar un almacén adicional para los productos químicos tales como NaOH, CaCO₃, hipoclorito de sodio, etc. En caso de no poder contar con alguna de las instalaciones existentes se podrá usar el mismo almacén destinado al equipo de trabajo, mientras se prevea la construcción de una bodega específica para dichos fines. Se deberá tener especial precaución de mantener apartados dichos productos del resto de los equipos.

5.5.2. Seguridad

Los riesgos a los que está expuesto un empleado en instalaciones de este tipo son principalmente las lesiones físicas e infecciones. Éstos se eliminan fácilmente si se toman las medidas de prevención adecuadas. A continuación, se recomiendan algunas medidas de seguridad:

▪ Para prevenir accidentes

- **Aseo y orden:** La primera medida de prevención de accidentes y enfermedades es el aseo y orden correcto de las instalaciones. En lugares apropiados, se deben colocar letreros grandes a la vista de los operadores con los signos de advertencia y señales de peligro para tener en cuenta. Colocar barandas en los lugares de peligro (pasarelas, canaletas) para evitar posibles caídas. colocar
- **Uso adecuado de herramientas:** Para evitar accidentes de trabajo o el deterioro o pérdida de las mismas.
- **Peligros de la electricidad:** Este es un factor de riesgo si no se toman las precauciones debidas.
- **Prevención y control de incendios:** Dada la practica común de quemar las basuras y desechos.
- **Señalización:** Como una medida de seguridad, se recomienda emplear señales en las plantas de tratamiento.

▪ Para prevenir infecciones

Los operadores deben usar guantes de cuero al manejar objetos grandes, por ejemplo, tapas y compuertas. Asimismo, se debe portar guantes de goma cuando se ejecuten labores que requieran contacto con aguas residuales o material retenido en las rejillas.

Las aguas residuales son un riesgo para los trabajadores, debido a las enfermedades que se transmiten a través del agua, tales como la fiebre tifoidea, disentería, fiebre paratifoidea, ictericia infecciosa y tétano.

Se recomienda tener presente las siguientes medidas preventivas:

- 1. Primeros auxilios:** Proveer un botiquín de primeros auxilios para el tratamiento inmediato de pequeñas cortaduras y heridas. Las lesiones de pequeña consideración pueden ser tratadas con primeros auxilios. En caso de heridas de mayor importancia, debe requerirse los servicios de un médico o del personal del centro asistencial.
- 2. Inmunizaciones:** Los empleados deben ser inmunizados periódicamente, mediante vacunas contra la fiebre tifoidea y el tétano.
- 3. Precauciones personales:** Mientras se trabaja, no se debe tocar con las manos la cara o la cabeza. No se debe fumar mientras se manipula materia orgánica. Antes de comer, se deben lavar las manos con abundante agua y jabón antiséptico o yodado.
- 4. Desinfectantes:** En los servicios higiénicos se debe proveer material de aseo, tales como jabón antiséptico o yodado y alcohol, etc. Además, se deberá contar con hipoclorito de sodio para la limpieza del equipo de trabajo y material de seguridad.

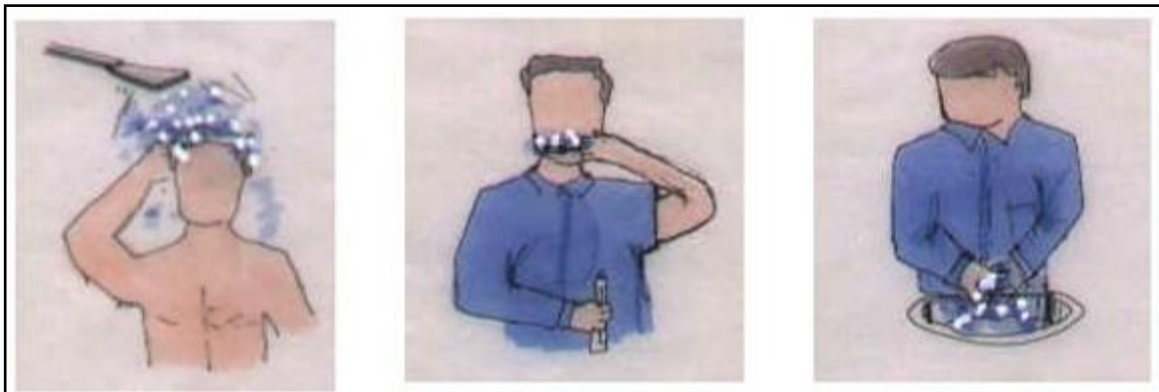


Figura 2. Medidas de Higiene Personal

6. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES DEL PERSONAL OPERATIVO

Primero que todo los operadores deben ser personas arraigadas y conscientes de la importancia del trabajo que realizan, ya que de la buena operación y el mantenimiento continuo de la PTAR, depende el buen funcionamiento y por consiguiente la obtención de las eficiencias esperadas por el sistema.

Los operadores deben llevar un cuaderno o bitácora de operaciones, donde se debe registrar diariamente, todo lo que hace durante la jornada de trabajo, así como los sucesos o anomalías específicas presentadas, las visitas realizadas a la planta por personas externas (cuantas y a que entidad representan), entre otros.

Cada operario debe eliminar de inmediato las obstrucciones, fugas y reparar daños que se presenten en las estructuras, o en los procesos de la PTAR.

Cualquier anomalía encontrada que no pueda ser solucionada, deberá comunicarla al supervisor o jefe inmediato, lo más pronto posible.

Al final de cada jornada el operario responsable debe dejar la planta perfectamente aseada y ordenada, tal como debe conservarla durante la jornada.

Cada operario debe cumplir rigurosamente con el horario que se establezca para la operación de la PTAR.

Cada operador deberá responder por las herramientas, equipos y demás logística utilizada para la operación de la PTAR. Igualmente debe responder por el aseo y conservación de la caseta de operaciones que le sirve para guarnecerse de la lluvia, cambiarse de ropa en cada turno y como depósito de herramientas.

7. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SUBSISTEMA DE COLECTORES EN CASO DE CONTAR CON ALCANTARILLADO COMBINADO

El supervisor encargado de la planta y del sistema de alcantarillado en general, debe programar mínimo cada 30 días, una revisión de los aliviaderos, que desvían las ARU a la PTAR, con el fin de detectar posibles obstrucciones en estas estructuras.

Inspeccionar diariamente los cambios de color de las fuentes receptoras de aguas aliviadas, con el mismo objeto de detectar posibles obstrucciones en los aliviaderos.

Si se presenta una reducción o disminución en el caudal afluente a la planta, el operador debe indagar sobre las posibles causas de ésta anomalía, para establecer, si se debe a un corte en el suministro del agua, o a daños u obstrucciones en colectores o redes, con el fin de informar al supervisor encargado, para que ejecute las medidas necesarias sobre esta situación.

8. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA PRELIMINAR

8.1. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL CANAL DE ENTRADA

En esta unidad se depositan piedras, gravilla, algunas arenas y elementos con gran peso que son transportados por el alcantarillado.

El mantenimiento de esta unidad, se limita solamente a retirar el material depositado, para evitar que el agua residual se remanse y salga por el vertedero de excesos sin ningún tratamiento. Para realizar la operación de limpieza, el operador debe proceder de la siguiente manera:

- Con una pala retirar la gravilla, piedras y demás materiales depositados en el canal, y anotar en la tabla de reporte la cantidad y las características del material extraído.
- En un coche o un balde transportar el material, exceptuando la arena, hasta el lugar de disposición (cerca de los trinchos), para después echarlo encima del material orgánico extraído de los desarenadores.
- La arena retirada de ésta unidad debe ser almacenada, para posteriormente usarla como material filtrante en los lechos de secado.
- Con un cepillo remover la lama que esté adherida a los muros del canal.
- La frecuencia de limpieza debe ser dos veces al día (en la mañana y en la tarde), y después que se presenten lluvias intensas.

8.2. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAS REJAS DE CRIBADO

Las rejas de cribado de la PTAR tienen por finalidad retener cuerpos extraños o sólidos gruesos que alteran los procesos de tratamiento debido a que pueden obstruir tuberías, canaletas, orificios, etc., por ejemplo, ramas, trapos, basura, plásticos, cáscaras, preservativos, desperdicios, pedazos de madera, entre otros, que son arrastrados por las redes de alcantarillado y que una vez ingresan a la planta resulta difícil su remoción.

Pasos a seguir para realizar las labores de mantenimiento:

- En caso de disponer de dos módulos para el cribado, aislar la rejilla a ser limpiada.
- Levantar la reja y retirar manualmente el material acumulado en ésta con la ayuda de un rastrillo y disponerlo provisionalmente en la bandeja de escurrimiento, para trasladarlo posteriormente a la ramada de secado y empacado. Anotar la cantidad de material extraído en las tablas de reporte.
- Con una pala sacar todo el material depositado en el fondo del canal y echarlo provisionalmente en la bandeja de escurrimiento, para después trasladarlo a la ramada de secado y empacado.
- Remover con un cepillo la lama y demás materiales que se adhieren a las paredes del canal y a la reja de cribado.
- Abrir nuevamente la compuerta del canal que se ha limpiado.
- Repetir los pasos anteriores con la segunda reja de cribado.



Figura 3. Operación de limpieza de las rejas del cribado

Algunas veces, los operadores, al efectuar el rastrilleo, fuerzan el paso de los residuos a través de los espacios entre barras hacia el líquido. Esto anula el propósito de las rejas. La correcta forma de hacerlo es rastrillar cuidadosamente el material, hacia la bandeja de escurrimiento.

8.2.1. Frecuencia del mantenimiento

Los residuos atrapados en las rejas deben extraerse tantas veces al día como sea necesario, para permitir el libre escurrimiento del líquido. Otro criterio para decidir sobre la necesidad de limpieza, es la pérdida de carga que se produce en el paso a través de las rejas, es decir, si el agua supera el vertedero de excesos, se debe proceder a su limpieza.

Esta frecuencia podrá aumentar o disminuir, según los resultados que se obtengan durante el período de puesta en marcha de la planta. A pesar de que se requerirá como mínimo una limpieza por día, esta labor se efectuará preferentemente por la mañana, al inicio de la jornada. No se debe aceptar que el porcentaje de obstrucción supere el 60% de la superficie útil de la reja.

La frecuencia de la limpieza depende de diferentes factores tales como:

- La procedencia de las aguas negras; aguas negras solas o con aportes de agua lluvia.
- Estado del tiempo; la lluvia causa arrastre de material grueso.
- Tamaño de la rejilla. La frecuencia de la limpieza será entonces a juicio del operador, pero por lo menos debe ser diaria.

8.2.2. Disposición del material sobrante

El obrero será responsable de depositar diariamente los residuos y de recubrirlos al menos una vez con una pequeña capa de cal (CaCO_3) y posteriormente agregar una capa de arcilla disponible en el recinto. Se prevé un espesor de recubrimiento de un centímetro de cal y de unos dos a tres centímetros de arcilla. De esta manera, se evitará que el material esté expuesto al ambiente, los malos olores (por la descomposición de la materia orgánica) y la proliferación de insectos.

En la eventualidad de que el pozo haya alcanzado su colmatación, el operador deberá construir un nuevo pozo, de iguales características.

La arena extraída de esta unidad, debe ser almacenada para ser lavada, seleccionada y posteriormente reutilizada en los lechos de secado de lodos.

8.3. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS DESARENADORES

El desarenador se ubica inmediatamente aguas abajo de las rejillas de cribado y permite retener los sólidos suspendidos de menor tamaño factibles de decantar, como por ejemplo: material fino, arena u otro elemento inerte no retenido en la cámara de rejillas. Estos son indispensables para evitar la acumulación de arena y demás material inerte en los estanques de las demás unidades de tratamiento. La eficiencia del desarenador determina la frecuencia de una vaciada completa y tediosa del sistema y de su adecuada operación depende la calidad y el factor de crecimiento del lodo.

La limpieza se hará en forma manual, para lo cual el operador deberá contar con los elementos adecuados (pala, carretilla para transportar los sedimentos, guantes, etc.). El mantenimiento que se le debe realizar al desarenador consiste en remover todas las arenas y demás material que se deposita en el fondo de cada módulo; por tanto, el operador debe verificar diariamente el nivel de sedimentos en el desarenador.

El siguiente es el procedimiento para la remoción de los sedimentos:

- Sacar de operación el módulo al que se le desea realizar mantenimiento.
- Abrir la válvula de la tubería de drenaje del respectivo módulo, la cual generalmente se encuentra ubicada en la caja adosada a la estructura.
- Dejar drenar el agua hasta obtener una consistencia más sólida de los sedimentos, para proceder a retirarlos.
- Con una pala retirar los sedimentos y depositarlos en un coche, para llevarlos hasta los trincheros de disposición final. Anotar la cantidad y características del material extraído en las tablas de reporte.
- Después de depositar el material en los trincheros, se procede a colocar encima de estos el material retirado del canal de entrada y luego agregar una capa de tierra de aproximadamente 10 cm.
- Rociar de 3 a 4 puñados de cal en toda la superficie, para evitar la proliferación de moscos y la producción de malos olores.

Además, se dispondrá de una manguera que inyecte agua potable a presión para desprender todo el material retenido y dejar limpio el fondo del desarenador. El agua de lavado se descargará a la red de desagüe de la planta en la cámara ubicada junto al desarenador.

Es buena práctica construir un desarenador extra para facilitar las actividades de limpieza y mantenimiento del sistema. Se recomienda mantener en operación únicamente una unidad mientras que la otra esté fuera de servicio por mantenimiento.

