

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA



MANUAL DE PRÁCTICAS TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

**Jorge Enrique Moreno Diaz
15 de Octubre de 2008**

CONTENIDO DEL MANUAL DE PRACTICAS DE LA MATERIA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Objetivo General

Que el alumno lleve a la práctica los conocimientos teóricos, para identificar las causas de contaminación en el agua, aplique las técnicas de muestreo y análisis para su prevención y control de dichos contaminantes, además de tener los principios básicos para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Esto se lograra a través de la realización de las siguientes prácticas:

Practica # 1 Simulación de un sistema de distribución del agua.

Objetivo.- Con esta práctica el alumno será capaz de simular un sistema de distribución en una población, tomando en cuenta la disponibilidad del recurso, y además de saber como se debe de hacer la captación de acuerdo a los usos que se le vayan a dar.

Practica # 2 Demostración practica de las diferentes fuentes de contaminación del agua.

Objetivo.- A través de esta practica, el alumno podrá identificar las diferentes fuentes de contaminación, los diferentes tipos de contaminantes, estableciendo la posible solución para su eliminación, haciendo una comparación de la auto purificación del recurso mediante el ciclo hidrológico, señalando los sistemas mas factibles de tratabilidad para su purificación.

Practica # 3 Caracterización del agua residual de acuerdo a la norma vigente

Objetivo.- El alumno será capaz de hacer la caracterización del agua residual, analizando las muestras obtenidas con métodos e instrumentos para los análisis físicos y químicos, de acuerdo con la norma vigente para el análisis del agua residual, y con esta caracterización podrá definir el tipo de tratamiento mas adecuado para el recurso agua.

Practica # 4 Tratamientos preliminares (Parshal flume, criba, trituración y desarenado)

Objetivo.- Después de medir el Flujo a tratar, el alumno aplicara los diferentes métodos de pretratamiento para el agua residual, logrando eliminar los contaminantes mas voluminosos o gruesos mediante el uso de cribas, trituradores, y desarenadores, así como la importancia que tiene la igualación de los flujos, cuando sea necesario.

Practica # 5 Coagulación y floculación a través de la prueba de jarras

Objetivo.- Mediante el uso de la prueba de jarras el alumno encontrara los mejores parámetros de temperatura, pH, agitación y dosificación de reactivos para una efectiva coagulación y floculación y con esto lograr una efectiva sedimentación de los diferentes contaminantes del agua residual. Una vez establecido los parámetros, podrá tener capacidad para dimensionar un tanque de sedimentación primaria.

Practica # 6 Determinación de sólidos sedimentables a mediante el uso de cono Imhof

Objetivo.- Con el dispositivo Cono Imhof el alumno podrá calcula el tiempo efectivo de sedimentación de los contaminantes que sean factibles de sedimentar, ya que este tiempo es un parámetro fundamental para calcular el tamaño de los tanques de sedimentación primarios y secundarios.

Practica # 7 Tratamiento secundario simulando un reactor biológico (lodos activados)

Objetivo.- Mediante esta practica el alumno conocerá las generalidades y principios básicos de los diferentes procesos para un tratamiento biológico, ya sea aeróbico o anaeróbico, descubriendo las ventajas y desventajas de cada sistema, además tendrá una visión de los diferentes sistemas de tratamiento con lodos activados como son los biofiltros, lagunas de estabilización, reactores por lote, etc.

Practica # 8 Eliminación de agentes patógenos del agua residual mediante la desinfección.

Objetivo.- Con esta práctica el alumno será capaz de identificar la mejor dosificación de los diferentes agentes químicos (cloro, ozono, luz ultravioleta) utilizados en la eliminación de agentes patógenos para evitar enfermedades debidas a los efluentes de las aguas residuales, y además conocerá los métodos de eliminación de fósforo y nitrógeno para evitar la eutroficación de los cuerpos de agua.

Practica # 9 Eliminación de partículas mediante los procesos de filtración, adsorción, absorción y osmosis inversa.

Objetivo.- Después de los tratamientos primario y secundario en un sistema, es necesario eliminar partículas demasiado pequeñas que no son sedimentables, con el uso de métodos avanzados, el alumno podrá llevar a cabo la eliminación de estas partículas. Pondrá en practica la filtración, osmosis inversa, absorción, adsorción, etc.

Practica # 10 Tratamiento y disposición de lodos con el uso de lechos de secado

Objetivo.- Después de una caracterización de los lodos, el alumno podrá llevar a cabo el tratamiento de los lodos residuales, mediante el uso de secado por lechos, y una vez secos los lodos podrá hacer la disposición y eliminación de estos.

Practica # 11 Visita a una planta de Tratamiento de aguas residuales

Objetivo.- Para cerrar el curso de tratamiento de aguas residuales, debe de programarse una visita a una planta de tratamiento de aguas residuales, preferentemente que tenga como tratamiento secundario un tratamiento biológico.

Practica # 1

Simulación de un sistema de distribución del agua.

Objetivo.- Con esta práctica el alumno será capaz de simular un sistema de distribución en una población, tomando en cuenta la disponibilidad del recurso, y además de saber como se debe de hacer la captación de acuerdo a los usos que se le vayan a dar.

Introducción.-

La red de abastecimiento de agua potable es un sistema de obras de ingeniería, concatenadas que permiten llevar hasta la vivienda de los habitantes de una ciudad, pueblo o área rural relativamente densa, el agua potable. Componentes del sistema de abastecimiento El sistema de abastecimiento de agua potable más complejo, que es el que utiliza aguas superficiales, consta de cinco partes principales:

- Almacenamiento de agua bruta;
- Captación;
- Tratamiento;
- Almacenamiento de agua tratada;
- Red de distribución.

La red de distribución se inicia en la primera casa de la comunidad; la línea de distribución se inicia en el tanque de agua tratada y termina en la primera vivienda del usuario del sistema. Consta de:

- Estaciones de bombeo;
- Tuberías principales, secundarias y terciarias.

Las estaciones de bombeo son estructuras destinadas a elevar un fluido desde un nivel energético inicial a un nivel energético mayor. Su uso es muy extendido en los varios campos de la ingeniería, así, se utilizan en:

- Redes de abastecimiento de agua potable, donde su uso es casi obligatorio, salvo en situaciones de centros poblados próximos de cadenas montañosas, con manantiales situados a una cota mayor;
- Red de alcantarillado, cuando los centros poblados se sitúan en zonas muy planas, para evitar que las alcantarillas estén a profundidades mayores a los 4 - 5 m;
- Sistema de riego, en este caso son imprescindibles si el riego es con agua de pozos no artesianos;
- Sistema de drenaje, cuando el terreno a drenar tiene una cota inferior al recipiente de las aguas drenadas;
- En muchas plantas de tratamiento tanto de agua potable como de aguas servidas, cuando no puede disponerse de desniveles suficientes en el terreno;
- Un gran número de plantas industriales.

Generalmente las estaciones de bombeo constan de las siguientes partes:

- Rejas;
- Cámara de succión;

- Las bombas propiamente dichas;
- Línea de impulsión.
- Servicios auxiliares:
 - Dispositivos de protección contra el golpe de ariete;
 - Línea de alimentación de energía eléctrica o instalación para almacenamiento de combustible;
 - Sistema de monitoreo y telecomunicaciones

La tubería es un conducto compuesto de tubos que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Se suele elaborar con materiales muy diversos. Cuando el líquido transportado es petróleo, se utiliza la denominación específica de oleoducto. Cuando el fluido transportado es gas, se utiliza la denominación específica de gasoducto. También es posible transportar mediante tubería materiales que, si bien no son un fluido, se adecuan a este sistema: hormigón, cemento, documentos encapsulados, etcétera.

Después de potabilizada, el agua es distribuida a pueblos y ciudades a través de grandes tuberías, las cuales tienen muchos kilómetros de longitud. Generalmente, se usan tuberías de hierro fundido. A veces, se utilizan tuberías de acero y concreto reforzado.

A veces por gravedad, a veces por bombeo

En algunos casos, cuando la fuente de agua está por encima de un poblado, el líquido es transportado gracias a la fuerza de gravedad. Pero, generalmente, el agua es enviada a los hogares a través de poderosas bombas eléctricas. Se necesita mucha energía eléctrica para bombear el agua potable las 24 horas del día, por lo que el gasto de electricidad de un acueducto es bastante grande.

Correlación con Temas y Subtemas

- Disponibilidad y uso del agua.
- Captación y suministro.
- Usos del agua.

Material y Equipo

Manguera de plástico transparente

Popotes de diferentes tamaños de los que pueden flexionarse

Recipientes de plástico tales como botellas de refresco con tapón de diferentes tamaños deberán ser transparentes para apreciar el líquido

Materiales para maqueta

Colorante artificial para pasteles

Bomba para peceras

Alfileres, o clavos para hacer orificios pequeños en las mangueras y los popotes.

Metodología

Divida al grupo de clases en dos equipos y solicíteles que cada grupo fabrique una maqueta en la que se simule un pequeño poblado o colonia, donde la distribución del agua se lleve a cabo por gravedad.

La maqueta puede ser tan detallada como cada grupo quiera pero debe de distribuir el agua desde un tanque elevado (recipiente grande) hasta las casas, comercios, campo de cultivo a diferentes niveles para que se observen a simple vista los problemas que representa la distribución por los diferentes niveles de altura de las colonias.

Observando la necesidad de en algunos casos tener sistemas de bombeos por lo que la maqueta incluso puede presentar algún sistema de bombeo.

El agua una vez de que pasa por el poblado se convierte en agua residual, por lo cual se deberá de tener al final de la maqueta un recipiente para recibir la descarga del agua.

Una vez que se ponga a funcionar el sistema de distribución en la maqueta pídale a los alumnos que coloreen el agua para una mejor observación.

Con el clavo o alfiler hágase pequeños orificios en diferentes partes de la tubería para simular fugas y ver la problemática que esta representan.

Orienta el trabajo pero déjelo a la imaginación de los alumnos ellos a veces son mas creativos que nosotros..

Hacer la medición de flujos de acuerdo con los diámetros de de las mangueras y los popotes para simular el gasto de agua que entrara a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Sugerencias Didácticas

Discuta sobre los problemas de distribución que enfrenta la ciudad, y resalte las obras de ingeniería y los costos que estas obras representan para la distribución

Discuta sobre la problemática de las fugas en la red de distribución, destacando el desperdicio del recurso

Reporte (Resultados)

Los resultados deben arrojar el flujo de entrada del agua contra el flujo de salida, y con las fugas de agua y la evaporación que esta tiene se supone un 20 % en las perdidas que se generan en la distribución.

Dado que es una maqueta los resultados en la diferencia de los flujos, entrada y salida casi no varia.

Bibliografía

Metcalf and Eddy; Wastewater Engineering Treatment and Reuse, fourth edition, Mc Graw Hill 2003

Glynn Henry, Gary Heinke; Ingenieria Ambiental, segunda edicion, Prentice Hall, 1999

Reynolds Tom; Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, PWS-Kent Publishing Company, 1982

Practica # 2

Demostración practica de las diferentes fuentes de contaminación del agua.

Objetivo.- A través de esta práctica, el alumno podrá identificar las diferentes fuentes de contaminación, los diferentes tipos de contaminantes, estableciendo la posible solución para su eliminación, haciendo una comparación de la auto purificación del recurso mediante el ciclo hidrológico, señalando los sistemas más factibles de tratabilidad para su purificación.

Introducción.-

La calidad del agua de un cuerpo de agua , ya sea un río o un lago es muchas de las veces el reflejo del uso del suelo y de los diferentes factores de carácter natural que hay en esa zona de influencia. Generalmente las diferentes cavilaciones se asientan en lugares cercanos a las cuencas de agua para asegurar el recurso agua para la población. Esto ocasiona que dicho cuerpo de agua sea factible de contaminar debido a las diferentes actividades desarrolladas por los habitantes de esa región.

La calidad del agua se ve afectada entonces por las diferentes sustancias que ocasionan problemas de salud a los habitantes de la región que hacen uso del recurso en todas las actividades individuales.

El agua se ve entonces se afectada mediante dos principales fuentes generales de contaminación: la puntual y la no puntual. La puntual es aquella en la cual los contaminantes son descargadas en un punto de origen que puede ser completamente identificado puede ser rastreado hasta ese sitio, por ejemplo un canal de desagüe de una empresa. La no Puntual es aquella que se produce por una fuente no identificable en su origen ya que la contaminación puede venir de uno o varias fuentes como por ejemplo los insecticidas de un campo agrícola.

Correlación con Temas y Subtemás

- Fuentes de contaminación
- Autopurificación.
- Tratabilidad del agua residual.
- Fases previas del estudio de tratabilidad.

Material y Equipo

Hojas de rota folio

Marcadores de agua (gruesos)

3 Goteros

Cubeta de Agua

4 Vasos de precipitado de vidrio

Colorantes artificiales de pastelería, al menos tres colores se sugiere rojo, verde y negro.

Metodología

Prepare tres goteros con los colorantes de manera que queden bien concentrados.

A cada hoja de rota folio trácele una línea azul y un pequeño numero del uno al seis, como se muestra en el diagrama, para simular un río

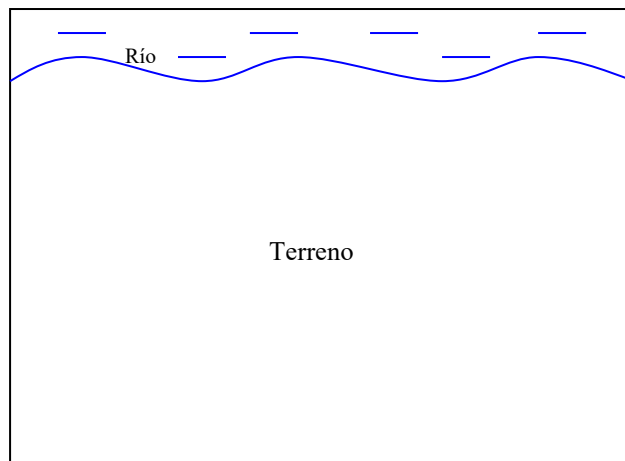


Figura 1 Hoja de Rota folio

Divida al grupo en seis equipos de trabajo y repártale una hoja de rota folio con la línea ya trazada y marcadores de colores suficientes para que puedan dibujar sobre la hoja.

Infórmele a cada grupo que ha recibido una herencia y que les heredaron una propiedad frente a la cual pasa un río, y que además ha recibido un millón de dólares y pídale que el dinero lo inviertan en alguna actividad

El terreno y el río están representados por la hoja de rota folio, la línea azul representa el río y lo blanco del rota folio el terreno.

Pueden invertir su dinero realizando actividades agrícolas, cría de ganado, construcción de condominios, hoteles para recreación, centros comerciales, fabricas de algún tipo, parques, buscar alguna veta de metal precioso, en pocas palabras lo que cada grupo guste.

Cada grupo dibujara en el terreno en lo que decidió invertir el dinero. Después de que terminaron de dibujar, explique que cada hoja de rota folio es parte de un rompecabezas y colóquelos como en la figura.

