

SEP

SNEST

DGEST

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA



INFORME FINAL DE PERIODO SABÁTICO

“ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PRÁCTICAS:
LABORATORIO DE DEPURACIÓN DE EFLUENTES,
RETÍCULA IQUI-2010-232”

PRESENTADO POR:
M.C. HILDA PATRICIA MEDINA CABALLERO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOQUÍMICA

METEPEC, MÉX., 25 DE AGOSTO DEL 2014

I N D I C E

	Página
I.OBJETIVO GENERAL DEL MANUAL	4
II.NÚMERO, NOMBRE Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE CADA PRÁCTICA	5
III.DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS	
PRÁCTICA 1: Muestreo de efluentes líquidos y medición de parámetros in situ y en laboratorio	8
PRÁCTICA 2: Muestreo de efluentes gaseosos y medición de parámetros in situ	28
PRÁCTICA 3: Caracterización de residuos sólidos urbanos	39
PRÁCTICA 4: Medición de caudales mediante flotadores y vertedores	53
PRÁCTICA 5: Sedimentación en columna de una suspensión floculenta	61
PRÁCTICA 6: Estudio de sedimentación impedida (retardada o zonal) y por compactación en una columna	72
PRÁCTICA 7: Sedimentación de partículas en una corriente gaseosa y dimensionamiento de una cámara de sedimentación	79
PRÁCTICA 8: Prueba de jarras y proceso de coagulación-floculación en planta piloto	85
PRÁCTICA 9: Tratamiento de efluentes en columnas de adsorción y de intercambio iónico	92
PRÁCTICA 10: Tratamiento de efluentes en columnas de absorción	106
PRÁCTICA 11: Corrida experimental en reactor biológico de mezcla completa	118
PRÁCTICA 12: Corrida experimental en reactor anaerobio para tratamiento de residuos sólidos	126
PRÁCTICA 13: Prueba de jarras y proceso de coagulación-floculación en planta piloto	134

PRÁCTICA 14: Composteo de residuos sólidos	140
PRÁCTICA 15: Visita a una empresa que cuente con equipo para el control de emisiones a la atmósfera	144
PRÁCTICA 16: Visita a un relleno sanitario/estación de reciclado de residuos sólidos	148
ANEXO A	153
ANEXO B	155
ANEXO C	156

I.OBJETIVO GENERAL DEL MANUAL:

Desarrollar prácticas para la obtención e interpretación de datos experimentales sobre los diferentes procesos y operaciones de tratamiento de efluentes vistos en las asignaturas teóricas del módulo de especialidad en Ingeniería Ambiental.

Las prácticas cubrirán el 100% de los temas y subtemas de la asignatura, definiéndose los objetivos específicos de cada una de las prácticas, la correlación con los temas y subtemas, así como la metodología para que el alumno establezca las condiciones bajo las cuales realizará la práctica.

Contenido de cada práctica:

1. No. de práctica
2. Nombre
3. Objetivo
4. Introducción
5. Especificar la correlación con el o los temas y subtemas del programa de estudio vigente.
6. Material y equipo necesario
7. Metodología
8. Sugerencias didácticas
9. Reporte del alumno (resultados)
10. Bibliografía preliminar

II. NÚMERO, NOMBRE Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE CADA PRÁCTICA

Práctica 1:

Nombre: Muestreo de efluentes líquidos y medición de parámetros in situ y en laboratorio.

Objetivos específicos:

- Identificar las condiciones que indica la normatividad vigente para el muestreo.
- Obtener muestras simples y compuestas
- Caracterizar la muestra mediante la determinación de parámetros físicos, químicos y biológicos.
- Proponer tren de tratamiento, en función de la caracterización y uso posterior del líquido.

Práctica 2 :

Nombre: Muestreo de efluentes gaseosos y medición de parámetros in situ.

Objetivos específicos:

- Identificar las condiciones que indica la normatividad vigente para el muestreo de efluentes gaseosos.
- Analizar los tipos de muestreo para gases y partículas.
- Conocer los métodos para la determinación de parámetros in situ.

Práctica 3:

Nombre: Caracterización de residuos sólidos urbanos

Objetivos específicos:

- Realizar el método de cuarteo para la obtención de muestras representativas.
- Determinar el peso volumétrico de los residuos sólidos.
- Cuantificar subproductos y medir características químicas de los residuos.

Práctica 4:

Nombre: Medición de caudales mediante flotadores y vertedores

Objetivos específicos:

- Identificar los métodos de velocidad-área y descarga directa existentes
- Calcular el flujo de una corriente usando flotadores
- Calcular el flujo de una corriente usando vertedores

Práctica 5:

Nombre: Sedimentación en columna de una suspensión floculenta

Objetivos específicos:

- Identificar las características de la sedimentación floculante
- Obtener datos de porcentajes de remoción de SST y curvas de sedimentación
- Obtener velocidades de sedimentación

Práctica 6:

Nombre: Estudio de sedimentación impedida (retardada o zonal) y por compactación en una columna.

Objetivos específicos:

- Identificar las características de la sedimentación impedida y por compactación
- Obtener la curva de sedimentación
- Obtener velocidades de sedimentación

Práctica 7:

Nombre: Sedimentación de partículas en una corriente gaseosa y dimensionamiento de una cámara de sedimentación

Objetivos específicos:

- Identificar las características de la sedimentación de partículas en el aire
- Obtener velocidades de sedimentación
- Calcular dimensiones de una cámara de sedimentación

Práctica 8:

Nombre: Prueba de jarras y proceso de coagulación-floculación en planta piloto

Objetivos específicos:

- Determinar las condiciones óptimas para el proceso de coagulación-floculación mediante prueba de jarras.
- Conocer el proceso de coagulación-floculación en planta piloto
- Determinar parámetros de operación del proceso

Práctica 9:

Nombre: Tratamiento de efluentes en columnas de adsorción y de intercambio iónico

Objetivos específicos:

- Conocer el funcionamiento de columnas de adsorción y de intercambio iónico
- Determinar parámetros de operación
- Calcular eficiencias de remoción

Práctica 10:

Nombre: Tratamiento de efluentes en columnas de absorción

Objetivos específicos:

- Conocer el funcionamiento de columnas de absorción
- Determinar parámetros de operación
- Calcular eficiencias de remoción

Práctica 11:

Nombre: Corrida experimental en reactor biológico de mezcla completa

Objetivos específicos:

- Conocer el funcionamiento de un reactor de mezcla completa
- Determinar parámetros de operación y diseño

Práctica 12:

Nombre: Corrida experimental en reactor anaerobio para tratamiento de residuos sólidos

Objetivos específicos:

- Conocer el funcionamiento de un reactor anaerobio
- Determinar parámetros de operación y diseño
- Analizar ventajas y desventajas entre los procesos biológicos aerobios y anaerobios para el tratamiento de efluentes.

Práctica 13:

Nombre: Composteo de residuos sólidos

Objetivos específicos:

- Conocer el proceso de composteo
- Determinar parámetros de operación

Práctica 14:

Nombre: Visita a una planta de tratamiento de aguas residuales

Objetivos específicos:

- Conocer el equipo empleado para el tratamiento de aguas residuales
- Identificar objetivo y principio de operación de cada proceso/operación empleado
- Realizar diagrama de bloques del proceso de tratamiento

Práctica 15:

Nombre: Visita a una empresa que cuente con equipo para el control de emisiones a la atmósfera

Objetivos específicos:

- Conocer el equipo empleado para el control de emisiones a la atmósfera
- Identificar objetivo y principio de operación de cada proceso/operación empleado
- Realizar diagrama de bloques del proceso de tratamiento

Práctica 16:

Nombre: Visita a un relleno sanitario/estación de reciclado de residuos sólidos

Objetivos específicos:

- Conocer el funcionamiento del relleno sanitario/estación de reciclado
- Identificar la legislación y normatividad vigente para su instalación y operación

Práctica No. 1

Muestreo de efluentes líquidos y medición de parámetros in situ y en laboratorio.

OBJETIVO

Realizar el muestreo de un efluente líquido, siguiendo la normatividad vigente para la toma de muestras simples y/o compuestas. Así como proponer tren de tratamiento para dicho efluente, en función de la caracterización y uso posterior del líquido.

INTRODUCCIÓN

Para poder eliminar los contaminantes del agua residual, son necesarios una serie de tratamientos, los cuales dependerán de las características iniciales que posee el agua, y del uso posterior que se le dará al efluente una vez tratado.

Para poder determinar las propiedades del agua es de suma importancia realizar el muestreo siguiendo el procedimiento adecuado, con la finalidad de que sea reproducible y se obtengan muestras representativas, cuidando que las muestras no sufran ningún cambio en el intervalo entre el muestreo y el análisis.

Las características iniciales del agua a tratar son importantes, indican las concentraciones de los diversos contaminantes que se desean eliminar, y se determinan a través de análisis de tipo cuantitativo. Las técnicas adecuadas para realizar dichos análisis se encuentran en las Normas Mexicanas, conocidas como NMX, y pueden consultarse en la página web de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). En el Anexo A se presenta una tabla donde se incluye clave, nombre y fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación (D.O.F.) de algunas de las Normas Mexicanas comúnmente empleadas en el análisis de agua residual (SEMARNAT, 2011). Es importante mencionar que la mayoría de las normas mexicanas se encuentran fundamentadas en las técnicas que aparecen en el libro conocido como *Standard Methods for the examination of water and wastewater* (APHA y colaboradores, 1995), publicado y actualizado continuamente por organismos expertos de los Estados Unidos de Norteamérica.

Las características que posee el agua suelen clasificarse en físicas, químicas y biológicas. Dentro de los constituyentes físicos se incluyen los sólidos en todas sus formas (sólidos totales, suspendidos, disueltos, sedimentables, fijos, volátiles), el color, olor y la temperatura. Algunas de las características químicas más comunes son pH, alcalinidad, fosfatos, sulfatos, sustancias activas al azul de metileno (SAAM), nitrógeno (total, amoniacal, nitritos, nitratos), cloruros, contenido orgánico (DBO, DQO, COT), metales (plomo, cadmio, mercurio, cromo, entre otros). Por otra parte, los parámetros biológicos generalmente se determinan como huevos de helminto, coliformes totales y fecales.

Una vez que se ha caracterizado el agua a tratar, también se debe conocer para qué se usará el agua, ya que de esto dependerá el nivel de tratamiento que se le dará, por ejemplo, no se le puede dar el mismo tratamiento a un agua que será utilizada para riego de áreas verdes, que si se emplea en intercambiadores de calor dentro de un proceso. A partir de lo anterior, es posible establecer los parámetros finales que debe cumplir el efluente tratado, los cuales se verificarán a través de los análisis correspondientes.

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE:

La unidad 1 aborda el tema de Muestreo, y con esta práctica se cubre lo indicado en el subtema 1.1.1, ya que se realiza la toma de muestra de agua residual, es decir un efluente líquido, así como se determinan parámetros no solo in situ, sino también en el laboratorio. Además, el alumno, tomando como base los resultados obtenidos y la búsqueda de límites permisibles de descarga, propone las operaciones necesarias para el tratamiento de dicho efluente, reforzando lo que ya vio en el curso de Ingeniería de Efluentes Líquidos.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

a)Muestreo (consultar NMX-AA-003 y NMX-AA-014) (SEMARNAT, 2011):

Frascos de vidrio, de polietileno o borosilicato, de boca ancha y cierre hermético, con capacidad de 2 litros.

Hielera

Etiqueta

Hoja de registro

Equipo de protección personal básico (figura 1.1):

- Guantes de látex, de acrilonitrilo o de PVC.
- Bata u overol de algodón.
- Botas de suela antiderrapante, botas de hule o pantaloneras.
- Gorra o casco (clase G Alto impacto)
- Lentes de protección y cubrebocas.



a)Guantes

b)Botas

c)Casco

Figura 1.1. Equipo de protección personal (Hi-par, 2013)

b)Medición de temperatura (consultar NMX-AA-007-SCFI-2000):

Termómetro de mercurio en vidrio, con graduaciones de 0.1°C, en un intervalo de temperatura que abarque por lo menos desde -1°C hasta 101°C.

Estuches metálicos de protección para los termómetros de uso en campo.

Envases de polietileno o de vidrio limpios, de 500 mL de capacidad.

c)Determinación de materia flotante (consultar NMX-AA-006-SCFI-2010):

Malla metálica con abertura entre 2.8 y 3.3 mm.

Recipiente con boca ancha con un volumen que se encuentre entre 3 y 5 L

Agitador de vidrio con gendarme

Espátula

d)Determinación de pH (consultar NMX-AA-008-SCFI-2011):

Recipiente de muestreo, con capacidad mínima de 500 mL, fondo plano y hecho con vidrio de baja alcalinidad, por ejemplo, vidrio de borosilicato; o recipientes de plástico que puedan ser impermeables a los gases.

Termómetro con una resolución de 0.5 °C

Potenciómetro con una resolución de 0.01 unidades de pH o mejor.

e)Determinación de sólidos sedimentables (consultar NMX-AA-004-SCFI-2000):

Cono Imhoff con soporte

Varilla de vidrio

Reloj o cronómetro

f)Determinación de sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos volátiles y fijos (consultar NMX-AA-034-SCFI-2001):

Bomba de vacío

Estufa eléctrica, para operar de 103°C a 105°C

Balanza analítica con precisión de 0.1 mg

Mufla eléctrica para operar a 500°C ± 50°C

Cápsulas de evaporación adecuadas al volumen de la muestra

Desecador, provisto con un desecante que contenga un indicador colorido de humedad

Crisol Gooch de poro fino con adaptador de hule para el equipo de filtración

Matraz Kitazato de 1 L a 2 L de capacidad

Filtro de fibra de vidrio de tamaño adecuado al crisol Gooch utilizado con una porosidad de 2 µm o menor

Pinzas para crisol

Guantes para protección al calor

Careta para protección al calor

g)Determinación de acidez y alcalinidad (consultar NMX-AA-036-SCFI-2001)

Balanza analítica con precisión de 0,1 mg

Estufa

Bureta

Matraces Erlenmeyer de 250 mL.

NOTA: Todas las determinaciones anteriores requieren el uso del equipo de protección personal básico mencionado en el inciso a)Muestreo.

METODOLOGÍA

a)Muestreo:

Realizar el programa de muestreo, especificando:

- Tipo de muestra (simple o compuesta)
- Puntos de muestreo y número de muestras
- Volumen de muestra
- Recipientes de muestreo y etiquetas con la información requerida

- Hoja de registro
 - Parámetros a medir in situ (en campo): Temperatura, materia flotante y pH
 - Parámetros a analizar en el laboratorio (establecer con el profesor)
 - Preservación de muestras (consultar la tabla 1 del PROY-NMX-AA-003/2-SCFI-2008, así como los procedimientos de las NMXs en función de los parámetros a determinar)
 - Equipo de muestreo, material y reactivos necesarios
 - Equipo de protección personal
- Llevar a cabo el muestreo según lo indicado en las NMX-AA-003-1980, PROY-NMX-AA-003/1-SCFI-2008 y PROY-NMX-AA-003/2-SCFI-2008.
- Para el muestreo de fisicoquímicos en canales, cuerpos receptores y colectores (figura 1.2):
- Se destapa el frasco y se introduce directamente a contracorriente (1).
 - Se llena el recipiente, se agita y se vacía (2,3).
 - Se repite esta operación 3 veces.
 - Acto seguido se toma la muestra (4).
 - Colocar etiquetas de identificación a cada uno de los frascos con todos los datos (5).

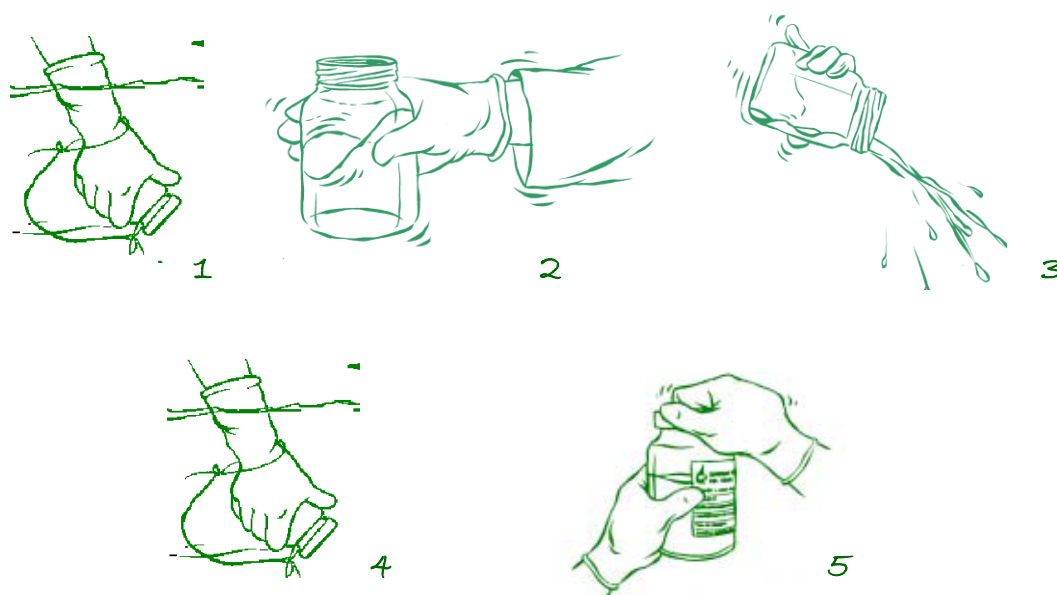


Fig.1.2. Muestreo en canales, cuerpos receptores y colectores (Gómez, 2004).

Recomendaciones:

Las muestras deben ser recolectadas de líquidos bien mezclados en turbulencias, siempre que sea posible.

El volumen de la muestra recolectada debe ser suficiente para los análisis requeridos y para cualquier repetición del análisis. El uso de volúmenes pequeños de muestra puede causar que las muestras recolectadas no sean representativas.

Antes de tomar las muestras de cada uno los parámetros de este manual, se deben enjuagar los recipientes tres veces con el agua residual; cada enjuague se debe verter lejos del sitio y procurar que regrese aguas abajo a la corriente de la descarga. Posteriormente, se toma la muestra.

Generalmente, es mejor tomar la muestra directamente dentro del recipiente de muestra. En la práctica, una botella con contrapeso es tapada y lanzada dentro del cuerpo de agua. A una profundidad determinada, se retira el tapón y la botella es llenada y subsecuentemente retirada. Si no es posible tomar la muestra directamente en el recipiente, se puede utilizar un equipo simple, que puede ser una cubeta, la cual se introduce en el cuerpo de agua y se tira hacia afuera después de ser llenada. Una vez recolectada la muestra en la cubeta, se pasa al recipiente de muestra (PROY-NMX-AA-003/1-SCFI-2008).

Medidas de seguridad:

Debido a la diversidad de contaminantes contenidos en las aguas residuales, es indispensable utilizar el equipo de seguridad adecuado que evite tanto la inhalación de gases tóxicos como la ingestión de materiales tóxicos a través de las vías nasal, oral o cutánea. Además, se debe evitar, el muestreo en sitios inseguros, como riberas inestables en ríos; se recomienda muestrear desde puentes, en lugar de la ribera (figura 1.3). La operación se debe realizar por más de una persona, aplicando las precauciones adecuadas. No se debe beber, comer, ni fumar en los periodos en que se esté tomando la muestra. Tampoco tocarse los ojos o la boca sin antes haberse lavado y desinfectado las manos.



Figura 1.3. Muestreo desde un puente (Inst. de Ingeniería-UNAM, 2006)

b) Medición de temperatura:

Hacer las mediciones en función de la NMX-AA-007-SCFI-2000.

Tomar un volumen de 1000 mL de agua

Enjuagar con agua destilada el instrumento antes de cada medición.

Mantener inmerso el termómetro y esperar el tiempo suficiente (un minuto) para tomar la lectura y obtener tres mediciones de temperatura estables.

El vástago debe estar separado al menos 2 cm de las paredes del recipiente.

Las tres lecturas se obtienen directamente de la escala del termómetro y se informa el promedio en grados centígrados (°C), con aproximación a la décima de grado (0.1°C).

Recomendaciones:

Las determinaciones de temperatura deben efectuarse de inmediato en el lugar de muestreo. Cuando sea posible, se efectúa la determinación de temperatura directamente, sin extraer muestra, sumergiendo el termómetro en el cuerpo de agua por examinar. Cuando sea preciso extraer una muestra, se debe tomar un volumen suficiente de muestra tal que el instrumento quede debidamente inmerso.

Se recomienda tomar un volumen mínimo de 1 L para inmersión parcial en un envase de polietileno o de vidrio limpio y 500 mL para termopar u otro instrumento.

c)Determinación de materia flotante:

Seguir indicaciones de la NMX-AA-006-SCFI-2010.

Verter un mínimo de 3 L de muestra, a través de la malla.

Arrastrar con varilla de vidrio o espátula toda aquella materia flotante que quede adherida a las paredes del recipiente.

Proceder al examen de la malla inmediatamente después de filtrar.

Reportar como presencia de materia flotante, si se observan partículas retenidas en la malla, de lo contrario reportar como ausencia de materia flotante.

Recomendaciones:

Debe tomarse un mínimo de 3 L de muestra. La muestra debe ser simple y tomada directamente de la descarga, cuando esto no sea posible, utilizar un recipiente de muestreo.

El análisis debe realizarse en campo.

No se debe preservar la muestra.

d)Determinación de pH:

Consultar procedimiento marcado en NMX-AA-008-SCFI-2011.

Medir la temperatura de las disoluciones amortiguadoras de pH.

Ajustar el control de la temperatura del potenciómetro. Las disoluciones amortiguadoras de pH y las muestras deben tener la misma temperatura, cuando sea posible.

Para llevar a cabo la calibración del medidor de pH o potenciómetro siga las instrucciones del fabricante del equipo.

Deben elegirse las disoluciones amortiguadoras de modo que el pH esperado de la muestra se encuentre dentro del intervalo de las disoluciones amortiguadoras de pH utilizadas.

Enjuagar el electrodo con agua y sumergirlo en la disolución amortiguadora o muestra, según sea el caso.

Agitar la disolución suavemente con el electrodo y permita que el líquido repose (tomar la lectura sin agitación).

Recomendaciones:

La temperatura, algunos gases y materiales orgánicos interfieren con la medición de pH. Materiales suspendidos en la muestra pueden provocar errores significativos (efecto de suspensión). Espere la sedimentación y sumerja los electrodos en la fracción clara; o bien, filtre la muestra. Cuando se hace la medición en aguas residuales y algunas aguas superficiales, hay un alto riesgo de manchar los electrodos o de contaminar las membranas y los diafragmas con aceite, grasa u otros contaminantes, por lo que es necesaria la limpieza regular de los electrodos.

El valor de pH puede cambiar rápidamente en la muestra de agua como resultado de procesos químicos, físicos o biológicos. Por esta razón, mida el pH lo más rápidamente posible sin exceder 6 h después de la toma de muestra

e)Determinación de sólidos sedimentables:

Leer cuidadosamente NMX-AA-004-SCFI-2000.

Mezclar la muestra a fin de asegurar una distribución homogénea de los sólidos en suspensión

Depositar un litro de la muestra en un cono Imhoff (figura 1.4) de un litro de capacidad y dejarla reposar durante 45 minutos para que sedimenten los sólidos (Juárez, 2009).

Transcurrido este tiempo, usar una varilla para desprender con cuidado los sólidos adheridos a las paredes del cono y dejar reposar la muestra otros 15 minutos.

Leer directamente en el cono los mililitros de sólidos sedimentados.

Reportar el contenido de sólidos sedimentables como mililitros de sólidos por litro de muestra.

Recomendaciones:

Para estos parámetros no se usa algún preservador químico. Sólo se deben mantener las muestras a 4°C hasta su análisis en el laboratorio. El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de siete días. Sin embargo, se recomienda realizar los análisis dentro de las 24 horas posteriores a su colecta (Gómez, 2004).



Figura 1.4. Cono Imhoff (Instrumentación Científica Técnica, 2011)

f) Determinación de sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos volátiles y fijos:

Consultar NMX-AA-034-SCFI-2001.

Preparación general de la muestra para todas las determinaciones de sólidos:

Sacar las muestras del sistema de refrigeración y permitir que alcancen la temperatura ambiente; agitarlas para asegurar la homogeneización de la muestra.

f.1) Sólidos totales (ST)

Preparación de cápsulas de porcelana:

Introducir las cápsulas a la mufla a una temperatura de $550^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlas a la estufa a $103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$ aproximadamente 20 min.

Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.

Pesar las cápsulas y registrar los datos.

Repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtendrá hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0.5 mg. Registrar como peso G (cápsula a peso constante).

Determinación de ST:

Colocar una alícuota de 50 mL de muestra de agua residual en la cápsula de porcelana con peso constante obtenida en el punto anterior.

Llevar a sequedad la muestra en la estufa a 103°C-105°C.

Enfriar en desecador hasta temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante (hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0.5 mg). Registrar como peso G1.

Determinar el contenido de sólidos totales en la muestra usando la siguiente ecuación:

$$ST = (G1 - G) / V$$

donde:

ST son los sólidos totales, en mg/L.

G1 es el peso de la cápsula con el residuo, después de la evaporación.

G es el peso de la cápsula vacía, a peso constante.

V es el volumen de muestra.

NOTA: Realizar el análisis de unidades para expresar el resultado en mg/L.

f.2) Sólidos totales volátiles y sólidos totales fijos (STV y STF)

Introducir la cápsula conteniendo el residuo de la determinación de ST, a la mufla a 550°C ± 50°C durante 15 min a 20 min, transferir la cápsula a la estufa a 103°C - 105°C aproximadamente 20 min, sacar la cápsula, enfriar a temperatura ambiente en desecador y determinar su peso hasta alcanzar peso constante. Registrar como peso G2.

Calcular el contenido de sólidos totales volátiles de las muestras como sigue:

$$STV = (G1 - G2) / V$$

donde:

STV son los sólidos totales volátiles, en mg/L.

G2 es el peso de la cápsula con el residuo, después de la calcinación.

V es el volumen de muestra.

La concentración de STF (en mg/L) se obtiene por diferencia:

$$SFT = ST - SVT$$

f.3) Sólidos suspendidos totales (SST)

Preparación de crisoles Gooch:

Introducir el filtro de fibra de vidrio (disco) en el crisol con la cara rugosa hacia arriba, mojar el filtro con agua destilada para asegurar que se adhiera al fondo del crisol.

Los crisoles (con filtro) se introducen a la mufla a una temperatura de 550°C ± 50°C, durante 20 min como mínimo. Después de este tiempo transferirlos a la estufa a 103°C - 105°C aproximadamente 20 min.

Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.

Pesar los crisoles y repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante, el cual se obtiene hasta que no haya una variación en el peso mayor a 0.5 mg. Registrar como G3.

Determinación de SST

Medir con una probeta, 50 mL de muestra previamente homogeneizada.

Filtrar la muestra a través del crisol Gooch preparado anteriormente aplicando vacío, lavar el disco tres veces con 10 mL de agua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado.

Suspender el vacío y secar el crisol en la estufa a una temperatura de 103°C a 105°C durante 1 hora aproximadamente. Sacar el crisol, dejar enfriar en un desecador a temperatura ambiente y determinar su peso hasta alcanzar peso constante registrar como peso G4.

Calcular el contenido de sólidos suspendidos totales de las muestras como sigue:

$$SST = (G4 - G3) / V$$

donde:

SST son los sólidos suspendidos totales, en mg/L.

G3 es el peso del crisol con el disco a peso constante.

G4 es el peso del crisol con el disco y el residuo seco.

V es el volumen de muestra.

f.4) Sólidos disueltos totales (SDT)

La determinación de sólidos disueltos totales o sales disueltas totales es por diferencia entre los sólidos totales menos los sólidos suspendidos totales:

$$SDT = ST - SST$$

Donde SDT son los sólidos disueltos totales, en mg/L.

Recomendaciones

Deben tomarse un mínimo de 500 mL de muestra en envases de polietileno y taparse inmediatamente después de la colecta. Pueden utilizarse muestras compuestas o simples.

No se requiere de ningún tratamiento específico en campo.

Debe preservarse la muestra a 4°C hasta su análisis.

El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 7 días. Sin embargo, se recomienda realizar el análisis dentro de las 24 h posteriores a su colecta. Las muestras deben estar a temperatura ambiente al momento del análisis (NMX-AA-034-SCFI-2001).

Al introducir las cápsulas de porcelana de la mufla al desecador, evitar cerrar completamente el desecador, ya que puede sellarse al formarse un vacío por la gran diferencia de temperaturas; esperar unos minutos, y cerrarlo completamente.

Medidas de seguridad:

Cuando se trabaje este método, debe usarse todo el tiempo equipo de seguridad.

Es importante tener especial cuidado al manejar la estufa y la mufla, se deben usar los guantes de protección al calor, la careta y las pinzas para crisol, ya que se trabajará la mufla a temperaturas de 500°C.

g) Determinación de acidez:

Antes de mencionar los pasos a seguir se describirán los conceptos de acidez mineral y total para una mejor comprensión de la metodología.

La acidez se obtiene midiendo la cantidad de base fuerte que se requiere añadir a la muestra para llevar el pH a un valor predeterminado. Los ácidos minerales fuertes se pueden medir por titulación hasta un pH aproximado de 3.7 (punto final del naranja de metilo), determinación conocida como acidez mineral o acidez al naranja de metilo. La acidez mineral más la acidez producida por ácidos débiles (ácido carbónico principalmente), se

puede obtener titulando la muestra hasta el punto final de la fenolftaleína (pH 8.3), y se denomina acidez total o acidez a la fenolftaleína, ver figura 1.5 (Manahan, 2000).

La base fuerte que indica la NMX-AA-036-SCFI-2001 es una solución valorada de hidróxido de sodio 0.02 N, que se prepara a partir de una disolución 0.1 N, por lo que se iniciará con la preparación de dicha base.

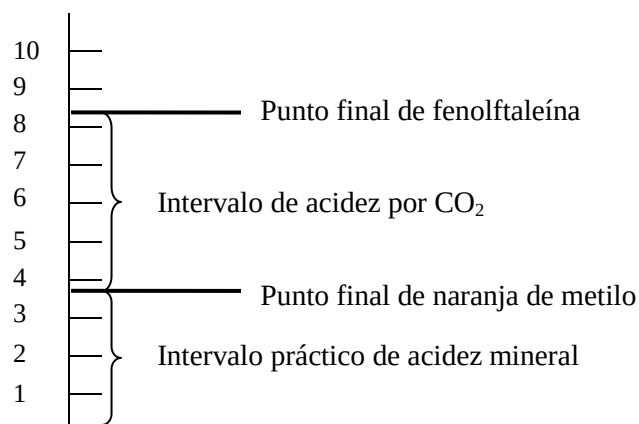


Figura 1.5. Tipos de acidez importantes en el agua y los límites de pH en el que actúan (Sawyer y colaboradores, 2000).

Preparación y valoración de hidróxido de sodio 0.02 N:

Disolución de hidróxido de sodio 0.1 N.- Pesar aproximadamente y con precisión 4.0 g de hidróxido de sodio, disolver y diluir a 1 L con agua.

Disolución de hidróxido de sodio 0.02 N.- Transferir 200 mL de la solución de NaOH 0.1N a un matraz volumétrico de 1 L. Diluir a 1 L con agua.

Valorar la disolución de hidróxido de sodio 0.02 N, por medio de una solución de biftalato de potasio y fenolftaleína, colocando en una bureta la solución de NaOH a valorar. Calcular la normalidad del hidróxido, según indica la NMX-AA-036-SCFI-2001.

NOTA: La preparación de las disoluciones anteriores se debe realizar con agua libre de CO₂; es decir, agua destilada o desionizada que ha sido hervida recientemente durante 15 min y enfriada a temperatura ambiente.