Los desarenadores solo pueden omitirse en el caso de absoluta ausencia de arena en el sistema de alcantarillado.

8.3.1. Frecuencia del mantenimiento

La limpieza del desarenador se debe efectuar de acuerdo con la cantidad de arena acumulada y los límites estipulados en el diseño hidráulico de la estructura. Normalmente la frecuencia será cada 2 a 3 días, a fin de prevenir que los estanques de acumulación se colmaten y que el material pueda ser removido de los estanques hacia las unidades de tratamiento. Esta labor también será controlada durante la puesta en marcha de la planta, a fin de determinar con más precisión la frecuencia óptima de limpieza.

En tiempo de lluvia un colector combinado aportará más arena y por lo tanto la frecuencia de limpieza será entonces mayor.

8.3.2. Disposición del material sobrante

La arena extraída de esta unidad, debe ser almacenada conjuntamente con la extraída de cribado, para ser lavada, seleccionada y posteriormente reutilizada en los lechos de secado de lodos.

8.4. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA CANALETA PARSHALL

El operador debe leer cada hora la lámina de agua en la regilla y anotar el valor del caudal en las tablas de registro diario de caudales.

En cada turno, debe limpiarse y raspase con cepillo la canaleta para remover material adherido y mantenerla en perfectas condiciones.

8.5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL TANQUE IMHOFF MODIFICADO

La digestión anaeróbica por ser un proceso biológico, requiere para su operación, de un control físico-químico adecuado, con el fin de evaluar el comportamiento y aclimatación de las bacterias en cuanto a la remoción de la demanda química biodegradable contenida en el agua residual.

Para las labores de operación y mantenimiento rutinarias de esta unidad, se deben realizar las siguientes actividades:

- Revisar que no se presenten obstrucciones en los bajantes de las cajas de distribución.
- Cada diez (10) días deben quitarse las tapas de registro de las campanas del IMHOFF, para proceder a remover el lodo resuspendido que se acumula sobre la superficie del agua en dichas campanas; esto se hace utilizando el cedazo.
- Purgar lodos cada 10 días hacia los lechos de secado (después de la estabilización de éste durante aproximadamente 6 meses), de la siguiente forma:

- * Abrir la válvula de la celda en la cual se va a descargar el lodo del IMHOFF.
 - * Dejar drenar lodos hasta obtener aproximadamente una lámina de 50 cm en la celda de secado
 - * Cerrar nuevamente la válvula.
- Nota: Cuando se observe que el manto de lodos en el IMHOFF se ha levantado totalmente o que el efluente se ha alterado, se procede a desocupar totalmente la estructura con el fin de corregir dicho problema. Para desocupar el IMHOFF se procede de la siguiente manera:
- * Abrir las válvulas de drenaje de cada uno de los Tanque IMHOFF.
 - * Abrir las válvulas de bola de cada celda y purgar hacia los lechos de secado, llenar hasta rebosar y posteriormente cerrar dichas válvulas.
 - * Una vez llenas las celdas y cerradas las válvulas, el flujo se dirigirá por la tubería de paso directo (by-pass) hacia la cámara de inspección de la red interna de alcantarillado, donde a su vez, se transportará hacia la descarga final en la fuente de agua.

8.6. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL REACTOR ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA)

El Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) es una unidad de tratamiento constituida por un digestor, un sedimentador y una cámara de gas. El agua residual a ser tratada se distribuye uniformemente en el fondo del reactor. Posteriormente, fluye a través de una capa o manto de lodos que ocupa cerca de la mitad del volumen del reactor. Esta capa transforma o degrada la materia orgánica mediante su digestión.

El gas formado se acumula en las cámaras correspondientes y para evitar que pase hacia la zona de sedimentación, se tiene previsto el uso de deflectores de gas (separadores de fases).

El agua asciende hacia la cámara de sedimentación y de ahí va hacia las canaletas recolectoras, obteniéndose un efluente clarificado.

Esta unidad de tratamiento debe contar con dispositivos de muestreo y evacuación de lodos; de este último se derivarán los lodos hacia el lecho de secado.

En esta unidad se realiza la remoción de la materia orgánica, generándose a su vez gases y lodos que pueden utilizarse como combustible y acondicionador de suelos agrícolas, respectivamente.

El gas generado se debe quemar continuamente en un mechero o utilizar como combustible. No obstante, para esto último se requiere de dispositivos de captación y limpieza posteriores.

8.7. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL RAFA

8.7.1. Operación del RAFA

Durante la operación del reactor, se debe garantizar el funcionamiento continuo y adecuado del sistema hidráulico y del proceso biológico respectivo. El control operativo debe centrarse en tres puntos:

- a) Distribución uniforme del afluente en el fondo del reactor.
- b) Lodo anaerobio con buena capacidad de sedimentación y de digestión.
- c) Efectiva separación del biogás, del líquido y del lodo.

La operación deberá contemplar un trabajo rutinario diario o semanal, y trabajos ocasionales. En general, el trabajo diario consistirá en:

1. Limpieza de las estructuras que determinan el funcionamiento hidráulico de la planta y la determinación de parámetros (control operativo).
2. Observaciones al afluente y efluente para la correcta evaluación del funcionamiento biológico del reactor.

El trabajo ocasional se referirá más a la evaluación del comportamiento del lodo.

8.7.1.1. Operación del funcionamiento hidráulico

▪ Vertederos de repartición y tuberías de alimentación

Su función es repartir en forma equitativa el caudal afluente y provocar una mejor distribución de la masa de agua en el reactor.

El buen funcionamiento del reactor dependerá de la adecuada distribución sobre el fondo del reactor. Por tal razón, se deberá mantener limpios los vertederos en las cajas de repartición de caudales. Esta limpieza se hará por lo menos una vez al día.

Además, diariamente se debe observar el funcionamiento de los tubos de alimentación en el fondo del reactor. Esto se puede observar en la diferencia del nivel estático que se produce entre la columna de agua en el tubo y el nivel del agua en el reactor. Cuando el nivel estático en un tubo aumenta, se debe limpiar el tubo. Esta faena se realizará introduciendo una manguera por la tubería e inyectando agua a presión. Bajo ninguna circunstancia se introducirán varillas, palos o elementos rígidos.

▪ Canaletas de recolección

Para que la recolección del efluente sea uniforme, es importante que todos los vertederos de las canaletas tengan un flujo libre. Para garantizar este buen

funcionamiento, se deben limpiar los vertederos de las canaletas mínimo una vez al día. Una vez por semana las canaletas deberán barrerse.

▪ **Sistema de muestreo y purga de lodo**

En estos sistemas de muestreo y purga de lodos, la tubería tiende a taparse cuando no se usa frecuentemente, sobre todo en el punto más bajo en donde se puede formar un tapón.

Esto puede ser producto de la longitud de la tubería y de la densidad que tenga el lodo. Ante esta situación, se debe limpiar la tubería desde arriba con una manguera, tal como se señaló anteriormente.

▪ **Tubería de conducción de lodo**

La tubería que conduce el lodo hacia el lecho de secado debe lavarse con agua después de cada uso, ya que ésta puede obstruirse y provocar malos olores debido a la sedimentación de lodo en la tubería. El agua de lavado descargará en el lecho de secado.

▪ **Comportamiento hidráulico del reactor**

Durante la operación del reactor, se deberá verificar el tiempo de retención hidráulica dentro del reactor. Esta actividad se realizará trimestralmente. La metodología a emplear es a través del uso de trazadores.

8.7.1.2. Operación del proceso biológico

▪ **Muestreo del afluente y efluente líquido**

La capacidad de un RAFA que trata aguas residuales domésticas para la remoción de materia orgánica y la formación de metano, depende de los siguientes factores:

- Carga orgánica máxima diaria total (kg DQO/día).
- Carga superficial líquida permitida (m^3/m^2 día).
- Concentración del agua residual (g DQO/ m^3).
- Carga volumétrica permisible (kg DQO/ m^3 día).

Para conocer el funcionamiento y por ende las eficiencias de remoción y funcionamiento biológico de la unidad de tratamiento, es necesario el muestreo rutinario del afluente y efluente del reactor.

Un resultado con fiable del funcionamiento del reactor se puede obtener a partir de una muestra puntual. Sin embargo, se deja abierta la posibilidad de prever esporádicamente un análisis de muestra compuesta cada 4 horas durante un día.

La factibilidad de llevar a cabo este monitoreo, dependerá de la disponibilidad de medios y de la infraestructura del laboratorio.

En cuanto a los muestreos del afluente (aguas residuales), los parámetros a controlar serán:

- Temperatura, pH, caudal, los cuales se medirán diariamente.
- DQO, DBO, ST, SST, SSV, sulfatos, los que serán controlados semanalmente.
- Nutrientes (nitrógeno total y amoniacal, fosfatos), ácidos grasos volátiles, analizados una vez por mes.

Los parámetros importantes para la evaluación del comportamiento del reactor son los siguientes:

DQO, DBO, ST, SST, SSV, alcalinidad, pH, temperatura, nitrógeno total y amoniacal, fosfatos, sulfatos y ácidos grasos volátiles.

En cuanto a la frecuencia de estos muestreos, se prevé lo siguiente:

- La medida de la temperatura y pH se hará todos los días.
- El monitoreo de los parámetros, alcalinidad, DQO, DBO, ST, SST, SSV y ácidos grasos volátiles, se hará por lo menos una vez por semana (lo más recomendable es dos veces por semana).
- El monitoreo de los parámetros, nitrógeno total y amoniacal, fosfatos, sulfatos, grasas y aceites, se hará una vez por mes (lo más recomendable es una vez por semana).

En términos de DQO, se espera que el efluente líquido del reactor tenga una concentración del orden de 20 a 40% respecto del afluente.

▪ **Medición de la producción de gas**

Para el control óptimo de la producción de gas, es necesario disponer de un medidor en la tubería de gas donde se efectuará la lectura diaria.

La producción de gas podrá evaluarse teóricamente a partir de la DQO removida, utilizando una relación aproximada de 0.15 a 0.25 m³ metano/kg DQO removido.

En la referencia 5 se exponen algunos métodos de recolección y análisis de biogás para determinar concentración y composición. .

Como proyecto futuro, la planta deberá contemplar un sistema de medición y eventual aprovechamiento del gas, para así poder ratificar los valores reportados por la bibliografía.

Será necesario diseñar facilidades para almacenar, purificar el gas y usarlo con un propósito útil o sencillamente quemarlo.

El gas producido induce una mezcla y un contacto más estrecho entre el agua residual y el lodo, de tal forma que mientras mayor sea la producción de gas, mayor será la mezcla en el reactor y menor será el riesgo de provocar canalizaciones a través del manto de lodos. En la medida que pueda ser evaluada la producción de gas, el operador deberá verificar que esta producción sea del orden de $1.0 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{-día}$ ó superior, a fin de asegurar la mezcla en el reactor.

Por otro lado, una reducción en la producción de gas revela la presencia de condiciones desfavorables para las bacterias metanogénicas (pH alto o bajo) o la presencia de tóxicos en el afluente.

▪ **Observación del efluente**

La observación visual de la calidad del efluente debe ser una labor de rutina diaria, ya que nos dará una indicación del funcionamiento de la planta. En condiciones normales de operación, el efluente debe tener aspecto claro, con bajo contenido de lodo. Una sobrecarga del reactor se manifiesta en una alta turbiedad del efluente y la presencia de sólidos sin digerir (gris), producto del arrastre de lodos. Esta última situación se presenta generalmente durante el período de arranque del reactor.

Cuando se observen síntomas de sobrecarga se debe buscar la causa en la producción de gas, aforos de caudal y muestreos de afluente y efluente.

Cuando exista una alta concentración de lodos en el efluente, es posible también que el reactor contenga demasiado lodo, en cuyo caso se debe purgar o extraer lodo hacia el lecho de secado.

▪ **Muestreo y extracción de lodo**

El muestreo de lodos se debe realizar para estimar la cantidad de lodo en el reactor y para evaluar su calidad. Ésta se expresa como actividad metanogénica, estabilidad y sedimentabilidad, representados por la determinación de ácidos volátiles, alcalinidad, potencial redox, sólidos totales y volátiles, nitrógeno total y amoniacal, DQO, DBO, pH y temperatura, cuyas pruebas de laboratorio deben ser consideradas rutinariamente una vez por mes.

Además, se debe observar la forma o distribución del lecho de lodo dentro del reactor, a través de muestreos en distintos niveles. Para tal efecto, se sugiere muestrear a 1 y 2 m, medidos desde el fondo del reactor, siguiendo la misma metodología propuesta expuesta anteriormente.

Como referencia, se puede establecer que en condiciones normales la forma del lodo en cuanto a concentración será de 100 mg/l en el fondo del lecho. En la mitad del comportamiento de digestión ésta será de 50 mg/l y justamente debajo de las campanas es muy baja. Si la concentración de lodo es parecida en los distintos niveles del reactor, el lodo es de mala calidad.

La extracción se debe efectuar cuando el lodo alcance el nivel inferior de la campana. Se recomienda hacer perfiles de lodos en altura con una rutina, semanal o quincenal, de tal forma que se mantenga constante la cantidad de lodo en el reactor. De todas formas, se espera que la cantidad de lodo producido en este tipo de tratamiento sea pequeña.

En la tabla No. 2 se dan las pautas para la obtención de datos operacionales del RAFA.