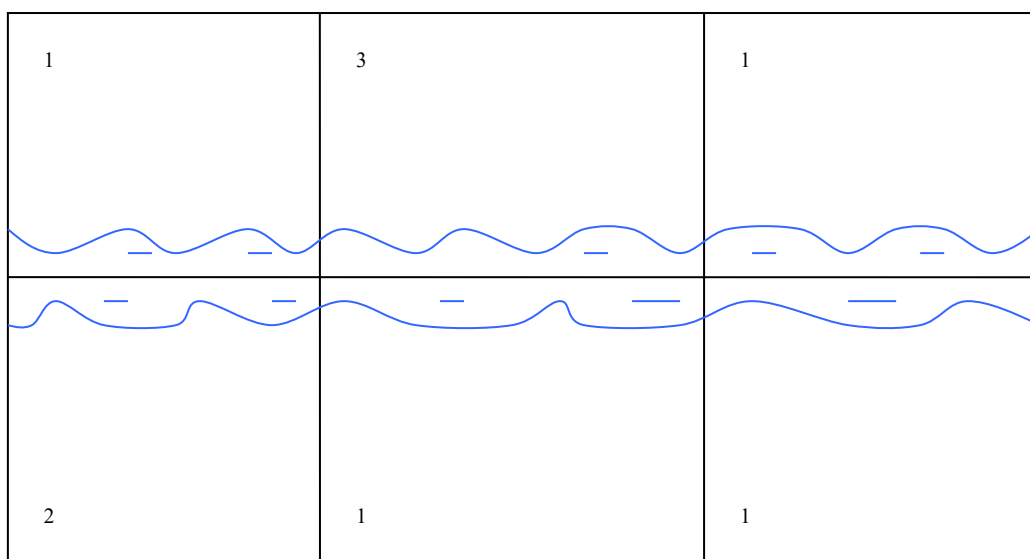


Figura 2 Rompecabezas armado con las hojas de rota folio

Un representante de cada grupo debe de explicar que uso le dio al terreno, de acuerdo a lo dibujado y que uso le dio al agua del río. Pídales que identifiquen las diferentes acciones que generan desechos y que pueden contaminar el agua del río.

Divida los contaminantes en tres grandes grupos que son contaminantes orgánicos, inorgánicos y residuos peligrosos., cada uno de los contaminantes será representado por un color de acuerdo a los goteros preparados

El agua que tiene en la cubeta representa el agua del río, llene un vaso de precipitados y colóquelo en el inicio del río y resalte la calidad del agua.

Una vez que los grupos 1 y 2 expliquen los dibujos y manifiesten los diferentes contaminantes que de acuerdo al uso que le dieron al terreno, y que pueden caer al río, vacíe la cantidad de gotas o goteros, que considere de acuerdo al tipo de contaminación en la cubeta de agua. Esto ensuciara el agua de la cubeta.

Luego con esa misma agua llene otro vaso de precipitados y colóquelo al terminar los rota folios 1 y 2 y donde inician el 3 y 4, el agua se vera un poco turbia. Es decir es la calidad del agua río abajo.

Pida ahora que los representantes de los grupos 3 y 4 manifiesten lo que dibujaron y los contaminantes que ellos generaran y haga lo mismo con los goteros en la misma agua de la cubeta, por lo cual esto ensuciara mas el agua.

Con la misma agua llene otro vaso de precipitados y colóquelo en donde termina los rota folios 3 y 4 y donde empiezan el 5 y 6 y el agua se vera mas turbia, es decir es la calidad del agua en ese punto.

Repita la operación con los últimos rota folios, y al final veremos el grado de contaminación del agua al llegar al final de los rota folios y por lo tanto al final del río.

Sugerencias Didácticas

Discuta con los alumnos los diferentes grados de contaminación en la ciudad de acuerdo al tipo de industrias y actividades de la ciudad
Establezca bien las diferencias de la contaminación puntual y no puntual
Discuta el tipo de tratamiento que en un momento se le puede hacer al agua de acuerdo al tipo de contaminante que se trate para limpiarla.

Reporte (Resultados)

Se debe de entregar un reporte que señale los diferentes usos de suelo en la ciudad conteniendo los principales contaminantes que van caer en el agua de los diferentes cuerpos que existen en la ciudad y el alumno sugerira el tipo de tratamiento que se le pueda dar al gua contaminada.

Bibliografía

Projet WET, 1995 The Watercourse and the Council for Environmental Education
Montana State University
Metcalf and Eddy; Wastewater Engineering Treatment and Reuse, fourth edition, Mc Graw Hill 2003

Practica # 3

Caracterización del agua residual de acuerdo a la norma vigente

Objetivo.- El alumno será capaz de hacer la caracterización del agua residual, analizando las muestras obtenidas con métodos e instrumentos para los análisis físicos y químicos, de acuerdo con la norma vigente para el análisis del agua residual, y con esta caracterización podrá definir el tipo de tratamiento mas adecuado para el recurso agua.

Introducción

CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales recogidas en comunidades o municipios deben ser conducidas a cuerpos de agua receptores o al mismo terreno. Se hace por tanto necesario conocer los contaminantes presentes en estas aguas con el fin de aplicar un tratamiento adecuado que evite la degradación y contaminación de los cauces.

Los Parámetros Principales que es necesario conocer de las aguas residuales urbanas, a efectos de la contaminación del recurso son los siguientes:

- pH
- Temperatura
- Color
- Demanda Bioquímica de oxígeno
- Demanda Química de oxígeno
- Sólidos en suspensión y sólidos sedimentables
- Aceites y grasas
- Concentración de tóxicos metálicos
- Nitrógeno
- Fósforo
- Amoniaco
- Cloruros

Los contaminantes industriales presentan una composición muy variable dependiendo del uso industrial al que hayan sido destinadas las aguas.

Para fines de estudio y de la Materia que nos ocupa, determinaremos 2 de los parámetros mas importantes en el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales: La demanda Bioquímica de Oxígeno y los Sólidos Suspendidos Totales.

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Los datos de la prueba de la DBO se utilizan en ingeniería para diseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales.

La prueba de la DBO es un procedimiento experimental, tipo bioensayo, *que* mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la

materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales. Las condiciones estándar del ensayo incluyen incubación en la oscuridad a 20°C por un tiempo determinado, generalmente cinco días. Las condiciones naturales de temperatura, población biológica, movimiento del agua, luz solar y la concentración de oxígeno no pueden ser reproducidas en el laboratorio. Los resultados obtenidos deben tomar en cuenta los factores anteriores para lograr una adecuada interpretación.

Las muestras de agua residual o una dilución conveniente de las mismas, se incuban por cinco días a 20°C en la oscuridad. La disminución de la concentración de oxígeno disuelto (OD), medida por el método Winkler o una modificación del mismo, durante el periodo de incubación, produce una medida de la DBO. Requerimientos de dilución. Si el agua de dilución es de baja calidad, su DBO aparecerá como DBO de la muestra, efecto que será amplificado por el factor de dilución, y el resultado tendrá una desviación positiva. El método de análisis debe incluir agua de dilución de verificación y agua de dilución como blanco para establecer su calidad, mediante la medición del consumo de oxígeno con una mezcla orgánica conocida, generalmente glucosa y ácido glutámico. La fuente del agua de dilución puede ser: destilada a partir del agua de grifo, o agua libre de sustancias orgánicas biodegradables o bioinhibitorias tales como cloro o metales pesados. El agua destilada puede contener amoníaco o compuestos orgánicos volátiles; el agua desionizada también puede estar contaminada con compuestos orgánicos solubles lixiviados del lecho de la resina; el uso de destiladores con conductos o accesorios de cobre en las líneas de agua destilada pueden producir agua con cantidades excesivas de cobre, que actúa como biocida.

Correlación con temas y subtemas

- Caracterización del efluente.
- Muestreo y análisis.
- Legislación y normatividad.
- Objetivos del tratamiento de aguas residuales.
- Métodos de tratamiento de agua residual: Clasificación, aplicación y diagramas de proceso.

Materiales y Equipo.

Botellas de incubación para la DBO, de 250 a 300 mL de capacidad. Lavarlas con detergente, enjuagarlas varias veces, y escurrirlas antes de su uso. Para evitar la entrada de aire en la botella de dilución durante la incubación, se debe utilizar un sello de agua, que se puede lograr satisfactoriamente invirtiendo las botellas en un baño de agua o adicionando agua en el reborde cóncavo de la boca de las botellas especiales para la DBO. Colocar una copa de papel o plástica o un capuchón metálico sobre la boca de la botella para reducir la evaporación del sello de agua durante la incubación.

Incubadora de aire o baño de agua, controlada termostáticamente a $20 \pm 1^\circ\text{C}$; excluir cualquier fuente luminosa para eliminar el proceso de producción fotosintética de OD.

Reactivos

Solución tampón de fosfato: Disolver 8,5 g de KH_2PO_4 , 21,75 g de K_2HPO_4 , 33,4 g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, y 1,7 g de NH_4Cl en aproximadamente 500 mL de agua destilada y diluir a 1 L. El pH debe ser 7,2 sin posteriores ajustes. Si se presenta alguna señal de crecimiento biológico, descartar este o cualquiera de los otros reactivos.

Solución de sulfato de magnesio: Disolver 22,5 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y diluir a 1 L.

Solución de cloruro de calcio: Disolver 27,5 g de CaCl_2 en agua destilada y diluir a 1 L.

Solución de cloruro férrico: Disolver 0,25 g de $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada, diluir a 1 L.

Soluciones ácida y alcalina, 1 N, para neutralización de muestras cáusticas o ácidas.

1) Ácido. A un volumen apropiado de agua destilada agregar muy lentamente y mientras se agita, 28 mL de ácido sulfúrico concentrado; diluir a 1 L.

2) Alkali. Disolver 40 g de hidróxido de sodio en agua destilada y diluir a 1 L.

Solución de sulfito de sodio: Disolver 1,575 g de Na_2SO_3 en 1000 mL de agua destilada. Esta solución no es estable y se debe preparar diariamente.

Inhibidor de nitrificación: 2-cloro-6-(triclorometil)piridina.

Solución de glucosa-ácido glutámico: Secar a 103°C por 1 h glucosa y ácido glutámico grado reactivo. Disolver 150 mg de glucosa y 150 mg de ácido glutámico en agua destilada y diluir a 1 L. Preparar inmediatamente antes de su uso.

Solución de cloruro de amonio: Disolver 1,15 g de NH_4Cl en 500 mL de agua destilada, ajustar el pH a 7,2 con solución de NaOH , y diluir a 1 L. La solución contiene 0,3 mg de N/mL.

Metodología

Las muestras para determinación de la DBO se deben analizar con prontitud; si no es posible, refrigerarlas a una temperatura cercana al punto de congelación, ya que se pueden degradar durante el almacenamiento, dando como resultado valores bajos. Sin embargo, es necesario mantenerlas el mínimo tiempo posible en almacenamiento, incluso si se llevan a bajas temperaturas. Antes del análisis calentarlas a 20°C .

Muestras simples. Si el análisis se emprende en el intervalo de 2 h después de la recolección no es necesario refrigerarlas; de lo contrario, guardar la muestra a 4°C o menos; reportar junto con los resultados el tiempo y la temperatura de almacenamiento. Bajo ningún concepto iniciar el análisis después de 24 h de haber tomado la muestra; las muestras empleadas en la evaluación de las tasas retributivas o en otros instrumentos normativos, deben ser analizadas antes de que transcurran 6 h a partir del momento de la toma.

Muestras compuestas. Mantener las muestras a 4°C o menos durante el proceso de composición, que se debe limitar a 24 h. Aplicar los mismos criterios que para las muestras sencillas, contando el tiempo transcurrido desde el final del período de composición. Especificar el tiempo y las condiciones de almacenamiento como parte de los resultados.

Preparación del agua de dilución. Colocar la cantidad de agua necesaria en una botella y agregar por cada litro, 1 mL de cada una de las siguientes soluciones: tampón fosfato, MgSO_4 , CaCl_2 , y FeCl_3 . El agua de dilución se puede inocular como se describe en 6.4; chequear y guardar como se describe en 6.2 y 6.3, de tal manera que siempre se tenga disponible.

Llevar el agua de dilución a una temperatura de 20°C antes de su uso; saturarla con OD por agitación en una botella parcialmente llena, por burbujeo de aire filtrado libre de materia orgánica, o guardarla en botellas lo suficientemente grandes con tapón de algodón, para permitir su saturación. Emplear material de vidrio bien limpio para proteger la calidad del agua.

Verificación del agua de dilución. Aplicar este procedimiento como una forma de verificación básica de la calidad del agua de dilución.

Si el agua consume más de 0,2 mg de oxígeno/L se debe mejorar su purificación o emplear agua de otra fuente; si se usa el procedimiento de inhibición de la nitrificación, el agua de dilución inoculada, se debe guardar en un sitio oscuro a temperatura ambiente hasta que el consumo de oxígeno se reduzca lo suficiente para cumplir el criterio de verificación. Confirmar la calidad del agua de dilución almacenada que está en uso, pero no agregar semilla para mejorar su calidad. El almacenamiento no es recomendable cuando se va a determinar la DBO sin inhibición de nitrificación, ya que los organismos nitrificantes se pueden desarrollar en este período. Revisar el agua de dilución para determinar la concentración de amonio, y si es suficiente después del almacenamiento; de lo contrario, agregar solución de cloruro de amonio para asegurar un total de 0,45 mg de amonio como nitrógeno/L. Si el agua de dilución no ha sido almacenada para mejorar su calidad, agregar la cantidad suficiente de semilla para producir un consumo de OD de 0,05 a 0,1 mg/L en cinco días a 20°C. Llenar una botella de DBO con agua de dilución, determinar el OD inicial, incubar a 20°C por 5 días y determinar el OD final como se describe en 6.8 y 6.10. El OD consumido en este lapso no debe ser mayor de 0,2 mg/L y preferiblemente menor de 0,1 mg/L.

Chequeo con glucosa-ácido glutámico. Debido a que la prueba de la DBO es un bioensayo, sus resultados pueden estar muy influenciados por la presencia de sustancias tóxicas o por el uso de semillas de mala calidad. Muchas veces el agua destilada puede estar contaminada con cobre, o algunos inóculos de aguas residuales pueden ser relativamente inactivos, y si se emplean tales aguas o inóculos siempre se van a obtener bajos resultados. Controlar periódicamente la calidad del agua de dilución, la efectividad de las semillas y la técnica analítica, por mediciones de la DBO para compuestos orgánicos puros y muestras con adiciones conocidas. En general, para determinaciones de la DBO que no requieran una semilla adaptada, usar como solución estándar de chequeo una mezcla de 150 mg de glucosa/L y 150 mg de ácido glutámico/L. La glucosa tiene una velocidad de oxidación excepcionalmente alta y variable, pero cuando es empleada con ácido glutámico se estabiliza, y es similar a la obtenida con aguas residuales municipales. Si un agua residual contiene un constituyente mayoritario identificable, que contribuye a la DBO, usar este compuesto en remplazo de la mezcla de glucosa-ácido glutámico.

Determinar la DBO₅ a 20°C de una dilución al 2% de la solución estándar de chequeo glucosa-ácido glutámico mediante las técnicas descritas en los numerales 6.4 a 6.10. Evaluar los datos como se describe en la sección de Precisión.

Origen de las semillas o inóculo. Es necesario que en la muestra esté presente una población de microorganismos capaces de oxidar la materia orgánica biodegradable. Las aguas residuales domésticas no cloradas, los efluentes no desinfectados de plantas de tratamiento biológico, y las aguas superficiales que reciben descargas residuales contienen poblaciones satisfactorias de microorganismos. Algunas muestras no contienen una población microbiana suficiente (por ejemplo, efluentes industriales sin tratamiento, aguas desinfectadas, efluentes con elevada temperatura o con valores extremos de pH), por tanto deben inocularse por adición de una población adecuada de microorganismos. La semilla o inóculo preferible es el efluente de un sistema de tratamiento biológico, en su defecto, el sobrenadante de aguas residuales domésticas después de dejarlas decantar a temperatura ambiente por lo menos 1 h pero no más de 36 h. Cuando se emplee el efluente de un proceso de tratamiento biológico, se recomienda aplicar el procedimiento de inhibición de la nitrificación.