Medición de pH:

Es de suma importancia medir el pH de la muestra de agua, ya que su valor indicará si la acidez es provocada por ácido carbónico o si se encuentran también ácidos fuertes, y por consiguiente, el tipo de acidez a determinar (consultar el diagrama de flujo de la figura 1.6). (Juárez y colaboradores, 2009).

El pH se medirá utilizando el potenciómetro previamente calibrado y las instrucciones vistas anteriormente en el inciso d) Determinación de pH.

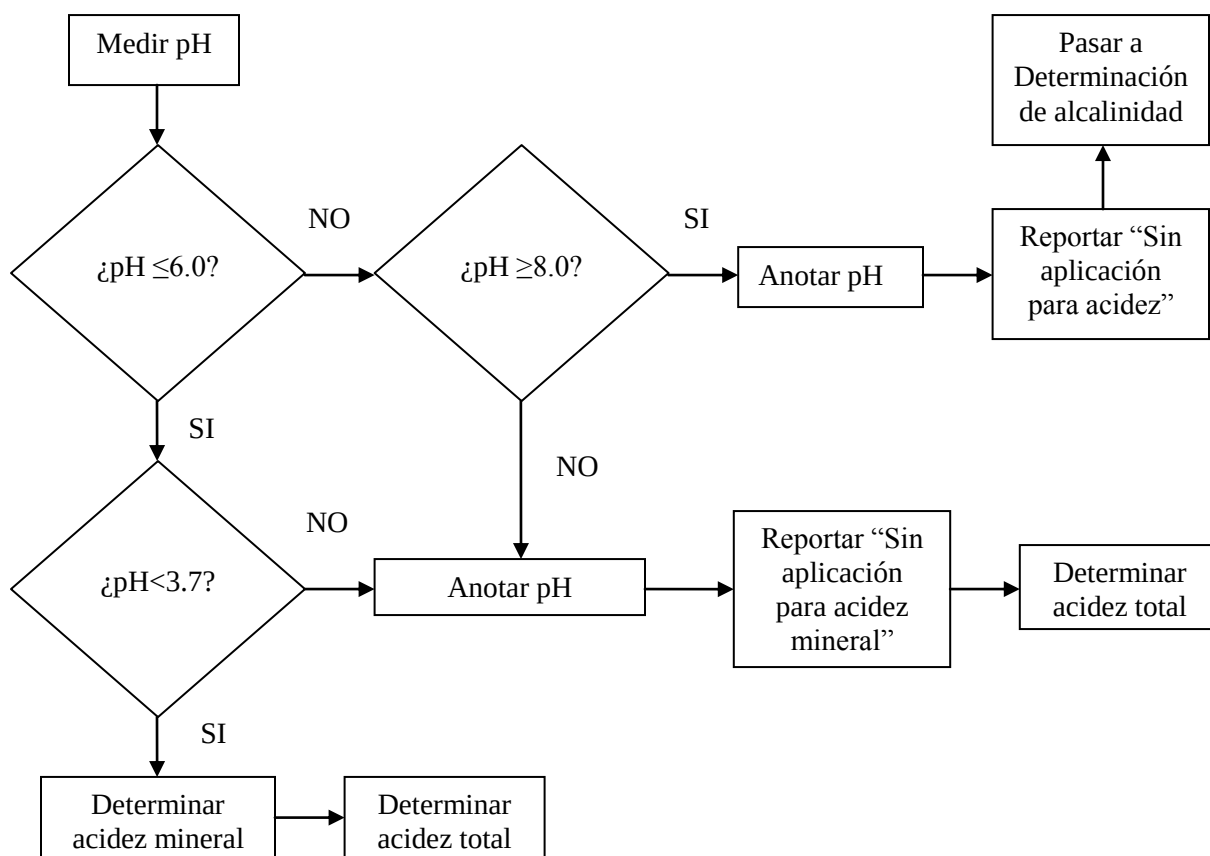


Figura 1.6. Diagrama de flujo para determinar qué tipo de acidez es posible determinar según el pH de la muestra (Sawyer y colaboradores, 2000), (Juárez y colaboradores, 2009).

g.1) Determinación de acidez mineral (acidez al naranja de metilo)

Si la muestra cumple con el requisito de pH ($\text{pH} < 3.7$), colocar en un matraz Erlenmeyer una alícuota de 40 mL de muestra. Adicionar 2 gotas de disolución indicadora de naranja de metilo, introducir la barra magnética y titular con la disolución de NaOH (previamente valorada), hasta el vire del color del indicador a amarillo-naranja (Sawyer y colaboradores, 2000). Registrar el volumen obtenido en la determinación de acidez mineral de la muestra y reportar la acidez de la muestra como mg de CaCO_3/L .

$$\text{Acidez mineral como } \text{CaCO}_3 \text{ en mg/L} = \frac{A \cdot B \cdot 50 \cdot 1000}{\text{vol muestra (mL)}}$$

Donde:

A = mL gastados de NaOH.

B = Normalidad de NaOH (obtenida de la valoración).

50 = Peso equivalente del CaCO_3

1000 = factor de conversión

NOTA: El punto final de la titulación se alcanza hasta que persista el color por más de 30 segundos (Sawyer y colaboradores, 2000).

g.2) Determinación de acidez total (acidez a la fenolftaleína)

Colocar en un matraz Erlenmeyer una alícuota de 40 mL de la muestra. Adicionar unas gotas de fenolftaleína (al agregar el indicador la solución es incolora), introducir el agitador magnético y titular con NaOH (previamente valorado) hasta el vire del indicador a rosa. Registrar el volumen empleado en la titulación. Determinar la acidez total de la muestra.

$$\text{Acidez total como CaCO}_3 \text{ en mg/L} = \frac{A \cdot B \cdot 50 \cdot 1000}{\text{vol muestra (mL)}}$$

Donde:

A = mL gastados de NaOH.

B = Normalidad de NaOH (obtenida de la valoración).

50 = Peso equivalente del CaCO₃

1000 = factor de conversión

NOTA: El punto final de la titulación se alcanza hasta que persista un color rosa por más de 30 segundos (Sawyer y colaboradores, 2000).

Recomendaciones:

Debido a que la acidez del agua es causada por ácidos débiles como el ácido carbónico (cuya fuente principal es el dióxido de carbono) y por ácidos minerales fuertes, se debe tener especial cuidado en hacer la determinación tan rápido como sea posible, evitando agitar o mezclar vigorosamente, para reducir la incorporación de dióxido de carbono a la muestra y la subsecuente formación de ácido carbónico, alterándose la acidez de la muestra. Hacer la determinación a una temperatura igual o menor a la temperatura de recolección de la muestra.

No remover sólidos en suspensión, grasas o precipitados, ya que éstos pueden contribuir a la acidez de la muestra. Si la muestra es oscura, turbia o colorida no usar indicadores ácido-base, y se debe realizar la titulación potenciométrica.

Medidas de seguridad

Para el manejo del NaOH es necesario el uso de lentes de seguridad, bata y guantes de neopreno, nitrilo o vinilo. Siempre debe manejarse en una campana y no deben utilizarse lentes de contacto al trabajar con este compuesto.

En el caso de trasvasar pequeñas cantidades de disoluciones de sosa con pipeta, utilizar una propipeta, NUNCA ASPIRAR CON LA BOCA (UNAM, 2007).

Cuando se diluyen, ácidos y bases fuertes, debe evitarse el contacto con la piel y vías respiratorias.

Los desechos ácidos o básicos se deben neutralizar para su posterior desecho.

Todas las muestras que cumplan con la norma de descarga a alcantarillado pueden descargarse en el mismo sistema.

h) Determinación de alcalinidad:

De la misma forma que para la acidez, primero se describirán los conceptos de alcalinidad a la fenolftaleína y total para una mejor comprensión de la metodología.

La alcalinidad se obtiene midiendo la cantidad de ácido fuerte que es necesario añadir a una muestra para llevar el pH a un valor predeterminado. Para muestras cuyo pH inicial es mayor de 8.3, la titulación se lleva a cabo en dos fases; en la primera fase se titula la muestra hasta el pH de 8.3, punto en el cual los iones carbonato (CO_3^{2-}) han sido convertidos a iones bicarbonato (HCO_3^-), como se puede observar en la figura 1.7. Se suele usar como indicador fenolftaleína, ya que a ese pH cambia de rosa a incoloro, denominándose a dicha determinación Alcalinidad a la fenolftaleína.

En la segunda fase se continúa titulando, haciendo que los iones bicarbonato reaccionen con el ácido hasta que sean convertidos a ácido carbónico, lo cual ocurre a un pH alrededor de 4.5, (ver figura 1.7), en este caso se utiliza como indicador verde bromocresol. A la cantidad de ácido requerido para reaccionar con los iones hidróxido, carbonato y bicarbonato se le denomina Alcalinidad total.

Es importante mencionar que cuando el pH de la muestra es menor de 8.3, solo se lleva a cabo una titulación única para un pH de 4.5, es decir, solo es posible medir la alcalinidad total (Manahan, 2000).

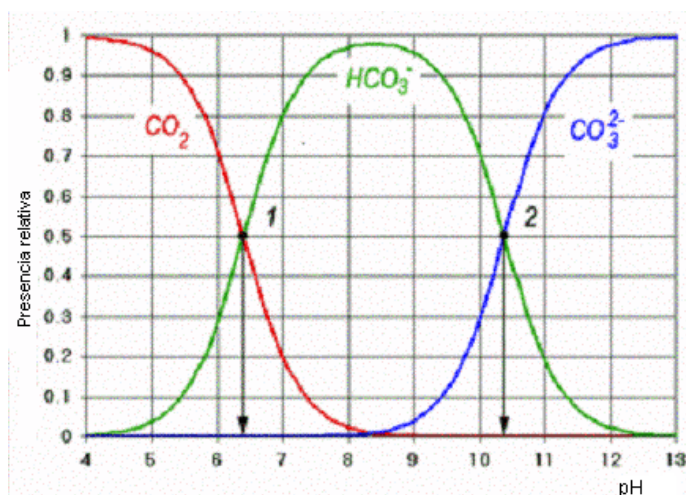


Figura 1.7. Diagrama de distribución de especies para el sistema CO_2 - HCO_3^- - CO_3^{2-} en agua (Ramírez, 2013).

El ácido fuerte indicado en la NMX-AA-036-SCFI-2001 es ácido sulfúrico o clorhídrico, en esta práctica se usará una solución valorada de ácido sulfúrico 0.02 N, la cual se prepara a partir de una disolución 0.1 N.

Preparación y valoración de la disolución de ácido sulfúrico 0.02 N:

Disolución de ácido sulfúrico 0.1 N.- Diluir 2,8 mL de ácido sulfúrico concentrado en 1 L con agua libre de CO_2 .

Disolución de ácido sulfúrico 0.02 N.- Diluir 200 mL de ácido sulfúrico 0,1 N a 1 L de agua.

Valorar la disolución de ácido 0.02 N, por medio de una solución de un estándar primario, carbonato de sodio y como indicador, naranja de metilo, colocando en una bureta la solución de ácido a valorar. Calcular la normalidad del ácido, según indica la NMX-AA-036-SCFI-2001.

NOTA: La preparación de las disoluciones se debe realizar con agua libre de CO_2 ; es decir, usar agua destilada o desionizada que ha sido hervida recientemente durante 15 min y enfriada a temperatura ambiente.

Medición de pH:

Una vez valorado el ácido, se debe medir el pH de la muestra de agua, utilizando el potenciómetro previamente calibrado y las instrucciones vistas en d) Determinación de pH, ya que como se mencionó al principio, el valor de pH determina los iones predominantes. La figura 1.8 muestra el diagrama de flujo a seguir en función del pH de la muestra.

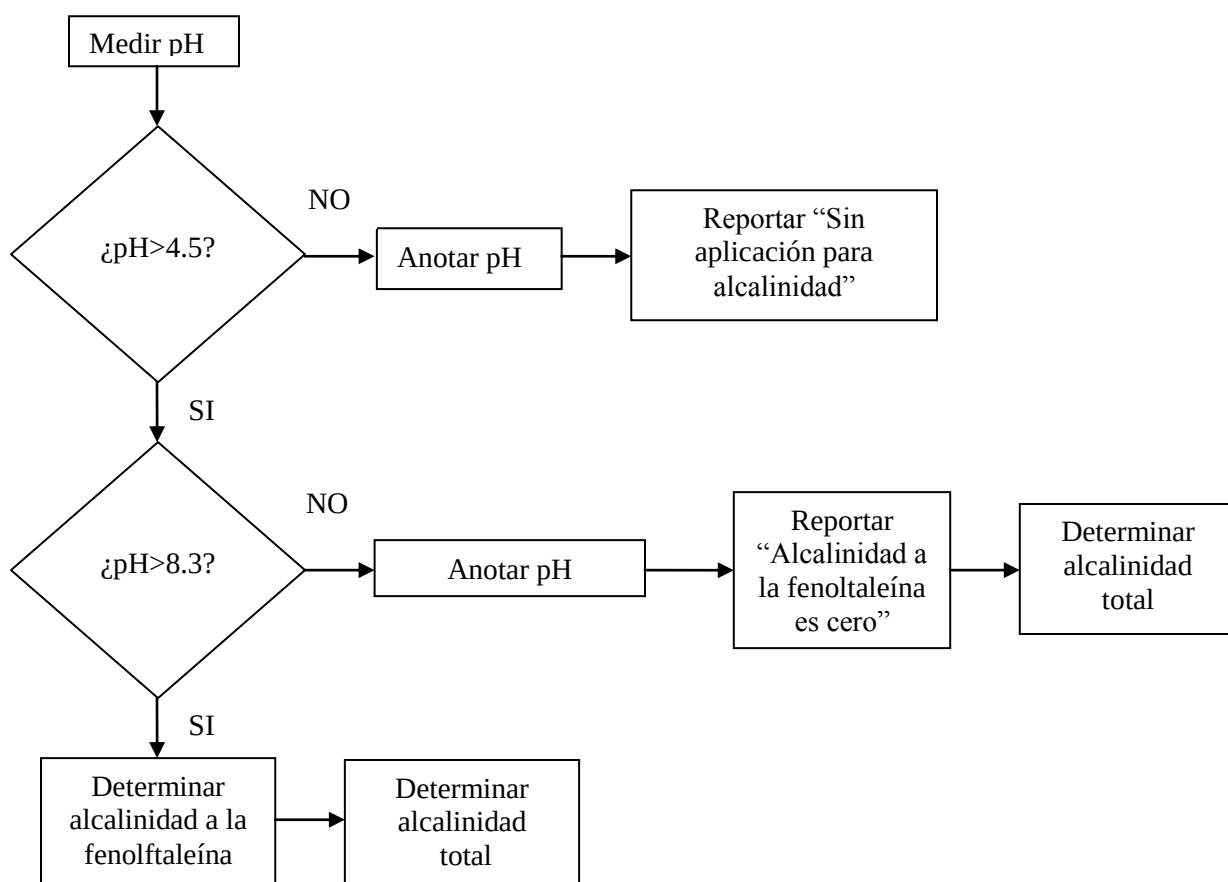


Figura 1.8. Diagrama de flujo para determinar qué tipo de alcalinidad es posible determinar según el pH de la muestra (Sawyer y colaboradores, 2000).

h.1) Determinación de alcalinidad a la fenoltaleína

Si la muestra cumple con el requisito de pH (pH mayor de 8.3), colocar en un matraz Erlenmeyer una alícuota de 40 mL de muestra. Adicionar 2 gotas de fenoltaleína (la muestra debe adquirir color rosa) y titular con la disolución de ácido (previamente valorada), hasta el vire del color del indicador de rosa a incoloro. Anotar el volumen

obtenido en la determinación de alcalinidad a la fenolftaleína y reportar alcalinidad a la fenolftaleína como mg de CaCO_3/L .

NOTA: No desechar el matraz con muestra, ya que se continuará titulando para determinación de alcalinidad total

$$\text{Alcalinidad a la fenolftaleína como } \text{CaCO}_3 \text{ en mg/L} = \frac{A \cdot B \cdot 50 \cdot 1000}{\text{vol muestra (mL)}}$$

Donde:

A = mL gastados de ácido para vire de la fenolftaleína

B = Normalidad del ácido (obtenida de la valoración).

50 = Peso equivalente del CaCO_3

1000 = factor de conversión

h.2) Determinación de alcalinidad total

NOTA: Usar la misma muestra que se tituló para alcalinidad a la fenolftaleína.

Adicionar 2 gotas del indicador verde bromocresol.

Continuar con la titulación hasta alcanzar el vire del indicador de azul a amarillo (Sawyer y colaboradores, 2000).

Registrar volumen gastado para vire del naranja de metilo y calcular alcalinidad total.

$$\text{Alcalinidad total como } \text{CaCO}_3 \text{ en mg/L} = \frac{A \cdot B \cdot 50 \cdot 1000}{\text{vol muestra (mL)}}$$

Donde:

A = mL gastados de ácido para vire del naranja de metilo

B = Normalidad del ácido (obtenida de la valoración).

50 = Peso equivalente del CaCO_3

1000 = factor de conversión

NOTA: El punto final de la titulación se alcanza hasta que persista el cambio de color del indicador por más de 30 segundos (Juárez y colaboradores, 2009).

Si la muestra es oscura, turbia o colorida no se pueden usar indicadores ácido-base, ya que el cambio de color no es fácilmente perceptible y se debe realizar la titulación con el método potenciométrico, el cual consiste en llevar a cabo la titulación usando un potenciómetro para detectar el valor de pH al cual finalizará la titulación. Dicho valor de pH será 8.3 o 4.5, según el tipo de alcalinidad a determinar en función del pH inicial de la muestra. Recordar que se debe graficar el volumen gastado contra el pH y realizar los cálculos adecuados.

Recomendaciones:

Recolectar por lo menos 500 mL de muestra en frascos de vidrio, polietileno o polipropileno. Siempre debe enjuagarse el frasco con una porción de la muestra.

Llenar las botellas completamente, tapar herméticamente y conservar a una temperatura de 0°C a 4°C hasta su análisis, ya que en las muestras de aguas residuales puede haber acción microbiana y por tanto, producción de dióxido de carbono. También pueden perder o ganar

CO₂ cuando son expuestas al aire por lo que se recomienda llenar los frascos completamente y cerrarlos perfectamente, así como evitar la agitación de la muestra y su exposición prolongada al aire.

No deben eliminarse los sólidos suspendidos de la muestra, ya que pueden contribuir a su acidez o alcalinidad.

El tiempo máximo de almacenamiento previo al análisis es de 24 h.

Medidas de seguridad

Deben consultarse las hojas de información de seguridad de los compuestos manejados y usar todo el tiempo equipo de seguridad, tal como: batas, guantes de látex y lentes de seguridad.

La preparación de todos los reactivos usados en este método debe efectuarse bajo una campana de extracción.

El ácido sulfúrico concentrado es un producto químico altamente corrosivo que debe manejarse con extremo cuidado. El adicionar ácido sulfúrico concentrado al agua produce una fuerte reacción exotérmica, por lo cual debe realizarse lentamente.

Cuando se diluyen, ácidos y bases fuertes, debe evitarse el contacto con la piel y vías respiratorias.

Los desechos ácidos o básicos se deben neutralizar para su posterior desecho.

Todas las muestras que cumplan con la norma de descarga a alcantarillado pueden descargarse en el mismo sistema.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

-Se recomienda pedir como prelaboratorio los diagramas de bloques mencionados en el reporte del alumno.

-Preparar por anticipado material y soluciones a utilizar, para optimizar el tiempo de la práctica.

-La preparación de soluciones puede dividirse por equipos, para evitar que todos los equipos preparen las mismas soluciones y se desperdicien reactivos. Revisar que todos los equipos realicen los cálculos para la preparación de todas las soluciones, y no solo de las que les fueron asignadas.

-Pedir a los estudiantes que lleven una bitácora con todas las observaciones y resultados obtenidos.

-Comparar resultados obtenidos con los parámetros indicados en las NOMs aplicables.

-Discutir en un foro, los resultados obtenidos por los diferentes equipos, considerando los diferentes tipos de agua analizada.

-Exposición y discusión de los diferentes trenes de tratamiento propuestos por cada equipo.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

-Portada (bajarla del portal del ITT).

1. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.

2. FUNDAMENTOS.

Para cada una de las características del agua obtenidas durante la práctica, elaborar una tabla que contenga los aspectos mostrados en la tabla 1.

Tabla 1. Método de análisis e importancia de algunas características del agua residual.

Característica	Método de análisis	Principio en el que se basa el método para su determinación	Importancia/aplicación dentro de la ingeniería ambiental
Temperatura			
pH			
.			
.			
.			

3. METODOLOGÍA

3.1. Diagrama de bloques para el muestreo y cada una de las determinaciones realizadas, donde se ordenen los pasos a seguir.

NOTA: Un diagrama por determinación.

4. RESULTADOS

4.1. Realizar un croquis del lugar de muestreo e indicar el/los puntos de muestreo. Como parte del análisis visual del lugar reportar lo siguiente: color y olor del agua, tipo de flora y fauna, presencia de basura, tipo de zona (habitacional, industrial, agrícola).

4.2. Reportar resultados de cada una de las determinaciones realizadas: Temperatura, materia flotante, pH, sólidos en todas sus formas, acidez, alcalinidad.

Incluir cálculos: datos, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades.

Para las determinaciones gravimétricas, incluir tablas donde se presenten los datos de cápsulas y crisoles, vacíos y con muestra, del procedimiento de obtención de peso constante (ver tablas 2, 3, 4, 5, 6).

Los resultados deben reportarse en las unidades indicadas por las NMXs vigentes.

Tabla 2. Obtención de peso constante de la cápsula vacía para la determinación de ST.

No. pesada	Peso de cápsula (g)	Diferencia de pesos (g)

Tabla 3. Obtención de peso constante de la cápsula con muestra para la determinación de ST.

No. pesada	Peso de cápsula con muestra (g)	Diferencia de pesos (g)

Tabla 4. Obtención de peso constante del crisol+filtro para la determinación de SST.

No. pesada	Peso de crisol+filtro (g)	Diferencia de pesos (g)

Tabla 5. Obtención de peso constante del crisol+filtro con muestra para la determinación de SST.

No. pesada	Peso de crisol+filtro con muestra (g)	Diferencia de pesos (g)

Tabla 6. Obtención de peso constante de la cápsula con muestra para la determinación de STV y STF.

No. pesada	Peso de cápsula con muestra después de calcinación (g)	Diferencia de pesos (g)

4.3. Proponer tren de tratamiento para el agua analizada, suponiendo que además de los parámetros obtenidos, el agua tiene las siguientes características: $\text{DBO}_5 = 300 \text{ mg/L}$, $\text{DQO} = 390 \text{ mg/L}$. Considerar que el agua tratada será usada para riego de áreas verdes. Justificar los procesos/operaciones propuestos.

5. CONCLUSIONES: Revisar el objetivo de la práctica y redactar las conclusiones que se piden a continuación.

5.1. Conclusiones individuales.

5.2. Conclusiones del equipo.

6. FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR:

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). 2012. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 22nd edition. Washington, D.C.

Gómez M., R. F.; M. Sánchez Z. 2004. Muestreo y preservación de parámetros físico-químicos. Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D.F.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Fisicoquimicos.pdf>

Herrera F., S. 2012. Normas Mexicanas vigentes. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D.F.

<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Documents/comitetecnico/FOLLETO%20DE%20NORMAS%20MEXICANAS%20VIGENTES%202012.pdf>.

Hi-par. 2013. Equipo de protección. Madrid, España.

http://hi-par.com/tienda/index.php/calzado-botas-agua-c-30_43

Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México. 2006. Informe de actividades. Líneas de investigación. Secretaría Académica. México, D.F.

http://eventos.iingen.unam.mx/Informe2005_2006/C3_ambiental.html.

Instrumentación Científico Técnica, S.L. 2011. Cono Imhoff de vidrio. España.

<http://www.ictsl.net/analisisdeaguas/index.html>

Juárez J., M.; M.O. Franco H.; V. P. Ascencio R. 2009. Manual de prácticas de laboratorio de Química Ambiental I. Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. México, D.F.

Manahan, S.E. 2000. Environmental chemistry. 7th ed. C.R.C. Press. Columbia. USA.

Ramírez, F. 2013. El agua potable. México. D. F.

<http://www.elaguapotable.com/acondicionamiento.htm>

Reyes F., M.A.; D. Villegas S. 2004. 11- Unidad didáctica para la aplicación de la NMX-AA-007-SCFI-2000-Determinación de temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Serie autodidáctica en materia de normas técnicas relacionadas con la inspección y verificación. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, D.F.

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Unidad11NMXAA007SCFI2000.pdf>

Sawyer, C. N.; P. L. McCarty; G. F. Parkin. 2000. Química para Ingeniería Ambiental. McGraw Hill. Colombia.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2011. Normas mexicanas en materia de agua. México, D.F
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nmx-agua.aspx>

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Facultad de Química. 2007. Hoja de seguridad II. Hidróxido de sodio. México, D.F.
www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/2hsnaoh.pdf

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Facultad de Química. 2009. Acidez y alcalinidad en aguas naturales y residuales. México, D.F.
http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Acidez_Metodo_4827.pdf

Práctica No. 2

Muestreo de efluentes gaseosos y medición de parámetros in situ.

OBJETIVO

Conocer los métodos de muestreo para gases y partículas, así como los procedimientos para la determinación de los diferentes parámetros, tomando en consideración la normatividad vigente.

INTRODUCCIÓN

El monitoreo del aire abarca todas las metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar en forma continua las concentraciones de sustancias o contaminantes presentes en el aire en un lugar establecido y durante un tiempo determinado.

El monitoreo puede ser ambiental o en la fuente. El primero se refiere cuando la muestra se toma del aire ambiente, y el segundo ocurre si el muestreo se realiza directamente en la fuente, pudiendo ser fija (chimenea) o móvil.

Los componentes de un sistema de monitoreo, incluyen: a) el muestreo, b) el análisis o medición de la concentración de los contaminantes y c) el tratamiento estadístico de los datos para su posterior difusión o uso.

El monitoreo de los contaminantes del aire es importante por varias razones: para determinar el cumplimiento de las normas de calidad del aire, para diagnosticar las condiciones de un área antes de construir una nueva fuente de contaminación, para desarrollar modelos de dispersión de contaminantes, para realizar estudios científicos y para evaluar la exposición humana a contaminantes y el daño al medio ambiente (Swisscontact y COSUDE, 2001).

Las instituciones responsables de la política ambiental generalmente designan los procedimientos a seguir para el muestreo y análisis de los contaminantes, tomando como base las tendencias internacionales en la materia. Estos procedimientos detallados son los métodos de referencia, los cuales se revisan y actualizan de acuerdo con el avance de la tecnología, y se encuentran en las Normas Oficiales Mexicanas, Normas Mexicanas e instructivos emitidos por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Los métodos de medición de calidad de aire ambiente y de concentración en chimenea se suelen clasificar según su forma de operación en:

Métodos continuos.- Implican la captación y análisis del contaminante en el punto de muestreo, de forma continua y automática (Fernández, 2009); se usan principalmente para recolectar y analizar aire de manera permanente.

Métodos discontinuos.- Consisten en la captación del contaminante en el punto de muestreo, el transporte del contaminante captado y el posterior análisis en el laboratorio. Es decir, la toma de muestra y el análisis son dos pasos separados. Cabe aclarar que puede haber mediciones discontinuas realizadas con equipos automáticos ya sea en la toma de muestra o en el análisis de laboratorio.

La elección de la técnica de muestreo se realizará de acuerdo al contaminante a analizar y los objetivos del estudio. La metodología para la medida de los contaminantes atmosféricos se puede dividir en cuatro tipos, que cubren los más amplios rangos de costes y características de funcionamiento:

Muestreadores activos.- Se caracterizan por la succión del aire a través de un medio de absorción con una bomba, es decir, el aire es forzado a pasar al muestreador.

Muestreadores pasivos.- En los muestreadores pasivos no se fuerza el aire a pasar al muestreador por medio de una bomba como sucede con los activos. Su funcionamiento se basa en el uso de leyes físicas o químicas de la naturaleza, como son la gravimetría y la difusión molecular de los contaminantes hacia la superficie del muestreador (primera ley de Fick).

Sensores remotos .-Están basados en un emisor de radiaciones de diferentes longitudes de onda y un receptor, separados ambos por una distancia que puede oscilar entre 200 m y varios kilómetros. Los contaminantes presentes en ese camino óptico absorben estas radiaciones y esta absorción es posteriormente cuantificada. Son los sistemas más costosos en contaminación atmosférica y requieren gran atención en cuanto a su adecuada calibración, control de calidad y validación de los datos.

Analizadores automáticos.-En los analizadores automáticos se toma y se analiza la muestra en tiempo real, siendo específicos de cada contaminante y basados por lo general en fundamentos físicos tales como la absorción o emisión de radiaciones de una longitud de onda determinada (Fernández, 2009).

Los muestreadores pasivos y activos corresponden a metodología discontinua, implicando el posterior análisis en el laboratorio, mientras que los analizadores automáticos y sensores remotos pertenecen a la metodología continua, proporcionando los datos en tiempo real. Estos cuatro tipos de técnicas son aplicables a la determinación de los niveles de aire ambiente, aunque en la actualidad, las más utilizadas son las de los muestreadores activos, muestreadores pasivos y los analizadores automáticos, pues los sensores remotos, aunque dan valores de multicontaminantes a lo largo de una distancia, no se han introducido en las redes de monitoreo, porque no se adecuan con la legislación y normatividad.

En las determinaciones de emisiones procedentes de fuentes fijas y móviles, sólo los muestreadores activos y los analizadores automáticos son utilizados.

Determinación de Partículas Menores a 10 micrómetros (PM_{10}) en aire ambiente

El aparato se distingue del dispositivo para la determinación de las Partículas Suspendidas Totales por la utilización de un impactador diseñado para la separación de las partículas PM_{10} de aquellas con un diámetro mayor a 10 micrómetros (figura 2.1). Dicho muestreador de bajo volumen y de doble impacción se conoce desde 1986 como “Impactador Harvard” o simplemente “MiniVol”.



Figura 2.1. Impactores para muestreador MiniVol (Berkeley Citizen, 2013).

Igual que el caso de la determinación de las PST, el tiempo de muestreo para PM₁₀ con el MiniVol es de 24 horas. Dicho lapso de tiempo garantiza valores representativos, ya que la posibilidad de que los filtros de teflón se tapen es mínima en 24 horas, y los resultados se pueden comparar con los valores diarios estipulados en las normas de calidad del aire.

Se recomienda utilizar filtros de teflón (figura 2.2) para la determinación de las partículas PM₁₀, ya que eso permite el posterior análisis en cuanto al contenido en metales pesados o hidrocarburos. También esos filtros de teflón tienden a acumular la humedad, y para evitar la sobrestimación de las concentraciones de PM₁₀, es necesario secar los filtros durante 24 horas en una estufa a 28 – 30 °C (Swisscontact y COSUDE, 2001).

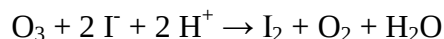


Figura 2.2. Filtros de teflón y portafiltros para muestreador Mini-vol (JAMSTEC, 2007).

El método para la medición del material particulado se basa en principios gravimétricos. Las partículas se atrapan en los filtros mencionados y se pesan. El peso del filtro con el contaminante recolectado menos el peso de un filtro limpio da la cantidad del material particulado en un determinado volumen de aire.

Determinación de ozono

El método Impinger es un procedimiento de química húmeda basado en la capacidad que presentan los oxidantes atmosféricos de oxidar KI a I₂ en medio neutro. Ya que el ozono es el oxidante más importante en términos cuantitativos, los resultados se expresan en concentración de este contaminante. La reacción que sirve de base a la determinación es la siguiente:



La corriente de aire se hace pasar a través de una disolución que contiene KI, donde los oxidantes son retenidos y a continuación se determinan fotométricamente midiendo la cantidad de yodo producida (1 mol de ozono produce un mol de yodo, según la estequiometría de la reacción anterior) (Juárez y colaboradores, 2009).