Tabla No. 2. Obtención de datos operacionales del RAFA

ÍTEM	PARÁMETRO	UNIDAD	FÓRMULA
01	Eficiencia DBO ₅ (total y soluble)	%	$\text{Eficiencia} = \frac{A - E}{A}$
02	Eficiencia OQO (total y soluble)	%	$\text{Eficiencia} = \frac{A - E}{A}$
03	Eficiencia ST	%	$\text{Eficiencia} = \frac{A - E}{A}$
04	Eficiencia SST	%	$\text{Eficiencia} = \frac{A - E}{A}$
05	Eficiencia SSV	%	$\text{Eficiencia} = \frac{A - E}{A}$
06	Eficiencia nitrógeno amoniacal	%	$\text{Eficiencia} = \frac{A - E}{A}$
07	Tasa hidráulica superficial	m ³ /m ² día (ó m/h)	Tasa= Q/Área
08	Tasa hidráulica volumétrica	m ³ /m ³ día	Tasa= Q/V
09	Tasa de aplicación de carga	kg DQO/m ³ día	$\text{Tasa} = \frac{\text{DQO}_A * Q}{V_{\text{lodo digestor}}}$
10	Tasa de aplicación de carga	kg DQO / kg SSV/ día	$\text{Tasa} = \frac{\text{DQO}_A * Q}{\text{SSV}_{\text{lodo digestor}}}$
11	Tiempo de retención hidráulica teórico	horas	TR= V/Q
12	Tiempo de retención hidráulica real	horas	$T = \frac{\sum t_i * C_i}{\sum C_i}$
13	Tiempo de retención del lodo (ver 18)	días	$\theta_c = \frac{V_{\text{lodo digestor}}}{V_{\text{lodo descartado}}} * \frac{1}{30}$
14	Velocidad ascensional (ver 07)	m/h	v =H/t = Q/Área
15	Producción de biogás (% CH ₄)	L/kg ST _{rem}	$\text{prod. biogás} = \frac{L(\text{CH}_4)}{(ST_A - ST_E)}$
16	Producción de biogás (% CH ₄)	L/kg SSV _{rem}	$\text{prod. biogás} = \frac{L(\text{CH}_4)}{(\text{DQO}_A - \text{DQO}_E)}$
17	Producción de biogás (% CH ₄)	L/kg DQO _{rem}	$\text{prod. biogás} = \frac{L(\text{CH}_4)}{(ST_A - ST_E)}$
18	Producción de biomasa (exceso de lodos)	kg ST/PE (ó m ³ lodo/PE) (ó kg SST/m ³ desagüe)	$\text{PE} = \frac{\text{DQO}_A * Q}{\text{población}}$

Donde:

A: Afluente E: Efluente

V: Volumen Q: Caudal

8.7.2. Mantenimiento del RAFA

El mantenimiento se define como la actividad que permite el sostenimiento de las estructuras (obras civiles) y equipos de la planta. Incluye la limpieza de las instalaciones, lubricación de equipos, revisión de piezas especiales (válvulas de corte), sustitución total o parcial o reparación de piezas deterioradas. Todo lo anterior debe quedar registrado ya sea en el libro o bitácora del operador, como en tarjetas de control donde se registre el mantenimiento realizado, la fecha, y quién ejecutó el trabajo.

En lo que respecta a las estructuras, el mantenimiento está orientado a maximizar la vida de servicio de éstas.

En el caso del mantenimiento del reactor, éste se reduce a vaciar parcialmente el reactor y remover el material sólido del fondo del reactor cuando se obstruyen las salidas de la tubería de alimentación. Se estima que esta labor debe hacerse una vez cada cinco años, dependiendo de la eficiencia del desarenador. En ningún caso se puede producir el vaciado total, ya que de ser así se requeriría una nueva puesta en marcha o arranque del sistema, lo cual involucraría mayor tiempo de lo requerido.

Para poder realizar el mantenimiento del reactor se debe considerar una obra de desviación o by-pass. Si no se puede proveer esta solución, entonces la planta deberá quedar fuera de operación durante el período de limpieza.

En cuanto a la limpieza misma del fondo del reactor, el procedimiento es el siguiente:

- Cortar el suministro de agua residual afluente.
- Utilizar una bomba para lodos, que puede ser del tipo portátil (a petróleo o eléctrica) autocebante, de 5 l/s o más de capacidad, además de dos mangueras flexibles (una de succión y otra de impulsión), ambas de diámetro igual o superior a 4", a fin de evitar obstrucciones en la tubería. La tubería de impulsión deberá tener una longitud mínima de 10 m, en tanto que la tubería de succión deberá tener una longitud no inferior a 20 m a fin de alcanzar, en lo posible, toda la superficie de fondo. Al respecto, cabe señalar que esta operación de limpieza será muy dificultosa debido a que se trabajará con el reactor lleno. Para ello, se tendrá especial cuidado en dirigir la tubería al lugar deseado. La tubería se introducirá hacia el interior del reactor por el compartimiento de acceso al interior del reactor y a lo largo del separador de fases.

Con ayuda del equipo, bombear el lodo hacia el lecho de secado. Se debe vaciar la cantidad estrictamente necesaria, a fin de no afectar las condiciones de biomasa del digester.

- Finalizada la extracción de lodos, se procede a reiniciar la alimentación del caudal de aguas residuales a la planta. Si es necesario remover una mayor cantidad de lodos, la frecuencia de limpieza en el fondo del reactor dependerá básicamente del tiempo que demore el lecho en deshidratar el lodo.

8.8. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN FACULTATIVAS

Los principales procesos que se desarrollan en las lagunas son: sedimentación; digestión de lodos; estabilización aerobia de la materia orgánica con consumo de CO₂; fotosíntesis, con formación de algas y producción de O₂ y consumo de CO₂; y remoción de bacterias y parásitos.

8.8.1. Operación de las lagunas

Durante la operación de las lagunas, el operador debe garantizar el funcionamiento continuo y adecuado del sistema hidráulico y del proceso biológico.

La operación de las lagunas deberá contemplar un trabajo rutinario semanal y trabajos ocasionales. En general, el trabajo semanal consistirá en:

1. Limpieza de las estructuras que determinan el funcionamiento hidráulico de las lagunas (canalizaciones y vertederos de entrada y salida);
2. Determinación de parámetros de control; y
3. Observaciones al afluente y efluente para la correcta evaluación del funcionamiento biológico de las lagunas.

8.8.1.1. Operación del funcionamiento hidráulico

Todas estas interconexiones (tuberías y vertederos) deben ser controladas para asegurar una buena distribución, tanto en el afluente como efluente de la laguna.

Como parte de la operación rutinaria, se debe prevenir la proliferación de vectores (zancudos, mosquitos, etc.) que pueden desarrollarse en los bordes de agua. Para removerlos, se sube el nivel de agua en las lagunas unos 20 cm o hasta el nivel de aguas máximas por cortos períodos (dos días) y se vuelve al nivel inicial. Las larvas perecen por efecto de la inundación provocada. Por consiguiente, la oscilación periódica del nivel del agua en la laguna, contribuye a mantener el control de los mosquitos. Este aumento de nivel se puede conseguir con la colocación de compuertas manuales de PVC en las cámaras.

Por ningún motivo se emplearán elementos químicos (plaguicidas o insecticidas) que pueden causar efectos nocivos en la biomasa de las lagunas. Esta operación

se hará cada vez que se requiera, pero por lo menos debe realizarse una vez al mes en el verano, y cada dos meses en invierno.

8.8.1.2. Operación del proceso biológico

En este tipo de lagunas, la materia orgánica disuelta o suspendida será metabolizada por bacterias heterotróficas que consumen el oxígeno producido por las algas fotosintéticas (cuya proliferación está directamente ligada con la temperatura y la radiación solar), las cuales a su vez captan el CO₂ liberado por las bacterias, en tanto que el lodo sedimenta en el fondo, donde se produce su digestión natural. La permanencia de éste es aproximadamente de dos años.

Por otro lado, la carga orgánica debe limitarse estrictamente dado que el oxígeno disuelto, originado dentro de la laguna, varía en forma horaria y con la profundidad, siendo su mayor concentración en la superficie.

Sin embargo, el objetivo principal de las lagunas es la remoción. Esto se consigue garantizando los períodos de retención que se han propuesto en el diseño.

En cuanto a la masa de agua de las lagunas, la superficie del líquido debe mantenerse libre de sólidos flotantes que no hayan sido removidos en los tratamientos anteriores. Éstos podrán corresponder a natas, grasas o aceites, papel, sólidos flotantes de menor tamaño, etc.



Figura No. 4. Operación de limpieza de natas en lagunas

Estos materiales deben removerse utilizando una especie de cuchara o paleta grande de malla metálica con un asa metálica larga. El material removido debe enterrarse de igual forma que los sólidos atrapados en las rejillas y desarenador, para evitar su contacto con insectos.

Por otro lado, en las lagunas existe a veces crecimiento excesivo de algas. Muchas flotan en la superficie y forman una nata gruesa que perjudica el normal funcionamiento de la unidad, debido a que interfiere en el paso de la luz solar. Esta nata es empujada por el viento a las orillas, produciendo olores

desagradables. Por lo tanto, deben ser removidas tan frecuentemente como sea necesario.

En otros casos, especialmente cuando la profundidad es baja y la temperatura del agua es elevada, las capas de lodo pueden desprenderse del fondo y ascender a la superficie; estas masas de residuos se acumulan generalmente en las esquinas y deben ser disgregadas para que sedimenten en el fondo. También pueden ser extraídas con la cuchara y depositadas en el lecho de secado. Si se optara por la dispersión, ésta se puede llevar a cabo agitando con rastrillo o aplicando chorros de agua con manguera.

8.8.2. Prevención de olores

Durante el proceso biológico producido al interior de las lagunas, es posible que se presenten efectos ambientales desfavorables ante una falta de equilibrio de las condiciones de la laguna, es decir, la simbiosis que debe producirse entre las bacterias y las algas. Dentro de los efectos negativos más importantes está la proliferación de malos olores. Las causas de estos olores pueden ser producto de:

1. Sobrecargas orgánicas (mayores a las previstas en el diseño);
2. Escasa población de algas por falta de nutrientes;
3. Cargas violentas o cambio en el tipo de agua servida, como por ejemplo la presencia de una alta concentración de sulfatos, cloruros, etc.

Por otro lado, a consecuencia de una mala operación y mantenimiento, usualmente es posible que provengan olores desagradables de depósitos de lodo flotante y vegetación en putrefacción en algunos casos. Por lo tanto, se deberán tomar las medidas necesarias para evitar tales situaciones.

El problema de malos olores se puede solucionar agregando los nutrientes que faltan, los cuales pueden conocerse haciendo un análisis químico del agua. Los nutrientes principales que deben estar presentes en la laguna son los nitratos y fosfatos.

El procedimiento para prevenir los malos olores será como se señala a continuación:

- i) El tratamiento con nitrato de sodio eliminará el olor con buenos resultados en dosis del orden de 20-25 % del oxígeno requerido para satisfacer la DBO del agua residual.

Los efectos del nitrato de sodio, llamado también "salitre", son:

- Proporciona oxígeno para que exista descomposición aerobia.
- Estimula el crecimiento de algas y otros organismos que mediante fotosíntesis proporcionan oxígeno adicional.
- Mantiene en la laguna una reacción alcalina.

ii) El tratamiento con cal permite controlar la acidez en una laguna.

Las aguas residuales con altos contenidos de compuestos del azufre, pueden causar efectos negativos en la biomasa de algas del agua de las lagunas, como toxicidad y la proliferación de ambientes con pH ácidos por la reducción de los componentes oxigenados (sulfatos) con la consiguiente producción de ácido sulfúrico. Para evitar esta situación, se debe mantener en la laguna un pH entre 7.5 y 9.0, agregando dosis adecuadas de cal. De esta forma, se evitará un incremento en la producción de sulfuros y consecuentemente el mal olor. En cuanto a estos problemas operacionales y otros que se puedan presentar como complemento a lo expuesto en este manual.

8.8.3. Muestreo del afluente y efluente

El programa propuesto y la frecuencia de las observaciones que se deben llevar a cabo en esta unidad se presentan en la tabla No. 3.

Tabla No. 3. Programa de determinaciones de campo para lagunas

PARÁMETRO	FRECUENCIA	LUGAR DE MUESTREO	OBSERVACIONES
Color	Diaria	E-L	Descripción subjetiva
Olor	Diaria	E-L	A las 10:00 a.m.
Temperatura	Diaria	E-L	De 10:00 a.m. a 12:00 m.
	Semanal	E-L	De 10:00 a.m. a 12:00 m.
Sólidos sedimentables	Semanal	E-L	De 10:00 a.m. a 12:00 m.
Penetración de la luz	Diaria	L	A las 12:00 m.
pH	Semanal	E-L	De 10:00 a.m. a 12:00 m.

Donde:

L = Lagunas

E = Efluente

Dentro de los parámetros que revisten mayor interés desde el punto de vista práctico para el operador y para el cual se tendrán que tomar en cuenta las respectivas indicaciones, son los siguientes:

* **Oxígeno disuelto -OD- (obtenido por el método de Winkler):**

Es imprescindible fijar el oxígeno en el terreno, inmediatamente después de tomar la muestra. De lo contrario, el resultado dependerá en gran medida del tiempo que transcurra entre la toma de la muestra y su fijación.

* **Temperatura del agua:**

Debe medirse directamente en la laguna o en los conductos. En ningún caso se debe medir en las botellas de muestreo, ya que el agua rápidamente adquiere una temperatura de equilibrio entre su temperatura original y la del

envase.