Algunas muestras pueden contener materiales no degradables a las tasas normales de trabajo de los microorganismos; inocular tales muestras con una población microbiana adaptada, obtenida a partir de efluentes sin desinfectar de un proceso de tratamiento biológico de aguas residuales. También se puede obtener la semilla en el cuerpo de agua receptor del vertimiento, preferiblemente de 3 a 8 Km después del punto de descarga. Cuando no se disponga de ninguna de dichas fuentes del inóculo, desarrollar en el laboratorio una semilla adaptada, por aireamiento continuo de una muestra clarificada de agua residual doméstica y adición de pequeños incrementos diarios de aguas residuales. Para obtener la población microbiana inicial, usar una suspensión de suelo, un lodo activado, o una preparación a partir de semilla comercial. Ensayar el rendimiento de la semilla haciendo pruebas de la DBO en las muestras hasta obtener una población satisfactoria. Si los valores de la DBO aumentan con el tiempo hasta un valor constante, se consideran como un indicio de la adaptación sucesiva de la semilla o inóculo.

Control de inóculos. Determinar la DBO del material inoculante como si se tratara de una muestra. De este valor y del conocimiento del dato del agua de dilución determinar el OD consumido. Hacer las diluciones necesarias hasta obtener una disminución de por lo menos el 50% del OD. La gráfica de la disminución de OD expresada en miligramos por litro contra los mililitros de inóculo, origina una recta cuya pendiente debe interpretarse como la disminución de OD por mililitro de inóculo. La intercepción de la recta con el eje de los valores de reducción del OD representa la disminución del oxígeno provocada por el agua de dilución, valor que debe ser inferior a 0,1 mg/L (ver 6.8). Con el objeto de corregir el valor de OD consumido por una muestra, se debe restar a éste el consumido por el inóculo. El consumo de OD del agua de dilución más el inóculo puede estar en el intervalo de 0,6 a 1,0 mg/L. En el numeral 6.6 se describen las técnicas para adición de material inoculante al agua de dilución, para dos métodos de dilución de muestras.

Blanco de agua de dilución. Con el objeto de verificar la calidad del agua de dilución sin inóculo y la limpieza de los materiales, usar una porción de la misma y llevarla junto con las muestras a través de todo el procedimiento. El OD consumido por el agua de dilución debe ser menor de 0,2 mg/L y preferiblemente no mayor de 0,1 mg/L.

Pretratamiento de la muestra.

Muestras con alcalinidad cáustica o acidez. Neutralizar las muestras a pH entre 6,5 y 7,5 con una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) o hidróxido de sodio (NaOH) de concentración tal que la cantidad de reactivo no diluya la muestra en más de 0,5%. La menor dilución de muestra no debe afectar el pH dado por el agua de dilución inoculada.

Muestras con compuestos residuales de cloro. Evitar las muestras que contengan cloro residual; tomarlas antes del proceso de cloración; si la muestra ha sido clorada pero no presenta cloro residual detectable, inocular el agua de dilución; si hay cloro residual, declorar la muestra e inocular el agua de dilución (ver 6.7). No ensayar las muestras que han sido decloradas, sin inocular el agua de dilución. En algunas muestras, el cloro se elimina si se dejan 1 o 2 h a la luz, lo cual puede suceder durante el transporte y manejo de la muestra. Para muestras en las cuales el cloro residual no se disipa en un tiempo razonablemente corto, eliminar el cloro residual por adición de solución de Na_2SO_3 . El volumen de Na_2SO_3 requerido se determina en una porción de 100 a 1 000 mL de la muestra, previamente neutralizada, por la adición de 10 mL de ácido acético 1 + 1 o H_2SO_4 1 + 50, 10 mL de solución de yoduro de potasio (10 g KI/100 mL), por cada 1000 mL de muestra; el volumen resultante se titula con solución de Na_2SO_3 hasta su punto final, determinado por el indicador almidón-yodo. Se agrega a la muestra

neutralizada, el volumen relativo de solución de Na_2SO_3 determinado, se mezcla bien y se deja en reposo cerca de 10 a 20 minutos. Ensayar la muestra para determinar el cloro residual. (NOTA: Un exceso de Na_2SO_3 en la muestra, consume oxígeno y reacciona con ciertas cloraminas orgánicas que pueden estar presentes en muestras tratadas). Muestras contaminadas con sustancias tóxicas. Las muestras de aguas residuales provenientes de industrias, por ejemplo electroquímicas, contienen metales tóxicos. Estas muestras requieren de estudios especiales y deben ser tratadas antes de medirles la DBO.

Muestras sobresaturadas con OD. En muestras procedentes de aguas muy frías o de aguas en que la producción primaria es alta, los valores de OD a 20°C suelen ser mayores de 9 mg de OD/L. Para prevenir pérdidas de oxígeno durante la incubación, llevar la temperatura de la muestra a 20°C en una botella parcialmente llena, mientras se sacude fuertemente o se burbujea aire comprimido filtrado y limpio.

Ajuste de temperatura de la muestra. Llevar las muestras a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ antes de hacer las diluciones.

Inhibición de la nitrificación. A las muestras contenidas en botellas de 300 mL se agregan 3 mg de 2-cloro-6-(triclorometil)-piridina (TCMP) o se puede agregar directamente al agua de dilución para lograr una concentración final de aproximadamente 10 mg de TCMP/L. (NOTA: Es posible que la TCMP se disuelva lentamente y permanezca flotando en la superficie de la muestra; algunas formulaciones comerciales se disuelven más fácilmente pero no son 100% puras, por lo que se debe ajustar la dosificación). Las muestras que requieren el procedimiento de inhibición de la nitrificación incluyen: efluentes tratados biológicamente, muestras inoculadas con efluentes tratados biológicamente, y aguas de río, pero no se limitan necesariamente a estas. En el reporte de los resultados registrar el uso del procedimiento de inhibición de la nitrificación.

Técnica de dilución. Los resultados más acertados se obtienen con diluciones de muestra en las que los valores de OD residual son por lo menos 1 mg/L y un consumo de OD de por lo menos 2 mg/L después de los 5 días de incubación. La experiencia con muestras de diferente origen permiten optimizar el número de diluciones requeridas; la correlación de la DQO con la DBO puede constituir una guía efectiva para la selección de las diluciones más convenientes. Si no se dispone de esta metodología, se pueden emplear las diluciones de 0,0 a 1,0 % para efluentes líquidos industriales, 1 a 5 % para efluentes industriales no tratados y decantados, 5 a 25 % para efluentes con tratamiento secundario o biológico, y 25 a 100 % para corrientes contaminadas.

Las diluciones se efectúan en probetas y luego se transfieren a las botellas de DBO, o se preparan directamente en las botellas. Cualquiera de los dos métodos de dilución puede combinarse con cualquier técnica para medición de OD. El número de botellas a ser preparadas para cada dilución depende de la técnica de análisis del OD y del número de réplicas deseadas. Cuando sea necesaria la inoculación, agregar la semilla directamente al agua de dilución o a cada probeta o botella de DBO antes de la dilución. La inoculación en las probetas evita la disminución de la relación semilla:muestra cuando se hace un incremento en las diluciones.

Diluciones preparadas en probeta. Si se emplea el método modificado de la azida para la medición de OD, transvasar cuidadosamente el agua de dilución -inoculada si es necesario-, hasta llenar la mitad de una probeta de 1 a 2 L de capacidad por medio de sifón para evitar la entrada de aire. Agregar la cantidad deseada de muestra cuidadosamente mezclada y diluir al nivel apropiado con agua de dilución; mezclar bien con una varilla tipo émbolo y evitar la entrada de aire. Trasvasar la dilución a dos botellas de DBO por medio de sifón. Determinar el OD inicial en una de estas botellas.

Tapar herméticamente la segunda botella, con sello de agua, e incubar por 5 d a 20°C. Si se determina el OD por el método de electrodo de membrana, transvasar la mezcla de dilución a una botella DBO por medio de sifón. Determinar el OD inicial en esta botella, descartar el residuo y llenar nuevamente la botella con la muestra diluida. Tapar herméticamente la botella, con sello de agua, e incubar por 5 d a 20°C.

Diluciones preparadas directamente en botellas DBO. Con una pipeta de boca ancha agregar el volumen de muestra deseado a diferentes botellas para DBO de volumen conocido. Agregar, a cada botella o al agua de dilución, las cantidades apropiadas de semilla; llenar las botellas con suficiente agua de dilución, inoculada si es necesario, de tal manera que al insertar el tapón se desplace todo el aire, sin dejar burbujas. Para diluciones mayores de 1:100 hacer una dilución preliminar en una probeta antes de hacer la dilución final. Preparar dos botellas de cada dilución cuando se empleen los métodos yodométricos de volumetría para la medición del OD; determinar el OD inicial en una de las dos botellas, tapar herméticamente la segunda botella, con sello de agua, e incubar por 5 d a 20°C. Si se emplea el método de electrodo de membrana para la medición de OD, preparar solamente una botella de DBO por cada dilución; determinar el OD inicial en esta botella y remplazar cualquier contenido desplazado con agua de dilución para llenar la botella. Tapar herméticamente, con sello de agua, e incubar por 5 d a 20°C. Enjuagar el electrodo de OD entre determinaciones para prevenir la contaminación cruzada de las muestras.

Determinación del OD inicial. Si la muestra contiene sustancias que reaccionan fácilmente con el OD, es necesario determinar el OD antes de llenar la botella de DBO con la muestra diluida. Si el consumo de OD inicial es insignificante, el período entre la preparación de la dilución y la medida del OD inicial no es crítico. Emplear el método modificado de la azida (método yodométrico) o el método de electrodo de membrana, para determinar el OD inicial en todas las muestras diluidas, testigos y, si se considera necesario, en los controles de semilla.

Incubación. Incubar a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ las botellas que contienen las diluciones, los controles de semilla, los blancos de agua de dilución y los patrones de glucosa-ácido glutámico. Hacer un sello de agua como se describe en 6.7.

Determinación del OD final. Determinar el OD en las muestras diluidas, los blancos y los patrones después de 5 días de incubación como se describe en 6.8.

CÁLCULOS

Cuando el agua de dilución no ha sido inoculada: $\text{DBO}_5, \text{mg/l} = (\text{D}_1 - \text{D}_2)/\text{P}$

Cuando el agua de dilución ha sido inoculada: $\text{DBO}_5, \text{mg/l} = \{(\text{D}_1 - \text{D}_2) - (\text{B}_1 - \text{B}_2) \cdot f\} / \text{P}$
donde:

D_1 = OD de la muestra diluida inmediatamente después de la preparación, mg/L,

D_2 = OD de la muestra diluida después de 5 d de incubación a 20°C, mg/L,

P = fracción volumétrica decimal de la muestra empleada,

B_1 = OD del control de semilla antes de la incubación, mg/L (sección 6.1.4),

B_2 = OD del control de semilla después de la incubación, mg/L (sección 6.1.4), y

f = proporción de semilla en la muestra diluida a la semilla en el control de semilla
= (% de semilla en la muestra diluida) / (% de semilla en el control de semilla).

Si el material inoculante se agrega directamente a la muestra o a las botellas de control:
 $f = (\text{volumen de semilla en la muestra diluida}) / (\text{volumen de semilla en el control de semilla})$

Si se ha inhibido la nitrificación, reportar los resultados como DBO_5 .

- Los resultados obtenidos para las diferentes diluciones pueden ser promediados si se cumple con los requisitos de valores de OD residual de mínimo 1 mg/L y un consumo de OD de por lo menos 2 mg/L. Este promedio se puede hacer si no hay evidencia de toxicidad en las muestras menos diluidas o de alguna alteración detectable.
- En estos cálculos no se hace corrección por el OD consumido por el blanco de agua de dilución durante la incubación. Esta corrección no es necesaria si el agua de dilución cumple el criterio de blanco estipulado en el procedimiento. Si el agua de dilución no cumple este criterio, la corrección es difícil y los resultados serán cuestionables.

PRECISIÓN

- No existe un procedimiento aceptable para establecer la precisión y exactitud de la prueba de la DBO. El control de glucosa-ácido glutámico prescrito está proyectado como un punto de referencia para la evaluación de la calidad del agua de dilución, la efectividad de la semilla, y la técnica analítica.
- Ochenta y seis analistas, pertenecientes a 58 laboratorios analizaron muestras de aguas naturales dosificadas con incrementos exactos de compuestos orgánicos, con valores promedios de DBO de 2,1 y 175 mg/L; su desviación estándar fue de $\pm 0,7$ y ± 26 mg/L, respectivamente.
- Las pruebas realizadas en un laboratorio con una solución de glucosa-ácido glutámico de 300 mg/L, produjeron los siguientes resultados:
- Número de meses: 14
- Número de triplicados: 421
- Promedio recuperado mensualmente: 204 mg/L
- Desviación estándar promedio mensual: 10,4 mg/L
- Los estudios estadísticos de precisión y exactitud de las determinaciones de la DBO, realizados en ejercicios de intercalibración que involucraron de 2 a 112 laboratorios, con diferentes analistas y semillas, en muestras sintéticas que contenían glucosa y ácido glutámico en proporción 1:1 en el intervalo de concentraciones de 3,3 a 231 mg/L, proporcionaron el promedio, $\bar{X}$, y la desviación estándar, S , a través de las ecuaciones de regresión correspondientes:
- $\bar{X} = 0,658 (\text{nivel agregado, mg/l}) + 0,280 \text{ mg/L}$
- $S = 0,100 (\text{nivel agregado, mg/l}) + 0,547 \text{ mg/L}$
- Para el estándar primario de 300 mg/L, el promedio de DBO 5-d fue de 198 mg/L con una desviación estándar de 30,5 mg/L
- Valores límites de control: Debido a la gran variedad de factores que afectan las pruebas de la DBO en los estudios multilaboratorios y la consecuente disparidad en los resultados, se recomienda como valor límite de control para laboratorios individuales una desviación estándar ($\pm 1S$), la determinada en las pruebas interlaboratorios. Para cada laboratorio, establecer los valores límites de control efectuando un mínimo de 25 análisis de glucosa-ácido glutámico (ver 6.3) en un período de algunas semanas o meses y calcular la media y la desviación estándar. Emplear como valor límite de control para futuros chequeos de glucosa-ácido glutámico la media ± 3 desviaciones estándar; comparar los valores calculados para los ensayos de un solo laboratorio, presentados anteriormente, con los resultados interlaboratorios. Reevaluar los valores límites de control si estos se ubican fuera del intervalo de $198 \pm 30,5$ e investigar el

origen del problema. Si la DBO medida para un patrón de glucosa-ácido glutámico está fuera del intervalo aceptado, rechazar las pruebas hechas con tales semilla y agua de dilución.

- Intervalo de trabajo: es igual a la diferencia entre el máximo OD inicial (7 a 9 mg/L) y el mínimo OD residual de 1 mg/L multiplicado por el factor de dilución. Un límite de detección más bajo de 2 mg/L se establece para una disminución del OD mínima de 2 mg/L.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

Introduccion

1. Los sólidos suspendidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual industrial o doméstica, se definen como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio que posteriormente se seca a 103-105°C hasta peso constante.

2. Una muestra bien mezclada se pasa a través de un filtro estándar de fibra de vidrio, previamente pesado, y el residuo retenido se seca a 103-105°C hasta peso constante. El incremento de peso del filtro representa el total de sólidos suspendidos.

3. Si el material suspendido tapona el filtro y prolonga la filtración, la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos disueltos totales puede dar un estimativo de los sólidos suspendidos totales.