Unidades para expresar la concentración de contaminantes

En contaminación del aire, la concentración de gases se expresa tanto en términos de masa por unidad de volumen, usualmente en microgramos por metro cúbico, como en unidades de volumen por unidad de volumen (ppm, ppcm, ppb, ppt), sin embargo, las

concentraciones de partículas solo se expresan en masa (de partículas) por unidad de volumen (de aire).

La unidad “ppm” significa “partes por millón” y describe la porción que representa una sustancia (“partes por...”) como parte de una gran mezcla de sustancias (...millón”), siempre y cuando todas esas sustancias se encuentren en el mismo estado físico (que todas sean sólidas, líquidas o gases); debido a lo anterior, no se puede describir la concentración de partículas (PST, PM₁₀) en el aire en la unidad “ppm” (Swisscontact y COSUDE, 2001).

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE

Esta práctica se relaciona con el subtema 1.1.2. Toma de muestras para efluentes gaseosos y medición de parámetros in situ, ya que se abordarán el método de química húmeda para el caso de contaminantes gaseosos y el método gravimétrico para partículas PM₁₀. Así como la obtención de variables importantes con ayuda de la estación meteorológica con que cuenta el ITT, como la temperatura, velocidad del viento, entre otras. También se incluye la observación de equipo para muestreo en fuentes fijas.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

a)Determinación de PM₁₀ por el método gravimétrico

Equipo de bajo volumen (“MiniVol”)

Filtro de teflón con diámetro de 37 mm

Cajas petri

Balanza analítica

Pinzas

Desecador

b)Determinación de ozono por el método Impinger

Buretas de 25 y 40 mL

Pipetas graduadas y volumétricas

Matraces aforados

Matraces Erlenmeyer

Tubos de ensayo

Vasos de precipitado

Bomba para succión de aire

Recipiente captador o contenedores de vidrio para el muestreo (capacidad 30 mL, graduados con intervalos de 5 mL)

Balanza analítica

Espectrofotómetro ultravioleta ((Swisscontact y COSUDE SOP 5.4.1., 2001)

c)Muestreo en fuentes fijas

Equipo para muestreo en fuentes fijas (sonda de muestreo, tubo de pitot, sensor de temperatura, filtro, bomba, entre otras).

METODOLOGÍA

a) Determinación de PM₁₀ por el método gravimétrico

Se propone utilizar la metodología indicada en el Procedimiento de Operación Estándar 5.2.2 (SOP por sus siglas en inglés) para PM₁₀ (Swisscontact y COSUDE, 2001):

Calibrar el equipo siguiendo las instrucciones del manual del aparato, cuidando que el flujo de aire sea de 4 L/min.

Acondicionar el filtro de teflón en estufa a 28-30°C durante 24 horas, dejar en desecador por 30 minutos, pesar (P_{inicial}) y almacenar nuevamente a la temperatura indicada.

Utilizar la caja petri para transportar el filtro debidamente montado en el portafiltro hacia el sitio de muestreo.

Colocar con las pinzas, el filtro en la unidad de impacción del equipo “MiniVol”.

Dejar funcionar el equipo durante 24 horas.

Retirar el filtro del equipo usando pinzas y colocar en una caja petri.

Introducir la caja petri con el filtro en estufa a 28-30°C durante 24 horas, para eliminar la humedad ambiental, meter al desecador durante 30 minutos.

Pesar el filtro (P_{final}).

Las condiciones estándar son asumidas como 1 atm (101.3 kPa) y 25 °C, donde el volumen molar de un gas es de 24.47 litros. Si las mediciones fueron realizadas a temperatura y/o presión diferentes a las condiciones estándar, el volumen debe corregirse por medio de la Ley de los Gases Ideales.

Calcular la concentración de PM₁₀ en microgramos por metro cúbico (µg/m³) de la siguiente manera:

$$PM_{10} = \frac{P_{final} - P_{inicial}}{Q * t_{muestreo}}$$

Recomendaciones

No tocar ni manipular directamente el filtro, se recomienda usar pinzas y usar un portafiltro, recordar que se trata de un método gravimétrico.

Debido a que las partículas están depositadas en una de las caras del filtro, hay que tener mucho cuidado de que la materia particulada no quede adherida al medio de transporte.

El equipo “MiniVol” debe ubicarse en una superficie plana y estable.

b) Determinación de ozono por el método Impinger

Se propone utilizar la metodología indicada en el Procedimiento de Operación Estándar 5.4.1. (SOP por sus siglas en inglés) para ozono (Swisscontact y COSUDE, 2001):

Preparación de solución absorbente:

Disolver 13.6 g de KH₂PO₄, 14.2 g Na₂HPO₄ y 10 g de KI, y diluir a 1 L.

Preparar la solución por lo menos un día antes de usarla.

Medir pH y ajustarlo a 6.8±0.2 con NaOH.

Esta solución de KI 1% en buffer de fosfato 0.1M puede ser almacenada varios meses en una botella de vidrio ámbar sin que sufra deterioro. No debe exponerse a la luz del sol.

Preparación de solución estándar de yodo:

Disolver 16 g de KI y 3.175 g de yodo resublimado sucesivamente y llevar a 500 mL con agua.

Mantener la solución a temperatura ambiente por lo menos un día antes de usarla.
Estandarizar con tiosulfato de sodio 0.025 M, justo antes de emplearla.

Preparación de solución de tiosulfato de sodio:

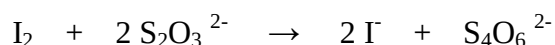
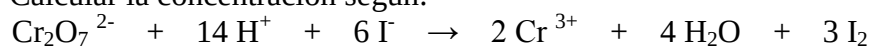
Pesar 3.1022 g de tiosulfato de sodio y llevar a 500 mL con agua redestilada en un matraz aforado.

Estandarización: Pesar 0.035 g de dicromato de potasio y agregar 40 mL de una solución de KI (preparada con anterioridad: disolver 10 g de KI en 200 mL de agua redestilada). Agitar y adicionar 5 gotas de ácido sulfúrico 6 M.

Valorar con la solución de tiosulfato de sodio hasta observar una disminución en el color de la solución.

Agregar 3 gotas de indicador de almidón (solución de almidón al 5%).

Continuar la valoración hasta la desaparición del color azul, obteniéndose una solución verde claro. Calcular la concentración según:



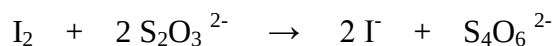
Estandarización de solución de yodo 0.025 M:

Tomar una alícuota exacta (> 10 mL) de solución de yodo y colocarla en un matraz erlenmeyer.

Diluir con agua redestilada hasta 40 mL.

Comenzar a valorar con la solución de tiosulfato (previamente estandarizada) hasta una disminución en la coloración.

Agregar 3 gotas del indicador de almidón y terminar la valoración al momento de desaparecer la coloración azul y quedar una solución transparente. Calcular la concentración según:



Preparación de solución de yodo 0.001 M:

Pipetear exactamente 2 mL de la solución estándar de yodo (0.025 M) en un matraz volumétrico de 50 mL, completar el volumen con solución absorbente de KI.

La solución obtenida contiene 0.001 M de yodo equivalente a 19.57 µL ozono/mL. Proteger contra la luz, descartar después de usar la solución.

Solución de yodo para calibración:

Para preparar la curva de calibración, se diluye 1 mL de la solución de yodo (0.001 M) con solución absorbente en un matraz aforado de 100 mL, justo antes de emplearla.

La concentración final de esta solución equivale a 0.2 µL de ozono por cada mL de solución (Swisscontact y COSUDE, 2001).

Procedimiento de muestreo:

Ensamblar el sistema de muestreo, el cual consiste en el recipiente captador y la bomba, como se muestra en la figura 2.3.

Pipetear exactamente 10 mL de solución absorbente dentro del recipiente captador.

Muestrear con flujo de 2 L/min durante 30 minutos, o con flujo de 0.5 L/min durante 2 horas.

Flujo y tiempo de muestreo pueden ajustarse para obtener una concentración suficiente de oxidante en la solución absorbente (entre 0.2 – 1.8 $\mu\text{L}/10\text{ mL}$ de solución).

Calcular el volumen total de aire muestreado, registrar temperatura del aire y presión atmosférica. No exponer el reactivo absorbente a luz natural directa.

Medición del color: en caso de evaporación agregar agua destilada para llevar el volumen a 10 mL. Entre 30 y 60 minutos después de la recolección de las muestras, se leen las absorbancias en el espectrofotómetro, a una longitud de onda de 352 nm, empleando agua destilada como referencia.

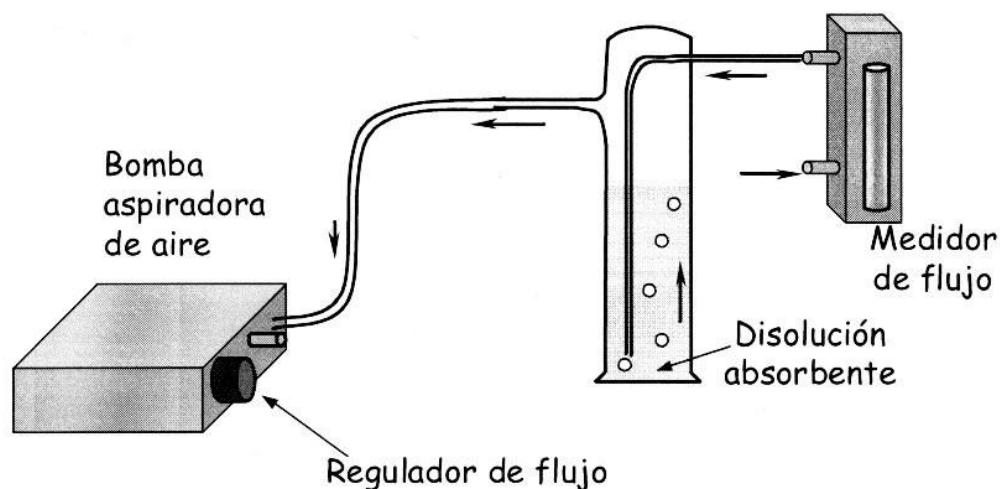


Figura 2.3. Sistema de muestreo para absorber ozono (Juárez y colaboradores, 2009)

Calibración y estandarización:

Las soluciones para la calibración se preparan en volúmenes de 10 mL, para facilitar los cálculos.

Se preparan estándares en un rango de 0 – 1.8 μL de ozono, equivalente por cada 10 mL de solución. Estos estándares se preparan individualmente añadiendo 0, 1, 3, 5, 7 y 9 mL de solución de yodo para calibración, en matraces aforados de 10 mL. Cada matraz debe aforarse con solución absorbente.

Leer la absorbancia de cada una de las soluciones para calibración, como se describió anteriormente.

Graficar las absorbancias obtenidas contra las concentraciones de ozono en $\mu\text{L}/10\text{ mL}$ de solución absorbente.

No debe extrapolarse por encima de la concentración más alta, ni por debajo de la concentración más baja (Swisscontact y COSUDE, 2001).

Cálculos:

Las condiciones estándar son asumidas como 1 atm (101.3 kPa) y 25 °C. Si las mediciones fueron realizadas a temperatura y/o presión diferentes a las condiciones estándar, el volumen debe corregirse por medio de la Ley de los Gases Ideales.

Anotar el volumen de muestra colectado (en litros). La cantidad total de μL de O_3 /10 mL de solución absorbente se lee directamente de la curva de calibración. La concentración de ozono en la fase gaseosa [$\mu\text{L}/\text{L}$ o ppm] puede expresarse por:

$$\text{Ozono [ppm]} = \frac{\mu\text{L totales de O}_3 \text{ por 10 mL}}{V_{\text{muestra}} [\text{L}]}$$

c) Muestreo en fuentes fijas

Poner atención a la demostración del equipo para muestreo en fuentes fijas, anotando las características de cada parte y su función.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

-En caso de no contar con equipo Mini-vol para medir PM_{10} , se puede determinar la concentración de PST, montando un equipo de ultrafiltración con un matraz Kitazato, un embudo Buchner, bomba de vacío, mangueras, como se observa en la figura 2.4. Como filtro se usará una membrana de 47 mm de diámetro y 0.22 μm de tamaño de poro (Juárez y colaboradores, 2009).

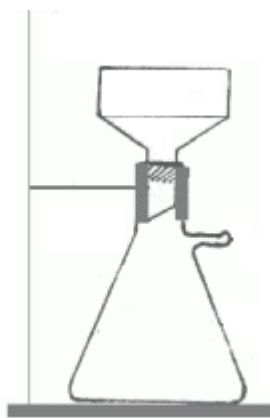


Figura 2.4. Equipo para ultrafiltración.

-Se recomienda pedir como prelaboratorio los diagramas de bloques mencionados en el reporte del alumno.

-Preparar por anticipado material y soluciones a utilizar, para optimizar el tiempo de la práctica.

-La preparación de soluciones puede dividirse por equipos, para evitar que todos los equipos preparen las mismas soluciones y se desperdicien reactivos. Revisar que todos los equipos realicen los cálculos para la preparación de todas las soluciones, y no solo de las que les fueron asignadas.

- Pedir a los estudiantes que lleven una bitácora con todas las observaciones y resultados obtenidos.
- Que el estudiante investigue los contaminantes que se miden y los métodos de monitoreo usados en la red de monitoreo atmosférico de su ciudad o de alguna otra cercana, en caso de no existir en su localidad.
- Para monitoreo en fuentes fijas se recomienda visitar una empresa que cuente con equipo para el monitoreo de sus emisiones.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

- Portada (bajarla del portal del ITT).

1.OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.

2.FUNDAMENTOS.

Contestar las siguientes preguntas:

- 2.1.¿Qué es el monitoreo, objetivo e importancia.
- 2.2.¿Cuáles son las semejanzas y diferencias entre los diferentes tipos de monitoreo?
- 2.3.¿Qué contaminantes se miden en México para el monitoreo de aire ambiente y cuáles son los métodos de referencia para determinar sus concentraciones?
- 2.4.¿Qué pasaría si no existieran métodos de referencia para la medición de los contaminantes del aire?
- 2.5.¿Qué pasaría si no se especificaran la temperatura y presión a la que se deben reportar las concentraciones de los contaminantes del aire?

3.METODOLOGÍA

- 3.1.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la determinación de PM_{10} por el método gravimétrico.
- 3.2.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la determinación de ozono por el método impinger.

4.RESULTADOS

- 4.1.Reportar concentración de PM_{10} , incluyendo cálculos (datos, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades) para cada uno de los siguientes casos:

- a)A la temperatura y presión de medición
- b)A la temperatura y presión estándar

Nota: Reportar en las unidades que indica la normatividad: ppm, $\mu g/m^3$ o ambos, según se trate de partículas o gases.

- 4.2.Reportar concentración de ozono, incluyendo cálculos (datos, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades) para cada uno de los siguientes casos:

- a)A la temperatura y presión de medición
- b)A la temperatura y presión estándar

Nota: Reportar en las unidades que indica la normatividad: ppm, $\mu g/m^3$ o ambos, según se trate de partículas o gases.

- 4.3.Comparar resultados obtenidos con las normas de calidad de calidad del aire vigentes en el país y comentar.

- 4.4.Convertir las concentraciones en IMECAS (a la temperatura y presión de referencia que indica la normatividad) para PM_{10} y ozono, incluyendo cálculos:

Datos, ecuaciones, sustituciones, resultados con unidades.

- a)Comentar resultados obtenidos.

4.5. Realizar dibujo del tren de muestreo usado, indicando el nombre y la función de cada una de las partes que lo componen.

5. CONCLUSIONES: En función del objetivo de la práctica redactar las conclusiones que se piden a continuación.

5.1. Conclusiones individuales.

5.2. Conclusiones del equipo.

6. FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

Air Metrics. 2008. Minivol portable air sampler. Oregon, USA.

<http://www.airmetrics.com/products/minivol/basicop.html>

Berkeley Citizen. 2013. West Berkeley Community Monitoring Project (WBCMP).

Berkely, USA. <http://www.berkeleycitizen.org/Air%20Quality/monitor.htm>

Department of Environment and Conservation NSW (DEC). 2007. Approved Methods for the Sampling and Analysis of Air Pollutants in New South Wales. Sydney, Australia.

<http://www.epa.nsw.gov.au/resources/legislation/07001amsaap.pdf>

Dirección General de Salud Ambiental. 2011. Anuario de estadísticas ambientales. Fichas técnicas de aire. 1. Ficha técnica – cuadro 4.18. Perú. www.digesa.minsa.gob.pe

<http://www.inei.gob.pe/BiblioINEIPub/BancoPub/Est/Lib0978/fichas%5Cficha04.pdf>

Fernández P., R. 2009. Metodología de evaluación de la calidad del aire. Universidad Complutense. Madrid, España.

<http://www.analesranf.com/index.php/mono/article/viewFile/606/623>

Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico (Swisscontact) y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). 2001. Manual de Laboratorio. Programa Aire Puro para Centroamérica. Monitoreo del Aire. Procedimiento de Operación Estándar PM₁₀ (SOP 5.2.2.)

<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/manualab/manual.pdf>

Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico (Swisscontact) y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). 2001. Manual de Laboratorio. Programa Aire Puro para Centroamérica. Monitoreo del Aire. Procedimiento de Operación Estándar Ozono (SOP 5.4.1.)

<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsci/e/fulltext/manualab/manual.pdf>

Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico (Swisscontact) y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). 2006. Red de Monitoreo de la Calidad del Aire (Red MoniCA). Bolivia.

http://www.swisscontact.bo/sw_files/mhehbfnzlnd.pdf

Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC). 2007. Atmospheric Composition Research Team: Instruments. Japan.

<http://www.jamstec.go.jp/rigc/e/eocrp/acrt/#!prettyPhoto>

Juárez J., M.; M.O. Franco, T. Jaens, V.P. Ascencio. 2009. Manual de prácticas de laboratorio de Química Ambiental II. Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología. México, D.F.

Killick C., M. 2002. La medición continuada de gases que contienen azufre. Warren Spring Laboratory. Departamento de Industria del Reino Unido. Traducido por CEPIS, OPS/OMS. Lima, Perú. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/005331.pdf>

Moragues, J.; P. Galán. 2000. Manual de tecnologías de medición de concentración de gases y material particulado en chimeneas y atmósfera. Ministerio de Desarrollo Social y Medio Ambiente. Buenos Aires, Argentina.
<http://blogaustral.org/mantenimientoysseguridadindustrial/files/2012/04/Manual-de-tecnologias-de-medicion-de-concentracion-de-gases-y-material-particulado-en-chimeneas-y-atmosfera.pdf>

Práctica No. 3

Caracterización de residuos sólidos urbanos

OBJETIVO

Caracterizar los residuos sólidos urbanos utilizando el método de cuarteo para determinar el peso volumétrico, la cuantificación de subproductos y algunas de sus características químicas, enfatizando la importancia de los parámetros anteriores para el manejo de los residuos.

INTRODUCCIÓN

La legislación mexicana define como residuo cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización o tratamiento, cuya calidad no permite incluirlo nuevamente en el proceso que lo generó. Por su parte, residuo sólido es todo aquel que posea suficiente consistencia para no fluir por sí mismo.

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) clasifica los residuos en 3 grandes categorías:

- 1) Residuos sólidos urbanos
- 2) Residuos de manejo especial
- 3) Residuos peligrosos

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son los generados en las casas, como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas; son también los que provienen de establecimientos o la vía pública, o los que resultan de la limpieza de las vías o lugares públicos y que tienen las características de los domiciliarios. Su manejo y control es competencia de las autoridades municipales (en los estados) y delegacionales. (en el D.F.).

Los Residuos de Manejo Especial (RME) son los generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos ni como RSU, o que son producidos por grandes generadores (aquellos que producen más de 10 toneladas al año) de RSU. Su manejo y control es competencia de las autoridades estatales.

Por último, los residuos peligrosos se definen como aquellos que poseen alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad (características CRETIB), así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio (SEMARNAT, 2013).

El crecimiento de las ciudades ha incrementado el volumen de residuos, lo cual constituye un grave problema, ya que dichos materiales se van acumulando sin que los agentes naturales puedan estabilizar toda esa materia debido tanto a la velocidad con que se genera como a las características no biodegradables de la mayoría de los residuos. Esto produce contaminación no solo del suelo, sino también del agua y aire; proliferación de fauna nociva; generación de malos olores y de gases contaminantes; problemas de salud, entre otros.

Para que lo anterior no suceda, se debe tener un sistema efectivo para disponer estos materiales en los lugares y condiciones adecuados logrando además, aprovechar aquellos

que puedan reciclarse (Enkerlin, 1997). Es decir, se debe realizar el manejo integral de los residuos, tomando en consideración todas las etapas involucradas, desde la generación y minimización de los residuos, la recolección, transporte, separación, reuso, reciclaje, hasta la disposición final.

Tres de las características de los residuos sólidos urbanos que comúnmente constituyen parámetros importantes para la toma de decisiones en lo que se refiere a proyección y diseño de los sistemas de manejo (capacidad y cantidad de vehículos recolectores, plantas de selección, estaciones de transferencia) y disposición final (rellenos sanitarios) utilizadas son: la generación per cápita, el peso volumétrico (Pv) y la composición (Esquinca y colaboradores, 1995; INECC, 2012).

Por esta razón, es importante llevar a cabo estudios de caracterización para obtener datos que permitan determinar la cantidad de residuos, su composición y propiedades. En México, la caracterización de los residuos sólidos se realiza tomando como base las siguientes cuatro Normas Mexicanas:

NMX-AA-061-1985	Muestreo de residuos sólidos municipales
NMX-AA-015-1985	Método de cuarteo de residuos sólidos municipales
NMX-AA-019-1985	Peso volumétrico de residuos sólidos municipales - "in situ"
NMX-AA-022-1985	Selección y cuantificación de subproductos de residuos sólidos municipales
NMX-AA-052-1985	Preparación de muestras en el laboratorio para su análisis

La generación per cápita se define como la cantidad de kilogramos de residuos sólidos que genera una persona diariamente, y es un parámetro importante que permite conocer la cantidad de desechos que se generan en un lugar durante un periodo determinado.

El peso volumétrico es el peso de los residuos sólidos, contenidos en una unidad de volumen, generalmente en unidades de kg/m^3 .

Se denomina cuantificación al proceso mediante el cual se determina la proporción (%) de cada uno de los componentes físicos contenidos en los residuos sólidos. La gran mayoría de estos componentes son susceptibles de ser recuperados, por lo que se les conoce como subproductos (NMX-AA-091).

La generación per cápita en México ha aumentado de manera acelerada, de un valor de 0.3 kg/hab/día, en los años cincuenta hasta 1 kg/hab/día a principios de los noventa (SEDESOL-INE, 1994). En el año 2012, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) de la SEMARNAT reportó un valor promedio de 0.852 kg/hab/día, y un peso volumétrico promedio de 153.12 kg/m^3 , ambos resultado de los diagnósticos realizados como parte de los Programas Estatales y Municipales para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (PEyMPGIR).

El mismo documento publicó un aumento del 74.5% en la generación total de residuos sólidos urbanos en el país entre 1992 y 2009, siendo el Estado de México y el Distrito Federal las entidades que contribuyeron mayormente a la producción total de RSU (16.5% y 12.5%, respectivamente).

Como se puede observar, el problema de los residuos sólidos es grave y debe ser atacado con estrategias como la minimización, es decir, siendo consumidores responsables, reusando, separando los materiales susceptibles de ser reciclados; y así contribuir a

disminuir la cantidad de desechos que requieren de disposición final y aumentar la vida útil de los sitios de disposición final.

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

La presente práctica aborda directamente el rubro 1.1.3 del programa de estudio, ya que se presenta la metodología que indica la normatividad vigente para determinar la caracterización de los residuos sólidos, mediante la determinación en el laboratorio de los parámetros más comunes, como el peso volumétrico, humedad, materia orgánica.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

NOTA: Las cantidades indicadas son menores a las que recomiendan las NMXs, ya que se trata de una práctica con fines didácticos, y no se van a obtener resultados oficiales.

a) Método de cuarteo (consultar la NMX-AA-015-1985):

Báscula, con capacidad de 100 kg

NOTA: como se manejará una cantidad menor de residuos de lo que marca la NMX, se usará una báscula con menor capacidad.

Bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.90 m y calibre mínimo del No. 200, para el manejo de los subproductos (tantas como sean necesarias).

Palas curvas

Bieldos

Escobas

Papelería y varios (hoja de registro, marcadores, ligas, etc.)

Equipo de protección personal:

Overoles

Guantes de carnaza

Botas de hule

Cascos de seguridad

Mascarillas protectoras

b) Cuantificación de subproductos (consultar la NMX-AA-022-1985)

Báscula de piso con capacidad de 200 kg

Balanza granataria con capacidad para 20 kg y sensibilidad de 1 g

Criba con malla No. 2.00 o No.10 (en plg) según Norma Mexicana NMX-B-231

Recogedores

Escobas

Treinta bolsas de polietileno de 1.10 m x 0.80 m y calibre mínimo de 200

Hoja de registro

El equipo de protección personal mencionado en a)

c) Determinación de peso volumétrico “in situ” (consultar NMX-AA-019-1985)

Básculas de piso con capacidad de 200 kg

Tambos metálicos de forma cilíndrica, con capacidad de 200 L

Palas curvas

Escobas
Recogedores
Papelería y varios necesarios para la operación (cédula de informe de campo, marcadores, etc.)
El equipo de protección personal mencionado en a)

d)Preparación de muestras para su análisis (consultar NMX-AA-052-1985)

Balanza granataria de 20 kg con sensibilidad de 1 g
Escobilla
Tijeras de jardinero
Recogedores
Pala de jardinero
Molino triturador
Frascos de vidrio de color ámbar y cuello esmerilado de 2 L de capacidad
El equipo de protección personal mencionado en a)

e)Determinación de humedad (consultar NMX-AA-016-1984)

Balanza analítica con sensibilidad de 0.001g
Espátula
Estufa con temperatura 423K (150°C) con sensibilidad 1.5K (1.5°C) capaz de mantener una temperatura constante
Cajas de aluminio con tapa de 250 cm³
Guantes de asbesto
Desecador con deshidratante
Pinzas para crisol

f)Determinación de pH (consultar NMX-AA-025-1984)

Balanza analítica con sensibilidad de 0.001 g.
Potenciómetro con compensador de temperatura, electrodo de vidrio y electrodo de referencia.
Agitador magnético con magnetos recubiertos de teflón o agitador mecánico.
Termómetro de vidrio con escala de 263 K a 393 K (-10°C a 120°C).
Espátula.
Vasos de precipitado de 250 mL.

g)Determinación de materia orgánica (consultar NMX-AA-021-1985)

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser de grado analítico a menos que se indique otra cosa; cuando se hable de agua, debe entenderse agua destilada.
Sulfato ferroso 0.5 N.
Dicromato de potasio 1 N.
Difenilamina al 1 %.
Ácido sulfúrico concentrado al 98%.
Ácido fosfórico al 95%.
Mortero
Matraz Erlenmeyer de 250 mL
Balanza analítica
Bureta

Pipetas
Agitador de vidrio
Probeta de 100 mL

METODOLOGÍA

a) Método de cuarteo (consultar la NMX-AA-015-1985):

Elegir la zona de la cual se tomarán los residuos (escuela, zona habitacional, comercio, oficinas).

Tomar las bolsas de polietileno conteniendo los residuos sólidos.

El contenido de dichas bolsas, se vacía formando un montón sobre un área plana horizontal de 4 m x 4 m de cemento pulido o similar y bajo techo.

El montón de residuos sólidos se traspalea con pala y/o biello, hasta homogeneizarlos, a continuación, se divide en cuatro partes aproximadamente iguales A B C y D (fig. 3.1), y se eliminan las partes opuestas A y C o B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 25 kg de residuos sólidos con los cuales se debe hacer la selección de subproductos de acuerdo a la Norma Mexicana NOM-AA-22.

De las partes eliminadas del primer cuarteo, se toman 5 kg aproximadamente de residuos sólidos para los análisis del laboratorio, físicos, químicos y biológicos (ver NMX-AA-052), con el resto se determina el peso volumétrico de los residuos sólidos "in situ" (según NMX-AA-19).

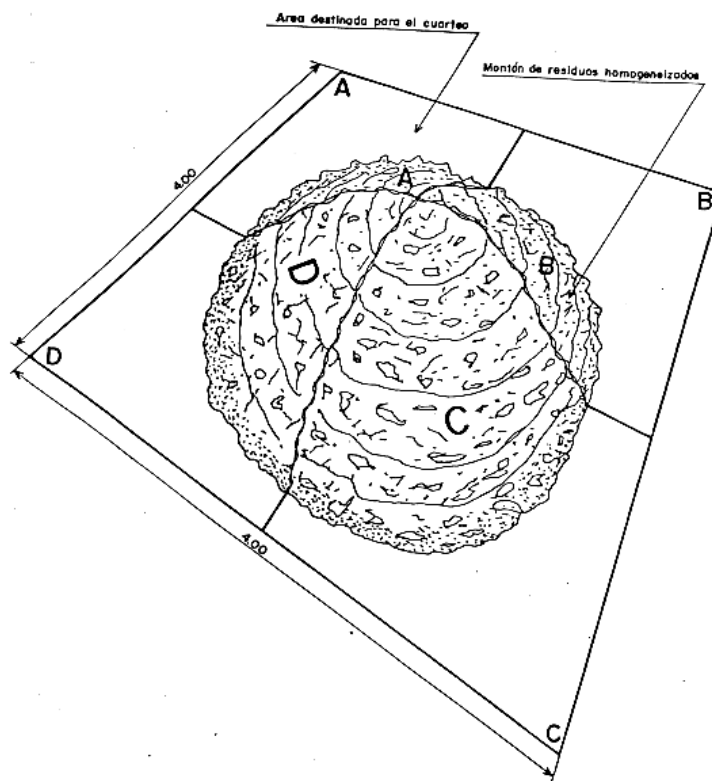


Figura 3.1. Método de cuarteo (NMX-AA-015-1985).

La muestra obtenida para los análisis físicos, químicos y biológicos debe trasladarse al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas (véase *Marcado), evitando que queden expuestas al sol durante su transporte, además se debe tener cuidado en el manejo de la bolsa que contiene la muestra para que no sufra ninguna rotura. El tiempo máximo de transporte de la muestra al laboratorio, no debe exceder de 8 horas.

***Marcado:**

La muestra se identifica con una etiqueta, la cual debe contener la siguiente información: hora y fecha del envío, localidad, municipio, estado, procedencia de la muestra, temperatura y humedad relativa del ambiente, peso de la muestra en kilogramos, datos del responsable de la toma de muestra y observaciones.

Recomendaciones

Para efectuar este método de cuarteo, se requiere la participación de cuando menos tres personas.

El equipo requerido antes descrito, está de acuerdo con el número de personas que participan en el cuarteo.

En ningún caso se toman más de 250 bolsas para efectuar el cuarteo.

b) Cuantificación de subproductos (consultar la NMX-AA-022-1985)

Para efectuar este método, se requiere la participación de cuando menos dos personas.

La muestra se extrae como se establece en la Norma Mexicana NOM-AA-015 y se toman como mínimo 25 kg, que procede de las áreas del primer cuarteo que no fueron eliminadas. Se seleccionan los subproductos depositándolos en bolsas de polietileno hasta agotarlos, de acuerdo con la siguiente clasificación:

- Papel.
- Cartón.
- Cuero.
- Residuo fino (todo material que pase la criba M 2.00).
- Envase de cartón encerado (tetrapak o tetrabrik).
- Hueso.
- Hule.
- Lata.
- Loza y cerámica.
- Madera.
- Material de construcción.
- Material ferroso.
- Material no ferroso.
- Pañal desechable.
- Plástico.
- Residuos alimenticios (dentro de los residuos sólidos alimenticios se deben incluir todos aquellos residuos de fácil degradación, tales como: vísceras, apéndices o cadáveres de animales).
- Residuos de jardinería.
- Trapo.
- Vidrio.
- Otros.