- * **pH:**
Cuando se usa papel sensible (comparador), debe comprobarse permanentemente la calidad de éste, para evitar una medición incorrecta de este importante parámetro.
- * **DBO:**
Debe transcurrir el menor tiempo posible entre la toma de la muestra y el inicio del análisis, ya que la velocidad de consumo de oxígeno es máxima en los primeros minutos. Se recomienda máximo 6 horas, con refrigeración.
- * **Color:**
Indica el estado general de los microorganismos en las capas superficiales de la unidad.

Del análisis de este parámetro, es posible emitir algún juicio respecto del comportamiento de las lagunas, el que puede presentarse así:

- a) Color verde oscuro y parcialmente transparente: buenas condiciones.
- b) Color café-amarillento o muy claro: crecimiento de crustáceos que inducen a la disminución de algas, OD y emisión de olores.
- c) Color gris o café oscuro: laguna sobrecargada.
- d) Color verde-lechoso: proceso de autofloculación.
- e) Color azul-verdoso: crecimiento de algas azul-verdosas productoras de nata.

8.8.4. Mantenimiento de las lagunas

Las lagunas de estabilización son las unidades menos problemáticas y de menor costo en lo que se refiere a mantenimiento. Por lo tanto, no amerita que se efectúe un programa de mantenimiento preventivo detallado.

El mantenimiento preventivo y correctivo estará orientado a las obras civiles, siendo las principales:

- a. Limpieza periódica de las obras de llegada: Canales de entrada y salida de las lagunas a fin de remover las películas biológicas formadas en las paredes.
- b. Limpieza de natas y material flotante de las lagunas.
- c. Limpieza del material vegetal que pueda proliferar en los taludes de los diques. En una laguna de estabilización se presentan dos tipos de vegetación: acuática y terrestre.

La vegetación terrestre se elimina por corte y representa un problema de mantenimiento diario. Si esta vegetación ha invadido los taludes, se puede aplicar algún plaguicida, como arsenito de sodio: en proporción de 20 g por metro cuadrado, lo cual elimina todo crecimiento por 3 a 4 años. En ningún caso se debe suministrar el plaguicida en la masa de agua.

La vegetación acuática crece en el fondo o a lo largo de los taludes interiores de los diques y, en general, presenta un crecimiento exagerado que puede provocar malos olores. El crecimiento de este tipo de malezas debe evitarse a toda costa, lo cual es factible manteniendo el máximo nivel de agua posible.

En la eventualidad de que la maleza de fondo se presente, existen dos formas de control: por remoción mecánica o por medio de elementos químicos.

- **Remoción mecánica:** se drena la laguna completamente a través de la arqueta de desagüe y se deja secar la vegetación hasta que pueda quemarse o removerse mecánicamente. Posteriormente, se debe impermeabilizar el fondo de la laguna, debido a que la remoción de raíces destruye la capa de arcilla usada en la impermeabilización.
 - **Uso de elementos químicos (como última opción):** se drena el líquido de la laguna y se cortan los tallos de la maleza tan cerca del fondo como sea posible, luego de llenar la laguna a una profundidad de 30 cm o lo suficiente para cubrir los extremos de los tallos, se introduce "Benoclor" bajo la superficie del agua por medio del rociador a presión, de modo que se cubra toda el área. Se aplica 140-470 litros de Benoclor por hectárea. Después de varios días, la laguna se pone nuevamente en servicio. El tratamiento es efectivo por un período de 1-3 años.
- d. Mantenimiento de los diques para minimizar el efecto erosivo del agua y del viento. La erosión por acción del viento es difícil de controlar con la laguna en operación. Una medida efectiva de controlarla es recubrir los taludes interiores, poniendo previamente fuera de funcionamiento la laguna.
- e. Reposición de tapas de hormigón de de las cámaras de repartición de caudales afluentes y efluentes a las lagunas.

▪ **Remoción de lodos de las lagunas**

Una actividad que se debe contemplar en las lagunas de estabilización es la remoción de sus lodos de fondo, debido a que la acumulación de lodos representa una pérdida o rebaja del volumen útil de la laguna.

No obstante, el operador deberá medir la altura de lodos al menos una vez al año, a fin de que este nivel no supere 50% del volumen de la laguna. La forma de medir

la acumulación de lodos es sumergir una vara pintada de blanco en la extremidad inferior y medir el nivel de lodos.

Para realizar la remoción de los lodos, es necesario proceder previamente al drenaje del volumen de agua. Para tal efecto, se deberá extraer gradualmente las compuertas ó accionar las válvulas.

El drenaje debe efectuarse hasta alcanzar un nivel mínimo, de forma que no se produzca arrastre de lodo por el efluente y que éste pueda quedar expuesto al ambiente. Posteriormente, se debe esperar a que el secado se produzca por evaporación, hasta alcanzar un contenido de sólidos del orden de 35 % o hasta el momento en que el lodo pueda ser manejado en forma fácil con pala. Es aconsejable que la operación de secado se realice en verano, período en que se dispone de mayores temperaturas. Se prevé que para estas condiciones, el secado durará uno o dos meses.

Finalmente, la extracción del lodo, de la laguna será manual o con ayuda de equipo pesado, para finalmente ser almacenado en el lugar destinado al acopio de los lodos provenientes de los lechos de secado. El lodo podrá utilizarse posteriormente como acondicionador de suelos para fines agrícolas.

Después de removerse todos los lodos, se llenará nuevamente la laguna para recuperar la capacidad de tratamiento. El procedimiento de llenado será igual al considerado durante el arranque inicial de la planta.

8.9. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL REACTOR UASB

Según el tamaño requerido se debe diseñar uno o más reactores. La razón para construir dos módulos o más es poder continuar operando la planta en capacidad parcial, cuando se está efectuando mantenimiento a un módulo. Además en caso del vaciado de un módulo este puede ser inoculado con lodo del otro módulo para realizar el re-arranque.

8.9.1. Operación del Reactor UASB

- **Estructuras de repartición de caudal**

La repartición del caudal se hace normalmente sobre vertederos triangulares ó rectangulares, los cuales son muy sensibles a obstrucciones y más aún para la repartición de un caudal, donde la obstrucción de un vertedero resulta en mayor caudal en los demás vertederos. Ya que el buen funcionamiento de un reactor UASB depende de una distribución igual sobre el fondo del reactor, el mantener limpio los vertederos en las cajas de división de caudal y de distribución es de vital importancia. Esta limpieza debe efectuarse por lo menos una vez al día.

- **Tubería de alimentación**

Estas tuberías llevan el afluente desde las cajas de distribución al fondo del reactor. Los puntos de entrega cubren uniformemente el área del fondo del reactor. En el tiempo se pueden formar obstrucciones en estos tubos, lo que se puede observar en la cabeza estática entre la columna de agua en el tubo y el nivel del agua en el reactor. En el caso de obstrucción completa el vertedero correspondiente al tubo de alimentación estará ahogado.

Diariamente se debe observar el funcionamiento de los tubos de alimentación. Cuando la cabeza estática en un tubo aumenta se debe limpiar el tubo. Esto se realiza con un chorro de agua, introduciendo una manguera por la tubería, hasta que el tubo funcione normalmente. Bajo ninguna circunstancia se pueden introducir varillas, palos o elementos rígidos.

- **Canaletas de recolección**

La recolección uniforme del efluente es de igual importancia que la distribución del afluente sobre el fondo. Para lograr una recolección uniforme es importante que todos los vertederos de las canaletas tengan un flujo libre. Esto puede ser impedido por obstrucción de vertederos o por cambios en el comportamiento hidráulico de las canaletas por acumulación de sólidos en ellos. Para garantizar el buen funcionamiento se deben limpiar los vertederos de las canaletas mínimo diariamente. Cada semana, o según la situación, se deben barrer las canaletas.

- **Sistema de muestreo y purga de lodo**

El sistema de flauta tiene una tendencia a taparse después de un tiempo de no utilizarlo, mas que todo en el punto mas bajo. Esto se debe a la longitud de la tubería y la densidad del lodo, que hacen que se forme un tapón de lodo espeso en el final de la tubería. En este caso se debe limpiar la tubería desde arriba con una manguera, en la misma forma que la tubería de alimentación.

- **Tubería de conducción de lodo**

La tubería que conduce el lodo del .pozo de purga de lodo hacia los lechos de secado u otro sistema de disposición de lodo debe ser lavada con agua después de cada utilización, ya que esta está propensa a obstruirse debido a la sedimentación de lodo en la tubería.

- **Medición de caudal**

Para garantizar un funcionamiento apropiado el caudal con la cual la planta está funcionando debe ser de acuerdo con los criterios con los cuales la planta fue diseñada. Como medida de control el aforo del caudal se emplea ocasionalmente, durante diferentes horas del día para determinar el tiempo de retención hidráulico (TRH) promedio, mínimo y pico.

- **Muestreo de afluente y efluente**

El muestreo de afluente y efluentes la única forma para establecer las eficiencias de remoción y el funcionamiento biológico del reactor UASB.

En el transcurso de un día grandes variaciones en caudal y carga contaminante ocurren en un colector. Por lo tanto un dato confiable del funcionamiento de un reactor solamente puede ser obtenido con base en muestras compuestas y en ningún caso de muestras puntuales. Esto se puede ilustrar por el hecho que el efluente saliendo del reactor en cierto momento corresponde a un efluente que entró en promedio hace un tiempo igual al TRH. Entonces 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.

La frecuencia de los muestreos de afluente y efluente depende del fin que tenga el muestreo.

Los principales parámetros que son de importancia para la evaluación del comportamiento del reactor son los siguientes:

DQO, DBO, SST, SSV, Temperatura, Alcalinidad, pH, Nitrógeno y Fósforo.

El monitoreo de estos parámetros se puede realizar semanal o mensualmente, complementados con observaciones visuales.

- **Medición de la producción de gas**

Para un control óptimo es aconsejable colocar un medidor de gas en la tubería de gas para tomar una lectura diariamente. En el caso de tener un reactor con campanas abiertas, se puede evaluar la producción de gas a ojo (intensidad de burbujeo), y por experiencia evaluar un comportamiento normal. Una baja considerable en la producción de gas significa en general la presencia de condiciones no favorables al ambiente óptimo para las bacterias metanogénicas, como pH alto o bajo o la presencia de tóxicos en el afluente. Aunque la

probabilidad que tal circunstancia se presente con plantas operadas con aguas residuales domésticas es muy baja, la observación de la producción de gas debe ser considerada fundamental en la operación de la planta, ya que es un indicador del funcionamiento del corazón del reactor: el lodo metano génico.

▪ **Observación del efluente**

La observación visual de la calidad del efluente da una indicación del funcionamiento de la planta. En una situación normal el efluente debe tener un aspecto claro y debe contener muy poco lodo. Una sobrecarga del reactor se manifiesta en una alta turbiedad del efluente y la presencia de sólidos sin digerir (gris) en el efluente. Esta situación se presenta en el arranque del reactor y debe ser considerado como normal para esta fase. A medida que se desarrolla el lodo, la calidad del efluente mejorará. Cuando se observa los sin tomas de sobrecarga en un reactor en pleno funcionamiento, la producción de gas, aforos de caudal y muestreos de afluente y efluente deben aclarar la razón para la sobrecarga.

La presencia de altas concentraciones de lodo en el efluente indica arrastre del lodo. Esta situación se presenta cuando el reactor contiene demasiado lodo, en cuyo caso se debe purgar lodo o cuando la carga hidráulica es demasiado grande. Ya que ambas situaciones pueden ocurrir solamente durante parte del día, la observación de la calidad del efluente se debe efectuar a diferentes horas del día.

▪ **Muestreo y purga de lodo**

El muestreo de lodo se realiza para estimar la cantidad de lodo en el reactor y para evaluar su calidad.

La calidad se expresa como actividad metanogénica, estabilidad y sedimentabilidad que son pruebas de laboratorio y se observa mediante la forma del lecho de lodo.

Las pruebas de laboratorio aquí mencionadas son fáciles de realizar y deben ser ejecutadas en forma rutinaria mensualmente.

La forma del lecho de lodo en condiciones normales será así: la forma del lodo en cuanto a concentración será de 100 mg/l en el fondo del lecho. En la mitad del comportamiento de digestión ésta será de 50 mg/l y justamente debajo de las campanas es muy baja. Si la concentración de lodo es parecida en los distintos niveles del reactor, el lodo es de mala calidad.

La purga de lodo se debe hacer cuando el lodo alcanza el nivel inferior de las campanas. Normalmente la purga se realiza por el punto de muestreo en la mitad del reactor. Se recomienda establecer una rutina semanal o quincenal de tal forma que se mantenga la cantidad de lodo en el reactor más o menos constante. En la práctica la forma de operar los lechos de secado determinará la frecuencia de la purga de lodo.

▪ **Capa flotante**

Cuando las canaletas de efluente están provistas de baffles, siempre se formará una capa flotante en la superficie. Esta capa alcanzara un espesor de unos centímetros y no causará molestias.

Bajo ciertas condiciones, por ejemplo sobrecarga o presencia de altas concentraciones de grasa la capa flotante tiene una tendencia de crecer. En este caso se debe remover la capa periódicamente para evitar que cause daños en los baffles. Se debe remover la capa del reactor y disponer el material como desechos sólidos. Bajo ninguna circunstancia se debe devolver el material al reactor vía el sistema de distribución o dejarlo arrastrar con el efluente. Lo primero porque la capa flotante consiste de un material que ya fue rechazado por el lodo y lo más probable es que el mismo material forma una nueva capa flotante. Lo segundo porque el material flotante tiene una alta carga orgánica.

8.9.2. Mantenimiento del Reactor UASB

Al mantenimiento corresponden los actos dedicados al sostenimiento de las estructuras y equipos de la planta. El mantenimiento de una planta es muy diverso y depende en gran parte de la calidad y cantidad de materiales y equipos existentes en la planta.