Este método es aplicable a aguas potables, superficiales, y salinas, aguas residuales domésticas e industriales y lluvia ácida, en un intervalo de 4 a 20 .000 mg/L.

1. Debido a que un residuo excesivo en el filtro puede formar una costra que impide el paso del agua, limitar el tamaño de muestra de tal manera que se obtengan como máximo 200 mg de residuo.

2. El taponamiento del filtro prolonga la filtración y puede producir resultados altos debido a la excesiva retención de sólidos coloidales.

Para muestras con elevado contenido de sólidos disueltos, enjuagar muy bien el filtro para asegurar la remoción del material disuelto.

1. Eliminar de la muestra partículas flotantes grandes o aglomerados dispersos de material no homogéneo.

2. Usar frascos de plástico o de vidrio resistente, en los que el material en suspensión no se adhiera a las paredes del recipiente.

3. Realizar el análisis tan pronto como sea posible.

4. Refrigerar la muestra a 4°C hasta el momento del análisis para minimizar la descomposición microbiológica de los sólidos. Antes de iniciar el análisis, llevar las muestras a temperatura ambiente.

Es preferible no almacenar las muestras por más de 24 h; bajo ningún concepto guardar las muestras por más de 7 días.

Materiales y equipo

1. Filtros circulares de fibra de vidrio, sin aditivos orgánicos.

Aparato de filtración: puede ser uno de los siguientes, adecuado para el filtro seleccionado:

a) Embudo con filtro de membrana.

b) Crisol Gooch, de 25 a 40 mL de capacidad, con su respectivo adaptador.

c) Aparato de filtración con recipiente y disco fritado grueso (40- a 60- μ m) como soporte del filtro.

Erlenmeyer con tubuladura lateral, de suficiente capacidad para el tamaño de muestra seleccionado.

Discos de aluminio o de acero inoxidable, de 65 mm de diámetro, para pesar.

Desecador, con desecante e indicador coloreado de humedad o indicador instrumental.

Estufa para secado, para operar en el intervalo de 103 a 105°C.

Balanza analítica, con precisión de 0,1 mg.

Bomba de vacío.

Agitador magnético con barra agitadora de teflón.

Pipetas de punta ancha.

Agua destilada Tipo III., agua destilada y desmineralizada.

Procedimiento

1. Preparación del filtro de fibra de vidrio: Insertar el filtro circular en el aparato de filtración con el lado rugoso hacia arriba, aplicar vacío y lavar el filtro con tres porciones sucesivas de 20 mL de agua destilada; continuar la succión hasta remover todas las trazas de agua, y descartar el filtrado. Remover el filtro y transferirlo a un disco para pesaje, con el cuidado necesario para prevenir que el filtro seco se adhiera al disco; el material que se adhiera al disco debe agregarse al filtro para evitar errores. También se puede pesar el filtro seco junto con el disco tanto antes como después de la filtración; si se emplea un crisol Gooch, remover y pesar este junto con el filtro. Secar en una estufa a 103-105°C por 1 h (si se van a determinar sólidos volátiles, secar a 550°C por 15 min. en un horno). Dejar enfriar en un desecador y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta obtener peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% o de 0,5 mg de la pesada anterior, lo que sea menor. Guardar el filtro en un desecador hasta que se vaya a emplear.

2. Selección del filtro y tamaño de muestras: Tomar una alícuota de muestra que produzca entre 10 y 200 mg de residuo seco. Si se emplean más de 10 minutos para completar la filtración, aumentar el tamaño del filtro o disminuir el volumen de muestra; para muestras no homogéneas tales como agua residuales, usar un filtro grande que permita filtrar una muestra representativa.

Análisis de muestras. Ensamblar el filtro al aparato de filtración e iniciar la succión; humedecer el filtro con una pequeña cantidad de agua destilada para fijarlo. Mientras se agita la muestra con un agitador magnético, tomar una alícuota con pipeta y transferirla al filtro. Lavar el residuo con tres porciones sucesivas de 10 mL de agua destilada, y se deja secar completamente entre lavados; continuar la succión por tres minutos después de completar la filtración. Las muestras con alto contenido de sólidos disueltos pueden requerir lavados adicionales. Remover cuidadosamente el filtro del aparato de filtración y transferirlo al disco de pesaje; si se usa un crisol Gooch, removerlo de su adaptador. Secar en una estufa a 103-105°C, mínimo durante 1 h; dejar enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y pesar. Repetir el ciclo de secado, enfriado, desecado y pesado hasta obtener peso constante o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4% o de 0,5 mg del peso anterior, lo que sea menor. Las determinaciones por duplicado deben coincidir hasta en un 5% de su promedio.

Calculos

$\text{mg de sólidos suspendidos totales/l} = (A-B) \times 1000/\text{Volumen de Muestra, ml}$

donde: A = peso del filtro + residuo seco, mg, y

B = peso del filtro, mg

Precision

1. En un estudio hecho por dos analistas con cuatro series de 10 determinaciones cada una, la desviación estándar fue de 5,2 mg/L (coef. variación 33%) para un nivel de concentración de 15 mg/L; 24 mg/L (10%) para 242 mg/L, y 13 mg/L (0,76%) para 1707 mg/L.

En un laboratorio individual se realizaron análisis por duplicado de 50 muestras de aguas naturales y aguas residuales con una desviación estándar de $\square$ 2,8 mg/L.

Bibliografía

Metcalf and Eddy; Wastewater Engineering Treatment and Reuse, fourth edition, McGraw Hill 2003

Glynn Henry, Gary Heinke; Ingeniería Ambiental, segunda edición, Prentice Hall, 1999

Reynolds Tom; Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, PWS-Kent Publishing Company, 1982

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19 ed., New York, 1995. pp 5-2 a 5-12.

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

Practica # 4

Tratamientos preliminares (criba, trituración y desarenado)

Objetivo.- Después de medir el Flujo a tratar, el alumno aplicara los diferentes métodos de pretratamiento para el agua residual, logrando eliminar los contaminantes mas voluminosos o gruesos mediante el uso de cribas, trituradores, y desarenadores, así como la importancia que tiene la igualación de los flujos, cuando sea necesario.

Introducción

Antes de su tratamiento propiamente dicho, las aguas brutas se someten a un cierto numero de operaciones físicas o mecánicas, que tienen por objeto separar del agua la mayor cantidad posible de materias que , por su naturaleza o tamaño, crearían problemas en los tratamientos posteriores

Sus objetivos son proteger la planta de la los objetos capaces de provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación y evacuar las materias voluminosas capaces de disminuir la eficacia o complicar los tratamientos siguientes.

Cribado

Los sólidos muy grandes o muy pesados pueden eliminarse mediante un enrejado o un colador. El colado incluye los dispositivos convencionales, como rejillas, cribas móviles para basura y micro coladores . En algunas plantas , en vez de usar rejillas se emplea un triturador que muele los sólidos de manera que puedan asentarse y no interfieran con el equipo de sedimentación . El micro colado suele emplearse en vez del filtrado en medio granular para la reducción de los sólidos

Malla : es el numero de aberturas por unidad de longitud que , en este caso en igual a una pulgada

Tamaño de partícula la abertura depende tanto de la malla como del tamaño del alambre que forma el cedazo

Tamaño de malla	Tamaño de la partícula	Categorías de los sólidos			
	pulgadas	micras			
10	0.079	2000	sólidos visibles a simple vista	asentables	
20	0.033	840			
30	0.023	590			
40	0.017	420			
60	0.012	250			
80	0.007	180	turbidez microscopio	visible óptico	al
100	0.006	150			
200	0.0027	70			
270	0.0020	50			
325	0.0016	40			

Manuales

Construidas generalmente con barrotes metálicos rectos inclinados en un Angulo de 70° con la horizontal , Usados en pequeñas instalaciones .Pueden haber variantes en el diseño de acuerdo al tipo de material a retener (pueden ser curvas , cestas perforadas , etc)

Mecánicas

Pueden ser de rejillas curvas , o rectas generalmente de barrotes de sección trapezoidal (que reduce el riesgo de atascamiento) :se utilizan en instalaciones de mayor importancia , para aguas medianamente cargadas presentan una gran superficie útil .La limpieza se realiza por uno o dos peines montados en el extremo de un brazo que gira alrededor de un eje horizontal. Un extractor hace que los residuos caigan ,por detrás de la rejilla , a un deposito del cual son retirados por cintas transportadoras o un tornillo de Arquímedes.

La velocidad de paso a través de la rejilla debe ser suficiente para que las materias en suspensión se apliquen sobre ella sin que se provoque una gran pérdida de carga ni atascamiento en los barrotes, para esto se establece una velocidad mínima y máxima que generalmente oscila entre 0.60 m/s y 1.00 m/s pudiendo llegar hasta 1.4 m/s como máximo

Las pérdidas de carga están comprendidas entre 0.05 y 0.15 m en aguas potables y entre 0.10 y 0.40 en aguas residuales

Triturado

El desmenuzamiento o dilaceración se aplica generalmente a aguas residuales , tiene por objeto desintegrar las materias sólidas arrastradas por el agua, Estas en lugar de separarse se trituran y continúan en el circuito hacia las otras fases del tratamiento .

Este proceso suprime la descarga por rejilla pero presenta como inconveniente el peligro de obstrucciones en tuberías y bombas por acumulación residuos (como por ejemplo fibras textiles unidas a grasa) . Por el contrario la dilaceración puede sustituir el desbaste fino (partículas de menos de 80 mm)

Dilacerador sin elevación de agua : Consumen poca energía , y producen poca pérdida de carga. Llevan un tambor giratorio , de eje vertical, con ranuras horizontales. El tambor esta construido por barras circulares con dientes cortantes .Unos peines cortantes fijos van sujetos a la bancada , se montan en un canal o directamente en la tubería. El agua circula por el interior del tambor y las materias son trituradas a medida que llegan al mismo

Dilacerador en línea ; estos además de efectuar el desmenuzamiento impulsan las materias desintegradas y diluidas , se montan en tuberías como las bombas, son muy robustos y constan de una hélice que empuja las materias a través de una rejilla cortante (la finura de la trituración se regula por medio de una o varias cuchillas)

DESARENADO

El desarenado tiene por objeto extraer del agua bruta la grava, arena y partículas minerales más o menos finas, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguientes.

El desarenado se refiere normalmente a las partículas superiores a 200 micras. Una granulometría inferior corresponde a los procesos de pre-decantación o decantación.

El estudio teórico del desarenado está relacionado con el de los fenómenos de sedimentación en caída libre (ver pág. 66), y en él intervienen las fórmulas de Stokes (en régimen laminar), de Newton (en régimen turbulento) y de Allen (aplicable a un régimen transitorio).

Mediante estas fórmulas, se calculan las velocidades de sedimentación de las partículas esféricas. Deberán aplicarse algunas correcciones para tener en cuenta:

- la forma de los granos,
- la concentración de los sólidos en suspensión si sobrepasa del 0,5 % aproximadamente, la naturaleza del flujo horizontal.

En la práctica, se pueden tomar como base los datos siguientes: (válidos en sedimentación libre), para partículas de arena de densidad 2,65.

en el que:

d diámetro de la partícula de arena,

v_0 velocidad de sedimentación, para un fluido de velocidad horizontal nula,

V_0 velocidad de sedimentación, para un fluido de velocidad horizontal igual a V_I ,

$v_{\sim 0}$ velocidad de sedimentación, para un fluido de velocidad horizontal de 0,30 m/s,

V_I velocidad horizontal crítica de arrastre de la partícula depositada.

Desarenado de aguas residuales urbanas

El problema es mucho más difícil de resolver, debido a la heterogeneidad del medio.

En este caso, se trata de separar la arena de otras materias presentes en el agua, en especial materias orgánicas, de forma que la arena retenida no arrastre materias contaminadas, lo que, generalmente, es muy difícil. La arena que se extrae contiene siempre una cierta proporción de materia orgánica, que sedimenta al mismo tiempo. La separación de estas materias se realiza adoptando una velocidad de barrido de 0,30 m/s aproximadamente. Puede mejorarse el resultado mediante un lavado final de la arena extraída del desarenador reduciéndose entonces a menos del 30 % el contenido de materia orgánica de la arena lavada.

- Principales tipos de desarenadores.

Se utilizan, por orden creciente de importancia y de eficacia:

- Canales desarenadores simples en los cuales la velocidad de flujo varía con el caudal. Se utilizan en pequeñas instalaciones de depuración. La arena se extrae manualmente de un canal longitudinal, con una capacidad de almacenamiento de 4 a 5 días aproximadamente.
- Canales desarenadores con velocidad de flujo constante (del orden de 0,30 m/s) provistos de 1 o, mejor, 2 canales equipados con un vertedero de salida de ecuación lineal (altura de agua proporcional al caudal). Generalmente, van provistos de un canal de almacenamiento, de limpieza manual, pero pueden estudiarse con un transporte hidráulico de la arena

hacia una tolva que lleva un dispositivo mecánico de extracción. Tiempo de permanencia: 1 a 2 minutos, aproximadamente.

- Desarenadores circulares, con alimentación tangencial, o agitación mecánica, o, mejor aún, inyección de aire, en los cuales la velocidad de barrido de fondo creada se mantiene sensiblemente constante, cualquiera que sea el caudal. La arena, almacenada en una tolva central, se extrae mediante una bomba o por un emulsor de aire, y se envía a un compartimiento de secado por gravedad. Tiempo de permanencia: 2 a 3 minutos, aproximadamente.
- Desarenadores rectangulares aireados, en los cuales el aire que se inyecta provoca una rotación del líquido, y crea una velocidad constante de barrido de fondo, perpendicular a la velocidad de paso, la cual, mucho menor, puede entonces variar sin que provoque ningún inconveniente. El aire inyectado, además de su papel motor, favorece, por su efecto de agitación, la separación de las materias orgánicas que pueden quedar adheridas a las partículas de arena. La extracción de la arena se realiza automáticamente por un conjunto de emulsores de aire, de funcionamiento sincopado (recogida en tolvas inferiores), por barrido (por cadenas sin fin o por puente de rasquetas) hacia una fosa de recogida de extremo, seguido de una recogida por bombeo, directamente por bomba aspirante (o emulsor de aire) montada sobre puente rodante. La arena se separa generalmente de la emulsión impulsada por un medio mecánico que reduce la proporción de materias orgánicas asociadas, y que asegura la conservación para el almacenamiento. Estos desarenadores, calculados para un tiempo de permanencia de unos 3 a 5 minutos, una carga hidráulica máxima de aproximadamente 70 m³ de agua/m² de superficie libre y por hora y una longitud máxima de 30 m, permiten una retención del orden del 80 % de las arenas con una granulometría de 250 micras (a caudal máximo) y de 150 micras (a caudal mínimo).

Correlación con Temas y Subtemas

- Medición de flujos.
- Cribado: Descripción y análisis.
- Desmenuzado: Descripción
- Desarenado: Descripción, análisis y dimensiones de desarenadores.
- Igualación de flujo: descripción e importancia.

Material y Equipo

Agua

Lentes de seguridad

Una cubeta

Matraces esrlenmeyer de diferentes tamaños

Restos de café

Sal

Aceite vegetal

Tierra

Arena

Levadura

Jabón

Restos de alimentos

Vinagre
Coladeras tipo malla
Cedazo
Licuadora, o mortero para triturar
Fibra de vidrio
Filtros de café

Metodología

Pida a los alumnos que describan el ciclo hidrológico, y discuta en que parte de dicho ciclo se lleva a cabo la limpieza natural del agua, exponga los procesos de cribado sedimentación filtración y localícelos en el ciclo del agua.

Haga con los alumnos una lista de lo que se encuentra en el agua residual urbana como residuos contaminantes.