Los subproductos ya clasificados se pesan por separado en la balanza granataria y se anota el resultado en la hoja de registro (ver tabla 3.1).

Tamizar los sobrantes con la malla No. 10 para la obtención del residuo fino.

El porcentaje en peso de cada uno de los subproductos se calcula con la siguiente expresión:

$$PS = \frac{G1}{G} \times 100\%$$

En donde:

PS = Porcentaje del subproducto considerado.

G1 = Peso del subproducto considerado, en kg; descontando el peso de la bolsa empleada.

G = Peso total de la muestra (mínimo 25 kg).

El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes, debe ser como mínimo el 98% del peso total de la muestra (G). En caso contrario, se debe repetir la determinación.

Los resultados se anotan, como se indica en la hoja de registro (véase tabla 3.1).

Tabla 3.1. Hoja de registro
SELECCIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE SUBPRODUCTOS

Localidad _____ Municipio _____ Estado _____
 Fechas y hora de análisis _____ Peso de la Muestra _____ kg
 Estrato socioeconómico _____ Tara de las bolsas _____ kg
 Responsable del análisis _____ Dependencia o Institución _____

<i>Subproducto</i>	<i>Peso en kg</i>	<i>% peso</i>	<i>Observaciones</i>
Papel			
Cartón			
Cuero			
Residuo fino			
Envase cartón encerado			
Hueso			
Hule			
Lata			
Loza y cerámica			
Madera			
Material de construcción			
Material ferroso			
Material no ferroso			
Pañal desechable			
Plástico			
Residuos alimenticios			
Residuos de jardinería			
Trapo			
Vidrio			
Otros			

Recomendaciones

Se recomienda efectuar la determinación en un lugar cerrado y bajo techo.

Los cambios en peso durante la determinación, se deben principalmente a la liberación o admisión de humedad.

c)Determinación de peso volumétrico “in situ” (consultar NMX-AA-019-1985)

Para determinar el peso volumétrico “in situ”, se debe tomar los residuos eliminados de la primera operación del cuarteo, la cual se realizó en a) (según Norma Mexicana NMX-AA-15).

Para efectuar esta determinación, se requiere de cuando menos dos personas.

Antes de efectuar la determinación se verifica que el recipiente esté limpio y libre de abolladuras; así como también que la báscula esté nivelada.

A continuación se pesa el recipiente vacío, tomando este peso como la tara del recipiente.

Se determina el volumen del recipiente a partir de las ecuaciones aritméticas existentes, según sea la geometría de dicho recipiente.

A continuación, llenar el recipiente hasta el tope con residuos sólidos homogeneizados, obtenidos de las partes eliminadas del primer cuarteo según la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-15; golpee el recipiente contra el suelo tres veces dejándolo caer desde una altura de 10 cm.

Nuevamente agregue residuos sólidos hasta el tope, teniendo cuidado de no presionar al colocarlos en el recipiente; esto con el fin de no alterar el peso volumétrico que se pretende determinar.

Se debe tener cuidado de vaciar dentro del recipiente todo el residuo, sin descartar los finos. Para obtener el peso neto de los residuos sólidos, se pesa el recipiente con estos y se resta el valor de la tara.

Cuando no se tenga suficiente cantidad de residuos sólidos para llenar el recipiente se marca en éste, la altura alcanzada y se determina dicho volumen.

El peso volumétrico del residuo sólido se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$P_v = \frac{P}{V}$$

en donde:

P_v = Peso volumétrico del residuo sólido, en kg/m³

P= Peso de los residuos sólidos (peso bruto menos tara), en kg

V = Volumen del recipiente, en m³

Los resultados obtenidos deben reportarse en la cédula de informe de campo (Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Cédula de informe de campo

DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO-"IN SITU" DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES	
Localidad _____	Municipio _____ Estado _____
Fecha y hora de la determinación: _____	
Estrato socio-económico muestreado: _____	
Condiciones climatológicas imperantes durante la determinación _____	
Capacidad del recipiente _____	m ³
Tara del recipiente _____	kg
Capacidad del recipiente, tomada para la determinación _____	m ³

Peso bruto (peso del recipiente con residuos sólidos)	_____ kg
Peso neto de los residuos sólidos (peso bruto menos tara)	_____ kg
Peso volumétrico "in situ", de los residuos sólidos:	_____ kg/m ³
Responsable de la determinación:	
Nombre: _____	Cargo _____
Dependencia o Institución _____	
Observaciones: _____	

Recomendaciones

El equipo requerido antes descrito está de acuerdo con el número de personas que participen en la determinación.

d)Preparación de muestras para su análisis (consultar NMX-AA-052-1985)

Para los análisis del laboratorio, trabajar con aproximadamente 5 kg de las partes eliminadas del primer cuarteo.

Vaciar la muestra de residuos sólidos, en un área limpia y seca del laboratorio; para que con unas tijeras de jardinero se desmenucen tales residuos, hasta un tamaño máximo de 5 cm.

Con una pala de jardinero se homogeneizan los residuos sólidos y mediante el método de cuarteo, se obtiene una muestra representativa de 1 kg.

Se vierte la muestra dentro de un molino triturador para obtener un producto más homogéneo y de tamaño semejante a la arena gruesa.

Tomar la cantidad necesaria para realizar inmediatamente la determinación de humedad, según la Norma Mexicana, NMX-AA-16.

Depositar el resto del producto obtenido de la molienda, en frascos de vidrio color ámbar de cuello esmerilado y de 2 L de capacidad.

Almacenar los frascos con las muestras a 4°C, para realizar las demás determinaciones físicas, químicas y biológicas, en las siguientes ocho horas.

e)Determinación de humedad (consultar NMX-AA-016-1984)

La muestra se obtiene en cantidad suficiente para efectuar la determinación por duplicado, según Norma Mexicana NMX-AA-052.

Preparación de caja de aluminio

Colocar la caja abierta y su tapa en la estufa a 120°C durante dos horas.

Transcurrido ese tiempo, tapar la caja dentro de la estufa, e inmediatamente pasar al desecador y dejar enfriar, pesar.

Introducir nuevamente en la estufa durante dos horas como mínimo y repetir los pasos anteriores hasta obtener peso constante.

Registrar peso constante de la caja como P.

NOTA: Durante este procedimiento debe utilizarse pinzas.

Determinación de humedad

Vaciar la muestra sin compactar hasta un 50% del volumen de la caja.

Pesar la caja cerrada con la muestra.

Registrar peso como P1.

Introducir destapada la caja con muestra en la estufa a 60°C durante 2 horas, dejar enfriar en desecador una hora mínimo y pesar nuevamente.

Repetir esta operación las veces que sea necesario hasta obtener peso constante, P2. Esta NMX especifica que se considera peso constante cuando la diferencia entre dos pesadas consecutivas es menor al 0.01%.

NOTA: Durante este procedimiento debe utilizarse pinzas.

Calcular el porcentaje de humedad con la siguiente fórmula, teniendo en cuenta que para obtener G y G₁ se debe restar el peso de la caja.

$$H = \frac{G - G_1}{G} \times 100\%$$

Donde

H = Humedad en %

G = Peso de la muestra húmeda en g. = P1-P

G₁ = Peso de la muestra seca en g. = P2-P

Recomendaciones

La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor al 1%, en caso contrario se recomienda repetir la determinación.

f) Determinación de pH (consultar NMX-AA-025-1984)

De la muestra preparada como se establece en la Norma Mexicana NMX-AA-052 se toman 20 g para realizar la determinación por duplicado.

Calibrar el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras de pH=4, pH=7 y pH=11, según sea el tipo de residuo sólido por analizar.

Pesar 10 g de muestra y transferirlos a un vaso de precipitado de 250 mL

Añadir 90 mL de agua destilada.

Mezclar por medio del agitador durante 10 minutos.

Dejar reposar la solución durante 30 minutos.

Determinar la temperatura de la solución. Sumergir los electrodos en la solución y hacer la medición de pH.

Sacar los electrodos y lavar con agua destilada.

Sumergir los electrodos en un vaso de precipitados con agua destilada.

Para poder desechar la muestra, primero se debe neutralizar, con ácido o base, según pH de la muestra.

Recomendaciones

Para el manejo y cuidados que se deben tener con el potenciómetro, es necesario seguir las indicaciones y recomendaciones del fabricante.

La diferencia máxima permisible en el resultado de pruebas efectuadas por duplicado no debe exceder de 0.1 unidades de pH, en caso contrario, repetir la determinación.

g) Determinación de materia orgánica (consultar NMX-AA-021-1985)

La muestra se obtiene según la Norma Mexicana NOM-AA-52 y en cantidad suficiente para efectuar la determinación.

Simultáneamente correr un blanco para obtener el factor de corrección.
 Triturar la muestra en un mortero hasta obtener una consistencia similar al talco.
 Pesar 0.1 g de la muestra y transferirlos a un matraz Erlenmeyer de 250 mL ó mayor.
 Agregar con bureta 10 mL de dicromato de potasio 1 N.
 Agregar con cuidado 20 mL de ácido sulfúrico al 98%.
 Agitar enérgicamente durante un minuto.
 Dejar reposar durante 30 minutos.
 Posteriormente, agregar 100 mL de agua.
 Agregar 10 mL de ácido fosfórico al 95%.
 Añadir 0.5 mL de difenilamina al 1%.
 Titular con sulfato ferroso 0.5 N hasta que vire de violeta obscuro a verde.
 El porcentaje de materia orgánica se calcula:

$$\% \text{ M. O.} = \frac{(V_1 N_1 - V N F)K}{P}$$

En donde:

V₁ = Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en la muestra, en mL.
 N₁ = Normalidad de la solución de dicromato de potasio.
 V = Volumen de solución del sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra, en mL.
 N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso.
 P = Peso de la muestra en g.
 K=0.69
 F = Factor de corrección y se obtiene por la siguiente ecuación:

$$F = \frac{V_o N_1}{V_B N}$$

Donde

V_o = Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en el blanco en mL.
 V_B = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco en cm³.

Recomendaciones

Usar campana de extracción y mascarilla de protección cuando se preparen y manejen las soluciones.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- No se incluyó la determinación de cenizas debido a que el procedimiento es semejante a la determinación de STF que se incluyó en la práctica No. 1. Si se prefiere, se puede omitir la determinación de STF de la práctica No. 1, e incluir la determinación de cenizas en esta práctica.
- Se recomienda pedir como prelaboratorio los diagramas de bloques mencionados en el reporte del alumno.
- Se sugiere preparar solo las cantidades necesarias de los diferentes reactivos, tanto para no desperdiciar reactivos, como para reducir las cantidades a neutralizar al finalizar la práctica.
- Preparar por anticipado material y soluciones a utilizar, para optimizar el tiempo de la práctica.

-La preparación de soluciones puede dividirse por equipos, para evitar que todos los equipos preparen las mismas soluciones y se desperdicien reactivos. Revisar que todos los equipos realicen los cálculos para la preparación de todas las soluciones, y no solo de las que les fueron asignadas.

-Pedir a los estudiantes que lleven una bitácora con todas las observaciones y resultados obtenidos.

-Investigar y comparar las características de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

-Que el alumno investigue por equipos los datos de caracterización de residuos de la zona donde vive, así como la fecha en que se realizaron dichos estudios; y en caso de no existir dichos datos mencionar por qué no se ha realizado el estudio de caracterización.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

-Portada (bajarla del portal del ITT).

1.OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.

2.FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.Elaborar un cuadro con las semejanzas y diferencias entre las determinaciones de STF (agua residual) y cenizas (residuos sólidos).

2.2.Elaborar una tabla (ver Tabla 1) que contenga el principio para la determinación y las aplicaciones de cada uno de los parámetros mencionados a continuación: cuantificación de subproductos, peso volumétrico, humedad, pH, materia orgánica, cenizas, nitrógeno total, poder calorífico.

Tabla 1. Principio para la determinación y aplicaciones de cada uno de los parámetros usados para la caracterización de residuos sólidos.

Parámetro	Principio en el que se basa su determinación	Aplicación
Cuantificación de subproductos		
Peso volumétrico		
.		
.		
.		

3.METODOLOGÍA

3.1.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para cada una de las determinaciones realizadas: cuarteo, cuantificación de subproductos, ... , materia orgánica.

4.RESULTADOS

4.1.Llenar tablas 3.1 y 3.2.

4.2.Reportar resultados de cada una de las determinaciones realizadas, incluyendo cálculos: Datos, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades.

Para la determinación de humedad, incluir tablas donde se presenten los datos de la caja de aluminio vacía y con muestra, del procedimiento de obtención de peso constante (ver tablas 2 y 3).

Los resultados deben reportarse en las unidades indicadas por las NMXs vigentes.

Tabla 2. Obtención de peso constante de la caja de aluminio vacía para la determinación de humedad.

No. pesada	Peso de caja Al (g)	Diferencia de pesos (g)

Tabla 3. Obtención de peso constante de la caja Al con muestra para la determinación de humedad.

No. pesada	Peso de cápsula con muestra (g)	Diferencia de pesos (g)

4.3. Comparar resultados con valores reportados en estudios reportados en bibliografía y comentar los resultados obtenidos.

5. CONCLUSIONES: Revisar el objetivo de la práctica y redactar las conclusiones que se piden a continuación.

5.1. Conclusiones individuales.

5.2. Conclusiones del equipo.

6. FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

Enkerlin, E.; G. Cano, R.A. Garza, E. Vogel. 1997. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. 1ª ed. International Thomson Editores. México, D.F.

Esquinca C., F.; J.L. Escobar V., A. Hernández L., J.J. Villalobos M. 1995. Caracterización y generación de los residuos sólidos de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Secretaría de Ecología, Recursos Naturales y Pesca/SMISA Sección Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexico/03364e14.pdf>

Francisco, A., Y. Rodríguez. 2011. Caracterización de residuos sólidos de mercados en Santo Domingo oeste, Provincia Santo Domingo. Revista Ciencia y Sociedad (en línea), vol. XXXVI, núm. 1, Enero-Marzo. Instituto Tecnológico de Santo Domingo. República Dominicana. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87019755006>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2012. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2012. México, D.F. http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/singir/Documents/Residuos_Gestion_Version_Ejecutiva.pdf

Rivera F., J; M. Montiel M., A. Pérez L. 2012. Caracterización de residuos sólidos urbanos en la ciudad de Teziutlán Puebla en Febrero del 2012. Teziutlán, Puebla. http://www.itsteziutlan.edu.mx/site2010/pdfs/2012/11/caracterizacion_lunes_23_de_abril.pdf

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI). 2013. Norma Mexicana NMX-B-231-1990. Cribas para la clasificación de materiales granulares. México, D.F.

<http://200.77.231.100/work/normas/nmx/1990/nmx-b-231-1990.pdf>

Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 2010. Residuos sólidos urbanos. México, D.F.
http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/indicadores_2010_cd/pdf/fichas/4_Residuos_solidos.pdf

Secretaría de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología (SEDESOL-INE). 1994. Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente. México, D.F.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2012. Normas mexicanas en materia de contaminación del suelo. México, D.F.
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nmx-suelo.aspx>

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2013. Residuos sólidos urbanos y de manejo especial. México, D.F.
<http://www.semarnat.gob.mx/temas/residuos/solidos/Paginas/solidos.aspx>

Práctica No. 4

Medición de caudales mediante flotadores y vertedores

OBJETIVO

Calcular el caudal de agua en canales abiertos haciendo uso tanto de métodos de descarga directa como de velocidad-área; así como identificar sus características, funcionamiento y diferencias.

INTRODUCCIÓN

La medición del caudal de agua residual o aforo, es importante para el diseño de las instalaciones para su tratamiento, así como para la operación de la planta.

Los métodos más empleados para la medida de caudales se clasifican en métodos de descarga directa y métodos de velocidad-área.

Los métodos de descarga directa son aquellos en los que la magnitud de la descarga es función de una o dos variables fácilmente medibles. Ejemplos: vertedores de cresta delgada, peso directo, medida volumétrica, canal Parshall, canal Palmer-Bowlus.

Por otra parte, usando los métodos de velocidad-área, como su nombre lo indica, el caudal se determina multiplicando la velocidad del flujo (m/s) por el área de la sección transversal (m^2) a través de la que circula el caudal. Ejemplos: flotadores, molinetes, trazadores con colorantes, trazadores químicos y radiactivos (Metcalf & Eddy, Inc., 1985).

En esta práctica se aborda el uso de vertedores y flotadores, por lo que se describen con más detalle a continuación.

VERTEDORES

Un vertedor es una barrera que se coloca dentro de una corriente a superficie libre y de este modo la obliga a fluir por encima de ella; es semejante a una compuerta, solo que en ésta el agua fluye por la parte inferior (Cadavid, 2006).

Algunas de las clasificaciones más comunes de vertedores son:

a) Según el ancho de la cresta:

a.1. Vertedores de cresta delgada o afilada

Generalmente consisten de una placa de plástico o metal sobre la que se hace fluir el líquido. Este tipo de vertedor es el más usado, especialmente como aforador, por su precisión y por ser una estructura de fácil construcción e instalación. El caudal se determina midiendo la carga H en la cresta del vertedor (en vertedores rectangulares y trapezoidales) o sobre el vértice de la abertura del vertedor (en los triangulares). La carga H es la diferencia de cotas entre la cresta y la superficie del agua en el canal, en un punto aguas arriba tomado más allá del comienzo de la superficie curva del líquido (Figura 4.1).

El funcionamiento de los vertederos de pared delgada puede variar según la forma de la vena o chorro aguas abajo de la estructura (conocido también como nappa), en situaciones en que no toda la lámina esté en contacto con la presión atmosférica en la zona de descarga, la posición de la vena se modifica y se altera el caudal. Es por ello que cuando el vertedero es usado para medición de caudales se debe evitar la situación anterior (Universidad del Cauca, 2001).

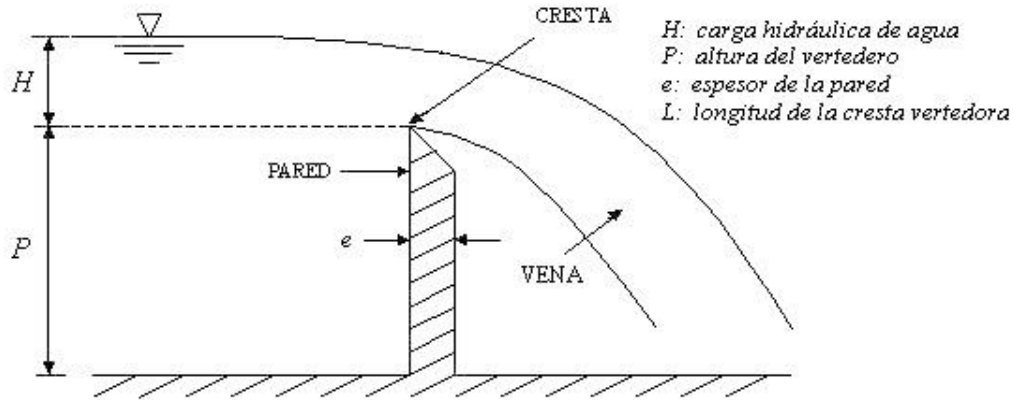


Figura 4.1. Vertedor de cresta delgada (Universidad del Cauca, 2001)

La razón por la cual la lámina de agua vertida debe tener una caída libre, es que se encuentre a presión atmosférica tanto por arriba como por abajo y así su situación será equivalente a la del chorro de una manguera, por ejemplo: la presión estática de todos los puntos de la lámina de agua a partir de la vertical del vertedor será igual a la presión atmosférica (es decir, cero en términos de presión relativa). Por el contrario, si la vena no está ventilada, las líneas de corriente se van curvando en torno a la cresta del vertedor, produciéndose una depresión sobre la zona posterior de la pared del vertedor, y el agua tiende a pegarse a la pared (Figura 4.2). El efecto final de esta succión es que la lámina de líquido sobre el vertedor baja de nivel y, en definitiva, la relación entre el caudal y la altura de la superficie libre aguas arriba, H , se modifica (Argüelles y colaboradores, 2005).

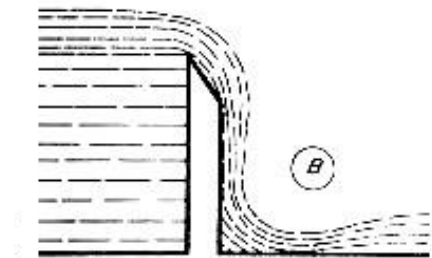


Figura 4.2 Vena líquida adherida (Universidad del Cauca, 2001).

a.2. Vertedores de cresta ancha o gruesa.

Desaguan un caudal mayor que los de cresta delgada, por esta razón se emplean como parte de una presa o de otra estructura hidráulica para el control del nivel (Argüelles y colaboradores, 2005).

b) Según la forma geométrica de la abertura (Figura 4.3):

b.1. Rectangulares.

A su vez, los vertedores rectangulares se clasifican en *vertederos sin contracción lateral*, si el ancho del vertedor es igual al ancho del canal y *vertederos con contracción lateral* en caso contrario (Figura 4.4).

b.2. Triangulares

Tienen la característica de permitir la medición de caudales pequeños con precisión (menores de 30 L/s) y trabajan en forma eficiente cuando se tienen fluctuaciones de caudal

en el sistema (Aguilar, 2001). El ángulo de la abertura triangular puede tomar cualquier valor, aunque es muy frecuente el vertedor con ángulo de 90° (Argüelles y colaboradores, 2005).

b.3. Trapezoidales

Este vertedor ha sido diseñado con el fin de disminuir el efecto de las contracciones que se presentan en un vertedero rectangular contraído (Universidad del Cauca, 2001).

b.4. Parabólico

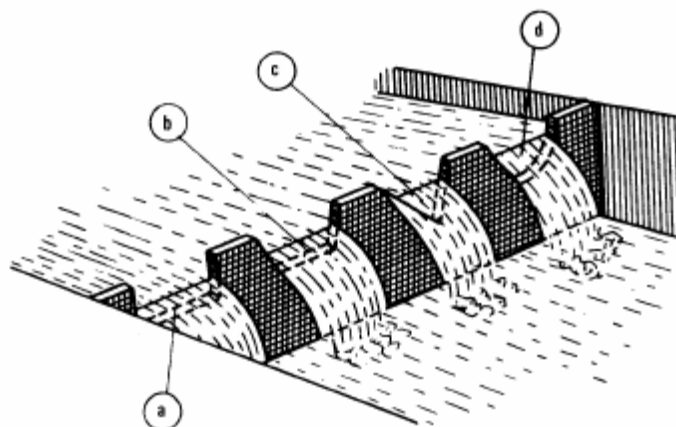


Figura 4.3. Vertedor (a) rectangular; (b) trapezoidal; (c) triangular; (d) parabólico (Argüelles y colaboradores, 2005).

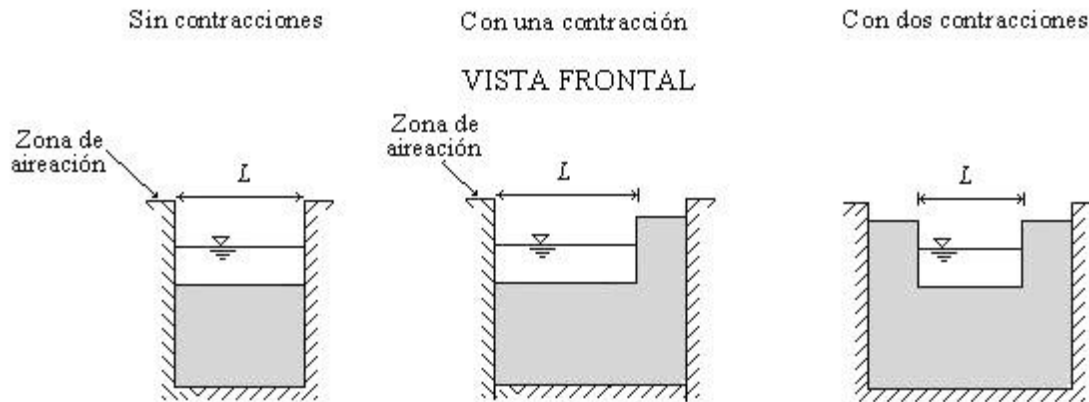


Figura 4.4. Vertedores rectangulares (Universidad del Cauca, 2001).

FLOTADORES

Este método se utiliza cuando no se puede emplear un molinete debido a velocidades o profundidades inadecuadas, a la presencia de material en suspensión, o cuando la medición del caudal deba realizarse en un período de tiempo muy corto (IDEAM, 2002).

Como se mencionó anteriormente, al tratarse de un método de velocidad-área, se tiene que conocer el área de la sección transversal y la velocidad del agua. El flotador es usado para medir la velocidad, puede utilizarse cualquier cuerpo pequeño que flote: como un trozo de madera o la rama lisa de un árbol de unos 30 cm de longitud y 5 cm de anchura, o una botella pequeña bien cerrada de 10 cm de altura, que contenga suficientes materias (tales

como agua, tierra o piedras) para que flote con su parte superior justo encima de la superficie, (Figura 4.5) y así poder obtener la velocidad media del agua.

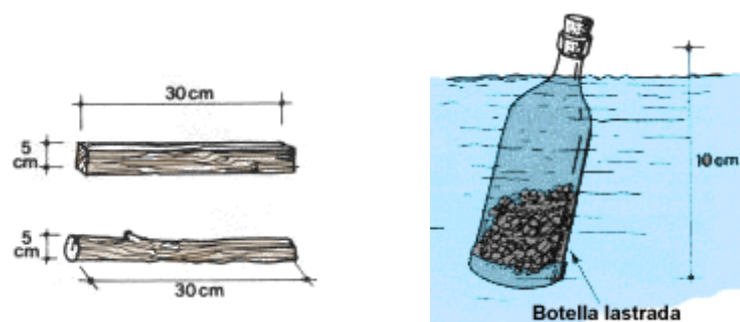


Figura 4.5. Trozos de madera y botella empleados como flotadores

El cálculo de la velocidad del agua se basa en medir el tiempo que tarda el flotador en recorrer una distancia conocida (Franquet, 2009). Se toma una cierta longitud del canal, y se hacen varias mediciones del tiempo en que el flotador tarda en recorrer esa longitud, teniendo cuidado de que el flotador se desplace lo mas al centro de la sección. Es conveniente hacer varias mediciones del tiempo empleado y sacar la media aritmética de esas mediciones (Estrada, 2008).

Si se usa un flotador que se mantiene en la superficie del agua (flotador superficial), se debe tener en cuenta que la velocidad media del agua es inferior a la velocidad en la superficie, por lo que se debe multiplicar la velocidad superficial obtenida por un factor. La velocidad media suele variar entre 0.75 y 0.90 veces la velocidad en la superficie según se trate de cauces naturales pequeños o grandes, respectivamente (Franquet, 2009).

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

El programa vigente incluye como subtema 2.1.1 Vertedores y flotadores, los cuales son instrumentos ampliamente usados para la medición de caudales. Los vertedores son un ejemplo de método de descarga directa y los flotadores de velocidad-área. Por lo tanto, en esta práctica se abordará la medición del caudal, parámetro indispensable cuando se va a proponer un sistema de tratamiento para efluentes líquidos.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

Cronómetro

Flexómetro

Regla rígida graduada

Flotador superficial o sumergido (construido por los estudiantes)

Canal del Banco Hidráulico del laboratorio de Ing. Electromecánica, que cuenta con vertedor rectangular y triangular.

METODOLOGÍA

a) Medición de flujo (caudal) mediante vertedores.

Prelaboratorio:

Investigar en libros de Hidráulica (Sotelo, 1982 y Azevedo, 1976), las ecuaciones existentes para calcular el caudal usando vertedores.

Acudir al laboratorio de Electromecánica y observar qué tipo de vertedores están disponibles, su geometría y dimensiones.

Elegir las ecuaciones que se usarán, en función de las características observadas de los vertedores disponibles en el laboratorio.

Identificar todas las variables y constantes involucradas en las ecuaciones elegidas.

Investigar las ecuaciones para la obtención de los coeficientes de descarga (consultar Sotelo, 1982 y Azevedo, 1976).

Anotar los parámetros a medir durante la práctica para poder calibrar los vertedores.

Anotar los parámetros a medir para calcular los caudales de manera correcta.

Calibración de vertedores (obtención de coeficientes de descarga, C_D):

Instalar convenientemente el vertedor en el canal, asegurarse que no se presenten filtraciones de flujo por debajo de éste y así poder garantizar que todo el caudal pasa por la abertura del vertedero.

Hacer circular un caudal lo más pequeño posible y observar el comportamiento del chorro.

Recordar que la descarga del chorro de agua es correcta, cuando el chorro se mantiene separado de las paredes del vertedor, para lo cual debe variarse el caudal hasta que se consigan las condiciones deseadas (Argüelles y colaboradores, 2005).

Una vez estabilizado el flujo, proceder a medir con la regla graduada, la carga H correspondiente, para obtener $Q_{teórico}$.

Al mismo tiempo, calcular el caudal experimental de agua mediante el método volumétrico ($Q_{exp \text{ mét. volum}}$), que consiste en medir el aumento del nivel del agua (volumen) en el tanque de descarga en un cierto intervalo de tiempo:

$$Q_{exp \text{ mét. volum}} = \text{volumen} / \text{tiempo}$$

Aumentar el caudal y repetir los pasos anteriores para obtener 2 lecturas más de H para otros dos caudales.

Anotar en la Tabla 1 los datos obtenidos.

Tabla 1. Datos para calibración de vertedor

Tipo de vertedor: Características: ($L =$, $L' =$, $\theta =$, según corresponda)						
No.	Volumen (m^3)	Tiempo (s)	$Q_{exp \text{ mét. volum.}}$ (m^3/s)	Carga, H (m)	$Q_{teórico}$ (m^3/s)	$C_D =$ $Q_{exp \text{ mét. volum}}/Q_{teórico}$
						$C_{D \text{ promedio}} =$

Proceder a la calibración del otro tipo de vertedor.

Cálculo del caudal a partir de las ecuaciones para vertedores usando los coeficientes correctores de descarga:

Usar la ecuación correspondiente para cada vertedor y el coeficiente de descarga (C_D) respectivo obtenido anteriormente.

Hacer circular el agua y observar que la descarga del chorro de agua sea correcta (como se explicó en la parte *Calibración de vertedores*)

Una vez estabilizado el flujo, proceder a medir con la regla graduada, la carga H correspondiente.

La medición de la carga H se realizará por triplicado para cada vertedor.

Anotar los datos en la tabla 2.

Tabla 2. Datos para medición de caudal con vertedores.

Tipo de vertedor: Características: $C_D =$, ($L =$, $L' =$, $\theta =$, según corresponda)		
No.	Carga, H (m)	Q_{real} (m^3/s)
		$Q_{\text{promedio}} =$

b) Medición de flujo (caudal) mediante flotadores.

Prelaboratorio:

Investigar las ecuaciones existentes para calcular el caudal usando flotadores.

Identificar los parámetros a medir durante la práctica para poder calcular los caudales de manera correcta.

Construir un flotador por equipo, especificar si es superficial, sumergido o de varilla.

Cálculo del caudal usando flotadores:

Elegir una sección del canal donde el caudal sea estable.

Medir con el flexómetro la longitud de dicha sección (L).

Colocar el flotador y usar el cronómetro para medir el tiempo que tarda en recorrer la sección elegida.

Se recomienda realizar un mínimo de 3 mediciones y calcular el promedio del tiempo.

Anotar los datos en la tabla 3.

Tabla 3. Datos para medición de caudal con flotadores.