El mantenimiento de los equipos generalmente está prescrito por el fabricante de estos. En cuanto a las estructuras el sentido común proveerá la guía para efectuar el mantenimiento necesario para maximizar el tiempo de servicio de estas.

El mantenimiento asociado con el proceso de tratamiento se reduce a remover el material sólido del fondo del reactor, cuando este está obstruyendo las salidas de la tubería de alimentación. Este hecho se observa en un taponamiento frecuente de estos tubos, localizado en la salida de la tubería. El mantenimiento consiste en vaciar el reactor y remover el material sólido. La frecuencia se estima en una vez en 5 a 10 años, dependiendo de la eficiencia del desarenador y el aporte de arena del colector.

8.10. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS LECHOS DE SECADO

En general, el lecho de secado corresponde a un proceso natural, en que el agua contenida intersticialmente entre las partículas de lodos es removida por evaporación y filtración a través del medio de drenaje de fondo. En este sistema no es necesario adicionar reactivos ni elementos mecánicos ya que está previsto un secado lento.

Los lechos de secado son el lugar de disposición de exceso de lodos que se retiran periódicamente de las diferentes unidades de tratamiento, ya sea parcial o totalmente digeridos, para su deshidratación y reducción de volumen a niveles de

concentración adecuados para el posterior manejo en su disposición final. Esta unidad cuenta con un medio filtrante conformado por arena y grava, además de un sistema de drenaje por donde desaguan los líquidos.

En ningún caso se podrá aplicar sobre el lecho, lodo crudo o fresco debido a que éstos pueden presentar serios problemas como malos olores y proliferación de insectos.

8.10.1. Operación de los lechos de secado

El operador deberá controlar que a través de la tubería de desagüe fluya el efluente percolado del drén, debido a que la mayor parte del agua libre puede removerse en menos de un día. Pasado este primer período de drenaje, el secado seguirá básicamente por medio de la evaporación. Se formará una camada cada vez más pobre en agua, con lo cual se observará una reducción del volumen, tanto en dirección vertical como horizontal.

A partir de este momento, en la superficie se comenzará a ver la formación de grietas.

Este proceso, sumado a la remoción manual con el rastrillo, permitirá acelerar el proceso de evaporación porque aumenta la superficie expuesta al aire.

El tiempo para el secado completo del lodo variará con las condiciones climáticas y meteorológicas imperantes al momento de llevar a cabo la extracción de lodos. Por tal razón, es aconsejable programar la extracción en época de altas temperaturas. Se prevé que para dicho período, el tiempo de secado puede considerarse entre 20 y 30 días. Se estima que el secado del lodo permitirá reducir la humedad de 90 a 95% (contenida en el lodo) a valores entre 55 y 65%.

Por lo expuesto anteriormente, el control operativo a llevar a cabo en el lecho de secado se centra en las siguientes actividades:

- **Control de drenaje del fondo del lecho:** consistente en una verificación visual del escurrimiento del líquido percolado hacia la red de desagüe de la planta de tratamiento. En caso de que el escurrimiento sea mínimo o no se produzca, se concluirá que el medio filtrante, básicamente la camada de arena, se ha colmatado.

Por consiguiente, el proceso de deshidratación se llevará a cabo sólo por evaporación, en cuyo caso el tiempo de secado será mayor.

- **Control de seguimiento y medida del descenso de la capa de lodo:** El operador llevará un registro diario del nivel de descenso, a fin de determinar posteriormente el tiempo que demora el lodo en deshidratarse. Simultáneamente, se llevará un control de su composición en cuanto al contenido de humedad, concentración de sólidos volátiles y calidad bacteriológica.

▪ **Disposición del material sobrante:**

- Los lodos que se retiren de los lechos de secado, se deben almacenar en la ramada destinada para estos y disponerlos en pilas para que terminen su proceso de estabilización, para reutilizarlos luego como mejoradores de suelos o transportarlos al relleno sanitario para su disposición final.
- Para que no se presenten malos olores en los lechos de secado o en las pilas de estabilización, se debe regar cal sobre la superficie de estos.

No se deberá esparcir lodo en el lecho cuando éste ya contenga una carga anterior en fase de secado.

La frecuencia de muestreo será la siguiente:

- a. Contenido de humedad y concentración sólidos volátiles. Cada dos días durante los primeros 10 días. Posteriormente, se aumentará la frecuencia a una vez por semana, hasta que se estabilice el porcentaje de humedad.
- b. Calidad bacteriológica. Una vez por semana.

Con los resultados obtenidos de estos seguimientos, se podrá determinar la frecuencia mínima de extracción de lodos de las diferentes unidades de tratamiento para su posterior deshidratación.

Finalmente, cuando el lodo haya alcanzado el porcentaje de humedad establecido por las pruebas de seguimiento, se retirará del lecho y se depositará en algún lugar de acopio o de disposición final previamente asignado por el jefe de la planta. El apilamiento de los lodos no deberá alcanzar una altura mayor de 2 m.

8.10.2. Mantenimiento del lecho de secado

En cuanto al mantenimiento del lecho, éste consistirá en reemplazar la arena perdida durante la remoción del lodo seco, por arena nueva de igual calidad a la señalada en el proyecto.

Igualmente, se debe prevenir el crecimiento de vegetales de todo tipo.

En el caso eventual de que el lecho muestre una tendencia a colmatarse, toda la capa de arena debe reemplazarse por arena de una granulometría mayor en cuanto a la gradación y tamaño efectivo.

9. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO INDIVIDUAL (TANQUE SÉPTICO + FAFA).

9.1. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL TANQUE SÉPTICO.

Para lograr un óptimo funcionamiento del tanque séptico se deben tener en cuenta los siguientes cuidados

- Se usará únicamente papel higiénico, otro tipo de material dañará el sistema; en lo posible no se debe permitir el paso del papel higiénico hacia la tasa sanitaria.
- No se usarán desinfectantes ni productos químicos porque estos inhiben los procesos biológicos que ocurren en el tanque.
- Cuando se abandone el tanque séptico, deberá llenarse con piedra o tierra.
- Deberá impedirse la entrada de aguas superficiales al tanque.
- Para evitar los inconvenientes y malos olores que ocurren en el inicio de la operación de los tanques, se recomienda la introducción de lodo proveniente de tanques sépticos antiguos o, en la ausencia de estos, suelo rico en humus o estiércol fresco, con el fin de proporcionar las bacterias necesarias para la descomposición de la materia orgánica.
- Cuando el tanque séptico en funcionamiento produzca malos olores, será conveniente adicionar una sustancia alcalinizante, como por ejemplo cal.

Cuando se realiza la limpieza del tanque séptico, se deben guardar las siguientes precauciones:

- No deberá lavarse ni desinfectarse el tanque, después de la evacuación del lodo, ya que debe dejarse una cantidad de lodo para propósitos de inoculación y reactivación del proceso de digestión.
- En el momento de efectuar la operación de limpieza, deberá tenerse cuidado de no entrar en el tanque hasta que sea profusamente ventilado y los gases se hayan desalojado, para evitar riesgos de explosión y asfixia.

Dentro del tanque séptico por procesos físicos de sedimentación y flotación se forman tres capas bien definidas: una capa de lodos en el fondo; una capa flotante de natas en la superficie y la capa intermedia líquida que es la que fluye hacia afuera en la medida en que entran las aguas negras.

Las capas de lodo y de natas van aumentando paulatinamente y por lo tanto se hace necesaria su limpieza antes de que se acumule demasiado. Si el lodo o las natas se acercan mucho al dispositivo de salida, las partículas serán arrastradas a los sistemas posteriores de tratamiento y atascarán al sistema. Finalmente, cuando esto suceda el líquido puede brotar a la superficie del terreno.

Mantenimiento

Los tanques sépticos son estructuras de larga vida, pero para que funcionen correctamente hay que limpiarlos con regularidad, aproximadamente cada seis meses, para determinar cuándo se deben extraer las natas de la superficie y los lodos del fondo.

Inspección

Cada doce meses se debe inspeccionar medir la profundidad de la capa de natas y el espesor de la capa de lodo y determinar el momento en el cual deben ser extraídos. La inspección se hace así:

▪ **Procedimiento para medir la profundidad de las natas:**

- Se construirá una vara de 1,8 metros de largo con una aleta articulada de 15 cm x 15 cm.
- La vara se empujará a través de la capa hasta el borde inferior del tubo de conexión.
- Se hará una marca con el lápiz en la vara.
- Se subirá la vara, la aleta se pondrá en posición horizontal y se levantará hasta que la resistencia de la nata se sienta.
- Se hará una marca con el lápiz en la vara.
- El espacio entre las dos marcas determinará la distancia que hay entre el extremo inferior del tubo de conexión y la parte inferior de la capa de nata.

▪ **Procedimiento para medir el espesor de la capa de lodo:**

- Tomar una vara de 2 m aproximadamente y forrarla en un extremo con una toalla o trapo preferiblemente blanco.
- Introducir lentamente la vara con la punta forrada hacia abajo hasta tocar el fondo del tanque.
- Después de tres o cuatro minutos se retira la vara lentamente y se mide la parte de la vara que sale untada de lodo.
- El tanque requiere la limpieza cuando la profundidad de lodos sobrepasa el 30% de su altura.

▪ **Limpieza del tanque séptico**

Existen muchas formas para extraer las natas y lodos. Algunas de ellas son.

- Prepare un cucharón utilizando una vara lo suficientemente larga y un recipiente metálico o plástico de 20 a 30 cm de diámetro y 5 a 15 cm de profundidad.
- Con el cucharón retire cuidadosamente las natas.
- Cuando haya terminado de sacar las natas, con cuidado para no mezclar los lodos y el agua, dirigir el cucharón hacia el fondo para extraer los lodos.
- Deberá dejarse una pequeña capa de lodos ya que estos contienen las bacterias que se necesitan para que continúe el proceso biológico del sistema.

▪ Disposición de lodos y natas

Los lodos y natas extraídos serán dispuestos de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

- Las natas y los lodos extraídos del tanque séptico contienen alguna porción sin digerir que sigue siendo nociva y puede representar un peligro para la salud. Dicho lodo no podrá ser utilizado inmediatamente como abono, pero para ello se podrán mezclar convenientemente con otros residuos orgánicos (desechos sólidos, hierba cortada, etc.), y solamente se usaran en cultivos cuyos productos no se ingieran crudos.
- Si no se usan como abono, se deberán enterrar en zanjas de 60 cm de profundidad en sitios no habitados.
- No se permite su descarga directa a corrientes de agua, al alcantarillado, al suelo, ni podrán ser depositados descuidadamente sobre el terreno.

9.2. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL FAFA

El filtro anaerobio al igual que el tanque séptico tratan las aguas residuales mediante un proceso biológico, por esta razón no deben descargarse sustancias químicas o tóxicas en el afluente al pozo séptico.

El FAFA debe inspeccionarse cada 4 meses aproximadamente y si la tubería de salida del agua del tanque séptico está completamente sumergida en el agua, el filtro requiere mantenimiento. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Retirar el tapón de la rosca ó la tapa de acceso al sistema.
2. Extraer el agua del filtro a través del tapón de rosca en la Tee de entrada por medio de una motobomba de bajo caudal y baja presión. Esto en caso de no contar con válvula de purga.
3. Llenar el tanque del FAFA con agua que contenga de 5 a 7 kilos de cal disuelta por cada 1000 litros de filtro y dejar reposar por 24 horas aproximadamente.
4. Extraer el agua con cal, adicionando agua limpia sobre el filtro hasta que salga clara el agua.
5. Colocar el tapón ó la tapa y colocar el sistema nuevamente en funcionamiento.

Los lodos y las natas se deben depositar en un hueco al cual se le adiciona cal antes y después de su disposición, luego se tapa el hueco con tierra.

10. PROGRAMA DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE CONTROL

En el establecimiento de los criterios de control de calidad de los efluentes de cada proceso de tratamiento se deben contemplar las determinaciones y evaluaciones de parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.

En el caso del proceso anaerobio de flujo ascendente, el objetivo principal es estabilizar la materia orgánica sin presencia de oxígeno, el cual requiere la formación de biomasa. Para esto, se requiere efectuar varias determinaciones y calcular diversos parámetros de control del proceso, como por ejemplo:

- La demanda bioquímica y química de oxígeno en el afluente y efluente
- Los niveles de sólidos totales y volátiles de entrada y salida
- Niveles de ácidos grasos volátiles y sulfatos
- Medidas de la acumulación de sólidos biológicos
- Niveles de coliformes fecal es y parásitos.

Con la determinación de lo anterior, se pueden calcular algunos parámetros de control:

- La carga orgánica del proceso
- La eficiencia de remoción de materia orgánica y de bacterias
- Medidas de la actividad metanogénica, estabilidad y sedimentabilidad
- La producción de sólidos biológicos del proceso
- La producción de gas metano.

Respecto a las lagunas de estabilización, el principal objetivo es la remoción de bacterias patógenas y, en segundo orden, la acumulación de lodos biológicos y su digestión anaerobia en el fondo si se presentan condiciones adecuadas para el mantenimiento de la actividad fotosintética con algas unicelulares.

Para conseguir dichos objetivos, es necesario realizar el control de las siguientes mediciones:

- La demanda bioquímica y química de oxígeno total y soluble en el afluente y efluente
- Los niveles de sólidos totales y volátiles de entrada y salida, como medida de acumulación de sólidos biológicos y del desarrollo de biomasa de algas
- El nivel de oxígeno en forma ocasional
- Niveles de coliformes fecales y parásitos
- Observaciones visuales en la laguna, como coloración de las aguas
- Niveles de clorofila.