Con los materiales arriba mencionados prepare al agua residual casera, agregando la tierra, la arena, los restos de alimento, jabón etc.

Con los materiales como son la malla, el cedazo, el filtro, el triturador pida a los alumnos que los utilicen para limpiar al máximo el agua y liberarla de partículas grandes.

Destaque la importancia de eliminar los restos grandes del agua residual para proteger los equipos utilizados en la planta de tratamiento.

Haga una comparación de los equipos usados y compárelos con los equipos grandes en la planta de tratamiento.

Sugerencias Didácticas

Discuta con los alumnos, la importancia que tiene para la planta de tratamiento los equipos para el triturado, cribado, desarenado

Reporte (Resultados)

Los alumnos harán un reporte donde se analicen las ventajas de los procesos preliminares para la protección de la planta de tratamiento de agua residual, y los posibles problemas que esta presentaría de no llevarse a cabo estas operaciones preliminares.

Bibliografía

Metcalf and Eddy; Wastewater Engineering Treatment and Reuse, fourth edition, Mc Graw Hill 2003

Glynn Henry, Gary Heinke; Ingeniería Ambiental, segunda edición, Prentice Hall, 1999

Reynolds Tom; Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, PWS-Kent Publishing Company, 1982

.

Practica # 5

Coagulación y floculación a través de la prueba de jarras

Objetivo.- Mediante el uso de la prueba de jarras el alumno encontrara los mejores parámetros de temperatura, pH, agitación y dosificación de reactivos para una efectiva coagulación y floculación y con esto lograr una efectiva sedimentación de los diferentes contaminantes del agua residual. Una vez establecido los parámetros, podrá tener capacidad para dimensionar un tanque de sedimentación primaria.

Introducción.-

La Prueba de jarras, para determinar la dosis adecuada coagulante, sigue siendo una de las herramientas más eficaces a disposición de los operadores de planta de agua de la superficie. Finalizada la calidad del agua, los costos de producción, duración de las carreras y filtro de filtro general de la vida, todos dependen de la correcta aplicación de los productos químicos que entran en el agua cruda de la planta de tratamiento.

Un grifo instalado en el agua sin tratar, inmediatamente después de la inyección de productos químicos es indispensable. Una muestra tomada de esta grifo puede ser colocado en el agitador a determinar rápidamente la eficacia de la dosis que se use. Con el fin de añadir productos químicos con precisión, se calibrará alimentadores. Si está teniendo problemas cuando el agua cruda es clara y fría, y si su alimentadores son ajustables, la velocidad seguridad de los mismos. Esto mejorará la tasa de colisión en condiciones de agua fría

Una buena fórmula para utilizar químicos para la demanda:

$\text{PPM} \times \text{GPM} / = 2.000 \text{ Ibs. Por hora}$

PPM a determinar por la prueba de frasco. GPM es el gpm en la que opera su planta. 2.000 es un número dado

Este es un buen indicador de qué tan bien el proceso de coagulación floculación está trabajando. Un nivel elevado de aluminio podría indicar alumbre sobrealimentado Colocar un fondo negro detrás de la prueba de frasco le dará una mejor visión de la formación de los floculos. Para la compra de aparatos de prueba jarras hay dos características muy importantes a buscar: Agitador, tasa ajustable y una base iluminada. Sin velocidades ajustables no se podrá simular las condiciones de su planta. La base de luz proporciona un visión clara y completa de todos los vasos simultáneamente.

La luz de las bases utilizando bombillas fluorescentes no cambiará la temperatura de la muestra significativa. La prueba de jarras se destina a simular el proceso de coagulación floculación en su planta.

Diseñar un procedimiento para la prueba de jarras para igualar las condiciones en su planta es un poco tardado. Sin embargo, cuando se han desarrollado la rutina adecuada y, a continuación, se aplican correctamente los resultados, se produce la mejor agua posible al costo más bajo.

Correlación con Temas y Subtemas

Coagulación y Floculación: descripción, principales agentes empleados, factores que afectan el proceso y dimensionamiento de tanques de agitación.

Material y Equipo

1 equipo de prueba de jarras de 6 vasos con agitador y base iluminada de preferencia.
 6 vasos graduado de 1000mL o^{B-2} 2000 mL cuadrados
 2 Pipetas graduadas de 10 mL.
 Balanza para medirle peso de factores de la coagulación.
 Aparato para medir la alcalinidad, el pH y la turbidez.

Soluciones stock

Stock soluciones son preparados por disolución de 10,0 gramos de alumbre, ceniza de soda, cal, etc en 1000 ml de agua destilada. Cada 1,0 mL de solución de esta población será igual a 10 mg \ L cuando se añade a 1000 ml de agua a ser probado. Porque seco polímeros tienden a ser alimentados en concentraciones mucho más bajas, una solución madre debe contener 1,0 gramos de polímeros a 1000 ml de agua destilada. Cada ml de esta solución madre será igual a 1,0 mg \ L cuando se añade a 1000mL de agua que deben someterse a prueba. Es posible que desee utilizar una pipeta 1,0 mL graduó con 0,1 mL subdivisiones cuando tarro pruebas polímeros. Polímeros líquidos debe añadirse en la concentración recomendada por los fabricantes.

Metodología

Primero compruebe la alcalinidad y el pH del agua a ser probado. El agua que contiene una alcalinidad de al menos 25 mg \ L y el pH de alrededor de 7,0 a coagular sin la adición de cal, ceniza de soda, etc.

Color, en oposición a la turbiedad, es casi siempre mejor eliminado en la disminución del pH. Además de la mayor dosis de ácido o de aluminio puede ser necesaria para lograr la eliminación del color. Algunos colores se extrae a pH 7,0, pero a valores superiores y agua cruda los colores puede exigir una plena unidad inferior Si, por el contrario, va a eliminar el manganeso en el proceso de floculación, puede elevar el pH y todavía forma floc, mejor será la remoción de manganeso.

Usando el tubo graduado 1000 ml, 1000 ml añadir (o 2000 mL si se usa la B-Ker² de 2 litros cuadrados tarro) del agua cruda que se coagulado a cada uno de los vasos prueba de frasco. Usando el preparado de aluminio (u otro coagulante) o la solución stock la dosis en cada vaso con cantidades cada vez mayores, con la siguiente tabla como un ejemplo. Si es necesario, añadir cal o ceniza de soda existencias solución correcta para mantener la alcalinidad.

Jar #	ML Alum Stock	ML Lime \ Soda Ash	Mg \ L Alum	Mg \ L Lime Soda Ash
1	0,5	0	5,0	0
2	1,0	0	10,0	0
3	1,5	0	15,0	0
4	2,0	0,5	20,0	5,0
5	2,5	1,0	25,0	10,0
6	3,0	1,5	30,0	15,0

La tabla es solo un ejemplo. Usted debe través de ensayo y error establecer su propio tabla de muestreo que tenga en cuenta su propia planta de la operación y la calidad del

agua en la bocatoma. **IMPORTANTE: MANTENER SIEMPRE FIELES NOTAS RELACIONADAS CON LA REALIZACIÓN DOSIFICACIÓN DE LA PRUEBAS.**

Ejemplo: Su planta tiene un mezclador de productos químicos después de la inyección, seguida de 30 minutos en un flocculator, y luego 2 horas de tiempo antes de resolver el filtro. Después de la administración de cada vaso, el agitador operara A altas rpm durante aproximadamente 1 minuto. Esta simula el mezclador. Entonces, lento a la rpm que coincida con la turbulencia creada en su ffloculador y permitir a agitar durante 30 minutos sin dejar de respetar la formación de floc. Al final de los 30 minutos su vez, el agitador y dejar fuera a solucionar. Debido a que hay 2 horas de tiempo en la solución de esta planta, al final de 1 hora la mayor parte de la solución será completa.

Un coagulante mal alimentado hará que la muestra que aparezca turbia, con poca o ninguna floc y. Un coagulante sobrealimentado forma densos floc, no obstante, aparecerá frágil y esponjoso; cuando el agitador se apaga. El floc formado por un sobrealimentado es un falso floc que es muy ligera y se llevan al filtro. Este es uno de los problemas más comunes de tratamiento. Un buen floc aparecerá pesado y apretado, no muy denso, con espacios de agua clara y brillante, entre las partículas y comenzará a sedimentar tan pronto como el agitador está apagado.

Sugerencias Didácticas

Discuta con los alumnos las ventajas y desventajas de los diferentes coagulantes que se pueden utilizar, en cuanto a costo y efectividad.

Reporte (Resultados)

Después de las pruebas el alumno tendrá la las mejores condiciones para la dosificación adecuada de coagulante

Bibliografía

Metcalf and Eddy; Wastewater Engineering Treatment and Reuse, fourth edition, Mc Graw Hill 2003

Glynn Henry, Gary Heinke; Ingenieria Ambiental, segunda edicion, Prentice Hall, 1999

Reynolds Tom; Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, PWS-Kent Publishing Company, 1982

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19 ed., New York, 1995. pp 5-2 a 5-12.

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

Practica # 6

Determinación de sólidos sedimentables a mediante el uso de cono Imhof

Objetivo.- Con el dispositivo Cono Imhof el alumno podrá calcular el tiempo efectivo de sedimentación de los contaminantes que sean factibles de sedimentar, ya que este tiempo es un parámetro fundamental para calcular el tamaño de los tanques de sedimentación primarios y secundarios.

Introducción.

Los sólidos en el agua pueden ser contemplados desde diversos puntos de vista, dependiendo del uso o del tipo de tratamiento al que un agua va a ser sometida.

Se llaman "Sólidos totales" los que quedan como residuo después de la evaporación del agua a 105°C. De estos sólidos, la fracción que quedaría retenida por un filtro de membrana con un tamaño de poro de 1,2 micras, constituye los denominados "sólidos suspendidos", y el resto los "sólidos disueltos".

Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que se depositan en el fondo de un vaso cónico, llamado "cono de Imhoff", tras un período de un hora.

Por otra parte, en cada una de estas clases de sólidos puede a su vez distinguirse las fracciones "fija" o "no volátil" y "volátil", según que permanezca estable o no a una temperatura de 600 °C. Tradicionalmente se considera que la fracción volátil corresponde a la materia orgánica, aunque esto no es exactamente así ya que existen fuentes de error como la descomposición del carbonato magnésico a 350 °C. Esto hace necesario corregir numéricamente el valor obtenido cuando la concentración de carbonato magnésico es considerable, o bien regenerar químicamente el carbonato magnésico descompuesto.

De todas estas clases de sólidos las que se determinan con más frecuencia son los sólidos sedimentables, los sólidos en suspensión y los sólidos totales, y -de estos últimos- la fracción fija y la fracción volátil. (Ver figura 1)

La determinación de los sólidos sedimentables interesa fundamentalmente a efectos del tratamiento de aguas, a fin de conocer el volumen y la densidad del fango que se obtendrá en los decantadores. Los sólidos en suspensión y los sólidos totales son de interés, tanto para definir la calidad del agua, como a efectos de su tratamiento. Las fracciones fija y volátil dan una buena idea sobre el tipo u origen de la contaminación del agua, especialmente para discernir en que medida interviene la materia orgánica en ella. Así mismo, esta determinación se efectúa al contenido del tanque de tratamiento biológico en la depuración de aguas residuales, a efectos de controlar el funcionamiento de la planta. La muestra necesaria para la realización de estos análisis debe excluir cualquier elemento superior a 5 mm, para ello -si es necesario- deberá tamizarse por una malla de dicho calibre.

El volumen de muestra necesario depende de la carga que contenga el agua, y debe ser tanto mayor cuanto menor sea ésta. Para la determinación de los sólidos sedimentables conviene disponer de una muestra de unos dos litros, para las restantes determinaciones puede bastar con 100 ml, en caso de aguas residuales muy cargadas, o bien ser necesario hasta 20 litros, en caso de aguas naturales.

1.1.1. Fuentes de error.

La temperatura a la que el residuo es secado y la duración de la operación tienen una gran importancia en los resultados, debido a las pérdidas de peso por volatilización de la

materia orgánica, agua ocluida, agua de cristalización y gases de la descomposición química inducida por calentamiento, así como la ganancia de peso por oxidación.

Los residuos secados a 105 °C pueden retener agua de cristalización y agua ocluida y la obtención de pesada constante puede ser muy lenta. Las pérdidas por volatilización de materia orgánica serán normalmente pequeñas. Los residuos secados a 180 °C perderán casi toda el agua ocluida. Puede quedar algo de agua de cristalización, especialmente si existen en la muestra sulfatos. La materia orgánica aunque puede perderse por volatilización no es destruida totalmente. En cualquier caso, los valores de sólidos disueltos obtenidos por evaporación y secado a 180 °C son más próximos a los verdaderos que los obtenidos a menor temperatura, por lo que la determinación directa de sólidos disueltos se suele realizar a esta temperatura.

Cuando la muestra contenga cantidades importantes de grasas y aceites, los resultados pueden no ser muy fiables. En todo caso, antes de tomar la muestra para el análisis es necesario dispersar con un agitador las grasas y aceites presentes. A no ser que se indique lo contrario, es conveniente eliminar de las muestras las partículas grandes flotantes y los aglomerados sumergidos de materiales no homogéneos.

Correlación con Temas y Subtemas

- Sólidos Totales
- Sólidos suspendidos Totales
- Sólidos fijos
- Sólidos volátiles.

Material y Equipo

- Cono de Imhoff de 1 litro.
- Embudo de decantación de 750 ml (si el cono Imhoff no dispone de salida inferior).
- Matraz aforado de 25 ml.
- Balanza de precisión.

Metodología

Verter 1 litro de la muestra en el cono de Imhoff. A los 45 minutos, sacudir el cono, imprimiéndole giros alternativos en torno a su eje, para facilitar el descenso de las materias que hubieran podido quedar retenidas sobre las paredes. Se obtendrá el peso en seco del matraz aforado, siendo esta medida el valor de PS. A los 60 minutos del comienzo se tomará la lectura del volumen decantado en el cono de Imhoff, y se llenará el matraz aforado cuidadosamente con el material decantado, pesándose seguidamente. Acto seguido se vaciará y limpiará el matraz aforado, se llenará con agua destilada hasta el enrase, pesándose nuevamente (el peso del matraz conteniendo agua se denotará como PA). El motivo de esta operación es compensar cualquier posible error que tuviera el matraz aforado en su volumen.

Debido a que el valor de la densidad obtenido puede diferir en una unidad tan solo variando unas centésimas la medida tomada, es necesario extremar las precauciones en su determinación. Si siempre se utiliza el mismo matraz, no es necesario que cada vez se determine los valores de PA y PS, salvo que haya motivos fundados para dudar de su validez (p. ej. cambios notables de la temperatura ambiente).

Sugerencias Didácticas

Esta práctica se puede llevar a cabo junto con la determinación de sólidos totales ya que los sólidos sedimentables forman parte de los sólidos totales

Reporte (resultados).

El volumen de sólidos sedimentables se expresará en ml de materia decantable por litro de muestra.

La densidad de los fangos decantados vendrá dada por la siguiente expresión:

gr. De lodo = PF-PS

ml de lodo PA-PS donde:

PF : peso del matraz conteniendo el fango (mg).

PA : peso del matraz conteniendo agua (mg).

PS : peso del matraz seco (mg).

1.2.4. Observaciones.

En ocasiones, para conocer la decantabilidad de la muestra, las lecturas de volumen decantado se realizan a la hora y media, a la hora y tres cuartos, y a las dos horas, presentándose estos resultados en forma de curva. Si el agua está muy cargada (p.e. más de 140 ml de materias decantables por litro), puede usarse un matraz aforado de mayor volumen (p.e. 100 ml), con lo que la precisión de la balanza puede ser menor, para igual precisión en el resultado.