Tipo de flotador: _____ Ecuaciones: $Q =$ _____, Velocidad = _____ $L =$ _____ m , ancho = _____ m Área de la sección transversal = _____ m^2				
No.	Tiempo (s)	Tiempo promedio (s)	*Velocidad (m/s)	Q (m^3/s)

*Si se utiliza flotador superficial, la velocidad real se obtiene multiplicando la velocidad obtenida por un factor.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- Organizar a los estudiantes en equipos de 3 o 4 integrantes, como máximo, ya que la práctica no requiere preparación de reactivos.
- Para optimizar el tiempo de la práctica, los equipos se pueden organizar de tal manera que mientras un equipo realiza la medición con vertedor, otro equipo puede medir el caudal con flotador.
- Cada equipo debe verificar previo a la práctica, que su flotador funcione correctamente, es decir que se mantenga a flote.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

-Portada (bajarla del portal del ITT).

1. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Elaborar un mapa conceptual sobre los métodos para medición de caudales, que incluya la siguiente información:

Métodos de descarga directa y de velocidad-área (definiciones, aplicaciones, ventajas y desventajas, ejemplos).

2.2. Explicar la diferencia entre los métodos para medir caudal usando vertedores y flotadores.

3. METODOLOGÍA

3.1. Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la calibración de vertedores.

3.2. Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la determinación del caudal usando vertedores.

3.3. Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la determinación del caudal usando flotadores.

4. RESULTADOS

4.1. Reportar los resultados de la calibración de cada vertedor (indicar como Tabla 1a y Tabla 1b), incluyendo ecuaciones y sustituciones.

4.2. Reportar los resultados del cálculo de caudal para cada vertedor (indicar como Tabla 2a y 2b), incluyendo ecuaciones y sustituciones.

4.3. Reportar los resultados del cálculo de caudal con flotadores (Tabla 3), incluyendo ecuaciones y sustituciones.

4.4. ¿Para qué se calibraron los vertedores usados?

4.5. El valor encontrado para C_D se puede usar para otro vertedor. Justificar la respuesta.

4.6. ¿Por qué se debe afectar por un factor el valor de la velocidad obtenida por medio de un flotador superficial?

5. CONCLUSIONES: Revisar el objetivo de la práctica y redactar las conclusiones que se piden a continuación.

5.1. Conclusiones individuales.

5.2. Conclusiones del equipo.

6. FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

Aguilar Ch., A. 2001. Serie autodidáctica de medición: Vertedores. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). México, D.F.
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/vertedores.pdf>

Argüelles D., K.; J. L. Parrondo G., J. Fernández O. 2005. Prácticas de Mecánica de Fluidos. Práctica No.6: Vertederos. Departamento de Energía. Universidad de Oviedo. Oviedo, España.
http://www.uniovi.es/Areas/Mecanica.Fluidos/docencia/_asignaturas/mecanica_de_fluidos_minas/lp6.pdf

Azevedo N., J. M. y G. Acosta. 1976. Manual de Hidráulica. 6ª ed. Harla, S. A. de C. V. México, D.F.

Cadavid R., J. H. 2006. Hidráulica de canales: Fundamentos. Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellín, Colombia.

Estrada G., G. 2008. Manual de Hidráulica de canales. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.
http://www.fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2013/02/05/Manual_de_Hidraulica_de_Canales.pdf

Franquet B., J.M. 2009. El caudal mínimo medioambiental del tramo inferior del río Ebro. España.
<http://www.eumed.net/libros/2009b/564/>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2002. Capítulo 11: Medición de caudal. Bogotá, Colombia.
<https://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/012406/Cap11.pdf>

Metcalf & Eddy, Inc. 1985. Ingeniería sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. 2ª ed. Labor. Barcelona, España.

Sotelo A., G. 1982. Hidráulica general. Vol I. 6ª ed. Limusa. México, D.F.

Universidad del Cauca. 2001. Práctica II: Estudio y patronamiento de vertederos. Departamento de Hidráulica. Bogotá, Colombia.
http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

Práctica No. 5

Sedimentación en columna de una suspensión floculenta

OBJETIVO

Obtener las curvas de igual eliminación porcentual para una suspensión floculenta, a partir de datos experimentales en una columna de sedimentación; y calcular velocidades de sedimentación.

INTRODUCCIÓN

Durante la sedimentación de partículas floculentas, la velocidad de las partículas aumenta a medida que van sedimentando, porque en su caída se asocian a otras partículas, aumentando así el tamaño y por ende su velocidad de caída (Herrera, 2006).

La medida en la que ocurre la floculación depende de las oportunidades de contacto que tengan las partículas, lo que varía con la carga superficial, profundidad del tanque, concentración de partículas, gama de tamaños y naturaleza de las mismas. Debido a que las partículas floculentas están cambiando constantemente de forma, tamaño e incluso de densidad, cuando queda atrapada agua en el floc, no se tiene una ecuación matemática que pueda ser usada para describir de forma adecuada la sedimentación Tipo II o floculenta; por lo que se deben realizar ensayos de sedimentación en columna (Metcalf & Eddy, 1985) y (Davis, 1991).

Se utiliza una columna, con dimensiones que van de unos 15 a 25 cm de diámetro y cuya profundidad o altura, H , debe ser la misma que la del tanque propuesto, generalmente entre 2 y 3 metros de altura. La columna debe disponer de salidas laterales para la toma de muestras con una frecuencia dada (cada 10 minutos, por ejemplo), durante unas 2 horas (si fuese necesario) (Herrera, 2006). A cada muestra se le determina el contenido de sólidos suspendidos, y conociendo la concentración inicial del agua se calcula el porcentaje de sólidos eliminados para cada tiempo y profundidad. Los resultados se sitúan en una gráfica tiempo-profundidad para trazar las curvas de igual eliminación porcentual.

Tales curvas son usadas para calcular velocidades de sedimentación, tiempos y porcentajes de remoción total; parámetros importantes para el dimensionamiento de tanques sedimentadores.

La velocidad efectiva de sedimentación, también llamada carga superficial o velocidad de rebose, v_o , se define como la profundidad crítica (H) dividida por el tiempo (t_i) que una partícula determinada tarda en recorrer esa distancia (Ramalho, 1991).

El tiempo, t_i , que la partícula tarda en llegar al fondo de la columna se obtiene de la intersección de la curva de igual eliminación porcentual con el eje de las abscisas.

Cada una de las curvas indica el porcentaje de sólidos que al tener una velocidad efectiva de sedimentación igual o mayor a v_o , logran sedimentar en el tiempo t_i . Sin embargo, en ese lapso de tiempo, también logran sedimentar algunos sólidos con velocidades menores de sedimentación, pero que se encontraban a profundidades menores, por lo que se hace necesario calcular los porcentajes de remoción total, $\%R_T$.

El cálculo de los porcentajes de remoción total implica el trazo de una línea vertical en el punto donde la curva de igual eliminación interseca el eje del tiempo, y sobre esa línea

vertical se ubican los puntos, denominados z_i , que servirán para ir calculando los diversos porcentajes de remoción para las profundidades menores de H , que se irán sumando al porcentaje de la curva de igual eliminación. El procedimiento se explica a detalle en el inciso e) de la Metodología.

Con los resultados obtenidos se grafican dos curvas:

a) Porcentaje de remoción total vs tiempo de retención, y

b) Porcentaje de remoción total vs carga superficial.

En dichas curvas se puede leer el tiempo y carga superficial óptimos para eliminar un determinado porcentaje de SS.

Es importante recordar que las gráficas anteriores fueron obtenidas a partir del estudio de sedimentación en una columna en laboratorio, por lo tanto, para tener en cuenta que las condiciones que se dan a escala real están por debajo de las óptimas; la carga superficial y el tiempo de retención que se deducen de los estudios en columna, se suelen multiplicar por los factores de escalamiento que aparecen en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. Factores de escalamiento para el diseño de tanques de sedimentación para partículas floculentas (Metcalf & Eddy, 1985) y (Davis, 1991).

Parámetro \ Autor	Metcalf & Eddy	Eckenfelder
Carga superficial	0.65 – 0.85	0.65
Tiempo de retención	1.25 – 1.50	1.75

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

Dentro de la unidad 2, el tema 2.1.2 es Sedimentación, y como subtema el programa indica la Determinación de velocidades de sedimentación floculenta, lo cual implica el análisis experimental por medio de una columna para poder elaborar las curvas de sedimentación, y esto es justamente lo que se abordará en esta práctica. Cabe mencionar que en el laboratorio de análisis N2 del ITT, se cuenta con una columna de sedimentación de acrílico para fines didácticos, elaborada como trabajo de titulación en el año 2010 por M. González C. y G. González G. (González y González, 2010).

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

a) Muestreo

20 L de agua residual con sólidos que sedimenten de forma floculenta. Ejemplos:

De una tratadora municipal, el agua residual que haya pasado por el pretratamiento.

Agua procedente de un proceso de coagulación-floculación.

Consultar inciso a) Muestreo de la práctica No. 1 (NMX-AA-003 y NMX-AA-014).

b) Determinación de SST

Consultar inciso f de la práctica No. 1 (NMX-AA-034-SCF1-2001).

c) Análisis de sedimentación en columna

Columna de acrílico con válvulas para toma de muestras.

Varilla de vidrio larga

20 vasos de precipitado de 50 o 100 mL.

Cronómetro

Termómetro

Tabla de registro

METODOLOGÍA

a) Muestreo

Consultar inciso a) Muestreo de la práctica No. 1 (NMX-AA-003 y NMX-AA-014).

b) Determinación de SST iniciales (SST_{inic}).

Una vez que se tiene en el laboratorio el volumen requerido de agua, homogeneizar y tomar 10 mL de muestra para medir la concentración de SST iniciales.

Para la determinación de SST, consultar inciso f de la práctica No. 1 (NMX-AA-034-SCF1-2001).

Realizar el análisis por duplicado (muestra A y muestra B).

Vaciar datos en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Obtención de peso constante del crisol+filtro para la determinación de SST.

No. pesada	Muestra A		Muestra B	
	Peso crisol +filtro(g)	Diferencia pesos(g)	Peso crisol +filtro(g)	Diferencia pesos(g)
1				
2				
3				
...				
...				

Tabla 2. Obtención de peso constante del crisol+filtro con muestra para la determinación de SST.

No. pesada	Muestra A		Muestra B	
	Peso crisol + filtro con muestra (g)	Diferencia pesos(g)	Peso crisol + filtro con muestra (g)	Diferencia pesos(g)
1				
2				
3				
...				
...				

Realizar el cálculo de SST iniciales para cada una de las 2 muestras y promediar para obtener el valor de SST iniciales (SST_{inic}).

Las concentraciones de SST deben reportarse en las unidades indicadas por la NMX vigente.

c) Análisis de sedimentación en columna

Homogeneizar el agua y vaciar a la columna de sedimentación.

Agitar el agua en la columna con una varilla de vidrio larga.

Dejar en reposo para iniciar el análisis de sedimentación.

Anotar la hora de inicio del análisis y arrancar el cronómetro.

Tomar muestras de 10 mL de cada una de las 3 válvulas en los siguientes intervalos de tiempo: 10, 20, 30, 50, 80 y 100 min.

NOTA: Para definir el tiempo en que se toma la última muestra, dependerá de la sedimentación de los sólidos en el tipo de agua utilizada; si se observa que los sólidos ya no siguen sedimentando, se finaliza la toma de muestras. Los tiempos que normalmente se manejan oscilan entre una y dos horas, definiéndose para esta práctica un valor de 100 minutos, el cual ha resultado adecuado en ensayos anteriores.

c.1) Determinación de SST presentes a las diferentes profundidades y tiempos.

Determinar la concentración de SST para cada una de las muestras tomadas (vaciar datos en tablas 3 y 4).

Elaborar las tablas que sean necesarias según el número de muestras analizadas; reportar como tablas 3a y 4a para la primera muestra, tabla 3b y 4b para la segunda muestra, y así sucesivamente.

Tabla 3. Obtención de peso constante del crisol+filtro para la determinación de SST.

No. pesada	Peso de crisol+filtro (g)	Diferencia de pesos (g)

Tabla 4. Obtención de peso constante del crisol+filtro con muestra para la determinación de SST.

No. pesada	Peso de crisol+filtro con muestra (g)	Diferencia de pesos (g)

Las concentraciones de SST deben reportarse en las unidades indicadas por la NMX vigente.

Escribir las concentraciones de SST presentes a las diferentes profundidades y tiempos en la tabla 5.

Tabla 5. Concentraciones de SST (mg/L) presentes a las profundidades indicadas.

Tiempo (min)	(Valv.1) 0.25 m	(Valv. 2) 0.50 m	(Valv.3) 0.75 m
10			
20			
30			
50			
80			
100			

Proceder al lavado de la columna.

c.2) Cálculo de los porcentajes de sólidos suspendidos eliminados a las diferentes profundidades y tiempos.

Usar la siguiente ecuación:

$$\% \text{ sólidos suspendidos eliminados} = \frac{SST_{\text{inic}} - SST_t}{SST_{\text{inic}}} \times 100\%$$

ó en su forma simplificada:

$$= \left(1 - \frac{SST_t}{SST_{\text{inic}}}\right) \times 100\%$$

Donde

% sólidos suspendidos eliminados = porcentaje de remoción de sólidos suspendidos a una profundidad y tiempo dados.

SST_{inic} = concentración inicial de SST del agua en mg/L, determinada en inciso b).

SST_t = concentración de SST en el tiempo t y a una profundidad dada, en mg/L.

Escribir las concentraciones de SST presentes a las diferentes profundidades y tiempos en la tabla 6.

Tabla 6. Porcentajes de SST (mg/L) eliminados a las profundidades indicadas.

Tiempo (min)	0.25 m	0.50 m	0.75 m
10			
20			
30			
50			
80			
100			

c.3) Elaboración de la gráfica sólidos en suspensión eliminados en función del tiempo.

Con los datos de la tabla 6, construir una curva para cada profundidad, usando los datos de % de sólidos eliminados y los tiempos (ver figura 2).

Para elaborar la curva para la profundidad de 0.25 m, se grafican los tiempos y los valores de % de sólidos eliminados obtenidos para dicha profundidad (columnas marcadas con color gris en la tabla 6). Trazar la curva que mejor ajuste los puntos graficados.

Después se procede a realizar los mismos pasos del párrafo anterior, para las profundidades de 0.50 m y 0.75 m.

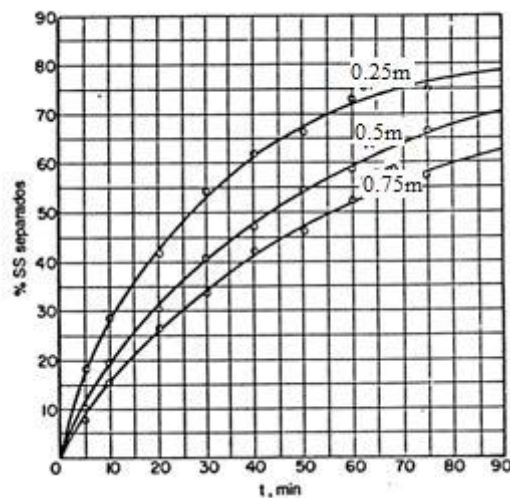


Figura 2. Gráfica de sólidos en suspensión eliminados en función del tiempo (adaptado de Ramalho, 1991).

c.4)Elaboración de gráfica curvas de igual eliminación porcentual.

A partir de la figura 2, se obtienen los datos para la elaboración de las curvas de sedimentación, leyendo para diversos porcentajes de SS eliminados, los valores del tiempo en cada una de las curvas. Se suelen manejar porcentajes de SS con incrementos del 10%; el porcentaje final a manejar, 70%, 80%, 85%, 90%, dependerá de cada suspensión.

Construir la tabla 7 con las lecturas de los tiempos obtenidos.

Tabla 7. Datos para la construcción de gráfica curvas de igual eliminación porcentual.

%SST eliminados	Tiempos (min) obtenidos de gráfica SS eliminados en función del tiempo		
	0.25 m	0.50 m	0.75 m
10			
20			
30			
40			
50			
60			
70			
...			
... *			

*El valor máximo para el % SST eliminados será función de la sedimentación de los sólidos en el agua elegida para el análisis, variando entre 70 y 90%.

Graficar los datos de la tabla 7 y trazar las curvas de igual eliminación porcentual (figura 3).

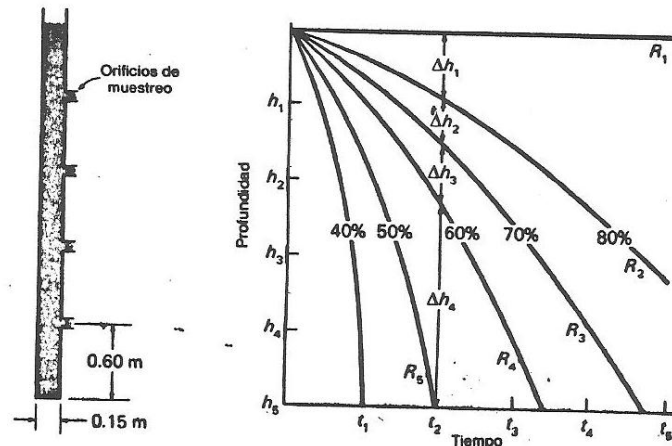


Figura 3. Columna de sedimentación y curvas de igual eliminación porcentual para partículas floculentas (Metcalf & Eddy, 1985).

d) Cálculo de velocidades de sedimentación para partículas floculentas.

Cada punto de intersección de una curva de igual eliminación porcentual con el fondo de la columna define una velocidad de sedimentación o carga superficial, v_o :

$$v_o = \frac{H}{t_i}$$

Donde

H = altura del agua en la columna, en m.

t_i = tiempo definido por la intersección de la curva de igual eliminación porcentual y el fondo de la columna (eje de las abscisas), donde el subíndice i , se refiere al primero, segundo, tercero, etc., puntos de intersección de las curvas correspondientes.

Leer el tiempo t_i para cada una de las curvas que intersecten con el eje del tiempo.
Llenar la tabla 8.

Tabla 8. Cálculo de velocidades de sedimentación, v_o , para $H = \underline{\hspace{2cm}}$ m

Para la curva del	Tiempo (min), t_i	v_o (m/min)	v_o (m^3/m^2 día)
10%			
20%			
...			
...			

e) Cálculo de porcentajes de remoción total (% R_T).

Trazar una línea vertical desde t_i para intersectar todas las curvas de igual eliminación que cruzan el tiempo t_i (ver línea roja en figura 4).

Los puntos medios entre las curvas definen las alturas z_1, z_2, z_3 , etc., que se usarán para calcular los porcentajes de remoción total (% R_T) :

$$\%R_T = R_0 + \frac{z_1}{H}(R_1 - R_0) + \frac{z_2}{H}(R_2 - R_1) + \dots + \frac{z_n}{H}(R_n - R_{n-1})$$

Donde

$\%R_T$ = porcentaje de remoción total para el tiempo t_i (recordar que cada tiempo t_i se encuentra definido por la intersección de cada curva y el eje de las abscisas).

R_0 = % de SS eliminados para la curva con tiempo t_i , es decir, valor en % de la curva que interseca el eje de las abscisas.

z_1, z_2, z_3 , etc = puntos medios entre las curvas, se ubican sobre la línea vertical trazada, en m.

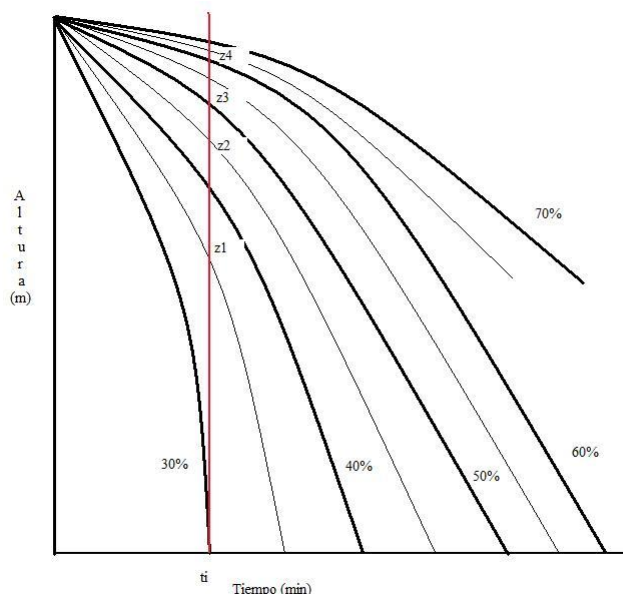


Figura 4. Ubicación de z_1, z_2, z_3 , etc para un tiempo t_i .

Repetir los pasos anteriores para cada curva de igual eliminación que intersece con el fondo de la columna.

Nota: Observar que para las siguientes curvas, el número de z 's va disminuyendo, por ejemplo, para la curva del 50%, solo se tendrán 2 z 's: z_1 y z_2 .

Concentrar los resultados obtenidos en incisos d) y e) en la tabla 9.

Tabla 9. Concentrado de resultados.

Tiempo (min)	v_o (m^3/m^2 día)	$\%R_T$
...		

f) Gráficas de Remoción total de SS vs tiempo y Remoción total vs carga superficial.

Con los datos de la tabla 9 construir las 2 gráficas que se indican en la figura 5.

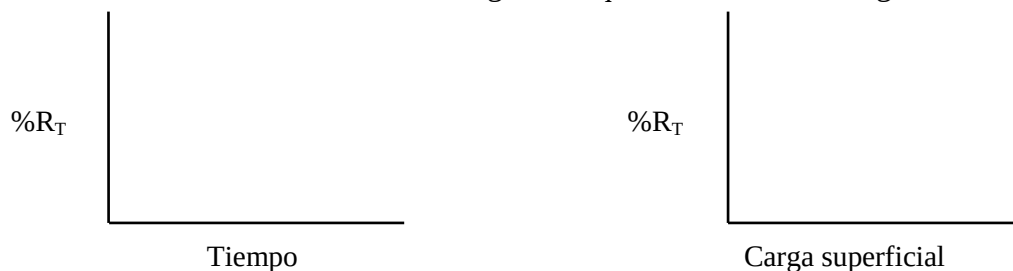


Figura 5. Gráficas de Remoción total de SS vs tiempo y remoción total vs carga superficial.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- Preparar por anticipado material a utilizar para la determinación de SST, y así optimizar el tiempo de la práctica.
- Pedir a los estudiantes que lleven una bitácora con todas las observaciones y resultados obtenidos.
- La toma de muestras puede dividirse por equipos, para optimizar material, principalmente crisoles Gooch.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

- Portada (bajarla del portal del ITT).

1.OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.

2.FUNDAMENTO TEÓRICO: Contestar los siguientes aspectos:

- 2.1.Elaborar un mapa mental con información acerca de la sedimentación flocculenta.
- 2.2.Elaborar un cuadro con las diferencias entre las sedimentaciones Tipo I y II.
- 2.3.Explicar por qué no se puede usar la ecuación de Stokes para el cálculo de velocidades de sedimentación de partículas que flocculan.
- 2.4.¿Qué sucedería si las gráficas de la figura 5 se trazan directamente con los valores de las curvas de igual eliminación porcentual?(Es decir, sin calcular los %R_T).

3.METODOLOGÍA

- 3.1.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la determinación de SST.
- 3.2.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para realizar el análisis de sedimentación en columna.

4.RESULTADOS

- 4.1.Reportar los resultados de las determinaciones de SST, incluyendo tablas, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades.
- 4.2.Reportar los resultados del análisis de sedimentación en columna, incluyendo, tablas, gráficas, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades.
- 4.3A partir de los datos obtenidos del análisis de sedimentación en columna realizado en esta práctica, se quiere construir un tanque sedimentador para eliminar el 60% de los sólidos en suspensión que tiene el agua. Determinar:
 - a)El tiempo de retención teórico y de diseño, en min.
 - b)La carga superficial teórica y de diseño, en m³/m² día.

5.CONCLUSIONES: Revisar el objetivo de la práctica y redactar las conclusiones que se piden a continuación.

5.1.Conclusiones individuales.

5.2.Conclusiones del equipo.

6.FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

Davis M.,L. and D.A. Cornwell. 1991. Introduction to environmental engineering. McGraw Hill. Singapore.

González C., M. y M.G. González G. 2010. Diseño y construcción de una columna de sedimentación. Tesis de licenciatura. Departamento de Ingeniería Química. Instituto Tecnológico de Toluca. Metepec, Méx.

Herrera Z., L. 2006. Sedimentación floculenta. Procesos de neutralización de residuos industriales líquidos. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Chile. Santiago, Chile. <http://www.cec.uchile.cl/~leherrer/iq651/Apunte1/Fisicoqapu01.htm>

Metcalf & Eddy, Inc. 1985. Ingeniería sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. 2ª ed. Labor. Barcelona, España.

Ramalho, R.S. 1991. Tratamiento de aguas residuales. Reverté. España.

Práctica No. 6

Estudio de sedimentación impedida y por compactación en una columna.

OBJETIVO

Identificar las características de la sedimentación impedida y por compactación, trazar la curva para una suspensión y obtener los datos para el cálculo del área para el sedimentador.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas con concentraciones elevadas de sólidos suspendidos (superiores de 500 mg/L), además de presentar sedimentación libre (las partículas se depositan sin interferir unas con otras), ocurre la sedimentación zonal (tipo III) y la sedimentación por compresión (tipo IV). En este caso, las partículas se encuentran tan cercanas unas de otras, que se adhieren y sedimentan en forma masiva, observándose una clara superficie de separación entre los sólidos y el líquido sobrenadante, esto se conoce como sedimentación zonal (también conocida como sedimentación interferida, impedida o retardada).

Para este tipo de suspensiones, la velocidad de sedimentación depende principalmente de la concentración de las partículas. Debido a que cada zona contiene una concentración específica, generalmente es necesario realizar ensayos de sedimentación en una columna o cilindro graduado, para poder determinar las características de sedimentabilidad de suspensiones donde predominan los comportamientos tipo III y IV (Metcalf & Eddy, 1985) y (Pérez, 2001).

Para llevar a cabo el análisis de sedimentación en el laboratorio, pueden usarse probetas graduadas de un litro (la probeta graduada normalizada tiene una altura de 34 cm). La probeta se llena con el agua a estudiar. Al iniciar el ensayo ($t=0$), se tiene una concentración uniforme de SS (X_0) en toda la altura de la probeta o columna (H_0) (Ramalho, 1991). A medida que los sólidos comienzan a sedimentar, se forma una interfase entre la capa de sólidos y el líquido clarificado en la parte superior. Para diferentes tiempos se mide la altura de la capa superior de los lodos y se obtiene una curva como la de la figura 6.1.

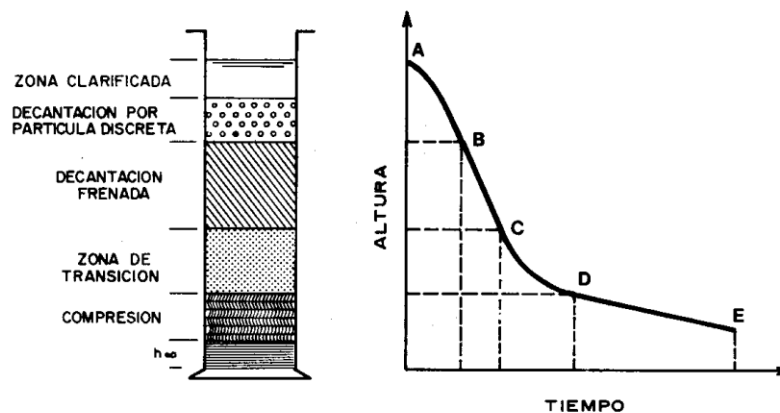


Figura 6.1. Columna y curva de sedimentación zonal y por compresión (Pérez, 2001).

En la figura 6.1. se observan las siguientes zonas (Pérez, 2001) y (Gilarranz, 2000):

a) Zona A-B: comienza la sedimentación, estableciéndose una interfase bien definida entre la superficie de la capa de sólidos que sedimentan y el líquido clarificado que queda en la parte superior.

b) Zona B-C: en la zona por debajo del líquido clarificado, la concentración de sólidos es uniforme, sedimentando toda ella como una misma capa de materia a velocidad constante v_s . Esta velocidad de sedimentación puede calcularse a partir de la pendiente de la representación de la altura de la interfase frente al tiempo en la curva de sedimentación (la pendiente tiene forma de recta en esta zona). A medida que aumenta la concentración de partículas, la velocidad comienza a disminuir, denominándose zona de “decantación frenada” o “interfacial”.

c) Zona C-D: Entre la zona interfacial y la de compresión se encuentra la zona de transición. En esta zona la velocidad de sedimentación de los sólidos disminuye debido al incremento de la viscosidad y de la densidad de la suspensión, aumentando gradualmente la concentración de sólidos.

d) Zona D-E: se produce una acumulación y compactación de los sólidos en suspensión en el fondo de la probeta, al elevarse la concentración, los sólidos se juntan y ejercen presión sobre las capas inferiores (zona de compresión o compactación).

En la práctica, para simplificar, se supone que no se produce la primera zona, considerándose que la concentración y velocidad en el triángulo BOC son constantes e iguales a los valores iniciales en B (ver zona en gris de la figura 6.2).

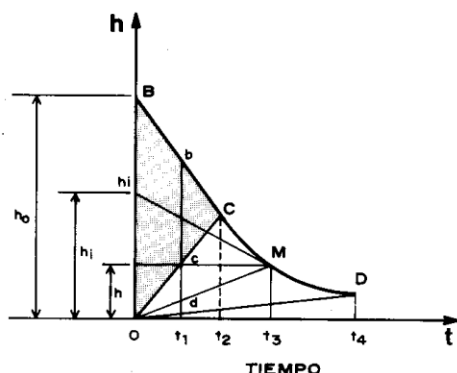


Figura 6.2. Zona con comportamiento rectilíneo (Pérez, 2001).

La sedimentación tipo III ocurre en los sedimentadores secundarios utilizados en los procesos de tratamiento biológico; y la sedimentación tipo IV se producen el fondo de los clarificadores secundarios y en tanques de espesamiento de lodos.

El diseño apropiado de un clarificador secundario debe satisfacer tres criterios:

- a) La capacidad de clarificación requerida por la velocidad de sedimentación uniforme.
- b) La capacidad de espesamiento que se necesita para remover los sólidos en las zonas de transición y de lodos.
- c) Que el tiempo de retención no sea excesivo, pues el fondo del tanque se puede volver anaeróbico.

Por lo tanto, el procedimiento a seguir para diseñar sedimentadores que operen en condiciones de sedimentación por zonas es el siguiente (Gilarranz, 2000):

1. Calcular el área de la superficie mínima que se requiere para conseguir la clarificación del

sólido.

2. Calcular el área de la superficie mínima que se requiere para conseguir el espesamiento del sólido y alcanzar la concentración deseada.

3. Seleccionar la mayor de estas dos áreas como área de diseño para el sedimentador.

Para obtener el área necesaria para llevar a cabo la sedimentación, pueden utilizarse los datos deducidos de un ensayo batch de sedimentación en una columna (Metcalf & Eddy, 1985).

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

En el subtema 2.1.2. titulado Sedimentación, se encuentra el apartado “Determinación de la velocidad de sedimentación impedida y por compactación en líquidos”, por lo que en esta práctica se aborda el análisis de estas clases de sedimentación, conocidas también como Tipo III y IV. El análisis se realizará como lo indica la bibliografía especializada, en una columna de un litro de capacidad, para obtener los datos necesarios para el trazo de la curva de sedimentación y así calcular la velocidad de sedimentación.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

a) Muestreo

2 L de agua residual con sólidos que sedimenten de forma zonal y por compactación.
Ejemplos:

De una tratadora municipal, el agua residual procedente del tratamiento biológico (que sale del filtro percolador o de los tanques de aireación del sistema de lodos activados).