Con estas determinaciones, se pueden calcular algunos parámetros de control, como:

- La carga orgánica superficial del proceso
- La eficiencia de remoción de materia orgánica y de bacterias
- La actividad fotosintética
- La producción de sólidos biológicos del proceso
- Los requisitos de limpieza del proceso.

De acuerdo con los criterios de control establecidos en los puntos anteriores, a continuación se detalla el programa de muestreo y de mediciones, así como las pruebas a realizarse en condiciones de rutina. En caso de que el caudal afluente a la planta sea constante, no se considera necesario el muestreo compuesto. Lo mismo ocurre con las unidades de tratamiento, ya que en éstas las capacidades de almacenamiento absorben las variaciones horarias tanto de caudal como de concentraciones. Sin embargo, es aconsejable prever en algún momento un muestreo compuesto de 24 horas en las aguas residuales crudas, a fin de ratificar los valores de concentración adoptadas en la evaluación de las eficiencias de remoción.

A manera de programa tentativo de mediciones, se presenta como anexo 1 el cuadro 1, en el que se señala la frecuencia de muestreo en cada uno de los procesos de tratamiento, en tanto que en los cuadros restantes se indica el lugar de la determinación y los parámetros a medir para el control operativo.

Para las determinaciones diarias semanales de rutina en los efluentes, tales como las demandas y coliformes, se sugiere alternar los análisis entre cada unidad, con el fin de no sobrecargar de trabajo al laboratorio.

PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR UN MUESTREO COMPUESTO

La caracterización de las aguas residuales a la entrada y salida de las PTAR, consiste básicamente en el aforo y muestreo sistemático (cada media hora) de alícuotas proporcionales al caudal medido, durante toda la jornada de funcionamiento de la planta hasta componer las muestras del afluente y efluente.

Dichas muestras deberán llevarse a un laboratorio debidamente certificado, para realizarles los análisis de los parámetros que permitan establecer la eficiencia de la PTAR y dar cuenta del nivel de remoción de DBO y SST, así como de la carga contaminante final descargada en el cuerpo de agua, para efectos del cobro de las tasas retributivas (Decreto 901/97).

El procedimiento para realizar un muestreo compuesto de ARU en las PTAR, comprende los siguientes pasos:

- En un frasco o tarro de boca ancha debidamente marcado con el sitio de muestreo, tomar una muestra de 4 ó 5 litros como mínimo y homogenizarla, mezclando vigorosamente antes de sacar el volumen requerido de alícuota.
- Acto seguido debe hacerse la lectura de la lámina de agua en la canaleta Parshall ó en el medidor de caudal existente en la PTAR para obtener el caudal en el momento de la toma de la muestra y registrarlo en una tabla de datos elaborada para ello.
- Como el volumen de cada alícuota (muestra cada media hora) debe ser proporcional al caudal instantáneo medido y como cada una de las 30 alícuotas debe depositarse en el recipiente donde se compondrá la muestra total que debe tener como mínimo 4 ó 5 litros, dicha muestra debe componerse así:

- * De la primera muestra se saca un volumen de alícuota inicial, $V_0 = 200 \text{ ml}$; a partir del segundo aforo y muestreo (media hora después del primer muestreo) se debe calcular el volumen de alícuota proporcional al caudal instantáneo medido, que deberá agregarse en el recipiente donde se irá componiendo la muestra, basándose en la siguiente fórmula:

$$V_i = 200 \text{ ml} * \left(\frac{Q_i}{Q_0} \right)$$

Donde:

V_i = Volumen de alícuota (ml) que debe tomarse a partir de la segunda muestra

Q_i = Caudal en el momento instantáneo en que se toma la muestra "i"

Q_0 = Caudal inicial en el momento de tomar la primera muestra

- * Los volúmenes de cada alícuota se deben depositar en una garrafa de 5.000 ml debidamente marcada (con el sitio de muestreo) y permanecer refrigerada desde el momento en que se agregue la primera alícuota, hasta el momento de la entrega de la muestra compuesta en el laboratorio, para su respectivo análisis.
- * Los reportes de cada toma de muestra se deben registrar en la tabla de datos.

11. PUNTOS CRÍTICOS QUE INFLUYEN NEGATIVAMENTE EN EL FUNCIONAMIENTO DE LAS PTAR

El objetivo de este capítulo es identificar los puntos críticos que influyen negativamente en el funcionamiento de las PTAR. Éstos son básicamente:

- **De infraestructura:** se refieren a elementos auxiliares que han sido omitidos del diseño o están deteriorados con el uso
- **De operación:** se refiere a los procedimientos efectuados
- **Seguridad:** tanto de infraestructura, equipo de protección y rutinas de seguridad
- **El nivel cognoscitivo de los operadores:** se refiere a las capacitaciones recibidas, conocimiento de los procedimientos, etc.

Lo anterior se resume en la tabla No. 4.

Tabla No. 4. Puntos críticos que influyen negativamente en el funcionamiento de las PTAR

PUNTO CRITICO	OBSERVACIONES
INFRAESTRUCTURA(No se toman en cuenta los de diseño o construcción)	Deterioro de elementos debidos a falta o inadecuada limpieza, falta de elementos de medición de caudal (puntos de control, reglas, etc.), válvulas rotas, omisión o deterioro de acabados.

OPERATIVOS	Falta o limpieza incompleta de elementos, procedimientos de limpieza inadecuados, no se lleva control de operaciones realizadas (limpiezas, mediciones de caudal, toma de muestras, etc.), no se tiene control de tiempos, períodos o cantidad de lodos extraídos, mala disposición final de desechos.
SEGURIDAD	Falta de elementos de seguridad como barandas en elementos altos o escaleras, cerca perimetral, rótulos preventivos o informativos, falta de recubrimiento antideslizante alrededor de tanques y otros elementos, falta o deterioro de equipo de seguridad, falta de botiquines de primeros auxilios.
NIVEL COGNOSCITIVO	Falta de capacitaciones periódicas, desconocimiento de la importancia del uso del equipo de protección, carencia de listado de actividades a realizar y períodos y procedimientos de realización, falta de registros, desconocimiento de métodos correctos de disposición de residuos.

Además de los puntos críticos, se determinaron los parámetros de operación físicos e hidráulicos, que pueden ser fácilmente cuantificados o apreciados por los operadores con ayuda de equipo sencillo o por simple observación, los parámetros seleccionados se presentan a continuación:

Tabla No. 5. Parámetros de control

TIPO DE PARAMETRO		PUNTO DE CONTROL/ELEMENTO
FÍSICOS	Profundidad de lodos	Tanques y lagunas
	Natas y flotantes	Tanques y lagunas
	Producción de gases	Cámaras de gases
	Producción de espuma	Tanques y canaletas
	Olor	Para todos los elementos
	Vegetación	Lagunas, respiraderos, canaletas y patios
	Puntos muertos de aireación	Superficie de filtros y tanques
HIDRÁULICOS	Encharcamientos	Superficie de filtros y lechos de secado
	Caudal Promedio	Entrada de la planta (medidor de caudal)
	Fluctuaciones	Calculado en base a las medidas del caudal registradas en los formularios.

12. ESQUEMAS TECNOLÓGICOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

12.1. CONSIDERACIONES

Este documento contiene los esquemas tecnológicos que se incluyen en el modelo conceptual de selección de tecnología para el control de contaminación por aguas residuales domésticas.

Para definir los esquemas tecnológicos que se incluyeron en el modelo de selección se realizó una revisión de la literatura de las características de las tecnologías base para la formulación de los esquemas las cuales fueron condensadas de las fichas de caracterización; se tuvieron en cuenta las experiencias en Colombia sobre las diferentes alternativas existentes para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, evaluando su potencial de aplicación en el país; así mismo se consideraron aspectos tales como la compatibilidad operacional entre alternativas, cumplimiento de diferentes niveles de tratamiento y los requerimientos de área.

Se proponen un total de 104 esquemas tecnológicos para el tratamiento de las aguas residuales domésticas; distribuidos en 5 categorías como se observa en la Tabla No. 6.

Tabla No. 6. Número de esquemas de tratamiento de acuerdo con la categoría

Categoría	Numero de Esquemas
Nivel de tratamiento primario	5
Nivel de tratamiento secundario	33
Nivel de tratamiento terciario con remoción de nutrientes	32
Nivel de tratamiento terciario con remoción de patógenos	28
Tratamiento y disposición en terreno	6

Así mismo, se realizó una revisión de literatura y experiencias para desarrollar los esquemas para el manejo de lodos; a partir de esta se definen 9 esquemas tecnológicos que incluyen manejo de lodos crudos y estabilizados.

Otras consideraciones:

- Todos los esquemas tecnológicos incluyen tratamiento preliminar con o sin desarenador, se define como nivel mínimo de tratamiento el primario.
- Para los tratamientos por métodos naturales como lagunas de estabilización y humedales se consideran 2 opciones para impermeabilización de acuerdo con la permeabilidad del terreno, con recubrimiento de suelo natural o geomembrana, duplicando los esquemas de tratamiento que incluyen estas alternativas.
- Se llamará Lodos Activados las variedades comprendidas por: Lodos Activados Convencionales, Lodos Activados Mezcla Completa, Lodos Activados Alimentación Escalonada.
- Como Tecnologías de Oxidación Total se denominará a: Lodos Activados Aireación Extendida y Lodos Activados Zanjias de Oxidación.
- En los esquemas de tratamiento, de lodos los lechos de secado deben traer cubiertas en zonas de alta pluviosidad. Así que se denominaran en los esquemas como lechos de secado con cubierta y su abreviatura es LSC.

12.2. LISTADO DE ABREVIATURAS

12.2.1. Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales

Tpr1	Tratamiento preliminar de Rejilla Gruesa + Rejilla Fina
Tpr2	Tratamiento preliminar de Rejilla Gruesa + Rejilla Fina + Desarenador
P	Esquema tecnológico para tratamiento primario
S	Esquema tecnológico para tratamiento secundario
TN	Esquema tecnológico para tratamiento terciario con remoción de nutrientes

TP	Esquema tecnológico para tratamiento terciario con remoción de patógenos
DP	Esquema tecnológico para tratamiento y disposición en terreno
S1C	Sedimentador primario convencional
S1A	Sedimentador Primario Alta Tasa
S2	Sedimentador secundario
TS	Tanque Séptico
SISAR	Sistemas de Infiltración Subsuperficial
FIA	Filtros Intermitentes de Arena
LA	Laguna Anaerobia
LAr	Laguna Anaerobia con revestimiento artificial
LF	Laguna Facultativa
LFr	Laguna Facultativa con revestimiento artificial
LM	Laguna de Maduración
LMr	Laguna Maduración con revestimiento artificial
LLA	Laguna con Lenteja de Agua
LLAr	Laguna con Lenteja de Agua con revestimiento artificial
HFL	Humedal de Flujo Libre
HFLr	Humedal de Flujo Libre con revestimiento artificial
HFS	Humedal de Flujo Subsuperficial
HFSr	Humedal de Flujo Subsuperficial con revestimiento artificial
IL	Infiltración Lenta
IR	Infiltración Rápida
FS	Flujo Superficial
LAc	Lodos Activados Clásicos
LAOC	Lodos Activados Oxidación Completa
LASBR	Lodos Activados Tipo Secuencial por Tandas
LAi	Laguna Aireada
LAir	Laguna Aireada con revestimiento
BioD	Biodiscos
FP	Filtro Percolador
FA	Filtro Anaerobio
UASB	Reactor UASB

12.2.2. Tecnologías para el manejo de lodos

L	Esquema para manejo de lodos
EG	Espesamiento por gravedad
DA	Digestión Aerobia
DAn	Digestión Anaerobia Convencional
LS	Lechos de secado
EA	Estabilización Alcalina
LSc	Lechos de secado con cubierta
Lar	Lagunas de lodos con revestimiento

12.3. ESQUEMAS TECNOLÓGICOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

12.3.1. Esquemas para nivel de tratamiento primario

Tabla No. 7. Esquemas para Nivel de Tratamiento Primario

Número	Esquema	
	Preliminar	Primario
P1	Tpr2	S1C
P2	Tpr2	S1A
P3	Tpr1	TS
P4	Tpr1	LA
P5	Tpr1	LAr

12.3.2. Esquemas para nivel de tratamiento secundario

Tabla No. 8. Esquemas para Nivel de tratamiento secundario

Número	Esquema		
	Preliminar	Primario	Secundario
S1	Tpr2	S1C	BioD + S2
S2	Tpr1	TS	FA
S3	Tpr2		FA
S4	Tpr2	S1C FP +S2	
S5	Tpr2		LAI
S6	Tpr2		LAIr
S7	Tpr2		LAOC+ S2
S8	Tpr2	S1C	LAc + S2
S9	Tpr2		LASBR (2 unidades)
S10	Tpr2		UASB
S11	Tpr2		UASB + FP + S2
S12	Tpr2	S1A	HFL
S13	Tpr2	S1A	HFLr
S14	Tpr2	S1A	LFr
S15	Tpr2	S1A	LFr
S16	Tpr2		UASB + LF
S17	Tpr2		UASB + LFr
S18	Tp1	TS	HFL
S19	Tpr1	TS	HFLr
S20	Tpr2	S1A	HFS
S21	Tpr2	S1A	HFSr
S22	Tpr1	TS	HFS
S23	Tpr1	TS	HFSr
S24	Tpr1	TS	LF