Bibliografía

Metcalf and Eddy; Wastewater Engineering Treatment and Reuse, fourth edition, McGraw Hill 2003

Glynn Henry, Gary Heinke; Ingenieria Ambiental, segunda edicion, Prentice Hall, 1999

Reynolds Tom; Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, PWS-Kent Publishing Company, 1982

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19 ed., New York, 1995. pp 5-2 a 5-12.

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

Practica # 7

Tratamiento secundario simulando un reactor biológico (lodos activados)

Objetivo.- Mediante esta practica el alumno conocerá las generalidades y principios básicos de los diferentes procesos para un tratamiento biológico, ya sea aeróbico o anaeróbico, descubriendo las ventajas y desventajas de cada sistema, además tendrá una visión de los diferentes sistemas de tratamiento con lodos activados como son los biofiltros, lagunas de estabilización, reactores por lote, etc.

Introducción.

Uno de los procesos biológicos más utilizados son los de lodos activados. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requerimientos específicos de cada tratamiento. Otros procesos biológicos incluyen a los filtros percoladores, estanques de estabilización con o sin aireación mecánica. El diseño de este proceso y las instalaciones requeridas para su ejecución se discuten detalladamente a continuación.

Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Ardra y Lockett y su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aerobia. Existen diversas versiones del proceso original, en nuestro caso nos decantamos por el de "AEREACION PROLONGADA CON RECIRCULACION DE LODOS", proceso que tiene una gran aceptación en el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades principalmente por su gran efectividad entre el 75 y el 95%, poca producción de lodo y sencillez en su funcionamiento.

Desde el punto de vista de funcionamiento, el tratamiento biológico de aguas residuales mediante el proceso de lodos activados, se realiza a través de un tanque o reactor biológico, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión y se realiza la oxidación de la materia orgánica. El contenido del reactor se conoce con el nombre de "lodo activado".

El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores, que también sirve para mantener el líquido mezcla en estado de mezcla completa.

Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas se conduce hasta un tanque de sedimentación para su separación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recircula para mantener en el reactor la concentración de células deseada, mientras que la otra parte se purga del sistema (lodo en exceso).

En el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son los causantes de la descomposición de la materia orgánica del afluente. En el reactor, o tanque biológico, las bacterias aerobias o facultativas utilizan parte de la materia orgánica del agua residual con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en forma de células nuevas.

El de aireación prolongada es una variante del proceso de flujo en pistón con recirculación, donde todas las partículas que entran en el reactor biológico permanecen en el interior del mismo durante idéntico periodo de tiempo.

El agua procedente del tratamiento primario: Triturador de debaste, cámara de grasas, pasa al tanque de aireación donde es mezclada con aire disuelto que fluye por los difusores siendo uniforme este suministro de aire a lo largo de toda la longitud del tanque. Durante el periodo de aireación se produce la absorción, floculación y oxidación de la materia orgánica. Los sólidos del lodo activado se separan en un sedimentador secundario. Este proceso necesita de una carga orgánica reducida y un largo periodo de aireación

Modelo de flujo: Flujo de pistón:

Sistema de aireación: Soplane y distribución por difusores

Eficacia eliminación DBO_5 75 al 95%

En este proceso además de los parámetros necesitados para el dimensionamiento de la fosa séptica es necesario conocer:

- Carga diaria de DBO_5 ó materia orgánica que entra en el tanque biológico.
- Carga diaria de SST.
- Tiempo de retención celular θ_c , $d = 20-30$
- Carga másica aplicada relación $\text{Kg DBO}_5/\text{Kg SSVLM}$. $d = 0.05 - 1.5$
- Carga volumétrica $\text{Kg DBO}_5/\text{m}^3 d = 0.16-0.40$
- SSLM $\text{mg/l} = 3000-6000$
- Tiempo de retención hidráulica horas = 18-36
- Coeficiente de recirculación del decantador el tanque biológico = 1-1.5
- Carga de superficie = $1.0-1.33 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$
- Oxígeno necesario $\text{KgO}_2/\text{KgDBO}_5 = 2 \text{ a } 2.5\text{Kg}$
- Transferencia de oxígeno de los difusores (según modelo y fabricante)

El agua del efluente procedente de un tratamiento biológico por fangos activados puede ser vertido a cauces, canales o embalses al estar dentro de los parámetros exigidos por la Ley.

Correlación con Temas y Subtemas

Tratamiento Primario

Tratamiento terciario

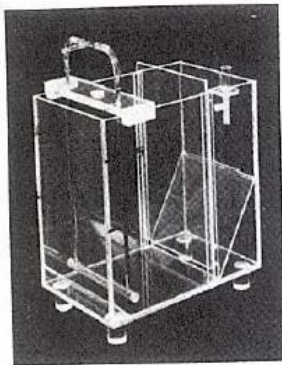
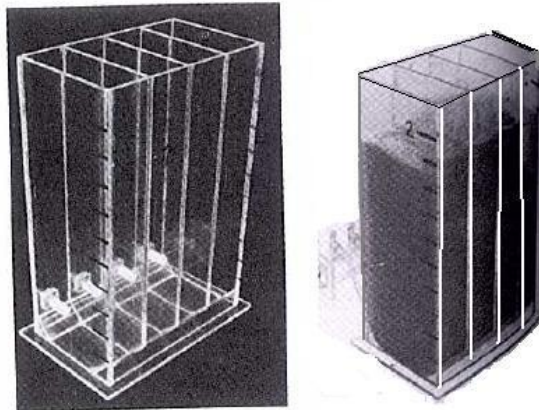
Material y Equipo

- Material para construcción de los modelos de acuerdo a Figura 1. (de preferencia usar material transparente como en la figura)
- Mangueras de plástico
- Conexiones para aire
- Vasos de precipitados
- Matrices erlenmeyer
- Equipo para determinación de DBO_5 (botellas, incubadora, electrodo etc.)
- Se deberá de conseguir una cubeta con lodos activados en una planta de tratamiento de aguas residuales real

Metodología

Primeramente, se debe de construir el reactor biológico de acuerdo con la figura 1, tomando en consideración que estos equipos fabricados en el mismo laboratorio

Reactor biológico por lote con cuatro compartimentos, vacío y operando



Reactor biológico de flujo continuo, completamente mezclado vacío y operando



FIGURA 1 : REACTORES BIOLOGICOS, DE FLUJO CONTINUO Y POR LOTE (Tomados de Reynolds Tom: Units and Processes in Environmental Engineering.)

seguirán empleándose en futuras ocasiones y servirán siempre al laboratorio. Consideramos que una capacidad de 2 litros es una buena cantidad.

Una vez construido se carga el reactor con los lodos de la planta y se conectan las mangueras a un suministro constante de aire. Se le da el tiempo de retención de acuerdo con los parámetros arriba mencionados.

Se deberá de tomar la lectura de DBO_5 antes de iniciar la sesión y después de haber terminado el proceso, para darnos cuenta de la disminución de la DBO_5 del agua a tratar.

Sugerencias Didácticas

Se pueden fabricar los dos tipos de reactores, el continuo y el batch y trabajar al mismo tiempo con los dos, teniendo suficiente muestra para trabajar. Esto nos hará reflexionar y sacar conclusiones al respecto de la eficiencia en los dos sistemas.

Reporte (resultados).

Una vez terminado el proceso se obtendrá el porcentaje de eliminación de la DBO5 por el reactor, la cual debemos de esperar que sea de al menos un 75%

Bibliografía

Metcalf and Eddy; Wastewater Engineering Treatment and Reuse, fourth edition, Mc Graw Hill 2003

Glynn Henry, Gary Heinke; Ingenieria Ambiental, segunda edicion, Prentice Hall, 1999

Reynolds Tom; Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, PWS-Kent Publishing Company, 1982

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19 ed., New York, 1995. pp 5-2 a 5-12.

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

Practica # 8

Eliminación de agentes patógenos del agua residual mediante la desinfección.

Objetivo.- Con esta práctica el alumno será capaz de identificar la mejor dosificación de los diferentes agentes químicos (cloro, ozono, luz ultravioleta) utilizados en la eliminación de agentes patógenos para evitar enfermedades debidas a los efluentes de las aguas residuales, y además conocerá los métodos de eliminación de fósforo y nitrógeno para evitar la eutroficación de los cuerpos de agua.

Introducción.

Los agentes químicos más utilizados para la desinfección incluyen:

- El cloro y sus componentes
- El bromo
- El yodo
- El ozono
- El fenol y los compuestos fenólicos
- Los alcoholes
- Los metales pesados y compuestos afines
- Los colorantes
- Los jabones
- Los compuestos amoniacales cuaternarios
- El agua oxigenada
- Ácidos y álcalis diversos

Los desinfectantes más comunes son los productos químicos oxidantes, de los cuales el cloro es el más universalmente empleado, aunque también se ha utilizado, para la desinfección del agua residual, el bromo y el yodo. El ozono es un desinfectante muy eficaz cuyo uso va en aumento, a pesar de que no deja una concentración residual que permita valorar su presencia después del tratamiento. El agua muy ácida o muy alcalina también se ha empleado para la destrucción de bacterias patógenas, ya que el agua con pH inferior a 3 o superior a 11 es relativamente tóxica para la mayoría de las bacterias. Según el tipo de agente químico empleado, y dentro de ciertos límites, se ha podido comprobar que la efectividad de la desinfección está relacionada con la concentración.

El efecto de la concentración se ha formulado empíricamente con la siguiente expresión:

$$C^n t_p = \text{constante} \quad \text{Ec. 8.0}$$

donde: C = concentración del desinfectante

n = constante

tp = tiempo necesario para alcanzar un porcentaje de mortalidad constante.

La constante n se puede determinar representando la concentración frente al tiempo necesario para alcanzar un porcentaje dado de mortalidad en un papel doblemente

— $\frac{1}{n}$

logarítmico. La pendiente de la recta corresponde al valor de $\frac{1}{n}$. En general, si n es mayor a 1, el tiempo de contacto es más importante que la dosis de desinfectante, mientras que si n es cercano a 1 ambos parámetros tienen importancias comparables.

Como se dijo anteriormente, de todos los desinfectantes utilizados, el cloro es quizá el más universalmente empleado. Los compuestos del cloro más comúnmente empleados en las plantas de tratamiento de aguas residuales son el cloro gas (Cl_2), el hipoclorito sódico ($NaOCl$), el hipoclorito de calcio [$Ca(OCl)_2$], y el dióxido de cloro (ClO_2). Los hipocloritos sódico y cálcico se suelen emplear en las plantas pequeñas, especialmente en las prefabricadas, en las que la simplicidad y seguridad son criterios de mayor peso que el costo. El hipoclorito de sodio se emplea en las plantas de gran tamaño, principalmente por cuestiones de seguridad relacionadas con las condiciones locales. El dióxido de cloro también se emplean en las instalaciones de tratamiento, debido a que tiene algunas propiedades poco frecuentes (no reacciona con el amoníaco), pero a continuación se analizará el empleo del cloro gas porque es la forma más extensamente adoptada.

Cuando se añade cloro al agua en forma de Cl_2 , se producen dos reacciones: la hidrólisis y la de ionización.

La hidrólisis se puede definir de la siguiente forma:



La constante de estabilidad para esta reacción vale:

$$K = \frac{[HOCl][H^+][Cl^-]}{[Cl_2]} \cong 4,5 \times 10^{-4} \quad a T = 25^\circ C$$

Ec. 8.1

La ionización se puede describir mediante la siguiente expresión:



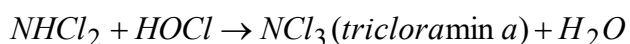
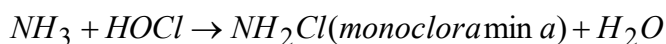
La constante de la reacción de ionización vale:

$$K_i = \frac{[H^+][OCl^-]}{[HOCl]} \cong 2,9 \times 10^{-8} \quad a T = 25^\circ C$$

Ec. 8.2

La cantidad de $HOCl$ y OCl^- que se halla presente en el agua se denomina cloro libre disponible.

Como se sabe el agua residual contiene nitrógeno en forma de amoníaco y diversas formas de materia orgánica combinada. Dado que el ácido hipocloroso es un agente oxidante de gran actividad, reaccionará rápidamente con el amoníaco para formar tres tipos de cloraminas, de acuerdo con las siguientes reacciones:



Estas reacciones son altamente dependientes del pH, de la temperatura, del tiempo de contacto y de la reacción inicial entre el cloro y el amoníaco. Las dos especies predominantes, en la mayoría de casos son la monocloramina y la dicloroamina. El

cloro presente en estos compuestos recibe el nombre de cloro combinado disponible. Estas cloroaminas también sirven como desinfectante, a pesar de que tienen una velocidad de reacción sumamente lenta.

Cuando se utiliza cloro para la desinfección del agua residual, los principales parámetros a medir, además de los parámetros ambientales tales como pH o la temperatura, son el número de organismos y el cloro residual remanente después de un período de tiempo determinado. El grupo de los organismos coliformes se puede determinar empleando el procedimiento del número más probable o mediante el método de recuento en placas.

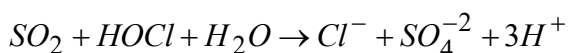
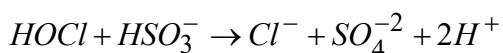
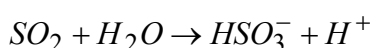
El cloro residual (libre y combinado), se debe medir empleando el método amperométrico, cuya mayor fiabilidad respecto a los demás métodos existentes en la actualidad ha sido probada.

Cuando todos los parámetros físicos que controlan el proceso de cloración se mantienen constantes, la eficacia germicida de la desinfección medida a partir de la supervivencia bacteriana, depende principalmente del cloro bactericida residual presente, R, y del tiempo de contacto, t. Se ha comprobado que aumentando el valor de cualquiera de estas variables R o T, y disminuyendo simultáneamente el valor de la otra, se puede alcanzar aproximadamente el mismo grado de desinfección. Por lo tanto se puede decir que la desinfección se puede expresar en función del valor del producto (R x T).

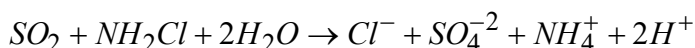
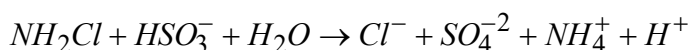
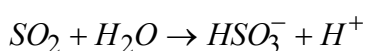
La decloración es la práctica que consiste en la eliminación de la totalidad del cloro combinado residual presente en el agua después de la cloración, para reducir los efectos tóxicos de los efluentes descargados a los cursos de agua receptores o destinados a la reutilización. A fin de minimizar los efectos de esta toxicidad potencial del cloro residual sobre el medio ambiente, se ha considerado necesario declorar el agua residual previamente clorada.

El producto químico que más se emplea para llevar a cabo la decloración es el dióxido de azufre, así como también el carbón activa.

El gas dióxido de azufre elimina, sucesivamente el cloro libre, la monocloraamina, dicloramina, el tricloruro de nitrógeno, y los compuestos policlorados. Cuando se añade dióxido de azufre al agua residual, tienen lugar las siguientes reacciones:

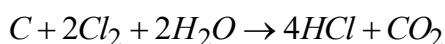


Reacciones con cloraminas:

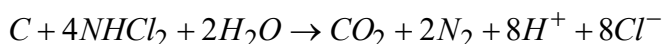
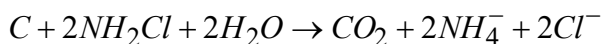


Dado que las reacciones del dióxido de azufre con el cloro y las cloraminas son casi instantáneas, el tiempo de contacto no suele ser un factor esencial. Por esta razón no se emplea cámaras de contacto, aunque es absolutamente imprescindible un mezclado rápido y eficaz en el punto de aplicación. La relación entre el cloro libre y el cloro total combinado residual antes de la decoloración es el factor determinante de si el proceso de decoloración se completará o si se conseguirá una decoloración parcial. Una relación menor del 85 por 100 indica, normalmente, que existe una cantidad sustancial de nitrógeno orgánico que interfiere el proceso del cloro residual libre.