Consultar inciso a) Muestreo de la práctica No. 1 (NMX-AA-003 y NMX-AA-014).

b) Análisis de sedimentación en columna

Probeta de 1 L.

Cronómetro.

Tabla de registro de datos

Regla, escuadras, transportador.

Varilla de vidrio

Termómetro

METODOLOGÍA

a) Muestreo

Consultar inciso a) Muestreo de la práctica No. 1 (NMX-AA-003 y NMX-AA-014).

b) Análisis de sedimentación en columna

Tomar una muestra de 30 mL y determinar la concentración de SST iniciales, X_0 (consultar inciso f de la práctica No. 1 y la NMX-AA-034-SCF1-2001).

Vaciar el agua a analizar en una probeta con capacidad de 1 L.

La probeta se coloca en un plano horizontal, sin vibraciones.

Agitar con la varilla hasta conseguir homogeneizar toda la suspensión (Gilarranz, 2000).

Tomar las lecturas del volumen (en mL) al cual se observa la interfase en diversos intervalos de tiempo (a partir de los 10 min, se tomarán lecturas a intervalos de 5 min) y vaciar los datos en la segunda fila de la tabla 1.

Calcular la altura de la interfase, a partir de los datos de volumen y la altura inicial de la interfase en la probeta.

Escribir los resultados de altura en la 3ª fila de la tabla 1.

Representar gráficamente Altura de la interfase frente al tiempo, para obtener la curva de sedimentación (figura 1). Usar papel milimétrico.

Tabla 1. Resultados del ensayo de sedimentación.

Tiempo (min)	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30	35	40		60
Vol (mL)														
Altura (m)														

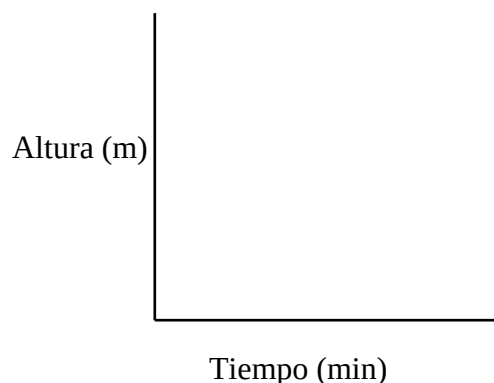


Figura 1. Curva de sedimentación obtenida del ensayo en laboratorio.

c) Cálculo del área mínima requerida para la clarificación (Metcalf & Eddy, 1985).

Para un caudal de $0.3 \text{ m}^3/\text{s}$, calcular el área requerida para la clarificación (A_{clarif}) a partir de la siguiente ecuación:

$$A_{\text{clarif}} = \frac{Q_0}{v_s}$$

Donde

Q_0 = gasto del líquido sobrenadante

v_s = velocidad de asentamiento en la zona de sedimentación uniforme = $\frac{\Delta H}{\Delta t}$

Debido a que el gasto del líquido sobrenadante, Q_o , es proporcional al volumen de líquido existente por encima de la zona de lodos, se puede calcular a partir del esquema de la figura 2.

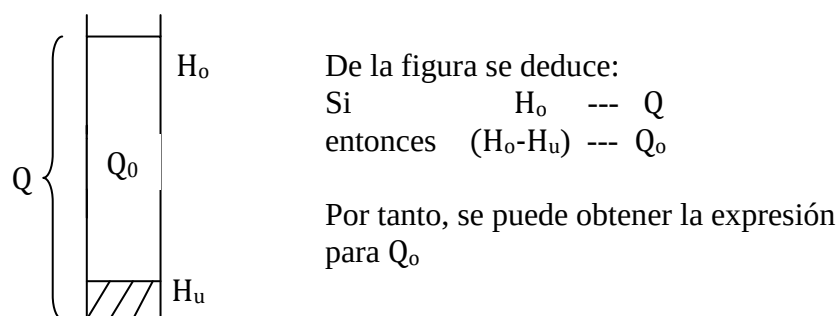


Figura 2. Esquema para deducir la expresión para el cálculo de Q_o .

El valor de la velocidad en la zona de sedimentación libre, v_s , puede calcularse a partir de la pendiente de la tangente de dicha zona en la curva de sedimentación, tal y como se muestra en la figura 3.

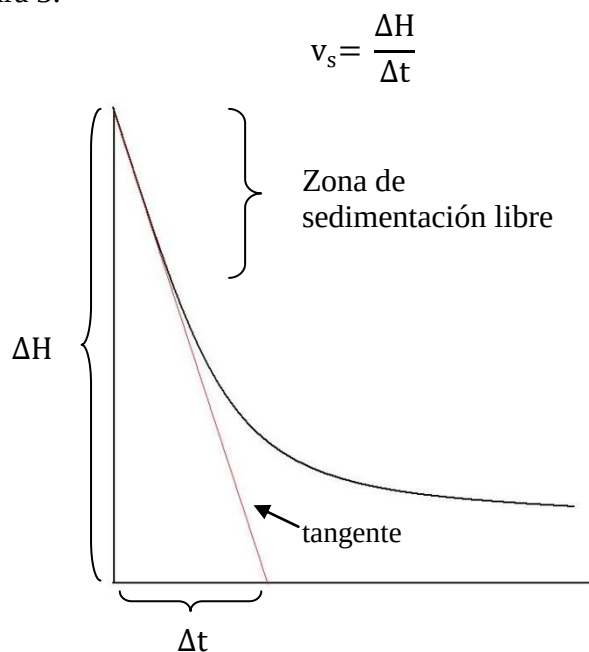


Figura 3. Cálculo de v_s .

Calcular A_{clarif} .

c) Cálculo del área mínima requerida para el espesamiento (Metcalf & Eddy, 1985).

Según Talmadge y Fitch (1955), el área para el espesamiento, $A_{espesam}$, está dada por la ecuación:

$$A_{espesam} = \frac{Q \cdot t_u}{H_0}$$

donde

Q = caudal que entra al tanque

H_0 = altura inicial de la interfase en la columna

t_u = tiempo necesario para lograr la concentración deseada en los lodos del fondo

La concentración crítica que controla la capacidad de manipulación del lodo en el tanque ocurre a una altura H_2 con una concentración C_2 . Dicho punto se determina prolongando las tangentes a las zonas de compresión y de sedimentación libre en la curva de sedimentación, y bisecando el ángulo formado por el cruce de ambas tangentes, como se muestra en la figura 4.

Para obtener el tiempo t_u , se siguen los siguientes pasos:

Calcular la profundidad H_u en la que todos los sólidos en los lodos del fondo se encuentran a la concentración deseada C_u :

$$H_u = \frac{C_0 \cdot H_0}{C_u}$$

Dibujar una línea horizontal en la altura H_u .

En la parte inferior de la curva de sedimentación, trazar la línea tangente a la zona de compresión.

Bisecar el ángulo formado por la tangente a la zona de compresión y la tangente a la zona de sedimentación libre (trazada anteriormente en el inciso b) para el cálculo de v_s); y ubicar el punto C_2 sobre la curva de sedimentación.

Trazar una tangente a la curva de sedimentación en el punto C_2 y proyectar hasta la intersección con la línea horizontal H_u .

En el punto de intersección anterior leer t_u .

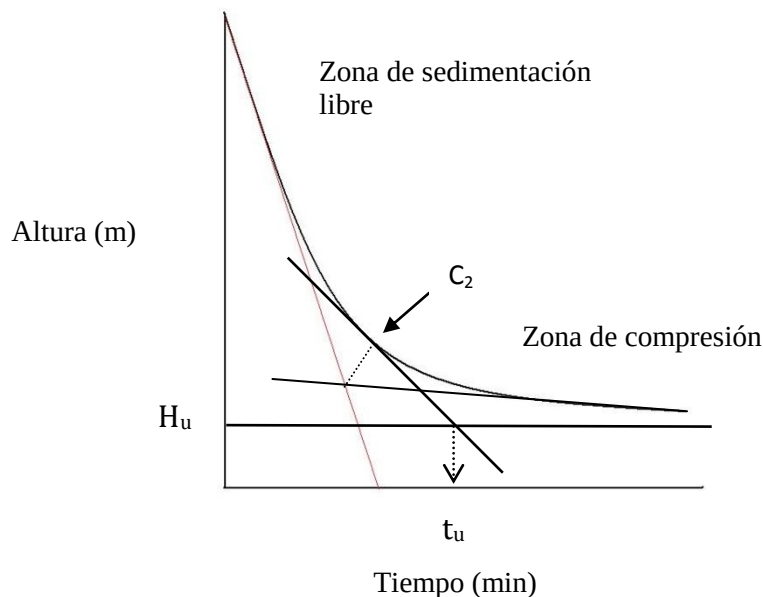


Figura 4. Obtención de t_u .

Calcular $A_{\text{espesam.}}$

d)Selección del área de diseño

Se elige la mayor de las áreas calculadas como el área que controla el proceso.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- Preparar por anticipado material a utilizar para la determinación de SST, y así optimizar el tiempo de la práctica.
- Se recomienda que cada equipo determine la concentración de SST iniciales, ya que es la única determinación analítica a realizar.
- Formar equipos de 3 o 4 integrantes como máximo, ya que la práctica es sencilla.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

-Portada (bajarla del portal del ITT).

1.OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.

2.FUNDAMENTO TEÓRICO. Contestar los siguientes aspectos:

2.1. Elaborar un mapa conceptual que contenga las características de las sedimentaciones tipo III y IV, así como ejemplos donde ocurren.

2.2.Explicar por qué se deben realizar ensayos en el laboratorio para obtener los parámetros necesarios para el dimensionamiento de clarificadores secundarios.

2.3.a)¿Qué problemas ocurrirían si los lodos en el fondo del clarificador secundario se vuelven anaerobios?, b)¿Por qué razón se puede agotar el oxígeno de los lodos en el clarificador secundario?, c)¿Cómo se puede evitar la situación anterior?

3.METODOLOGÍA

3.1.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la determinación de SST.

3.2.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la realización del ensayo batch de sedimentación en columna.

4.RESULTADOS

4.1.Reportar los resultados de la determinación de SST iniciales, incluyendo tablas, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades.

4.2.Reportar los resultados del análisis de sedimentación batch en columna, incluyendo tablas, gráfica, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades.

4.3A partir de los datos obtenidos del análisis de sedimentación batch en columna realizado en esta práctica, calcular el área de diseño del clarificador.

5.CONCLUSIONES

5.1.Conclusiones individuales.

5.2.Conclusiones del equipo.

6.FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

Gilarranz R., M.A. 2000. Sedimentación. Área de Ingeniería Química. Universidad Autónoma de Madrid. España.

http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/Fluid/Sedimentacion%202006-2007.pdf

Metcalf & Eddy, Inc. 1985. Ingeniería sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. 2ª ed. Labor. Barcelona, España.

Pérez C., J.M. 2001. Capítulo 3: Sedimentación. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Organización Panamericana de la Salud. Lima, Perú.
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/016322/016322-03.pdf>

Ramalho, R.S. 1991. Tratamiento de aguas residuales. Reverté. España.

Talmadge, W.P. and E.B. Fitch. 1955. Determining thickener unit areas. *Ind. Eng. Chem.*, vol. 47, No. 1.

Práctica No. 7

Sedimentación de partículas en una corriente gaseosa y dimensionamiento de una cámara de sedimentación

OBJETIVO

Obtención de velocidades de sedimentación para calcular las dimensiones de una cámara sedimentadora. Conocer el funcionamiento de un tipo de colector húmedo.

INTRODUCCIÓN

A pesar de que la mayoría de las partículas finas presentes en la atmósfera son partículas secundarias, el control de partículas primarias es un área importante en el campo del control de la contaminación del aire, debido a su toxicidad, como en el caso de asbestos y metales pesados; otras pueden ser lo suficientemente pequeñas y ser respirables; o también pueden disminuir la visibilidad, entre otros aspectos.

Existen varios factores a considerar para hacer una adecuada selección del equipo para el control de partículas: propiedades físicas y químicas de las partículas, flujo volumétrico de la corriente de gas, carga de partículas, temperatura y presión de la corriente de flujo, humedad de las partículas, corrosividad y solubilidad de la fase gaseosa, así como las condiciones requeridas para el efluente tratado (De Nevers, 1995).

Los 5 tipos básicos de equipos para la colección de partículas son los siguientes (Wark y Warner, 1996):

- a) Cámaras de sedimentación por gravedad
- b) Collectores húmedos
- c) Separadores ciclónicos o centrífugos (ciclones)
- d) Filtros de tela
- e) Precipitadores electrostáticos

A continuación se describen únicamente los dos primeros equipos de la lista anterior, debido a que son los que se abordarán en esta práctica.

a) Cámaras de sedimentación

Consisten en cámaras de grandes dimensiones en las que la velocidad de la corriente gaseosa se reduce, de modo que las partículas de mayor tamaño permanecen el tiempo suficiente para caer por acción de la gravedad y depositarse en una tolva. Su eficiencia varía en función del tamaño y densidad de la partícula, así como del diseño de la cámara (tamaño, si posee bandejas o no). En términos generales, son eficientes para atrapar partículas con diámetros superiores a 50 μm , aproximadamente; y solo si la densidad del material es razonablemente alta, pueden atrapar partículas con diámetro superior a 10 μm . La eficiencia de recolección para partículas PM_{10} es normalmente menor al 10% (INE, 2002).

Las cámaras de sedimentación han sido utilizadas: en la industria de refinación de metales para el control de partículas grandes de trióxido de arsénico procedente de la fundición de minerales sulfurados de cobre como la enargita (Cu_3AsS_4) y la tennantita ($\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) (Higueras y Oyarzún, 2007); en plantas generadoras de calor y electricidad para la recuperación de partículas grandes de carbón no quemado que son re-inyectadas a los

generadores de vapor; así como también como prerrecolectores, para la disminución de las partículas más grandes en una corriente de gas (INE, 2002). Las cámaras de sedimentación son usadas principalmente para realizar una limpieza previa económica de las partículas gruesas presentes en una corriente gaseosa con carga de polvo muy alta. Su mayor desventaja es la necesidad de grandes espacios (Guía Ambiental, 2010).

b) Colectores húmedos

Se utiliza un líquido, generalmente agua, para capturar las partículas o para aumentarlas de tamaño y así facilitar su remoción de la corriente de gas. Son útiles para remover partículas con diámetros superiores a 2.5 micrómetros. En estos dispositivos es fundamental proporcionar una dispersión adecuada de la fase líquida, con la finalidad de lograr un buen contacto entre ésta y las partículas.

Uno de los colectores húmedos más simples es el lavador de cámara de aspersión. El gas contaminado fluye en forma ascendente y las partículas chocan con las gotitas de líquido producidas por boquillas. Si la velocidad de flujo de gas es relativamente baja, las gotas del líquido contaminado sedimentarán por gravedad hacia el fondo del equipo. Generalmente se coloca un eliminador de neblina en la parte superior para eliminar el exceso de gotas de agua, principalmente las de tamaño pequeño que son arrastradas por el flujo ascendente del gas (Guía Ambiental, 2010).

Los colectores húmedos son empleados en la industria de alimentos (cereales, harinas, sal, azúcar) tanto durante el procesamiento como en el embalaje; en la industria papelerá, plásticos, tabaco, fibra de vidrio, cerámica y de fertilizantes para controlar partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ (Secretaría del Medio Ambiente del D.F., 2011).

Como se mencionó anteriormente, los colectores húmedos deben contar con dispositivos que rocíen agua en forma de gotas muy finas para asegurar un buen contacto entre las fases líquida y sólida (partículas), lo que produce un gasto elevado de agua; además de un alto consumo de energía para lograr una buena aspersión de la fase líquida.

Un colector húmedo desarrollado en el ITT, denominado burbusedimentador, se basa en la tensión superficial de las burbujas de jabón para atrapar partículas en una corriente gaseosa. El aparato consiste en un ducto de tiro horizontal, con forma semejante a un tubo venturi, aunque el área de la garganta es mucho mayor que en un venturi, para lograr que la corriente gaseosa fluya sin dificultad. El diseño incluye deflectores verticales al final del conducto con el fin de eliminar aquellas gotas que no alcanzaron a depositarse en el fondo, evitando que se incorporen a la corriente de salida de gas.

El proceso consiste en que el gas contaminado fluye de manera horizontal y se encuentra con una lluvia de burbujas generadas desde una parte lateral del ducto, generándose un choque perpendicular (flujo cruzado); las partículas chocan con las burbujas haciéndolas estallar, generando además, un rocío que envuelve a partículas cercanas; de esta forma, las partículas aumentan su tamaño y peso, y el conjunto partícula-líquido sedimenta por gravedad en el fondo del burbusedimentador, que cuenta con un pequeño tanque colector. El líquido puede recircularse si se le eliminan las partículas ya sea por sedimentación o filtración (Ubaldo y López, 2005).

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

El subtema 2.2. lleva por nombre Sedimentación de partículas en una corriente gaseosa, y además contiene el apartado 2.2.1 Construcción de una cámara de sedimentación, por lo

que esta práctica se enfoca al cálculo de la velocidad de sedimentación de las partículas contenidas en una corriente de gas, y poder determinar las dimensiones de una cámara de sedimentación; también se observará el funcionamiento de un tipo de colector húmedo denominado burbusedimentador.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

a) Cámara de sedimentación

Carbón, aserrín o polvo

Madera o acrílico

Flexómetro

Silicón

b) Burbusedimentador

Burbusedimentador (con máquina de burbujas)

Agua, jabón y glicerina (para producir las burbujas)

METODOLOGÍA

a) Cámara de sedimentación

Elegir algún material sólido (carbón, aserrín, polvo) y triturarlo, cuidando de obtener partículas gruesas.

El tamaño de las partículas de material sólido se recomienda sea mayor a 50 μm . Utilizar malla o tamiz para separar la mayor parte del material fino.

Establecer la mezcla de material sólido a usar.

Elegir el tamaño crítico de las partículas para el cual se desea obtener una determinada eficiencia.

Calcular la velocidad de sedimentación para dicho tamaño de partícula.

Como se manejarán partículas de tamaño grande ($d_p > 50 \mu\text{m}$), es muy probable que la Ley de Stokes ya no se cumpla, y se usará la siguiente ecuación (De Nevers, 1995):

$$v_t + v_t^{1.7} \left[0.14 \left(\frac{d_p \cdot \rho}{\mu} \right)^{0.7} \right] - \frac{g \cdot d_p^2 \cdot \rho_p}{18\mu} = 0$$

Aplicable para $0.3 \leq Re_p \leq 1000$.

$$Re_p = \frac{d_p \cdot v_t \cdot \rho}{\mu}$$

Donde

Re_p = Número de Reynolds para una partícula

v_t = velocidad terminal de sedimentación, m/s

d_p = diámetro de partícula, m

ρ = densidad del gas, kg/m^3

μ = viscosidad del gas, $\frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$

g = aceleración de la gravedad, m/s^2

Calcular las dimensiones necesarias de la cámara de sedimentación para obtener la eficiencia deseada a partir de la ecuación (Wark y Warner, 1996) :

$$\eta = \frac{L \cdot v_t \cdot W}{2Q}$$

donde

η = eficiencia teórica

L = longitud de la cámara

W = ancho de la cámara

Q = flujo volumétrico del gas

2 = factor de corrección en las ecuaciones desarrolladas para flujo pistón con la finalidad de considerar los efectos de la turbulencia que ocurren en las verdaderas cámaras de sedimentación.

Calcular nuevamente las dimensiones necesarias para una cámara de sedimentación con deflectores horizontales:

$$\eta = \frac{n \cdot L \cdot v_t \cdot W}{2Q}$$

donde

n = número de deflectores horizontales, además de la superficie inferior.

Construir una cámara de sedimentación en función de los cálculos anteriores, llevar a cabo corridas con el material sólido elegido, calcular la eficiencia real de la cámara, y comparar con la eficiencia teórica.

b) Burbusedimentador

Establecer la mezcla de material sólido a usar.

Preparar la solución para producir las burbujas (agua, jabón y glicerina).

Establecer el flujo de gas contaminado a manejar, considerando que el equipo maneja flujos de gas contaminado menores de $380 \text{ m}^3/\text{min}$ (Ubaldo y López, 2005).

Llevar a cabo corridas en el burbusedimentador y calcular la eficiencia de remoción, η , con la siguiente ecuación (Ubaldo y López, 2005):

$$\eta = 1 - \left(\frac{2N_I}{2N_I + 0.7} \right)^2$$

donde

N_I = número de impactación (Wark y Warner, 1996)

$$N_I = \frac{K_C \cdot d_p^2 \cdot \rho_p \cdot v_g}{18 \cdot \mu \cdot d_b}$$

donde

d_p = diámetro de partícula, en m.

ρ_p = densidad de la partícula, en kg/m^3 .

v_g = velocidad del gas en la zona de impactación con las burbujas, m/s.

μ = viscosidad del gas, $\frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$

d_b = diámetro de la burbuja, m

K_C = factor de corrección de Cunningham

$$K_C = 1 + \frac{6.21 \times 10^{-4} T}{d_p}$$

Donde

T= temperatura en Kelvin

d_p= diámetro de partícula en μm.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

-Otra variante de esta práctica, puede ser que a partir de una cámara con dimensiones establecidas, se calculen las eficiencias teórica y real.

-También se pueden realizar corridas con mezclas de tamaños de partículas en diferentes proporciones (una mezcla que contenga pocos finos y mucho material grueso, una segunda mezcla con escasas partículas gruesas y muchos finos, y otra con partículas gruesas y finas en proporciones similares), para observar la eficiencia de una cámara de sedimentación en función del tamaño de partícula.

-Variaciones similares se pueden realizar en el burbusedimentador.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

-Portada (bajarla del portal del ITT).

1.OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.

2.FUNDAMENTO TEÓRICO. Contestar los siguientes aspectos:

2.1.Explicar la diferencia entre partículas primarias y secundarias.

2.2.Elaborar una tabla que contenga cada una de las partes de la cámara de sedimentación y escribir la función de cada una de dichas partes.

2.3.Elaborar una tabla que contenga cada una de las partes del burbusedimentador y escribir la función de cada una de dichas partes.

2.4.Justificar por qué no se usó la Ley de Stokes para el cálculo de la velocidad de sedimentación de partículas mayores a 50 μm.

3.METODOLOGÍA

3.1.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la determinación de la velocidad de sedimentación usando la Ley de Stokes.

3.2.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la determinación de la velocidad de sedimentación para partículas mayores a 50 μm.

3.2.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para el funcionamiento del burbusedimentador.

4.RESULTADOS

4.1.Reportar las dimensiones de la cámara de sedimentación incluyendo los cálculos (datos, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades); para cada uno de los siguientes casos:

a)Cámara de sedimentación sin deflectores horizontales.

b)Cámara de sedimentación con deflectores horizontales.

4.2.Comparar y comentar los resultados obtenidos en los incisos a) y b) anteriores, explicando por qué hay variación al usar deflectores horizontales.

4.3.Reportar los cálculos de eficiencia obtenidos con el burbusedimentador incluyendo cálculos (datos, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades).

4.4.¿Qué ventajas y desventajas existen entre un colector húmedo y una cámara de sedimentación, según lo observado en la práctica? Justificar las respuestas.

5.CONCLUSIONES

5.1.Conclusiones individuales.

5.2.Conclusiones del equipo.

6.FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

De Nevers, N. 1995. Air pollution control engineering. Mc Graw Hill. Singapore.

Guía Ambiental. 2010. Material particulado (MP), tratamiento y colección. Argentina.
<http://www.guiaambiental.com.ar/conocimiento-calidad-de-aire-material-particulado-2.html>

Higueras P. y R. Oyarzun. 2007. Tema 8: Minerales, metales, gases y la salud humana y ambiental. Departamento de Ingeniería Geológica y minera. Universidad de Castilla-La Mancha. Almadén (Cd. Real), España.
www.uclm.es/users/higueras/mga/Tema08/Minerales_salud_4_2.htm

INE. 2002. Tecnología de control de contaminantes procedentes de fuentes estacionarias. Tecnoteca. México, D.F. www.inecc.gob.mx/descargas/calair/2002_inf_tecnoteca.pdf

Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. 2011. Control de partículas. México, D.F.
http://www.sma.df.gob.mx/tramite_exencion/index.php?opcion=1

Ubaldo E., I. y E. López G. 2005. Burbusedimentador: colector de partículas. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Química. Instituto Tecnológico de Toluca. Metepec, Méx.

Wark K. y C.F. Warner. 1996. Contaminación del aire. Origen y control. Limusa. México, D.F.

Práctica No. 8

Prueba de jarras y proceso de coagulación-floculación en planta piloto

OBJETIVO

Determinar mediante prueba de jarras los parámetros de operación para el proceso de coagulación-floculación.

INTRODUCCIÓN

Los coloides o sólidos coloidales son partículas cuyos tamaños oscilan entre 0.001 y 1 μm , es decir, se encuentran en el rango entre los sólidos disueltos y los sólidos suspendidos (Metcalf & Eddy, 1985). Presentan el efecto Tyndall, es decir, cuando la luz pasa a través de una suspensión coloidal, la luz es reflejada por las partículas. Dicha propiedad es utilizada para medir la concentración de partículas coloidales, conocida como turbiedad o turbidez. Por tanto, la turbiedad se puede definir como propiedad óptica que tiene una sustancia líquida de diseminar en todas direcciones la luz que pasa por ella (Arboleda, 1992). Partículas de tierra, barro, arcilla, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, algas, plancton y diversos microorganismos, se encuentran entre los materiales que causan turbiedad en las aguas.

La turbiedad generalmente se asocia a lo clara o turbia que pueda estar el agua. Un agua clara tiene un nivel de turbiedad bajo, en contraste, un agua turbia tiene un nivel alto de turbiedad. Sin embargo, para poder usar este parámetro como indicador se requiere su medición, la cual se realiza por medio de instrumentos basados en la nefelometría, la concentración se reporta como Unidad Nefelométrica de Turbiedad (UNT).

De esta forma, la turbiedad es un parámetro usado como indicador de la calidad de aguas naturales y aguas residuales tratadas con respecto al contenido de materia en forma coloidal presente (Crites y Tchobanoglous, 2000).

En función del uso que se le dará al agua puede ser necesario reducir o eliminar la turbiedad, por ejemplo, el proceso de potabilización del agua generalmente implica cumplir con los estándares de turbiedad indicados en la normatividad vigente.

Sin embargo, en los coloides, cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelan dos partículas vecinas como se repelen dos polos magnéticos, esto impide el choque de las partículas y la formación de masas mayores, razón por la cual los coloides no poseen buenas características de sedimentabilidad. Además, tampoco tienen el tamaño suficiente para ser retenidos en filtros convencionales. Su remoción, usando procesos físicos, implicaría la centrifugación a altas velocidades o la filtración con membranas, lo que conlleva costos elevados de operación.

Un método empleado con frecuencia para la eliminación de sólidos coloidales consiste en promover su aglomeración para posteriormente retirarlos del agua mediante sedimentación o flotación (UNAM, 2010).

Para llevar a cabo el método descrito en el párrafo anterior, primero es necesario desestabilizar la carga eléctrica de los coloides mediante el uso de sustancias químicas que

neutralicen dicha carga (coagulantes o coadyuvantes), este proceso se denomina coagulación.

Posteriormente ocurre la floculación, es decir, las partículas coloidales ya desestabilizadas (coágulos) chocan unas con otras para formar grumos compactos sedimentables llamados flóculos, los cuales generalmente poseen el tamaño y densidad apropiados para ser separados del agua por acción de la gravedad (sedimentación).

Otra operación a emplearse para retirar los flóculos del agua, puede ser la flotación.

A continuación se mencionarán algunas características de cada uno de los procesos anteriores.

La coagulación ocurre en el instante en que los coagulantes son agregados al agua y dura unos cuantos segundos, por lo que es importante proporcionar un mezclado que distribuya el coagulante de forma rápida y uniforme en el agua, este proceso se conoce como mezcla rápida (Arboleda, 1992).

Posteriormente, hay que producir una agitación suave y lenta en el agua para promover el contacto entre los coágulos, de tal modo que formen flóculos de tamaño adecuado que puedan sedimentar posteriormente. La mezcla lenta además de ayudar al crecimiento de los flóculos, los mantiene en suspensión.

Finalmente, mediante decantación se separan los sólidos aglomerados en forma de lodos.

Debido a la complejidad de los procesos de coagulación-floculación, no es posible establecer ecuaciones que permitan definir los parámetros necesarios para realizarlo, por lo que se deben llevar a cabo ensayos en laboratorio, denominados pruebas de jarras, para poder determinar las condiciones de operación óptimas (tipo de coagulante, dosis óptima, pH, velocidad de mezclado, entre otras) para el tratamiento del agua, mediante la simulación de los 3 procesos básicos que se producen en la planta: coagulación (mezcla rápida), floculación (mezcla lenta) y sedimentación (Claro, 2012). El equipo consiste en una base con luz y una serie agitadores con un dispositivo para controlar la velocidad y el tiempo de agitación, las muestras son colocadas en vasos de precipitados de 1 o 2 litros de capacidad (figura 8.1).

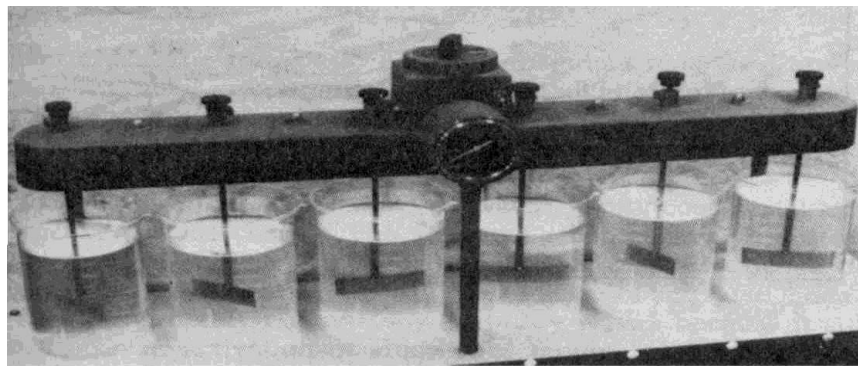


Figura 8.1. Equipo de jarras (Davis y Cornwell, 1991)

La prueba de jarras permite ajustar pH, hacer variaciones en las dosis de coagulantes, alternar velocidades de mezclado y recrear a pequeña escala lo que se podría ver en un equipo de tamaño industrial (Padilla, 2005). A pesar de que la prueba de jarras tiene limitaciones, si se considera que los volúmenes de agua manejados son considerablemente menores a los reales, y que se trata de una prueba de tipo batch, en contraste con los

procesos continuos que generalmente se manejan a escala industrial; este ensayo es ampliamente utilizado.

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

El tema 3.1 corresponde al proceso de coagulación-floculación, y comprende los temas 3.1.1. Prueba de jarras y 3.1.2. Planta piloto, por lo que en esta práctica se abordan los principios y metodología para llevar a cabo en el laboratorio la prueba de jarras, obteniendo los datos necesarios para poder escalar el proceso de coagulación-floculación a nivel de planta piloto; de tal forma que el estudiante aprecie con claridad la utilidad de la prueba de jarras.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

Equipo para prueba de jarras, consiste de: set de agitadores mecánicos con control de velocidad y tiempo, lámpara de iluminación en la base.

6 vasos de precipitados de 2 L ó 1 L.

Pipetas graduadas

Probeta graduada de 1 L

Coagulante a usar: sulfato de aluminio, cloruro férrico o alguno de tipo orgánico.

Agua residual (mínimo un volumen de 8 L).

Acido clorhídrico 0.1 N y/o hidróxido de sodio 0.1 N (en caso de necesitar ajustar el pH del agua).