Número	Esquema		
	Preliminar	Primario	Secundario
S25	Tpr1	TS	LFr
S26	Tpr1	LA	HFL
S27	Tpr1	LAr	HFLr
S28	Tpr1	LA	HFS
S29	Tpr1	LAr	HFSr
S30	Tpr1	LA	LF
S31	Tpr1	LAr	LFr
S32	Tpr2		LF (2 en series)
S33	Tpr2		LFr (2 en series)

12.3.3. Esquemas para nivel de tratamiento terciario con remoción de nutrientes

Tabla No. 9. Esquemas para Nivel de Tratamiento Terciario con Remoción de Nutrientes

Numero	Esquema			
	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
TN1	Tpr1	TS	FA	HFL
TN2	Tpr1	TS	FA	HFLr
TN3	Tpr1	TS	FA	HFS
TN4	Tpr1	TS	FA	HFSr
TN5	Tpr1	TS	FA	LLA
TN6	Tpr1	TS	FA	LLAr
TN7	Tpr2	S1C	FP + S2	HFL
TN8	Tpr2	S1C	FP + S2	HFLr
TN9	Tpr2	S1C	FP + S2	HFS
TN10	Tpr2	S1C	FP + S2	HFSr
TN11	Tpr2	S1C	FP + S2	LLA
TN12	Tpr2	S1C	FP + S2	LLAr
TN13	Tpr2		LAi	HFL
TN14	Tpr2		LAir	HFLr
TN15	Tpr2		LAi	HFS
TN16	Tpr2		LAir	HFSr
TN17	Tpr2		LAi	LLA
TN18	Tpr2		LAir	LLAr
TN19	Tpr2	S1A	LF	LLA
TN20	Tpr2	S1A	LFr	LLAr
TN21	Tpr2	S1A	LF	HFL
TN22	Tpr2	S1A	LFr	HFLr
TN23	Tpr2	S1A	LF	HFS
TN24	Tpr2	S1A	LFr	HFSr
TN25	Tpr1	TS	LF	LLA

Numero	Esquema			
	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
TN26	Tpr1	TS	LFr	LLAr
TN27	Tpr2		LAOC+ S2	HFL
TN28	Tpr2		LAOC+ S2	HFLr
TN29	Tpr2		LAOC+ S2	HFS
TN30	Tpr2		LAOC+ S2	HFSr
TN31	Tpr2		LAOC+ S2	LLA
TN32	Tpr2		LAOC+ S2	LLAr

12.3.4. Esquemas para nivel de tratamiento Terciario con remoción de Patógenos

Tabla No. 10. Esquemas para Nivel de Tratamiento Terciario con remoción de Patógenos

Número	Esquema			
	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
TP1	Tpr2	S1A		FIA
TP2	Tpr2	TS	FA	LM
TP3	Tpr2	TS	FA	LMr
TP4	Tpr2	S1	FP + S2	LM
TP5	Tpr2	S1	FP + S2	LMr
TP6	Tpr2	S1A	HFL	LM
TP7	Tpr2	S1A	HFLr	LMr
TP8	Tpr2	S1A	HFS	LM
TP9	Tpr2	S1A	HFSr	LMr
TP10	Tpr2		LAi	LM
TP11	Tpr2		LAir	LMr
TP12	Tpr2	S1A	LF	LM
TP13	Tpr2	S1A	LFr	LMr
TP14	Tpr2		LAOC+ S2	LM
TP15	Tpr2		LAOC+ S2	LMr
TP16	Tpr2		UASB	HFL
TP17	Tpr2		UASB	HFLr
TP18	Tpr1	LA	HFS	LM
TP19	Tpr1	LAp	HFSr	LMr
TP20	Tpr1	LA	LF	LM
TP21	Tpr1	LAp	LFr	LMr
TP22	Tpr1	TS	HFL	LM
TP23	Tpr1	TS	HFLr	LMr
TP24	Tpr2		LF (2 en serie)	LM
TP25	Tpr2		LFr (2 en serie)	LMr
TP26	Tpr1	LA		FIA

Número	Esquema			
	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
TP27	Tpr1	LAp		FIA
TP28	Tpr1	TS		FIA

12.3.5. Esquemas para sistemas de tratamiento y disposición en Terreno

Tabla No. 11. Esquemas para Sistemas de Tratamiento y disposición en Terreno

Número	Esquema			
	Preliminar	Primario	Secundario	Terciario
DT1	Tpr2	S1A		SISAR
DT2	Tpr1	LAr		SISAR
DT3	Tpr1	TS		SISAR
DT4	Tpr2		LFr	IR
DT5	Tpr2		LFr	IL
DT6	Tpr2		LFr	FS

12.4. ESQUEMAS TECNOLÓGICOS PARA EL MANEJO DE LODOS

Tabla No. 12. Esquemas para Manejo de Lodos

Número	Esquema
Lodos Crudos	
L1	EG + DA + LS
L2	EG + DA + LSc
L3	EG + DAn + LS
L4	EG + DAn + LSc
L5	EG + EA + LS
L6	EG + EA + LSc
Lodos Estabilizados	
L7	LS
L8	Lsc
L9	Lar

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. YÁNEZ C., Fabián. Lagunas de estabilización, teoría, diseño, evaluación y mantenimiento. IEOS. Quito, 1992.
2. UNIVERSIDAD DEL VALLE, CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA, UNIVERSIDAD AGRÍCOLA DE WAGENINGEN. Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodo (UASB). Santiago de Cali, 1987.
3. AID. Operating and maintaining stabilization ponds. Washington, D.C., 1982.
4. CUBILLOS Z., Armando. Dimensionamiento de reactores anaeróbicos de manto de lodos (UASB), Lima, CEPIS, 1990.
5. MANSUR AISSE, Miguel. Tratamiento de desagües domésticos en reactores anaeróbicos de flujo ascendentes en manto de lodos. Lima, CEPIS, 1985.
6. WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION. Operation of wastewater treatment plants. (WPCF, A Manual of Practice, 11). Washington, D.C., 1985.
7. ROMERO CRISTALES, Manlia Alicia del Rosario. Manual de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. El Salvador
8. UNIVERSIDAD DEL VALLE - UNIVERSIDAD AGRÍCOLA DE WAGENINGEN. Arranque y operación de sistemas de flujo ascendente con manto de lodo UASB. Cali 1987.
9. UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. Manual del curso tratamiento anaeróbico de aguas residuales, microbiología y bioquímica. Medellín 1988.
10. Curso sobre digestión anaeróbica en reactores de flujo ascendente. Curitiba, Estado de Paraná, Brasil 1987.
11. Operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de Aguas Residuales. Memorias de seminarios latinoamericanos. ACODAL, Valle, Agosto 20-24 de 1990.
12. PÉREZ MOLINA, Francisco. Influencia de la carga hidráulica y la concentración del sustrato en el arranque de reactores UASB. Universidad del Valle, 1997.
13. CUERVO Muriel Ingenieros. Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Municipio de Venecia.

14. SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE "SENA". Programa de Titulación de Operadores de Plantas de Potabilización, Centro La Salada, Caldas - Antioquia, 2001.
15. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de Aguas Residuales. Escuela Colombiana de Ingeniería, Segunda Edición, Bogotá, Agosto de 2003.

14. ANEXOS

ANEXO 1. Formularios para el control rutinario de operación y mantenimiento

A partir de las indicaciones impartidas en el manual, a continuación se presentan los formularios de control de la operación, mantenimiento y monitoreo de la calidad de las aguas residuales crudas y de los efluentes para algunas unidades de tratamiento.

Descripción de los formularios:

- **Cuadro 1.** Denominado "Programa de actividades para el arranque, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales". En este se indican todas las actividades a realizar durante el funcionamiento la planta.
 - ✓ Actividades preliminares: se incluyen todas las labores a realizar en el control directo de la operación de las unidades de tratamiento, especialmente desde el punto de vista de los procesos biológicos.
 - ✓ Actividades complementarias: se agrupan todas las tareas de operación y de mantenimiento de las unidades de pretratamiento e interconexiones hidráulicas, requeridas para el buen funcionamiento de los procesos de tratamiento.

- **Cuadro 2:** En este formulario se da cuenta del programa de muestreo de calidad de los efluentes de las unidades de tratamiento y afluente de las aguas residuales, que incluyen los parámetros a medir en cada punto con su respectiva frecuencia de análisis.

- **Cuadros 3 al 6:** Corresponden a la caracterización de la calidad de los efluentes de algunas de las unidades de tratamiento y afluente de las aguas residuales.

CUADRO No. 1. PROGRAMA DE ACTIVIDADES PARA EL ARRANQUE, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

UNIDAD	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	
		Período de Arranque	Período de operación
I.- ACTIVIDADES PRELIMINARES			
CONTROL DE UNIDADES DE TRATAMIENTO Y AGUAS RESIDUALES			
REACTOR RAFA	Muestreo y análisis de efluente: pH, Temperatura	diaria	diaria
	Muestreo y análisis de efluente: DQO, DBO, ST, SST, SSV Ácidos grasos volátiles, alcalinidad	semanal cada dos días	semanal semanal
	Muestreo y análisis de efluente: Nitrógeno total y amoniacal Fosfatos, sulfatos, grasas y aceites	semanal mensual	mensual mensual
	Medición de biogás (% CH ₄)	diaria	semanal
	Medición profundidad de lodos	semanal	semanal ó quincenal
	Muestreo y análisis de lodos: Alcalinidad, potencial redox, ácidos volátiles Nitrógeno total y amoniacal, DBO, DQO, pH, temperatura. Coliformes fecales	semanal mensual	mensual mensual
	Determinación de eficiencias	semanal	semanal
	Evaluación de la operación	semanal	mensual
LAGUNA FACULTATIVA	Muestreo y análisis de efluente: DQO, DBO total y soluble, SST, SSV, temperatura Sulfuros, sulfatos Coliformes fecales, pH, oxígeno disuelto	quincenal quincenal semanal	mensual mensual quincenal
	Muestreo y análisis en la laguna: Color, olor, penetración de la luz, temperatura Sólidos sedimentables, pH	diaria semanal	diaria semanal
	Control de llenado	diario	diario
	Medición de profundidad de nivel de agua	semanal	semanal
	Medición de profundidad de lodos	anual	anual
	Determinación de eficiencias	semanal	semanal
	Evaluación de la operación	semanal	mensual

UNIDAD	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	
		Período de Arranque	Período de operación
I.- ACTIVIDADES PRELIMINARES			
CONTROL DE UNIDADES DE TRATAMIENTO Y AGUAS RESIDUALES			
	Muestreo y análisis de afluente: Temperatura, pH	diaria	semanal
AGUAS RESIDUALES CRUDAS	Muestreo y análisis de afluente: DQO, DBO, ST, SST, SSV, Sulfatos	semanal	semanal
	Muestreo y análisis de afluente: Nitrógeno total y amoniacal Ácidos grasos volátiles, coliformes fecales	mensual	mensual
	Muestreo y análisis de lodos en lecho: Alcalinidad, contenido de humedad, sólidos volátiles, ST Coliformes fecales	quincenal semanal	cada dos días semanal
	LECHO DE SECADO	Muestreo y análisis de líquidos percolados: Coliformes fecales, DQO, DBO	una vez
	Extracción de lodo seco	---	eventual
	Evaluación de la operación	una vez	una vez
II.- ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS			
CONTROL DE UNIDADES DE TRATAMIENTO Y AGUAS RESIDUALES			
SISTEMA PRELIMINAR	limpieza manual	dos veces por día	dos veces por día
CRIBADO	limpieza manual	semanal	semanal
DESARENADOR	determinación de caudal afluente a planta	diaria	diaria
MEDICION y REGULACION DE CAUDALES	determinación de caudal efluente cada unidad	semanal	semanal
	verificación de asentamientos	diaria	mensual
DIQUES DE LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	inspección visual	diaria	diaria

CUADRO No. 2

CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES CRUDAS	
DIA	PARÁMETROS

Anexo 2¹. Parámetros de control de los procesos anaerobios

1. Estudio de las fracciones líquida y gaseosa

Los principales parámetros utilizados para acompañar y evaluar un proceso anaerobio son:

- Volumen y composición de biogás .
- Temperatura .
- pH .
- Ácidos grasos volátiles .
- Alcalinidad .
- Potencial de óxido-reducción .
- DBO/DQO .
- Sólidos totales y volátiles .
- Carbono/Nitrógeno/Fósforo .
- Amoníaco .
- Sulfatos/Sulfuros .

Dependiendo de las características del agua residual, muchos de estos parámetros pueden ser ignorados.

• Volumen de gases producidos

El biogás es sin duda el producto más importante del proceso anaerobio; además de su valor energético (50-70% metano), la producción de cantidades elevadas de gas indica que la materia orgánica inicial ha sido degradada hasta el límite posible en anaerobiosis.

El volumen de gas producido es el mejor indicador del buen o mal funcionamiento del proceso. Cuando ocurre un desbalance en el proceso, la primera señal es la reducción en la cantidad de gases producidos, lo que ocurre antes del aumento en la concentración de ácidos volátiles.

Esto es debido al hecho de que los problemas de proceso generalmente se reflejan con mayor intensidad en las bacterias metanogénicas, ocurriendo por tanto reducciones bruscas en la producción de gas. Esto hace que los ácidos volátiles se acumulen pues continúan siendo formados sin ser consumidos.