La decoloración mediante adsorción sobre carbón activado proporciona una completa tanto del cloro residual libre como del combinado. Cuando se emplea carbón activado en el proceso de decoloración, las reacciones que tienen lugar son las siguientes:



REACCIONES CON LAS CLORAMINAS

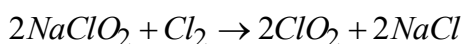


El carbón activado granular se utiliza en filtros de gravedad o a presión. Si el carbón se va a emplear, exclusivamente, para la decoloración, este proceso debe ir precedido de otro a base de carbón activado para la eliminación de otros constituyentes susceptibles de ser eliminados. Es de esperar que la principal aplicación del carbón activado en la decoloración se dará en situaciones en las que también sean necesarios altos niveles de eliminación de materia orgánica.

El dióxido de cloro es otra sustancia bactericida cuyo poder de desinfección es igual o superior al del cloro, y que se ha comprobado que resulta más efectivo que el cloro en la inhibición e inactivación de virus.

GENERACIÓN DEL DIÓXIDO DE CLORO

La generación del dióxido de cloro debe llevarse a cabo in situ debido a que se trata de un gas inestable y explosivo. En el proceso de generación del dióxido de cloro es necesario hacer reaccionar el clorito de sodio $NaClO_2$ con cloro para producir dióxido de cloro gas, de acuerdo con la siguiente reacción:



El agente desinfectante que se presenta en un sistema que contiene dióxido de cloro es el dióxido de cloro libre disuelto. La química del dióxido de cloro en medio acuoso no es bien conocida en la actualidad. El dióxido de cloro tiene un potencial de oxidación extremadamente alto, lo cual explica su potencial germicida. Debido a este alto potencial de oxidación, es posible que los mecanismos bactericidas que provoca tengan que ver con la inactivación de los sistemas de enzimas cítricos, o con la interrupción y destrucción del proceso de síntesis de proteínas.

La utilización del dióxido de cloro puede dar lugar a la formación de algunos productos finales potencialmente tóxicos como el clorito y el clorato. El dióxido de cloro residual y los productos formados, debido a su alta velocidad no son amenaza directa para la vida acuática, como lo es el cloro residual. Una de las ventajas del dióxido de cloro es

que no reacciona con amoníaco para dar paso a la formación de cloraminas, que son muy tóxicas y tampoco forman compuestos orgánicos halogenados como el cloroformo que se tiene indicios de efectos cancerígenos.

No se conoce a seguridad el posible impacto ambiental la utilización del dióxido de cloro en la desinfección de aguas residuales. El dióxido de cloro no reacciona ni se disocia con el agua, como ocurre con el cloro.

Correlación con Temas y Subtemas

Tratamiento Secundario

Eliminación de agentes patógenos del agua residual mediante la desinfección.

Desinfección de efluentes

Aplicaciones e importancias.

Principales agentes empleados.

Equipos y control de dosificación.

Material y Equipo

Hipoclorito sódico (NaOCl),

Manguera Transparente de de Plástico de 2 0 3 pulgadas

Dosificador de gotas (esto puede prepararse mediante una pizeta y manguera de plástico o goteros.)

Muestra de agua (positiva de bacterias) puede emplearse el agua que resulta después de la práctica No 7

Placas de petri y todo lo necesario para efectuar la técnica del NMP

Incubadora

Metodología

Prepare una solución de cloro con el Hipoclorito de Sodio con una concentración de acuerdo con la siguiente tabla, de acuerdo al tipo de agua que este usando.:

DESINFECCION	Partes por millon PPM
Aguas Cloacales crudas (frescas)	6-12
Aguas cloacales crudas (del séptico)	12-25
Aguas cloacales clarificadas (frescas)	5-10
Aguas cloacales clarificadas (del séptico)	12-40

Con la muestra de agua a tratar lleve a cabo la técnica microbiológica del numero mas probable (NMP) para determinar el numero de bacterias coniformes. Esta técnica deberá de hacerla con el agua ya tratada con cloro para hacer una comparación del antes y después y saber la efectividad de la desinfección.

Con la manguera de plástico simule un camino sinuoso como lo es un tanque de cloracion, calculando el tiempo de acción del cloro en el agua.

Mediante un embudo conectado a la manguera vierta el agua a tratar mediante un controlador de flujo. (puede ser un garrafón con llave como los que se usan en la cocina) y epièce a dosificar la solucion de cloro previamente preperada.

Permita correr el agua a través de la manguera y recoja el agua en un recipiente al final de la manguera. Déjala reposar al menos media hora.
Después con una muestra corra de nuevo la técnica de NMP.

Sugerencias Didácticas

La técnica del número más probable es una técnica microbiológica para el conteo de bacterias coniformes, pida a los alumnos que consulte dicha técnica en la biblioteca aunque cabe la posibilidad de que en la materia de microbiología ya la hayan realizado.

Reporte (resultados).

Después de una incubación de 24 hrs, haga la cuenta de colonias y compare con el resultado antes de tratar el agua. Vea la capacidad de desinfección que ha tenido con la dosis de cloro que preparó.

Recuerda que es una desinfección y no una esterilización.

Bibliografía

Metcalf and Eddy; Wastewater Engineering Treatment and Reuse, fourth edition, McGraw Hill 2003

Glynn Henry, Gary Heinke; Ingeniería Ambiental, segunda edición, Prentice Hall, 1999

Reynolds Tom; Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, PWS-Kent Publishing Company, 1982

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19 ed., New York, 1995. pp 5-2 a 5-12.

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

Practica # 9

Eliminación de partículas mediante los procesos de filtración, adsorción, absorción y osmosis inversa.

Objetivo.- Después de los tratamientos primario y secundario en un sistema, es necesario eliminar partículas demasiado pequeñas que no son sedimentables, con el uso de métodos avanzados, el alumno podrá llevar a cabo la eliminación de estas partículas. Pondrá en práctica la filtración, osmosis inversa, absorción, adsorción, etc.

Introducción.

FILTRACION EN MEDIO GRANULAR

A pesar de que la filtración es una de las principales operaciones unitarias empleadas en el tratamiento del agua potable, la filtración de efluentes procedentes de procesos de tratamiento de aguas residuales es una práctica relativamente reciente. Hoy en día, la filtración se emplea, de modo generalizado, para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión (incluida la DBO particulada) de los efluentes de los procesos de tratamiento biológicos y químicos, y también se emplea para la eliminación del fósforo precipitado por vía química.

Descripción de la operación de filtración

La operación completa de filtración consta de dos fases: filtración y lavado o regeneración (comúnmente llamada lavado a contracorriente o retrolavado). Mientras la descripción de los fenómenos que se producen durante la fase de filtración es, prácticamente, idéntica para todos los sistemas de filtración que se emplean para las aguas residuales, la fase de lavado es bastante diferente en función de si el filtro es de funcionamiento continuo o semicontinuo. Tal como expresan sus nombres, en los filtros de funcionamiento semicontinuo la filtración y el lavado son fases que se dan una a continuación de la otra, mientras que en los filtros de funcionamiento continuo ambas fases se producen de forma simultánea.

Operaciones de filtración semicontinuas.

Se identifican tanto la fase de filtración como de lavado de un filtro convencional de funcionamiento semicontinuo. La fase de filtración es la que se elimina la materia particulada, se lleva a cabo haciendo circular el agua través de un lecho granular, con o sin la adición de reactivos químicos. Dentro del estrato granular, la eliminación de los sólidos en suspensión contenidos en el agua residual se realiza mediante un complejo proceso en el que intervienen uno o más mecanismos de separación como el tamizado, interceptación, impacto, sedimentación y adsorción.

El final del ciclo de filtrado (fase de filtración), se alcanza cuando empieza a aumentar el contenido de sólidos en suspensión en el efluente hasta alcanzar un nivel máximo aceptable, o cuando se produce una pérdida de carga prefijada en la circulación a través del lecho filtrante. Idealmente, ambas circunstancias se producen simultáneamente. Una vez se ha alcanzado cualquiera de estas condiciones, se termina la fase de filtración, y se debe lavar el filtro a contracorriente para eliminar la materia (sólidos en suspensión) que se ha acumulado en el seno del lecho granular filtrante. Para ello, se aplica un caudal de agua de lavado suficiente para fluidificar (expandir) el medio filtrante granular y arrastrar el material acumulado en el lecho. Para mejorar y favorecer la operación de lavado del filtro, suele emplearse una combinación de agua y aire. En la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales, el agua de lavado, que contiene los sólidos en suspensión que se eliminan en el proceso de filtración, se retorna a las instalaciones de sedimentación primaria o al proceso de tratamiento biológico.

Los principales tipos de filtros empleados para la filtración de efluentes de aguas

residuales se pueden clasificar en filtros de flujo ascendente y filtros de flujo descendente. El más común es, con mucho, el filtro de flujo descendente.

Variables del proceso de filtración

En la aplicación de la filtración para la eliminación de sólidos en suspensión remanentes, se ha comprobado que las variables más importantes del proceso de diseño son, posiblemente, la naturaleza de las partículas presentes en el agua a filtrar, el tamaño del material o materiales que componen el filtro, y el caudal de filtración.

Características del agua a filtrar.

Las características más importantes del agua a filtrar son la concentración de sólidos en suspensión, el tamaño y la distribución de tamaños de las partículas, y la consistencia de los flóculos. Generalmente, la concentración de sólidos en suspensión en el efluente de plantas de lodos activados y de filtros percoladores varía entre 6 y 30 mg/l. Debido a que esta concentración suele ser el parámetro de mayor interés, para el control práctico del proceso de filtrado se suele emplear el valor de la turbidez. Se ha podido comprobar que, dentro de ciertos límites, existe una correlación entre la concentración de sólidos en suspensión en las aguas residuales tratadas y los valores medidos de la turbidez. Una expresión típica de la relación entre ambos parámetros en el caso de procesos de fangos activados con mezcla completa, es la siguiente:

$$\text{Sólidos en suspensión, SS, mg/l} = (2,3 \text{ a } 2,4) \times (\text{Turbiedad, NTU})$$

La observación más significativa relacionada con el tamaño de las partículas consiste en que la distribución de tamaños resulta ser bimodal. Este hecho es importante, puesto que influye sobre los mecanismos de eliminación que puedan tener lugar durante la filtración. Por ejemplo, parece razonable suponer que el mecanismo de eliminación de partículas de 1 micra de tamaño será diferente del que consiga la eliminación de las partículas de 80 micras (o incluso mayores). El carácter bimodal de la distribución de los tamaños de las partículas también se ha observado en las plantas de tratamiento de aguas.

La consistencia de los flóculos, que no sólo varía con el tipo de proceso sino también con el modo de operación, es asimismo importante. Por ejemplo, los flóculos residuales de la precipitación química del agua residual tratada biológicamente pueden ser considerablemente más débiles que los flóculos biológicos antes de la precipitación. Además, la consistencia de los flóculos biológicos varía con el tiempo medio de retención celular, aumentando con él. El aumento de la consistencia es consecuencia, en parte, de la producción de polímeros extracelulares que se producen con el aumento del tiempo medio de retención celular. Para tiempos medios de retención celular extremadamente altos (15 días o más), se ha observado una disminución de la consistencia de los flóculos.

Características del medio filtrante.

La característica del medio filtrante que más afecta al proceso de filtración es el tamaño del grano. El tamaño del grano afecta tanto a la pérdida de carga en la circulación del agua a través del filtro como a la tasa de variación de dicho aumento durante el ciclo de filtración. Si el tamaño de grano efectivo del medio filtrante es demasiado pequeño, la mayor parte de la fuerza actuante se empleará para vencer la resistencia de fricción provocada por el lecho filtrante, mientras que si el tamaño efectivo es demasiado

grande, muchas de las partículas de menor tamaño presentes en el agua a filtrar pasarán directamente a través del filtro sin ser eliminadas.

Velocidad de filtración.

La velocidad de filtración es un parámetro importante por cuanto afecta a la superficie necesaria del filtro. Para una aplicación dada del filtro, la velocidad de filtración dependerá de la consistencia de los flóculos y del tamaño medio de grano del lecho filtrante. Por ejemplo, si los flóculos son de débil consistencia, las velocidades de filtración elevadas tenderán a romper los flóculos y a arrastrar gran parte de los mismos a través del filtro. Se ha observado que las velocidades de filtración dentro del intervalo de 4,8 a 19,2 m²/m² . h no afectan la calidad del efluente del filtro, debido a la propia resistencia del flóculo biológico.

Mecanismos de eliminación de las partículas

MECANISMO	DESCRIPCION
RETENCION MECANICA	Las partículas de mayor tamaño que el poro del medio son retenidas mecánicamente
CONTACTO ALEATORIO	Las partículas de tamaño menor que los poros del medio filtrante quedan atrapadas dentro del filtro por contacto aleatorio
SEDIMENTACIÓN	Las partículas sedimentan sobre el medio filtrante
IMPACTO	Las partículas pesadas no seguirán las líneas de corriente del medio filtrante
INTERCEPCIÓN	Muchas de las partículas que se mueven según las líneas de corriente se eliminan cuando entran en contacto con la superficie del medio filtrante
ADHESION	Las partículas floclulentas llegan a adherirse ala superficie del medio filtrante al pasar por el. Dada la fuerza creada por el agua que fluye, parte de la materia es arrastrada antes de quedar firmemente adherida y es transportada a zonas mas profundas dentro del lecho. Al obturarse el lecho, la fuerza de arrastre superficial aumenta hasta un punto en el que no se puede eliminar mas materia. Es posible que una cierta cantidad de material atraviese el fondo del filtro, causando la súbita aparición de turbidez en el afluente.
ABSORCIÓN QUIMICA Enlace Interacción física ABSORCIÓN FISICA Fuerzas electrostáticas Fuerzas electrocinéticas Fuerzas de Van Der Wals	Una vez una partícula ha entra do en contacto con la superficie del medio filtrante o con otras partículas cualquiera de esos mecanismos o ambos a la vez, puede ser responsable de su retención.
FLOCULACION	Las partículas mayores alcanzan a las menores, se juntan con ellas y forman partículas de tamaños aun mayores. Estas partículas son subsiguientemente eliminadas por alguno de los mecanismos de eliminación indicadas anteriormente
CRECIMIENTO BIOLOGICO	El crecimiento biológico dentro del filtro reducirá el volumen del poro y puede mejorar la eliminación de partículas mediante alguno de los mecanismos de eliminación antes mencionados.