Determinación de pH

Consultar práctica No.1 inciso d)

Determinación de alcalinidad

Consultar práctica No.1 inciso h)

Determinación de turbiedad

Turbidímetro o nefelómetro

Celdas de vidrio de cristal incoloro y transparente

Agua destilada

METODOLOGÍA

Si la muestra de agua posee sólidos en suspensión, se recomienda dejar sedimentar durante una hora, para eliminar la mayor cantidad de sólidos sedimentables. Esto puede compararse con la etapa de pretratamiento.

Determinar a la muestra de agua bien homogeneizada los siguientes parámetros:

pH (consultar práctica No.1 inciso d)

Alcalinidad (consultar práctica No.1 inciso h)

Turbiedad (consultar al final de este subtema la metodología para su determinación)

Elegir el coagulante a usar (considerar el pH del agua para evitar en lo posible el uso de ácido o álcali para acondicionar la muestra).

Asegurarse que el pH del agua se encuentre en el rango recomendado en función del coagulante elegido, de lo contrario, ajustarlo con la solución de ácido o álcali.

Medir con la ayuda de una probeta seis muestras de un litro y transferir a los vasos de precipitado.

Colocar los vasos en el equipo de jarras.

Elegir 5 concentraciones crecientes del coagulante y calcular las dosis correspondientes a agregar en cada vaso, partiendo de una solución madre. Por ejemplo: 2, 4, 6, 8, 10 ml de una solución de 1000 ppm o al 10% del coagulante.

Dejar el vaso número 6 sin coagulante y utilizarlo a manera de blanco para facilitar las comparaciones.

Programar el equipo de jarras con las velocidades y tiempos elegidos tanto para la mezcla rápida, mezcla lenta y sedimentación.

Poner en funcionamiento los agitadores y estabilizar la velocidad de rotación al valor elegido para la mezcla rápida.

Verter simultáneamente en los 5 primeros vasos las dosis crecientes de coagulante y realizar la mezcla rápida (generalmente a 100 rpm) durante un minuto.

Posteriormente, iniciar la mezcla lenta (40 rpm) por 15 minutos.

Detener el funcionamiento de los agitadores y retirarlos de los vasos permitiendo que el agua permanezca en reposo durante 30 min.

Al término de la sedimentación, determinar en las 5 muestras los siguientes parámetros: pH, alcalinidad y turbiedad.

Identificar la dosis óptima seleccionando el vaso con el valor más bajo de turbiedad, y en donde la velocidad de sedimentación y consistencia del floc sean las mejores.

(Claro, 2012), (UNAM, 2010) y (Universidad de los Andes, 2009).

A partir de los resultados de la prueba de jarras, proponer los parámetros de operación necesarios para realizar el proceso de coagulación- floculación-sedimentación en la planta piloto.

Determinación de turbiedad (NMX-AA-038-SCFI-2001)

Tomar la muestra en un recipiente de vidrio o polietileno de boca ancha, cierre hermético y tapa inerte. Debe contener un volumen mínimo de 100 mL

Calibrar el instrumento

Se recomienda analizarla inmediatamente, aunque se puede almacenar hasta por 24 horas en la oscuridad y refrigerada a 4°C. Almacenamientos más prolongados pueden ocasionar cambios irreversibles en la turbiedad.

Si la muestra se encuentra en refrigeración, sacarla y permitir que alcance la temperatura ambiente antes de que se realice el análisis.

Si se sospecha que la muestra puede tener turbiedades superiores a 1000 UNT, la muestra debe ser diluida con agua destilada.

Tomar la muestra, agitar y colocar en la celda.

Agitar la muestra en la celda para asegurarse que esté perfectamente homogeneizada.

Leer en el equipo.

La turbiedad se lee directamente en el tablero del aparato pero si se diluyó la muestra, aplicar el siguiente factor de corrección:

Turbiedad (UNT) = (A x B)/C

Donde:

A es la turbiedad de la muestra diluida (UNT)

B es el volumen final de la dilución realizada, mL.

C es el volumen de muestra tomada para la dilución, mL.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

-Se recomienda usar agua procedente del lavado de autos, agua de algún canal a cielo abierto, agua de alguna alberca.

-La prueba de jarras también se puede realizar con suspensiones preparadas en laboratorio, por ejemplo: agua y bentonita (UNAM, 2010).

-Calcular con anticipación los volúmenes de soluciones ácidas, alcalinas y de coagulantes que se requieren, para evitar su desperdicio.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

-Portada (bajarla del portal del ITT).

1.OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.

2.FUNDAMENTO TEÓRICO. Contestar los siguientes aspectos:

2.1.Elaborar un cuadro donde se expongan los efectos que puede provocar, en los siguientes parámetros, la presencia de altos niveles de turbiedad en cuerpos de agua:

O.D.

Temperatura

Organismos acuáticos

Luz

2.2.Elaborar una tabla que contenga la siguiente información:

Tipos de coagulantes, nombres, principales aplicaciones, rangos de pH adecuados para realizar la coagulación-floculación.

2.3.Explicar la importancia que tiene el pH del agua en un proceso de coagulación-floculación.

2.4.Explicar la diferencia entre los términos coagulación y floculación.

2.5.Mencionar las 3 operaciones (procesos) que se simulan durante la prueba de jarras, explicando lo que ocurre en cada una de ellas.

3.METODOLOGÍA

3.1.Diseñar la prueba de jarras, especificando el tipo de agua que se usará, coagulante, pH requerido según el coagulante elegido, concentración de la solución madre de coagulante, volúmenes de las dosis de coagulante a emplear, velocidades de agitación (rpm) y tiempos para la mezcla rápida y la mezcla lenta. Reportar incluyendo cálculos.

3.2.Investigar y reportar las dimensiones, caudal y condiciones de operación del equipo existente en la planta piloto del Laboratorio de Investigación en Ingeniería Ambiental (LIIA).

3.3.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la determinación de turbiedad.

3.2.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la realización de la prueba de jarras.

4.RESULTADOS

4.1.Reportar las concentraciones iniciales del agua: pH, alcalinidad, turbiedad. Incluir cálculos.

4.2.Reportar los resultados de la prueba de jarras en la siguiente tabla.

Tabla 1. Resultados de la prueba de jarras

Muestra	Dosis de coagulante (mL)	Concentración del coagulante (mg/L)	pH	Alcalinidad (mg/L)	Turbiedad (UNT)

4.3.Reportar el valor de la dosis óptima. Justificar la respuesta.

4.4.Investigar la concentración de turbiedad establecido en la NOM vigente para el agua destinada a consumo humano y comparar con el valor obtenido en la práctica. Comentar.

4.5.Reportar los cálculos de los parámetros de operación propuestos para el proceso de coagulación-floculación en planta piloto, a partir de la prueba de jarras realizada.

5.CONCLUSIONES

5.1.Conclusiones individuales.

5.2.Conclusiones del equipo.

6.FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

Arboleda V., J. 1992. Teoría y práctica de la purificación del agua. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Acodal. Colombia.

Claro O., L. H. 2012. Capítulo 21. Pruebas de tratabilidad. Scribd en español. USA.
<http://es.scribd.com/doc/106956687/Prueba-Jarras>

Crites, R. y G.Tchobanoglous. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Mc Graw Hill. Colombia.

Davis M.,L. and D.A. Cornwell. 1991. Introduction to environmental engineering. Mc Graw Hill. Singapore.

Metcalf & Eddy, Inc. 1985. Ingeniería sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. 2ª ed. Labor. Barcelona, España.

Padilla S., M. F. 2005. Remoción de metales pesados en aguas residuales industriales por la técnica de precipitación alcalina. Tesis de Licenciatura. Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Universidad de las Américas. Puebla, México.
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/padilla_s_mf/capitulo3.pdf

Sawyer, C. N.; P. L. McCarty y G.F. Parkin. 2001. Química para ingeniería ambiental. 4ª ed. Mc Graw Hill. Colombia.

Universidad de los Andes. 2009. Guía de Laboratorio. Práctica No. 2: Ensayo de jarras. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Bogotá, Colombia.
<http://157.253.198.142/Potabilizacion/Laboratorio2.pdf>

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2010. Práctica No. 3: Coagulación-sedimentación (prueba de jarras). Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México, D.F.
http://dicyg.fi-c.unam.mx:8080/labsanitaria/documentos/03_AAPyA.pdf

Práctica No. 9

Tratamiento de efluentes en columnas de adsorción y de intercambio iónico

OBJETIVO

Conocer el funcionamiento de columnas de adsorción y de intercambio iónico, determinar los parámetros de operación, así como calcular eficiencias de remoción para ambos tipos de procesos.

INTRODUCCIÓN

Tanto la adsorción como el intercambio iónico son operaciones básicas de separación basadas en la transferencia y la resultante distribución de equilibrio de uno o más solutos entre una fase fluida y un medio sólido. Se hará énfasis en el funcionamiento en lechos de relleno para ambas operaciones, resaltando su carácter cíclico y la necesidad de regeneración (Perry, 2003).

ADSORCIÓN

Se sabe que las fuerzas moleculares de la superficie de un sólido se encuentran en un estado de insaturación, es decir, las moléculas o iones no tienen satisfechas todas sus fuerzas de unión, razón por la cual tienden a atraer moléculas de fluidos cercanos, reteniéndolas en su superficie. Este fenómeno de concentración de un fluido sobre la superficie de un sólido se denomina adsorción (Maron y Prutton, 2006). Durante la adsorción de un gas o de un soluto en disolución, sus partículas se acumulan sobre la superficie de otro material, esto es, el componente de la fase fluida (adsorbato) se transfiere hacia la superficie de un sólido (adsorbente). En este proceso, la naturaleza de las fuerzas que fijan las moléculas del adsorbato pueden ser de dos tipos. Si las interacciones predominantes entre el adsorbato y el adsorbente son de tipo van der Waals, se le denomina adsorción física o fisisorción. Por otra parte, si durante la adsorción, las interacciones semejan enlaces químicos se trata de adsorción química o quimisorción (Tubert y Talanquer, 1997). Cabe recordar que las fuerzas de tipo físico, como las de van der Waals, son generalmente débiles comparadas con las fuerzas de un enlace químico, por lo que las dos formas de adsorción tienen diferentes características, como se puede observar en la Tabla 9.1.

Es importante no confundir la adsorción con la absorción, ya que en la última el fluido penetra y se distribuye por todo el interior de la fase sólida, como sucede con el agua absorbida por una esponja o durante la reacción del vapor de agua con cloruro de calcio anhidro para formar un hidrato. Mientras que la adsorción ocurre sólo en la superficie interfacial sólido-fluido (Levine, 1991) y (Maron y Prutton, 2006).

Los adsorbentes usados deben poseer un área específica considerable para obtener mayor capacidad de adsorción, por lo anterior, se suelen usar sólidos con estructuras altamente porosas capaces de adsorber volúmenes apreciables. Además, el tamaño del microporo determina la accesibilidad de las moléculas del adsorbato a la superficie interna de adsorción, por lo que la distribución y el tamaño de poro, son características importantes a considerar (USEPA, 2000). Existe una diversidad de adsorbentes desarrollados para una

gran variedad de aplicaciones. Los materiales comerciales son generalmente granulares, aunque algunos también se encuentran en forma de polvo. Los adsorbentes se suelen usar, se regeneran y se utilizan por varios ciclos. Los adsorbentes comerciales más comunes son: carbón activado, sílica gel, arcillas activadas, alúmina activada, resinas o polímeros sintéticos y zeolitas (también llamadas mallas o tamices moleculares) (Espínola, 2010).

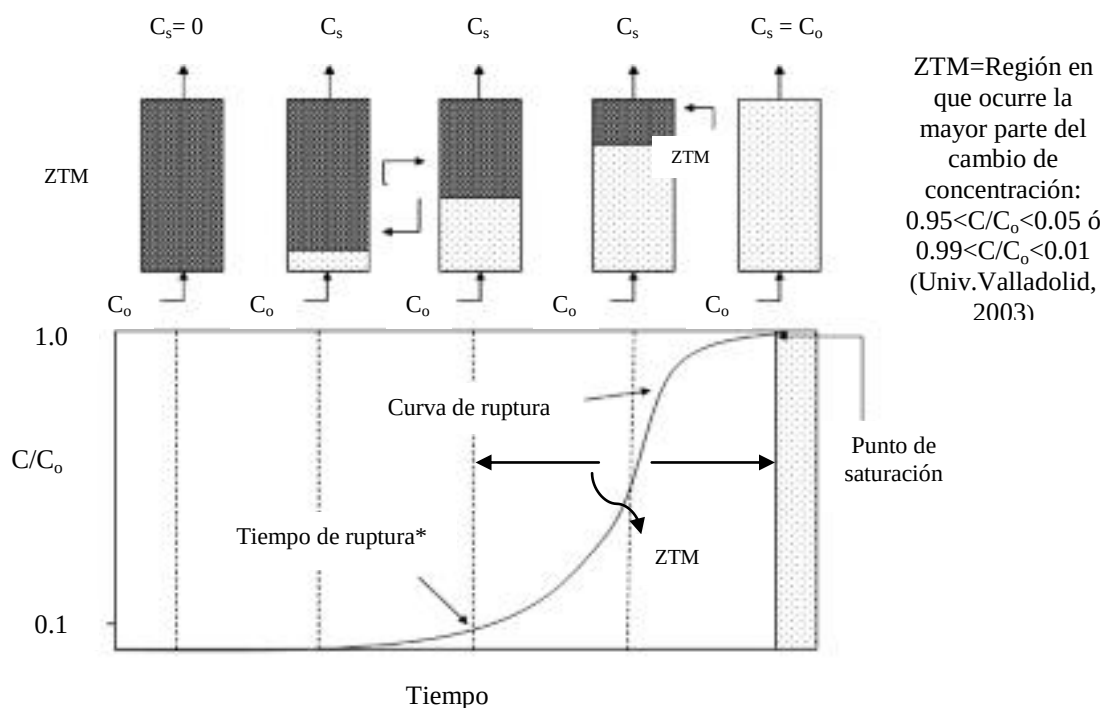
Tabla 9.1. Características de la adsorción física y química (Espínola, 2010 y Atkins, 1991).

Adsorción física	Adsorción química
• Entalpía de adsorción (-20 KJ/mol) • Reversible • Rápida • El adsorbente puede ser regenerado • Formación de multicapas • Ocurre en todos los sólidos y en toda su superficie • Poca selectividad • Dependencia lineal con la temperatura	• Entalpía de adsorción (-200 KJ/mol) • Irreversible • Lenta • Generalmente destruye la capa del adsorbente • Solo monocapa adsorbida • Ocurre en ciertos sólidos y en determinados puntos • Gran selectividad • Dependencia exponencial con la temperatura

En la adsorción se suele establecer un verdadero equilibrio entre el fluido en contacto con el sólido y el de la superficie; es decir, la concentración de adsorbato en el fluido se encuentra en equilibrio con la concentración en la superficie del sólido. Lo anterior implica que para un adsorbente y fluido dados, el grado de adsorción bajo cualquier condición de temperatura y presión es definido y reproducible. Una práctica muy usada consiste en hacer pasar el fluido que contiene el adsorbato, a través del sólido adsorbente, midiéndose la concentración de adsorbato a la salida. Si la temperatura se mantiene constante durante el experimento, el grado de adsorción puede estudiarse como función de la concentración o la presión y generar así lo que se conoce como isoterma de adsorción (Espínola, 2010) y (Maron y Prutton, 2006). Mediante experimentos por lotes (discontinuos o tipo batch) es posible medir la eficiencia en la eliminación de adsorbatos específicos, así como la capacidad máxima de adsorción. Tales experimentos consisten en colocar una cantidad determinada de adsorbente en contacto con la disolución que contiene la sustancia que se va a remover, manteniéndola en suspensión mediante agitación el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio. Por otra parte, los estudios de adsorción realizados en columnas de lecho fijo, a diferencia de los experimentos por lotes, no funcionan bajo condiciones de equilibrio, debido a que continuamente ingresa a la columna una disolución de alimentación, estableciéndose un proceso de transferencia de masa permanente entre una fase móvil que contiene el adsorbato y la fase sólida del lecho adsorbente. Los procesos industriales generalmente se trabajan bajo condiciones continuas, por lo tanto este tipo de estudios proporciona la aplicación más práctica en el tratamiento de efluentes tanto líquidos como gaseosos (Valencia y Castellar, 2013). El empleo de lechos para el tratamiento de una corriente continua implica el uso de al menos dos lechos idénticos: mientras la disolución que se desea intercambiar circula por uno de ellos, el otro se está regenerando.

En la figura 9.1 se muestra el esquema de una columna empacada con un material adsorbente en contacto con un líquido que contiene un soluto (adsorbato) de concentración

C_0 . Al iniciar, el adsorbente remueve rápidamente el soluto, ya que en toda la columna se realiza la transferencia de masa, por lo cual el líquido sale de la columna prácticamente libre de adsorbato. Conforme transcurre el tiempo, el volumen de líquido que atraviesa la columna es mayor, por lo que la zona de transferencia de masa (ZTM) comienza a desplazarse y la concentración del adsorbato a la salida (C_s) aumenta con el tiempo. La ZTM en la figura 9.1 se representa con la zona oscura. Se denomina punto de ruptura (q_R) al valor máximo en la concentración del adsorbato que se puede permitir a la salida de la columna, y al tiempo empleado para alcanzar esta concentración específica se le llama tiempo de ruptura (t_R) y su valor se suele obtener para $C/C_0 \leq 0.20$. La curva que resulta de graficar la relación C/C_0 en función del tiempo se conoce como curva de ruptura. Cuando la zona de transferencia de masa sale de la columna, el lecho está completamente saturado y la concentración a la salida es la misma de la entrada ($C_s = C_0$) (Taty y colaboradores, 2005).



*El tiempo de ruptura en esta figura se tomó como el lapso que transcurre cuando la concentración del adsorbato a la salida alcanza el 10% de la concentración inicial.

Figura 9.1. Curva de ruptura típica del carbón activado mostrando el movimiento de la zona de transferencia de masa, ZTM (adaptada de Valencia y Castellar, 2013).

El criterio más importante en el diseño de una columna de adsorción es la predicción de la curva de ruptura, lo cual determina la longitud del lecho, la vida útil y su tiempo de regeneración; parámetros indispensables para evaluar la eficiencia de la columna (Valencia y Castellar, 2013).

INTERCAMBIO IÓNICO

Como se mencionó al principio, al igual que la adsorción, el intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de materia de un fluido a un sólido; y como su nombre lo indica, consiste en la transmisión de uno o más iones de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales. Lo anterior sucede por lo general, haciendo pasar el fluido a través de un sólido polimérico de tipo gel (resina) constituido por una estructura tridimensional de cadenas hidrocarbonadas. Dichas cadenas se encuentran unidas transversalmente formando una matriz tridimensional que proporciona rigidez a la resina y donde el grado de reticulación o entrecruzamiento determina la estructura porosa interna de la misma. Como los iones deben difundirse en el interior de la resina para que ocurra el intercambio, el grado de reticulación determina la movilidad de los iones (Univ. Autónoma de Madrid, 2007).

El intercambiador de iones contiene permanentemente grupos funcionales ligados de carga opuesta. Las cargas de los grupos iónicos inmóviles se equilibran con las de otros iones, de signo opuesto, denominados contraiones, que están libres y que son los que se intercambian realmente con los del electrolito disuelto. Cuando dichos iones son cationes, los cambiadores iónicos se denominan catiónicos y cuando son aniones se denominan aniónicos. Así, las resinas de intercambio catiónico contienen por lo general grupos ligados de ácido sulfónico, y las resinas aniónicas incluyen grupos de amonio cuaternario u otros grupos amino. Los primeros intercambiadores de iones fueron las zeolitas naturales, y tanto éstas como las sintéticas se siguen utilizando en la actualidad (Perry, 2003) y (Univ. Autónoma de Madrid, 2006). Uno de los usos más frecuentes del proceso de intercambio iónico consiste en el ablandamiento de aguas duras, haciendo pasar el agua a través de un lecho de resinas intercambiadoras de cationes, donde los componentes de la dureza, los iones calcio y magnesio, son eliminados de la solución y sustituidos por iones sodio o hidrógeno.

Al igual que en el caso de la adsorción, las operaciones de intercambio iónico pueden ser de tipo discontinuo o continuo. El primer tipo se usa generalmente a escala de laboratorio, para la obtención de datos de equilibrio o cinéticos. Mientras que los de tipo continuo en lecho fijo son utilizados en la mayoría de los procesos industriales. Como en adsorción, para poder operar en modo continuo, las instalaciones también constan generalmente de dos lechos idénticos, de forma que mientras por uno de ellos circula la disolución que contiene los iones que se desea intercambiar, el otro se está regenerando. La operación de intercambio iónico se realiza habitualmente en un lecho fijo de resina a través del cual fluye una disolución. El régimen de funcionamiento no es estacionario por variar continuamente la concentración de los iones en cada punto del sistema.

Al inicio de la operación de un lecho, la mayor parte de la transferencia de materia tiene lugar cerca de la entrada del lecho donde el fluido se pone en contacto con intercambiador fresco. A medida que transcurre el tiempo, el sólido próximo a la entrada se encuentra prácticamente saturado y la mayor parte de la transferencia de masa tiene lugar lejos de la entrada, estableciéndose un gradiente de concentración en el lecho. La región donde ocurre la mayor parte del cambio de concentración es la llamada zona de transferencia de masa, esta zona separa la zona virgen de la resina y la de saturación y sus límites frecuentemente se toman como $C/C_0 = 0.95$ a 0.05 , es decir entre el 95 y el 5% de la concentración inicial.

A medida que progresa el intercambio iónico, la zona de transferencia de masa se traslada en el lecho hasta alcanzar su extremo inferior (figura 9.2), instante a partir del cual la

disolución de salida contendrá cantidades crecientes de los iones que se desea intercambiar (Univ. Autónoma de Madrid, 2006).

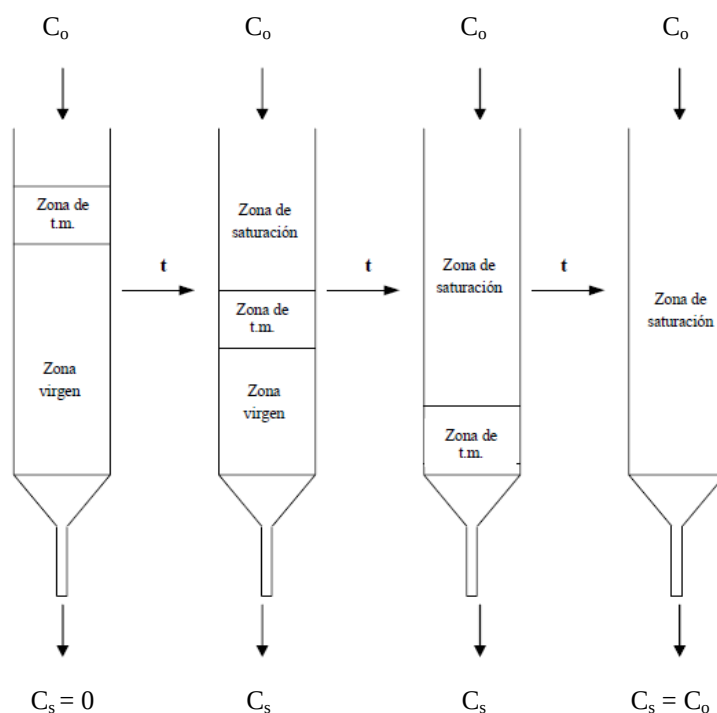


Figura 9.2. Evolución de la concentración en un lecho de intercambio iónico (adaptado de Univ. Autónoma de Madrid, 2006).

El tiempo transcurrido desde el comienzo de la operación en el lecho hasta que los iones de la disolución aparecen en la corriente de salida o más concretamente, cuando se alcanza la máxima concentración permisible en el efluente, se denomina tiempo de ruptura (t_R). En este momento, la corriente se desviaría a un segundo lecho, iniciando el proceso de regeneración del primero. De la misma forma que en el caso de la adsorción, la curva que representa la evolución de la concentración del efluente que abandona el lecho recibe el nombre de curva de ruptura (ver gráfica de la figura 9.1). El conocimiento de la curva de ruptura, como en el caso de la adsorción, es fundamental para el diseño de un lecho fijo de intercambio iónico, y en general debe determinarse experimentalmente, dada la dificultad que entraña su predicción (Univ. Autónoma de Madrid, 2006).

Es importante mencionar que el funcionamiento de columnas de lecho fijo tanto para adsorción como intercambio iónico es una operación cíclica que comprende las siguientes etapas (Universidad de Valladolid, 2003):

- Tratamiento: hasta agotamiento o punto de ruptura establecido.
- Lavado a contracorriente (opcional): para limpieza y uniformidad del lecho.
- Regeneración: adsorbente/resina vuelve a su forma original.
- Lavado: para eliminar exceso de regenerante.

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

La unidad 3 del programa de la asignatura trata sobre el tratamiento fisicoquímico de efluentes, y en el tema 3.2 se mencionan las operaciones de adsorción e intercambio iónico, haciendo énfasis en el manejo de columnas, ya que en la industria, se trabaja con mayor frecuencia en lecho fijo; por lo que en esta práctica se manejan ambos tipos de operaciones en columnas, para que el estudiante conozca su funcionamiento, y los parámetros de operación que las rigen.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

a)Columna de adsorción

Columna de adsorción empacada con adsorbente, por ejemplo carbón activado, gel de sílice, alúmina, zeolitas o algún tipo de arcilla (bentonita, montmorillonita, vermiculita, entre otras).

NOTA 1: se usará la columna con carbón activado que se encuentra en la planta piloto del Laboratorio de Investigación en Ingeniería Ambiental (LIIA) del ITT.

Adsorbato: colorante, ácido acético (dependiendo del adsorbente)

Agua desionizada y/o destilada

Solución regeneradora

Reloj o cronómetro

Conductímetro

Termómetro

Equipo para medir concentración de soluto: Espectrofotómetro o equipo para titulación.

Bomba peristáltica

Equipo de seguridad: Bata, lentes de seguridad.

b)Columna de intercambio iónico

Columna de intercambio iónico empacada con resina de intercambio, por ejemplo, alguna zeolita natural (clinoptilolita, modernita, erionita, etc.) o sintética.

NOTA 2: se usará la columna de intercambio iónico que se encuentra en la planta piloto del Laboratorio de Investigación en Ingeniería Ambiental (LIIA) del ITT. Es importante mencionar que ambas columnas (la de adsorción y la de intercambio iónico) se encuentran en serie, por lo cual el agua o disolución a tratar pasará primero por el tratamiento con carbón activado, y a continuación entrará a la columna de intercambio. Lo anterior se debe considerar al elegir los solutos a separar para ambas operaciones.

Agua desionizada y/o destilada

Alguna de las siguientes soluciones que contenga el soluto a eliminar: cloruro de sodio, hidróxido de sodio, en la concentración elegida o agua de la red de abastecimiento público, para eliminar o reducir dureza.

Solución regeneradora

Reloj o cronómetro

Termómetro

Equipo para medir concentración de soluto: Conductímetro o equipo para titulación.

Bomba peristáltica

Equipo de seguridad: Bata, lentes de seguridad, protectores auditivos.

METODOLOGÍA

a) Columna de adsorción

a.1) Planeación del experimento

Si se dispone de una columna de adsorción en la institución, investigar el tipo de adsorbente que contiene la columna de lecho fijo (planta piloto del LIIA en el ITT). Anotar las características de la columna: dimensiones, altura del lecho, caudal de alimentación, método de regeneración del adsorbente (ej. con vapor de agua).

En función del tipo de adsorbente, elegir el soluto que se someterá al proceso de adsorción; por ejemplo, las arcillas como la bentonita, adsorben ciertos colorantes; el carbón activado se puede usar para adsorber ácido acético.

En caso de no contar con una columna de lecho fijo, construirla con tubo de vidrio o manguera de plástico transparente, de la siguiente manera (Carriazo y colaboradores, 2010):

Altura de la columna de 15 a 20 cm y diámetro interno menor a 1 cm. Sellar la columna en la parte inferior con un tapón-filtro de 0.5 cm de altura, elaborado en lana de vidrio (reemplazable por algodón). El trabajo con lana de vidrio debe realizarse empleando guantes. Colocar cinta transparente en la parte inferior externa del tubo o manguera, para sostener el sello interno de lana de vidrio, teniendo el cuidado de perforar la cinta colocada sobre el sello (entre 6 y 8 huecos con aguja de jeringa) para permitir la salida de líquido en los ensayos de adsorción. Empacar el tubo o manguera con el adsorbente elegido, en función de la altura empacada elegida (entre 5 y 10 cm). Se recomienda dar pequeños golpecitos para lograr un empacado uniforme.

Preparar el volumen necesario (50 litros) de la disolución de soluto (adsorbato) a usar, en la concentración requerida. Ejemplo: ácido acético 0.1 o 0.2 M, o colorante en una concentración definida previamente (preferentemente menor a 5 mg/L).

Establecer la manera en que se medirá la concentración del soluto en el efluente, ejemplo: espectrofotometría, titulación, entre otras.

Determinar la concentración inicial del soluto (C_0) a eliminar o reducir.

NOTA: en el caso de colorantes, resulta práctico utilizar medidas de absorbancia (A) mediante el espectrofotómetro, debido a que la concentración de colorante es proporcional a la intensidad del color, se pueden utilizar absorbancias normalizadas que equivalen a las concentraciones normalizadas ($A/A_0 = C/C_0$). También se debe investigar y determinar la longitud de onda adecuada para realizar la medición, en función de la tonalidad del colorante empleado.

a.2) Operación de la columna y obtención de datos

Si se construyó una columna con tubo de vidrio o plástico: Bombear agua destilada a través del lecho, ajustando el caudal de alimentación al valor determinado previamente (si la columna se construyó con tubo o manguera, usar caudales pequeños, entre 1 y 10 mL/min), hasta asegurar que la columna no se inunde y la conductividad registrada sea constante y correspondiente a la del agua destilada.

Si se cuenta con una columna de lecho fijo, anotar los pasos que sigue el encargado de la planta piloto para ajustar el caudal y durante la operación de la columna.

Anotar el caudal de alimentación.

Medir la temperatura de disolución a tratar.

Registrar la temperatura y presión de operación.

El seguimiento de la operación se llevará a cabo con medidas de absorbancia (o por titulación) con el tiempo, según sea el caso.

A continuación se van a obtener los datos necesarios para dibujar la curva de ruptura.

Cuando se abre la válvula de alimentación de la disolución a tratar, tomar ese momento como tiempo cero y en intervalos regulares de tiempo (2, 4, 6, 8 y 10 min), y posteriormente, cada 5 o 10 min, tomar alícuotas de la corriente que sale de la columna, usando una jeringa con una aguja hipodérmica, a la salida del lecho empacado, con el propósito de determinar el contenido de adsorbato en el efluente a través del tiempo (C).

Para el lavado y regeneración de la columna seguir instrucciones del encargado de la planta piloto.

a.3) Obtención de la curva de ruptura

Representar gráficamente el cociente de valores de C/C_0 frente al tiempo, para obtener la curva de ruptura del sistema (figura 1).

NOTA: Si se eligió remover color y se miden absorbancias, se puede usar la relación $A/A_0 = C/C_0$.

Definir el valor de la máxima concentración que se permitirá en el efluente (se puede elegir un valor del 20 al 5% de la concentración inicial, es decir $C/C_0 = 0.20$ o 0.05).

Leer en la gráfica el tiempo de ruptura del sistema.