¹ Extraído de: *Control de una planta de tratamiento anaerobio: parámetros, operación y mantenimiento*. Elaborado por Patricia Torres Lozada, Ing. Sanitaria. MSc Hidráulica y Saneamiento, Universidad del Valle. Presentado en: Curso-Taller Internacional sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Cali, Feb./Mar. 1995

- **Composición de gases**

Los gases producidos durante la descomposición anaerobia contienen metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) como componentes principales, y pequeñas cantidades de hidrógeno (H_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y nitrógeno (N_2). En la práctica, se determinan las proporciones relativas de metano, gas carbónico y nitrógeno; los otros gases se encuentran en cantidades muy pequeñas.

La composición de los gases producidos suministra un estimativo de su valor combustible (CH_4) y también da una indicación del buen funcionamiento del proceso.

Cuando ocurre alteración del medio ambiente para las bacterias metanogénicas, a través de la variación del pH o la temperatura, aumento de la carga, o introducción de materiales tóxicos, se presenta el desequilibrio entre las dos fases, la producción de metano disminuye y la de gas carbónico aumenta. Así, la composición de gas cambia, indicando alguna perturbación en el proceso.

De manera general, el porcentaje de metano en el gas producido en los reactores anaerobios, varía entre 50 y 70% y el gas carbónico entre 50 y 30%. La composición del gas dependerá del tipo de residuo y de la manera como se desarrolla el proceso.

- **Ácidos grasos volátiles**

Cuando las condiciones óptimas del proceso anaerobio son alteradas, ocurre aumento en la concentración de ácidos grasos volátiles, como consecuencia de un desequilibrio en las dos fases del proceso, la fase acidogénica y la fase de producción de biogás.

Los ácidos volátiles se pueden acumular en los reactores anaerobios por diversos motivos:

- Sobrecarga orgánica (aumentos repentinos en la carga orgánica aplicada).
- Sobrecarga hidráulica (aumentos repentinos en el caudal afluente, a niveles que resulten en lavado de las bacterias metanogénicas).
- Sobrecarga tóxica (aumentos repentinos en las concentraciones de compuestos potencialmente tóxicos).
- Otros factores, como variaciones bruscas de temperatura, pH, etc.

Durante cierto tiempo, las sustancias que ejercen un poder tampón impiden la caída de pH. Solamente cuando toda la alcalinidad del medio no es suficiente para la neutralización de los ácidos volátiles, ocurrirá la caída del pH. Por lo tanto, este parámetro se manifiesta muy tarde para poder corregir las fallas del proceso. Es

importante así, acompañar simultáneamente los valores de pH, alcalinidad y ácidos grasos volátiles existentes.

La medida de los ácidos grasos volátiles es el parámetro que suministra, conjuntamente con la medida del volumen de gas producido, la indicación más inmediata del funcionamiento del proceso.

- **pH**

El pH es uno de los factores más importantes a ser mantenido para obtener una buena eficiencia del proceso. En el proceso anaerobio, el rango de pH óptimo es el resultado de las diversas reacciones que ocurren en el mismo. La mayoría de los autores considera que un pH entre 6.8 a 7.2 corresponde a una condición óptima, si bien es cierto que la digestión es posible en los límites extremos de 6.5 a 7.5. En este rango de pH, el sistema químico que controla la capacidad buffer, es el sistema $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$ que está relacionado al pH o a la concentración hidrogeniónica por la siguiente ecuación de equilibrio:

$$[H] = K_1 * \left\{ \frac{[H_2CO_3]}{[HCO_3^-]} \right\}$$

H_2CO_3 es la concentración en ácido carbónico y depende de la concentración en CO_2 del gas producido en el proceso.

K_1 es la constante de ionización del ácido carbónico.

La gran dificultad de esta determinación, y que impide la mayor utilización del pH como importante y rápido parámetro de control de los reactores anaerobios, es el hecho de que no es posible hacer una medición adecuada de esta variable, pues su determinación implica retirar muestras de los reactores y en estas condiciones, se altera completamente la condición de anaerobiosis de la muestra y, consecuentemente, el pH aumenta.

La única manera de medir este parámetro es a través de un electrodo sensor adaptado al reactor y en constante contacto con el medio. Sin embargo, para efectos de mantenimiento del electrodo, es necesario un sistema que permita su fácil retiro del reactor.

- **Sólidos totales y volátiles (ST y SV)**

El control del proceso de digestión anaerobia depende, entre otros factores, de la carga orgánica aplicada. Ese acompañamiento puede hacerse a través de la medida de los sólidos totales y volátiles de la alimentación. Los sólidos volátiles dan un estimativo de la materia orgánica existente en el residuo.

El rendimiento del proceso en términos de producción de gas o de remoción de materia orgánica depende, entre otros factores, del contenido volátil de los sólidos del sustrato. Por lo tanto, cuanto mayor sea el contenido volátil, mayor será el rendimiento del proceso.

- **DQO/DBO**

La demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), son parámetros que representan indirectamente el contenido de materia orgánica de un residuo a través de la medida de la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar química o biológicamente la materia orgánica.

La medida de la DQO es importante en el proceso anaerobio por las siguientes razones:

- Representa el contenido de materia orgánica del residuo a ser tratado.
- Permite verificar la eficiencia de remoción de materia orgánica del proceso.
- Permite estimar la producción de gases posible de ser obtenida a partir de un residuo determinado.

- **Alcalinidad**

La alcalinidad es la medida de la capacidad de tamponamiento de los componentes del reactor. Es a través de esta medida que se tiene noción de la capacidad del sistema de impedir reducciones bruscas del pH. Dado que las bacterias metanogénicas son muy sensibles a esas variaciones, es importante realizar control de este parámetro.

Cuando los ácidos volátiles aumentan, son neutralizados por la alcalinidad al bicarbonato y se forma la alcalinidad debida a los ácidos volátiles. En ese caso, la alcalinidad total es debida a la alcalinidad al bicarbonato y a los ácidos volátiles y es dada por la siguiente ecuación:

$$AT = AB + (0.85 * 0.833) AV$$

Donde:

AT = alcalinidad total (mg/l como CaCO_3)

AB = alcalinidad al bicarbonato (mg/l como CaCO_3)

AV = ácidos volátiles (mg/l como Acido Acético)

0.85 = 85% de los AGV son medidos por titulación hasta pH 4.0

0.833 = factor de conversión del Ácido Acético a CaCO_3

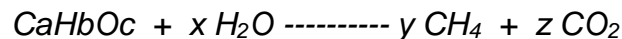
Cuando la alcalinidad debida a los ácidos volátiles supera la alcalinidad debida al bicarbonato, el sistema se inestabiliza, pudiendo sufrir sensibles caídas del pH con cualquier nuevo aumento de los ácidos volátiles.



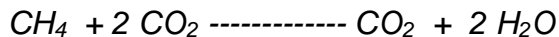
Una buena y fácil manera de controlar el estado de reactores anaerobios es utilizando la relación AGV/Alcalinidad total, la cual debe ser menor que 0.35. Valores mayores indican una posible sobrecarga del sistema. Éste es un control sencillo y excelente como indicador de la estabilidad del proceso que está suficientemente comprobado.

Otra manera, también muy sencilla y confiable para el control de los reactores anaerobios, es la utilización de la relación entre la alcalinidad debida a los bicarbonatos (AP) y la alcalinidad debida a los ácidos grasos volátiles (AI). Durante la operación normal del reactor, se determina cuál es la relación real para el reactor que se está operando.

Cuando se conoce la composición química del desecho, es posible prever la cantidad y composición de gases que deberán ser producidos en el proceso anaerobio, considerando la siguiente relación estequiométrica:



Por otro lado, se asume que toda la DQO removida del sistema es transferida para los gases debido a que el CO_2 no ejerce demanda de oxígeno pues ya se encuentra totalmente oxidado. Así, lo que resta es la DQO correspondiente a metano:



De esta ecuación, se concluye que 1 g de DQO removida corresponde a la producción de 0.35 l de CH_4 , bajo condiciones normales de temperatura y presión ($0^\circ C$ y 1 atm). De este modo, es posible, conociendo la DQO del residuo, estimar la producción de gas metano del mismo.

- **Relación C: N : P**

La composición del sustrato, especialmente las concentraciones relativas de carbono, nitrógeno y fósforo, son esenciales para el buen funcionamiento del proceso anaerobio.

Las proporciones recomendadas para la digestión anaerobia son:

C	:	N	:	P
350	:	5	:	1 para aguas residuales acidificadas
1000	:	10	:	1 para aguas residuales no acidificadas

Cuando las cantidades de nitrógeno son muy elevadas (baja relación C/N), puede ocurrir inhibición del proceso, debido a la formación de amoníaco, principalmente a pH de operación por encima de 8.0.



Para suplir las necesidades de nutrientes, cuando ésta es verificada, se debe adicionar úrea, sulfato de amonio, etc. Otra solución consiste en adicionar al residuo a tratar, otro residuo que contenga altas concentraciones de nitrógeno y/o fósforo.

2. CARACTERIZACIÓN Y CONTROL DEL LODO

Además de la evaluación y control de las fracciones líquida y gaseosa, es importantísimo el estudio de caracterización y posterior evaluación para control del lodo usado como inóculo en el reactor. Los parámetros recomendados son:

- Actividad metanogénica ·
- Estabilidad ·
- Sedimentabilidad ·
- Perfil de lodos

Todos estos parámetros involucran la determinación previa de los sólidos suspendidos volátiles, pues es el parámetro usado como indicador de la presencia de microorganismos en el lodo.

Los tres primeros parámetros indicados son de gran interés durante la fase de caracterización y selección de la semilla más apropiada para la inoculación de un reactor que va a tratar un agua residual específica. El último es usado como parámetro de control durante la operación del reactor y puede ser aplicado tanto para el estudio y monitoreo de la fracción orgánica (DQO), como de la fracción de microorganismos activos presentes (SSV) a lo largo de la altura del reactor.

• Actividad metanogénica específica

La actividad metanogénica es la máxima velocidad de producción de metano y representa indirectamente la fracción de bacterias metanogénicas en el lodo.

La actividad metanogénica se mide bajo condiciones en las cuales el sustrato no es limitante para las bacterias metanogénicas; como sustrato normalmente se utiliza una mezcla de ácidos grasos volátiles en exceso. En estas condiciones, se establece la producción máxima de gas para una cierta cantidad de lodo. En condiciones normales de operación de un reactor a escala real o en la naturaleza, la velocidad de producción de gas será más baja debido a factores como alimentación no óptima o presencia de inhibidores, tales como pH o compuestos tóxicos.

Como el biogás producido no es sólo metano, sino una mezcla de gases como CO₂, H₂S, N₂, etc. y el CO₂ es el principal componente después del metano, durante el ensayo de actividad metanogénica se hace pasar el biogás por una solución de soda cáustica (NaOH), en la cual el CO₂ es absorbido.

La actividad está asimismo relacionada con la cantidad de tiempo que el lodo tiene para adaptarse a los ácidos grasos volátiles del sustrato usado. Generalmente, durante la primera alimentación de los AGV, el lodo está adaptándose así mismo a los AGV del sustrato.

La prueba de actividad metanogénica específica es de gran utilidad tanto durante la fase de selección del lodo a ser usado como semilla para inóculo del reactor, como durante la operación del mismo en la cual se usa como herramienta de control de la calidad del mismo, e indica la ocurrencia de cualquier fenómeno inhibitorio de las bacterias metanogénicas. Las unidades comunes para expresar la actividad metanogénica son g CH₄-DQO/g SSV.día.

- **Estabilidad**

La estabilidad del lodo es una medida de la fracción de materia orgánica digerible en un lodo anaerobio (ml CH₄/g SSV).

Un lodo anaerobio contiene diferentes partes. La estabilidad se mide bajo condiciones en las cuales las bacterias usan los sólidos orgánicos en exceso presentes en la muestra, a una temperatura estándar de 30°C.

El ensayo de estabilidad representa el "blanco" de un ensayo de actividad metanogénica (sin adición de sustrato ni nutrientes). Un lodo de buena calidad tiene una estabilidad < 50 ml CH₄/g SSV.

Este parámetro es utilizado principalmente en la caracterización de la biomasa anaerobia activa presente en un lodo, pero también puede ser utilizado como parámetro de control conjuntamente con la actividad metanogénica.

- **Sedimentabilidad**

La sedimentabilidad permite evaluar el comportamiento de un lodo anaerobio e identificarlo de acuerdo con su buena o mala sedimentabilidad. En reactores anaerobios tipo UASB, la buena sedimentabilidad se presenta cuando la velocidad de sedimentación es mayor que la velocidad ascensional del afluente.

El uso de este parámetro es esencial durante la fase de arranque de un reactor anaerobio tipo UASB, donde el principal objetivo es seleccionar y cultivar lodos que tengan una alta sedimentabilidad. Cuando se tienen lodos granulares, la sedimentabilidad alcanza valores hasta de 20-60 m/h.

- **Perfil de lodos**

El perfil de lodos es un parámetro de control usado en reactores anaerobios de flujo ascendente tipo UASB, que permite:



- Verificar el estado y características del lodo en el reactor.
- Estudiar el comportamiento del lodo cuando se establecen variaciones en el funcionamiento del reactor.

Cuando un reactor UASB ya está funcionando a toda su capacidad y el lodo es activo, se establecen dos partes bien definidas:

- El lecho, donde se encuentran altas concentraciones de sólidos totales y volátiles.
- El manto de lodos, producido por el flujo ascensional del afluente a través del lecho y por la mezcla que establece el gas producido en el lodo.

El perfil de lodos es un excelente parámetro de control y puede indicar entre otras cosas, las siguientes:

- Si el lodo está activo o no .
- Variaciones en el funcionamiento del reactor .
- Cambios en las características del afluente, los cuales producen diferentes respuestas del lodo (ejemplo: lavado del lodo).