Correlación con Temas y Subtemas

Procesos avanzados
Tratamiento terciario
Tratamiento secundario
Eliminación de sólidos suspendidos

Material y Equipo

Tubos de PVC
Arena de distintos tamaños de grano
Grava o gravilla
Grifos
Coladeras para soporte
Regadera como deflector
Agua a tratar

Metodología

Corte tramos de tubo de PVC de 80 cm de largo, los tubos harán las veces de cilindros para soportar los medios filtrantes, y con los demás aditamentos, arme los lechos filtrantes primero con su soporte (coladera para caño), luego coloque una capa (cama) de grava o gravilla, luego coloque la cama de arena (medio filtrante). Tal como se muestra en la Figura 1

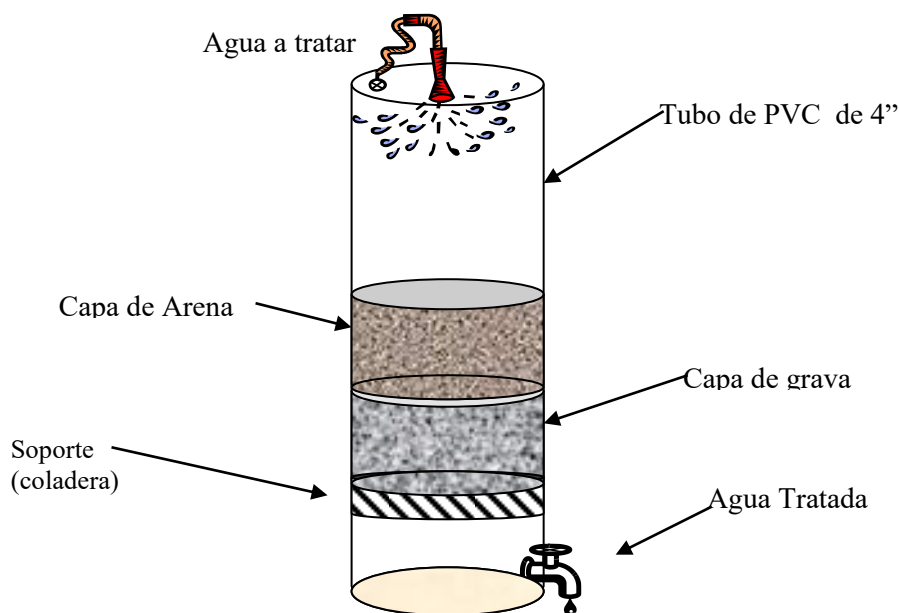


FIGURA 1.- Filtro Hecho con Tubo de PVC

Se pueden preparar 5 filtros, para evaluar la eficiencia en la eliminación de partículas suspendidas y velocidad de filtrado, colocando diferentes alturas de cama de arena, con el mismo tamaño de arena. El otro experimento es colocar diferentes tamaños de arena, pero con la misma altura.

Una vez preparados los filtros primeramente haga circular agua limpia para que ese lleve a cabo la estratificación de la capa de arena con la grava, y después empiece a alimentar el agua a tratar. El uso de la regadera a la entrada es para que el agua al pegar con la arena esta se mantenga uniforme.

Sugerencias Didácticas

Si en lugar de los tubos de PVC, se pueden conseguir tubos de plástico transparente, aunque sean de menor diámetro, la observación de la estratificación de las diferentes capas es mejor, ya que se puede observar el movimiento del agua a través de las diferentes capas y apreciar los esfuerzos por pasar las capas filtrantes.

Reporte (resultados).

Pida un reporte (grafica) al alumno en relación a la calidad del agua tratada contra el tiempo de filtrado y los diferentes tamaños de arena o diferentes grados de altura o profundidad de las camas filtrantes.

Bibliografía

Metcalf and Eddy; Wastewater Engineering Treatment and Reuse, fourth edition, Mc Graw Hill 2003

Glynn Henry, Gary Heinke; Ingeniería Ambiental, segunda edición, Prentice Hall, 1999

Reynolds Tom; Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, PWS-Kent Publishing Company, 1982

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19 ed., New York, 1995. pp 5-2 a 5-12.

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

Practica # 10

Tratamiento y disposición de lodos con el uso de lechos de secado

Objetivo.- Después de una caracterización de los lodos, el alumno podrá llevar a cabo el tratamiento de los lodos residuales, mediante el uso de secado por lechos, y una vez secos los lodos se podrá hacer la disposición y eliminación de estos.

Introducción.

En un tratamiento biológico de aguas residuales se obtienen volúmenes considerables de lodos. A estos lodos hay que someterlos a determinados procesos que reducirán su facultad de fermentación y su volumen. Las características de los fangos son consecuencia del uso que se les haya dado a las aguas. Los fangos de desecho se producen por sedimentación en los decantadores de los distintos procesos de tratamiento. Por un lado, las partículas sólidas más gruesas se depositan en el fondo del sedimentador primario y forman los lodos primarios. Las partículas más finas y disueltas se fijan y metabolizan por las bacterias que se multiplican en presencia de oxígeno durante la operación de aireación. Esta biomasa bacteriana se separa en el sedimentador secundario para producir los lodos secundarios. Una parte de esta biomasa se recircula al depósito de aireación, la otra se extrae constituyendo los lodos biológicos en exceso. Ambos tipos de lodos se pueden mezclar formando los lodos mixtos.

El tratamiento de los lodos depende de su composición y del tipo de agua residual del que proviene. Las fases más usuales en un proceso de tratamiento y evacuación de lodos son: concentración o espesamiento, digestión, acondicionamiento, secado, incineración y/o eliminación. El tratamiento de los lodos será en función de las disponibilidades económicas, destino final previsto, existencia de espacio, etc.

Espesamiento

La misión del espesamiento de los lodos es concentrarlos para hacerlos más densos, reduciendo el volumen global para facilitar el manejo de los mismos y abaratar los costes de las instalaciones posteriores. Existen varios tratamientos posibles:

- a) **Concentración en espesadores:** Un espesador es un depósito cilíndrico terminado en forma cónica. Normalmente, el lodo que llega a estos espesadores es de tipo mixto. Suelen tener un cono de descarga de gran pendiente. La concentración que cabe esperar es de hasta un 5-10 %.
- b) **Flotación:** Es una alternativa al espesamiento propiamente dicho. Consiste en inyectar aire a presión al lodo a tratar formando un manto en la superficie que, mediante una rasqueta superficial, es barrido hacia una arqueta. Este tipo de espesamiento se utiliza para fangos muy ligeros con gran cantidad de bacterias filamentosas.
- c) **Centrifugación:** Se utiliza tanto para concentración como para deshidratación.

Digestión

El proceso de digestión de lodos puede llevarse a cabo por vía anaerobia (la principal) o por vía aerobia. Ambas soluciones tienen sus ventajas e inconvenientes, si bien puede

decirse que en instalaciones importantes resulta más conveniente la primera, reservándose la vía aerobia para estaciones de menor importancia.

Digestión anaerobia

La digestión anaerobia consiste en una serie de procesos microbiológicos que convierte la materia orgánica en metano en ausencia de oxígeno. La producción de metano es un fenómeno relativamente común en la naturaleza, ya que puede formarse desde en glaciares hasta en el sistema digestivo de rumiantes. Este proceso, a contrario de la digestión aerobia, es producido casi únicamente por bacterias.

El proceso se lleva a cabo en unos depósitos cerrados (de hasta 30 m de diámetro y casi 20 de altura) denominados digestores, que permiten la realización de las reacciones correspondientes y la decantación de los lodos digeridos en su parte baja de forma cónica. En el proceso se produce un gas, denominado gas biológico (mezcla de metano y CO₂ principalmente) que se evacua del recinto. El fango introducido en el digestor se agita, con el fin de mantener una homogeneidad, mediante un sistema mecánico, o bien por medio de la difusión del propio gas de la mezcla. Para facilitar el proceso de digestión y reducir su duración, los lodos se calientan a temperaturas de alrededor de 30-37°, siendo conveniente que este calor se aporte utilizando como combustible el propio gas de la digestión.

La digestión anaerobia puede hacerse en una o dos etapas. Generalmente, el hacerlo en dos etapas (digestores primarios y secundarios) produce mejores resultados. En los primarios, el lodo se mezcla constantemente con el propio gas producido para favorecer la digestión, mientras que en el secundario simplemente se deja sedimentar el lodo antes de extraerlo. El proceso completo dura aproximadamente 30 días (20 en los digestores primarios y 10 en el secundario).

Las ventajas y desventajas de la digestión anaerobia con respecto a la digestión aerobia son las siguientes:

Ventajas:

- ☐ El aceptor final de electrones suele ser CO₂, por lo que no hace falta la constante adición de oxígeno, abaratando el proceso.
- ☐ Produce menor cantidad final de lodos, pues el desarrollo de estas bacterias es más lento y la mayor parte de la energía se deriva hacia la producción del producto final, metano. Solo un 5% del carbono orgánico se convierte en biomasa, en contraste con hasta el 50% de las condiciones aerobias.
- ☐ El metano tiene un valor calorífico de aproximadamente 9000 kcal/m³ y se puede utilizar para producir calor para la digestión o como fuente de energía eléctrica mediante motogeneradores.
- ☐ La energía requerida para el tratamiento de las aguas residuales es muy baja.
- ☐ Se puede adaptar a cualquier tipo de residuo industrial.
- ☐ Se pueden cargar los digestores con grandes cantidades de materia.

Desventajas

- ☐ Es un proceso más lento que el aerobio.
- ☐ Es más sensible a tóxicos inhibidores.

- ☐ La puesta a punto del sistema requiere también largos periodos.
- ☐ En muchos casos, se requiere mayor cantidad de producto a degradar para el buen funcionamiento.

Digestión aerobia

Es otro procedimiento alternativo de digestión de lodos que, como se ha indicado, suele aplicarse solamente en pequeñas instalaciones. Consiste en estabilizar el lodo por aireación, destruyendo así los sólidos volátiles. El tiempo de aireación suele oscilar entre 10 y 20 días, según la temperatura.

Acondicionamiento de los lodos

Los lodos urbanos y muchos industriales tienen una estructura coloidal que los hace poco filtrables a la hora del secado posterior a la digestión, por lo que el sistema de filtración consigue un bajo rendimiento. Para evitar este inconveniente se añade a los lodos reactivos floculantes que rompen la estructura coloidal y le confiere otra de carácter granular de mayor filtrabilidad. Los reactivos más utilizados son las sales de hierro (Cl_3Fe), sales de aluminio, cal (CaO) y/o polielectrolito.

Secado

Su objetivo es eliminar agua del lodo para convertirlo en una pasta sólida fácilmente manejable y transportable. El sistema depende de la cantidad de lodo y del terreno disponible.

El primer sistema utilizado fue el de Lechos de secado por su simplicidad y bajo costo. El procedimiento consiste en la disposición de los fangos a secar sobre una superficie al aire libre dotada de un buen drenaje. La altura de la capa extendida varía según las características del fango. Para fangos urbanos digeridos se disponen capas de 20 a 30 cm. La superficie de las Eras varía en función del clima de la zona. La “torta” de fangos se suele secar cuando la humedad de la misma desciende por debajo del 40%. Un puente rascador que se mueve sobre unos carriles pueden emplearse en la extracción de la torta de fango.

En el caso de lechos de grandes poblaciones y con problemas de grandes espacios existen otros mecanismos de secado como son los filtros de banda, filtros prensa y/o centrifugación. En estos casos, la torta producida suele tener alrededor del 25% de material seco. Estas tortas son recogidas mediante una cinta transportadora y enviada a la tolva para su retirada. El lodo una vez seco puede ser transportado a un vertedero e incinerado (aguas urbanas con aporte industrial) o utilizado como corrector de suelos (aguas exclusivamente urbanas).

Correlación con Temas y Subtemas

Material y Equipo

Cajones de madera

Lodo espeso, de preferencia fabricado con tierra y agua para evitar contaminación

Estufa o incubadora

Impermeabilizante para techos

Metodología

Haga pequeños cajones de madera, o bien haga un cajón grande de 50 cm de ancho por un metro de largo con diferentes compartimientos Figura 1.

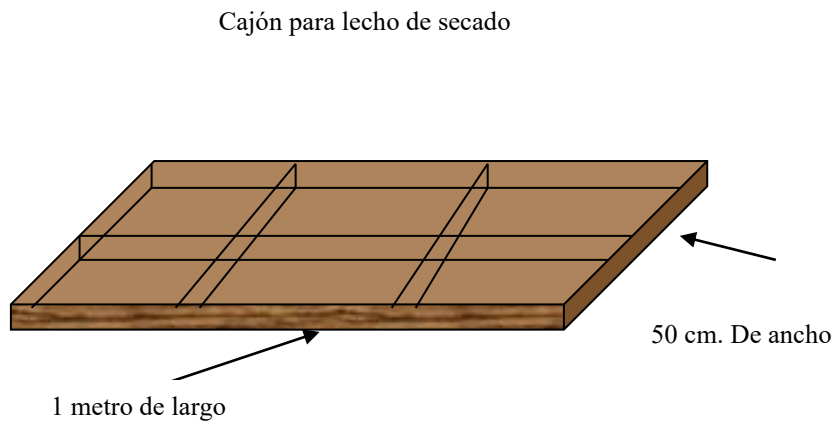


FIGURA1

Impermeabilize lo que seria el lecho de secado y llene cada compartimiento con el mismo volumen de lodo en cada lecho, pero con diferentes concentración en relación a la cantidad de materia en el agua

Coloque el lecho de secado en un lugar soleado en donde le sea fácil mover y monitorear el proceso, y también cuidarlo de la lluvia.

El sol hará el trabajo de secado, después de una semana cheque la cantidad de humedad de la torta y el tipo de torta que queda de acuerdo al tipo de material usado para la preparación del lodo.

Una vez seco el lodo estará en condiciones de disponerse en la tierra.

Si se usa lodo biológico, estabilícelo con cal antes de trabajar con el

Sugerencias Didácticas

Esta practica puede hacerse usando cajas de petri como lechos de secado, y acelerar el proceso en una estufa o incubadora.

Reporte (resultados).

Pida al alumno que haga una grafica de tiempo contra porcentaje de humedad de cada lecho, y de esta manera calcule el tiempo de secado. Total.

Bibliografía

Metcalf and Eddy; Wastewater Engineering Treatment and Reuse, fourth edition, Mc Graw Hill 2003

Glynn Henry, Gary Heinke; Ingenieria Ambiental, segunda edicion, Prentice Hall, 1999

Reynolds Tom; Unit Operations and Processes in Environmental Engineering, PWS-Kent Publishing Company, 1982

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. 19 ed., New York, 1995. pp 5-2 a 5-12.

Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes. United States Environmental Protection Agency. Cincinnati, 1983.

Practica # 11

Visita a una planta de Tratamiento de aguas residuales

Objetivo.- Para cerrar el curso de tratamiento de aguas residuales, debe de programarse una visita a una planta de tratamiento de aguas residuales, preferentemente que tenga como tratamiento secundario un tratamiento biológico.

Introducción.

Para finalizar el curso y comprender de manera real los tamaños reales de los diferentes equipos que se utilizan en una el tratamiento de las aguas residuales es necesario hacer una visita a una planta de tratamiento de aguas residuales, con tratamiento biológico. (lodos activados) preferentemente ya que es lo que se vio en el curso.

Las operaciones y/o procesos unitarios mínimas que deben de considerarse a observar en la planta son:

- Pretratamiento
 - Cribado
 - Trituración
 - Desarenado
- Tratamiento Primario
 - Sedimentador primario
- Tratamiento Secundario o Biológico
 - Reactor biológico
- Tratamiento Terciario (si es posible)
 - Filtración.
- Tratamiento de Lodos
 - Secado y disposición

En terminos generales ya que una planta puede ser mas simple o mas sofisticada según sea el caso.

Correlación con Temas y Subtemas

Todos los del programa

Material y Equipo

Transporte para traslado a la planta

Cuaderno de apuntes

Metodología

La visita conforme lo marque el gerente de planta

Sugerencias Didácticas

Comente con los alumnos las ventajas de los tratamientos de agua y el cuidado del medio ambiente, así como el recurso agua.

Reporte (resultados).

Pida un reporte de la visita al alumno.

Bibliografía

Metcalf and Eddy; Wastewater Engineering Treatment and Reuse, fourth edition, Mc Graw Hill 2003