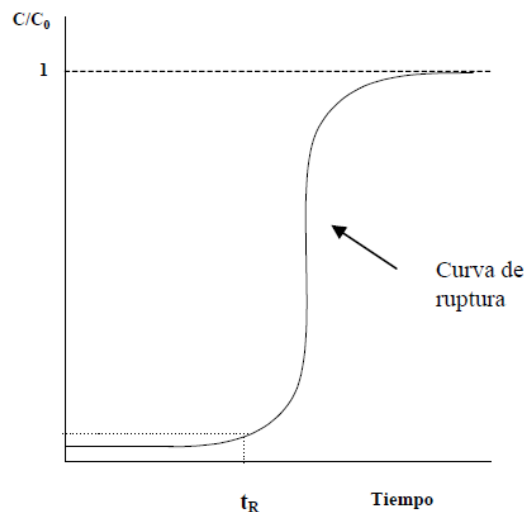


Figura 1. Curva de ruptura en el diagrama concentración efluente-tiempo (Univ. Autónoma de Madrid, 2006).

a.4) Cálculo de la eficiencia

Calcular la eficiencia de la columna para las condiciones de operación llevadas a cabo en la práctica y expresarla en %.

b) Columna de intercambio iónico

b.1) Planeación del experimento

Investigar el nombre y tipo de resina que contiene la columna de intercambio iónico en la planta piloto del Laboratorio de Investigación en Ingeniería Ambiental (LIIA) del ITT.

Anotar las características de la columna de intercambio iónico: dimensiones, altura del lecho, caudal de alimentación.

En función del tipo de resina, elegir el soluto que se someterá al proceso de intercambio iónico. Por ejemplo, si se trata de una resina catiónica se suele emplear cloruro de sodio o hidróxido de sodio en disolución, para eliminar los iones Na^+ .

Preparar el volumen necesario (50 litros) de la disolución anterior, se recomienda una concentración 0.1 N para hidróxido de sodio o 0.2 M de cloruro de sodio.

Dependiendo de los iones a eliminar, elegir la solución regeneradora. Ejemplo, para resinas catiónicas se suele usar una solución de ácido clorhídrico 0.1 N.

IMPORTANTE: Recordar la necesidad de establecer la normalidad de las disoluciones de hidróxido y ácido a preparar.

Determinar la manera en que se medirá la concentración del soluto en el efluente, ya sea por conductividad, titulación, entre otras.

NOTA: Resulta práctico utilizar medidas de conductividad (λ), debido a que la concentración de los diferentes iones es proporcional a la conductividad, se pueden utilizar conductividades normalizadas que equivalen a las concentraciones normalizadas ($\lambda/\lambda_0 = C/C_0$).

b.2) Operación de la columna y obtención de datos

Anotar caudal de operación.

Registrar temperatura y presión de operación.

A continuación se van a obtener los datos necesarios para dibujar la curva de ruptura.

Recordar que las columnas de adsorción y de intercambio iónico están colocadas en serie, por lo que se realizarán ambas corridas a la par.

Tomar una muestra de la disolución que sale de la columna de adsorción, ya que es la que entra a la columna de intercambio, para determinar la concentración inicial del soluto (C_0) a eliminar o reducir.

El seguimiento de la operación se llevará a cabo a través de medidas de conductividad a diferentes tiempos.

Cuando la disolución a tratar entra a la columna de intercambio, tomar ese momento como tiempo cero y anotar valores de la conductividad del efluente de la columna cada 30 segundos, hasta obtener una lectura de conductividad constante e igual a la de la disolución de entrada (λ_0).

Una vez que la concentración a la salida es igual a la de la entrada, cambiar la corriente de la disolución a tratar por la de agua destilada, hasta eliminar el soluto residual en la columna.

b.2.1) Regeneración de la resina

Pasar una corriente de solución regeneradora (ejemplo HCl 0.1 N) hasta que la conductividad del efluente de salida sea constante e igual a la de la disolución de entrada.

b.2.2) Lavado

Alimentar nuevamente agua destilada hasta la total eliminación de la solución regeneradora residual.

b.3) Obtención de la curva de ruptura

Representar gráficamente el cociente de valores de conductividad $\lambda/\lambda_0 = C/C_0$ frente al tiempo, para obtener la curva de ruptura del sistema (figura 1).

Definir el valor de la máxima concentración que se permitirá en el efluente (puede elegir un valor del 20 al 5% de la concentración inicial, es decir $C/C_0 = 0.20$ o 0.05).

Leer en la gráfica el tiempo de ruptura del sistema.

(Universidad Autónoma de Madrid, 2006; Universidad de Valladolid, 2003 y Monteagudo y Durán, 2006).

b.4)Cálculo de la eficiencia

Calcular la eficiencia de la columna para las condiciones de operación llevadas a cabo en la práctica y expresarla en %.

Medidas de seguridad

Es importante que la resina nunca se encuentre seca, siempre debe quedar el lecho sumergido en cierta cantidad de líquido.

Tener cuidado de no manejar gastos mayores a los indicados en los rotámetros y no exceder la presión de operación.

Usar mangueras apropiadas a la presión que se va a manejar y al tipo de flujo, sea gas o líquido.

Vaciar totalmente de líquido, tanto el equipo como los rotámetros.

Si la solución se desea recuperar, recolectarla en depósitos apropiados (Zarza y López, 1988).

Deben consultarse las hojas de información de seguridad de los compuestos manejados y usar todo el tiempo equipo de seguridad, tal como: batas, guantes de látex y lentes de seguridad.

La preparación del hidróxido de sodio y/o ácido clorhídrico debe efectuarse bajo una campana de extracción.

El ácido clorhídrico concentrado es un producto químico altamente corrosivo que debe manejarse con extremo cuidado. El adicionar ácido concentrado al agua produce una fuerte reacción exotérmica, por lo cual debe realizarse lentamente.

Cuando se diluyen, ácidos y bases fuertes, debe evitarse el contacto con la piel y vías respiratorias.

Los desechos ácidos o básicos se deben neutralizar para su posterior desecho.

Todas las muestras que cumplan con la norma de descarga a alcantarillado pueden descargarse en el mismo sistema.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

-Para el caso de la Adsorción, si se opta por remover un colorante, se recomienda usar colorante biodegradable; ya sea de uso alimenticio o doméstico (ej. Pastillas comerciales para teñir ropa), lo anterior con la finalidad de evitar el uso de colorantes aromáticos, cuyo riesgo es mayor.

-Se sugiere pedir como prelaboratorio los diagramas de bloques mencionados en el reporte del alumno.

-Se sugiere preparar solo las cantidades necesarias de los diferentes reactivos, tanto para no desperdiciar reactivos, como para reducir las cantidades a neutralizar al finalizar la práctica.

-Preparar por anticipado material y soluciones a utilizar, para optimizar el tiempo de la práctica.

-La preparación de soluciones puede dividirse por equipos, para evitar que todos los equipos preparen las mismas soluciones y se desperdicien reactivos. Revisar que todos los equipos realicen los cálculos para la preparación de todas las soluciones, y no solo de las que les fueron asignadas.

-En el caso de que se construya la columna de adsorción, el caudal de alimentación y/o salida, puede obtenerse a través de algún método de descarga directa, ejemplo, la técnica del cronómetro y recipiente.

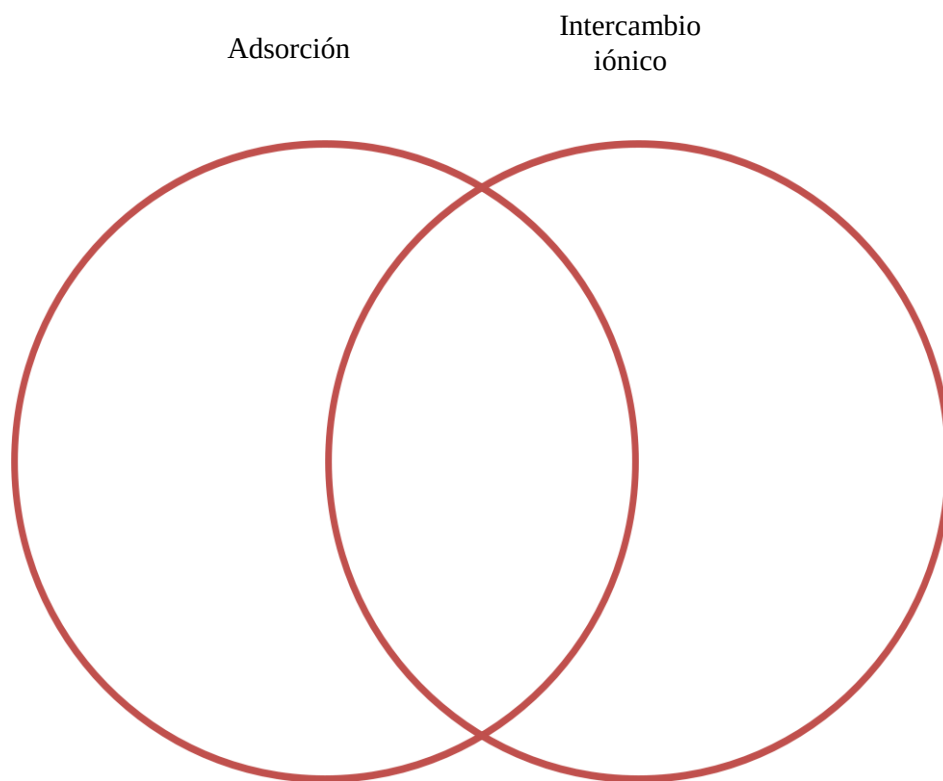
REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

-Portada (bajarla del portal del ITT).

1. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO.

2.1.Elaborar un mapa cognitivo (diagrama de Venn) mencionando las semejanzas y diferencias entre las operaciones de adsorción e intercambio iónico.



2.2.Mencionar 5 aplicaciones del proceso de adsorción en el área ambiental.

2.3.Mencionar 5 aplicaciones del proceso de intercambio iónico en el área ambiental.

2.4.Elaborar una tabla o mapa conceptual que contenga la siguiente información sobre los diferentes tipos de adsorbentes y resinas de intercambio utilizados industrialmente:
a)Nombre, b)definición, incluyendo composición, c)principales propiedades y d)aplicaciones.

Nota: se recomienda consultar las lecturas de Tuber y Talanquer, 1997; USEPA, 1999; Universidad de Valladolid, 2003 y Davis and Cornwell, 1991; reportados en la bibliografía preliminar.

3. METODOLOGÍA

3.1. Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos que se siguieron en el experimento con la columna de adsorción para la obtención del tiempo de ruptura.

3.2. Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos que se siguieron en el experimento con la columna de intercambio iónico para la obtención del tiempo de ruptura.

4. RESULTADOS

4.1.ADSORCIÓN

4.1.1.Reportar las características de la columna de adsorción usada en el experimento: a)dimensiones, b)altura del lecho, c)caudal de alimentación, d)adsorbente.

4.1.2.Reportar las condiciones utilizadas durante el experimento: a)Caudal, b)temperatura, c)flujo ascendente o descendente, d)método de regeneración, e)forma de medir la concentración de soluto, f)valor de la máxima concentración permitida en el efluente.

4.1.3.Reportar los cálculos realizados para la preparación de las soluciones empleadas (incluyendo datos, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades).

4.1.4.Curva de ruptura: a)Realizar una tabla con los datos obtenidos del experimento y los calculados para el trazo de la curva de ruptura, b)dibujar la curva de ruptura, c)obtener el tiempo de ruptura (indicándolo en la gráfica).

4.2.INTERCAMBIO IÓNICO

4.2.1.Escribir la ecuación química que representa el proceso de intercambio iónico llevado a cabo en la práctica. Anotar el significado de cada componente de la ecuación y explicarla.

4.2.2.Reportar las características de la columna de intercambio iónico usada en el experimento: a)dimensiones, b)altura del lecho, c)caudal de alimentación, d)resina.

4.2.3.Reportar las condiciones utilizadas durante el experimento: a)Caudal, b)temperatura, c)flujo ascendente o descendente, d)solución regeneradora, e)forma de medir la concentración de soluto, f) valor de la máxima concentración permitida en el efluente.

4.2.4.Reportar los cálculos realizados para la preparación de las soluciones empleadas (incluyendo datos, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades).

4.2.5.Curva de ruptura: a)Realizar una tabla con los datos obtenidos del experimento y los calculados para el trazo de la curva de ruptura, b)dibujar la curva de ruptura, c)obtener el tiempo de ruptura (indicándolo en la gráfica).

5. CONCLUSIONES: Revisar el objetivo de la práctica y redactar las conclusiones que se piden a continuación.

5.1.ADSORCIÓN

5.1.1. Conclusiones individuales.

5.1.2. Conclusiones del equipo.

5.2.INTERCAMBIO IÓNICO

5.2.1. Conclusiones individuales.

5.2.2. Conclusiones del equipo.

6. FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

Atkins, P.W. 1991. Fisicoquímica. 3a ed. Addison-Wesley Iberoamericana. USA.

Carriazo, J.G.; M. J. Saavedra; M. F. Molina. 2010. Propiedades adsorptivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educ. quím.* Mayo. Vol. 21, No.3. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D.F.

Davis M.,L. and D.A. Cornwell. 1991. Introduction to environmental engineering. Mc Graw Hill. Singapore.

Espínola L., F. 2010. Tema 5. Adsorción. Departamento de Ing. Química, Ambiental y Materiales. Universidad de Jaén. Andalucía, España.
<http://www4.ujaen.es/~fespino/asignaturas/Procesos/Tema%205%20PSIA.pps>

Levine, I.N. 1991. Fisicoquímica. 3ª ed. Mc Graw Hill. México, D.F.

Maron, S. H. y C. F. Prutton. 2006. Fundamentos de fisicoquímica. Limusa. México,D.F.

Monteagudo M., J. M. y A. Durán S. 2006. Diseño de Procesos en Ingeniería Ambiental. Guión de prácticas. Práctica 1: Purificación de aguas por intercambio iónico. Universidad de Castilla -La Mancha. Ciudad Real, España.
http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/dis_procesos/guion.pdf

Perry, R.H. y D.W. Green, Eds. 2003. Adsorción e intercambio iónico. Manual del Ingeniero Químico. Vol. III. 7ª ed. Mc Graw Hill. Madrid, España.

Taty, V.; H. Fauduet, C. Porte, Y. Ho. 2005. Removal of lead (II) ions from synthetic and real effluents using immobilized *Pinus sylvestris* sawdust: Adsorption on a fixed-bed column. *J. Hazard. Mater.* Vol. B123. USA.

Tubert, I. y V. Talanquer. 1997. Para saber, experimentar y simular sobre adsorción. Educación química. Octubre. Vol. 8. No. 4. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D.F.
<http://www.chem.arizona.edu/tpp/adsorcioneq.pdf>

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 1999. Zeolita, un adsorbente versátil de contaminantes del aire. Boletín técnico EPA-456/F-99-003. Oficina de calidad del aire. Carolina del Norte, USA. <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir2/zeolits2.pdf>

United States Environmental Protection Agency (USEPA). 2000. Agua. USA.
<http://www.epa.gov/espanol/agua.htm>.

Universidad Autónoma de Madrid. 2006. Práctica sobre intercambio iónico. Área de Ingeniería Química. Madrid, España.
http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/experimentacionIQII/Intercambioionico2006.pdf

Universidad Autónoma de Madrid. 2007. Seminario sobre intercambio iónico. Área de Ingeniería Química.
http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/mgilarra/experimentacionIQII/SeminarioIntercambioIonico07-08.ppt

Universidad de Valladolid. 2003. Tema 10: Adsorción e intercambio iónico. Operaciones de separación en Ingeniería Química. Valladolid, España.

http://iqtma.uva.es/separacion/archivos/Op_Sep_Ads4.pdf

Valencia R., J.S. y G.C. Castellar O. 2013. Predicción de las curvas de ruptura para la remoción de plomo (II) en disolución acuosa sobre carbón activado en una columna empacada. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*. No. 66. Marzo. Medellín, Colombia.

Práctica No. 10

Tratamiento de efluentes en columnas de absorción

OBJETIVO

Conocer el funcionamiento de columnas de absorción, determinar los parámetros de operación, así como la eficiencia de remoción.

INTRODUCCIÓN

La absorción pertenece a un grupo de métodos ampliamente usados en la industria para la separación de los componentes de mezclas, que suelen englobarse bajo la denominación de “operaciones de transferencia de masa”, tales como la destilación, deshumidificación, extracción líquido-líquido, lixiviación, cristalización, adsorción e intercambio iónico (vistas en la práctica anterior). La mayoría de estas técnicas se basan en la transferencia de material desde una fase homogénea a otra, utilizando diferencias de solubilidad o de presión de vapor, entre otras. La fuerza impulsora de la transferencia es una diferencia o gradiente de concentración, de la misma forma que una diferencia o un gradiente de temperatura, constituye la fuerza impulsora de la transferencia de calor (Mc Cabe y colaboradores, 1991).

Absorción es la operación de transferencia de masa que tiene por objetivo, separar uno o varios componentes de una mezcla gaseosa, disolviéndolos en un solvente líquido que tiene baja volatilidad bajo las condiciones del proceso. El soluto se difunde desde el gas hacia el líquido cuando éste contiene una concentración inferior a la concentración de equilibrio en el gas. La diferencia entre la concentración real y la de equilibrio, proporciona la fuerza impulsora para la absorción.

La operación de absorción suele llevarse a cabo en columnas o torres de forma cilíndrica, generalmente con flujo a contracorriente, a las cuales se alimenta la mezcla gaseosa, por el extremo inferior, y el solvente líquido por el extremo superior; aunque en ocasiones también se puede trabajar con sistemas en corrientes perpendiculares o paralelas. Como resultado del contacto entre las dos fases dentro de la columna, el componente que se desea disolver (soluto), se incorpora a la solución líquida, y sale por el fondo (solución rica); mientras que la mezcla gaseosa empobrecida del soluto, sale por arriba (gas pobre). El contacto entre los dos fluidos puede tener lugar sobre platos (contacto discontinuo) o mediante un relleno o empaque (contacto continuo) (Canudas, 1993).

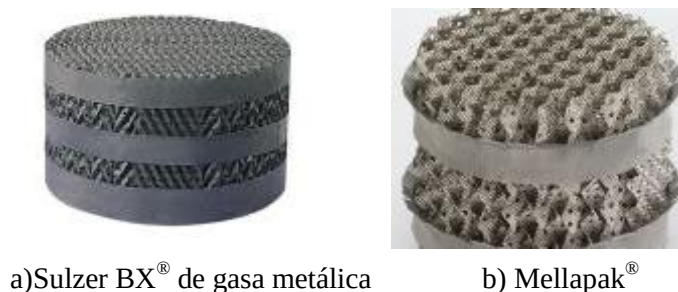
El solvente empleado debe presentar una buena solubilidad del gas por absorber; escasa volatilidad o baja presión de vapor, para no contaminar el gas pobre con vapores de solvente o no perder solvente en el gas pobre; ser estable, poco corrosivo; poco viscoso; no tóxico; preferentemente no inflamable; no espumante; de fácil adquisición y bajo costo, una práctica común consiste en la recuperación del solvente para hacer costear su uso. Entre los solventes más usados se encuentra el agua y soluciones aminadas, comúnmente soluciones entre el 2 y 5 % de mono, di o trietanolamina (Canudas, 1993 y Henley y Seader, 1990). Un ejemplo típico lo constituye la absorción mediante agua líquida, del amoníaco contenido en una mezcla amoníaco-aire. El soluto se recupera posteriormente del

líquido mediante destilación y el líquido de absorción se puede reutilizar o desechar (McCabe y colaboradores, 1991).

Las columnas de contacto continuo o empacadas están rellenas de algún material inerte, como cerámica, metal, vidrio; denominado relleno o “empaque” (por la traducción del término “packing”, en inglés). Su objetivo es proporcionar la mayor superficie de contacto entre las fases gas y líquida; y además, ofrecer la menor resistencia al flujo gaseoso. Entre las características que deben poseer los empaques están: a) ser químicamente inertes con respecto a los fluidos presentes en la operación, b) presentar resistencia mecánica para permitir su fácil manejo e instalación, pero sin tener un peso excesivo y c) ser de bajo costo. Existen 3 tipos comunes de materiales de relleno: anillos, silletas o monturas y mallas. Los anillos más frecuentes son los: 1) Raschig, 2) Pall (también conocidos como Flexirings o anillos de cascada) y como una variante los Hy-Pak. Entre las monturas más comunes están las Berl e Intalox; y con referencia a las mallas se tienen las de arreglos en cilindro. Las figuras 10.1 y 10.2 muestran los empaques antes mencionados. Tales rellenos se suelen clasificar, según su acomodo interno, en dos grupos: aleatorios (anillos y monturas) y estructurados (mallas). Es importante mencionar, que además de los rellenos tradicionales hechos de los materiales arriba mencionados; en los últimos años se han desarrollado empaques más eficientes, ligeros y resistentes (figura 10.3), de materiales como acero inoxidable 304, 410, 316; aleaciones de aluminio; plásticos resistentes al calor, corrosión y químicos, entre ellos, polipropileno reforzado (PPR), policloruro de vinilo (PVC), policloruro de vinilo tratado con cloro (PVCC) y el polifluoruro de vinilideno (PVDF) (Canudas, 1993; Henley y Seader, 1990; Treybal, 2001 y Sulzer Chemtech, 2002).



Figura 10.1. Empaques para columnas: (a) Anillo Raschig. (b) Silleta Intalox (c) Anillo Pall. (d) Silleta Berl. (e) Anillo Hy-Pak (Castro y colaboradores, 2010).



a) Sulzer BX[®] de gasa metálica

b) Mellapak[®]

Figura 10.2. Empaques tipo malla (Sulzer Chemtech, 2002).



a) Anillo Nutter[®]



b) Anillo-C[®]



c) Anillo-P[®]



d) Empaques diversos de plástico

[®] Denota marca registrada

Figura 10.3. Empaques aleatorios (Sulzer Chemtech, 2002 y Chemicalpacking, 2004).

Las columnas empacadas contienen en la parte inferior un plato soporte, que resiste el peso del empaque y permite la salida del líquido que baja, así como del gas que entra. En la parte superior se encuentra el plato distribuidor, cuya función es repartir el líquido en toda la sección transversal de la columna, con la finalidad de que resbale mojando las paredes del empaque de forma uniforme, de tal forma que no queden espacios secos, en los que no se produciría transferencia de masa y la resistencia al flujo gaseoso sería menor, por lo que el gas ascendería por la columna sin contactar al líquido (Canudas, 1993). Las torres grandes frecuentemente tienen redistribuidores de líquido, por cada 8 a 20 pies de profundidad de empaque al azar, con la finalidad de recolectar el líquido de la pared de la columna y dirigirlo hacia el centro de ésta, para mejorar el contacto en la sección más baja del empaque (Barbour y colaboradores, 1995).

En una columna empacada con cierto tipo y tamaño de empaque, y con un flujo conocido de líquido, existe un límite máximo para la velocidad del flujo de gas, llamado velocidad de inundación. Si la columna opera con una velocidad del gas superior, dicha velocidad es tan alta que impide la caída libre de la fase líquida dentro de la zona empacada, reteniendo al líquido en las cavidades del empaque; esta condición tiende a provocar que el gas y el líquido fluyan sin ponerse en contacto, lo cual resulta en una operación de baja eficiencia por su pobre transferencia de masa. Por lo anterior, durante la operación real de una torre, la velocidad del gas se mantiene por debajo del punto de inundación, que suele aproximarse entre el 60 y 70 % de la velocidad de inundación, en función de un balance económico entre los costos de energía y los costos fijos del equipo (Canudas, 1993) y (Barbour y colaboradores, 1995).

Para el diseño de una columna se busca conseguir la máxima transferencia de contaminante con el mínimo consumo de energía y de tamaño de la columna, es decir, al menor costo. El

cálculo principal es la altura necesaria para conseguir la eficiencia deseada; otros parámetros de diseño importantes son el diámetro de la columna, el flujo y concentración del gas a tratar, el flujo de líquido (solvente mínimo), el tipo de empaque y la caída de presión.

La altura de la columna se obtiene a partir del cálculo de la Altura de la Unidad de Transferencia (HTU, por sus siglas en inglés), y como ésta depende del tipo de empaque y del diámetro de la columna, se requiere determinar primeramente estos parámetros.

La caída de presión (ΔP) también es una variable clave en el diseño de columnas empacadas. Eckert (1975) establece que caídas de presión superiores a 1.5 pulgadas de agua/pie de empaque (in agua/ft empaque) están próximas a la inundación y deben evitarse (figura 10.4). Por otro lado, valores inferiores a 0.20 in agua/ft, pueden ocasionar un contacto pobre entre el gas y el líquido, reduciendo la eficiencia de la transferencia de masa de la operación. De lo anterior se sugiere que el cálculo del diámetro de la columna y del empaque se puede basar en la caída de presión. La figura 10.5 muestra el algoritmo para el cálculo del diámetro de la columna y el tamaño del empaque propuesto por Henley y Seader (1990) (Canudas, 1993).

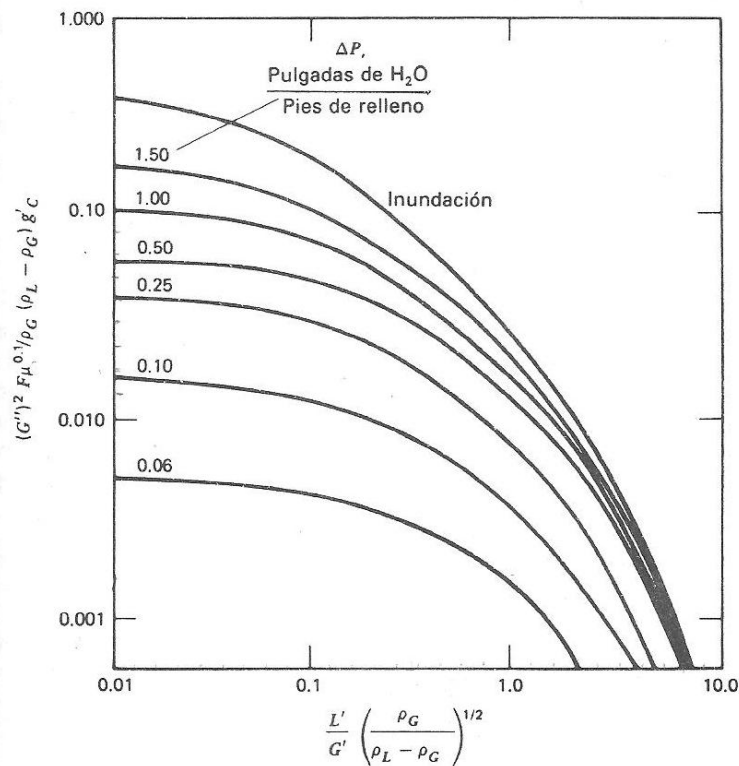


Figura 10.4. Correlación de Eckert para la caída de presión (Henley y Seader, 1990).

donde:

F = factor de empaque que caracteriza la capacidad de flujo. (En el anexo B se dan valores de F deducidos de datos experimentales tomados de Eckert para diferentes tipos de empaque) (Henley y Seader, 1990).

G'' = flujo de gas, lb/h·ft²

ρ_L = densidad del líquido, lb/ft³

μ =viscosidad del líquido, cp
 g_c =constante gravitacional, $4.17 \times 10^8 \text{ ft/h}^2$

ρ_G =densidad del gas, lb/ft^3

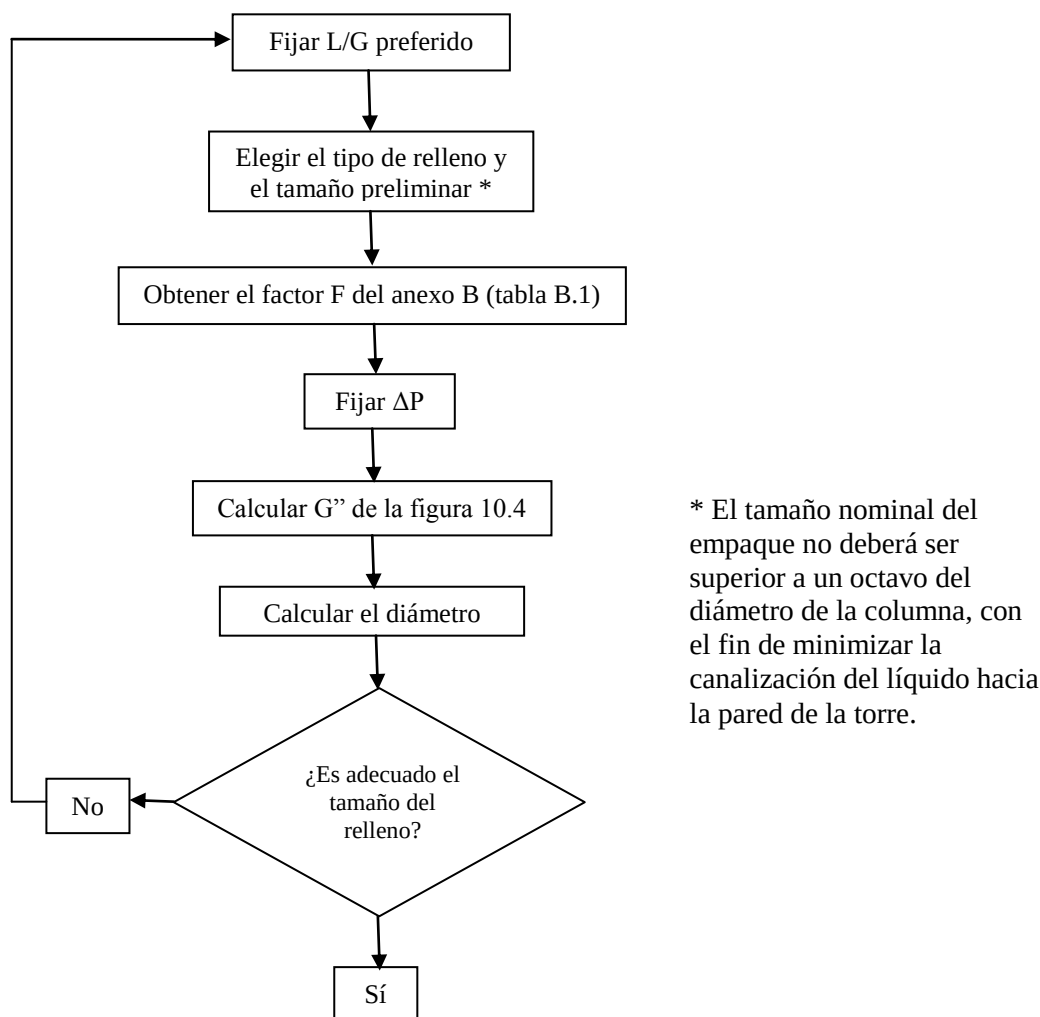


Figura 10.5. Algoritmo para el cálculo del diámetro de la columna y tamaño nominal del relleno (Henley y Seader, 1990).

Además de las columnas empacadas y de platos, otros dispositivos que se basan en principios de absorción son las torres de limpieza por venturi y las cámaras de aspersión, ampliamente usadas para el control de la contaminación (Barbour y colaboradores, 1995).

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

La presente práctica aborda el rubro 3.3 del programa de estudio, que lleva por nombre: Determinación de la eficiencia de remoción en una columna de absorción de gas, por lo que se presentan los principios que rigen este tipo de operación de transferencia de masa, y se

calcularán los principales parámetros para la absorción de gases contaminantes del aire, a través de una corrida experimental en este tipo de columna.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

Columna de absorción rellena con algún tipo de empaque (anillos Raschig, silletas Intalox).

Mezcla gaseosa a separar

Líquido (solvente) a utilizar, generalmente agua

Reloj o cronómetro

Jeringa hipodérmica de 5 mL

Termómetro

Equipo para medir concentración de soluto: Cromatógrafo de gases, pHmetro o equipo para titulación.

Bomba de desplazamiento positivo

Equipo de seguridad: Bata, lentes de seguridad, protectores auditivos.

METODOLOGÍA

a) Planeación del experimento

Investigar el tipo de empaque que contiene la columna de absorción (en el laboratorio de equipo pesado del ITT se cuenta con una columna). Anotar las características de la columna: altura del lecho empacado, diámetro de la torre, tipo de empaque, tamaño nominal, factor de empaque F (ft^2/ft^3), presión de operación.

Elegir el soluto que se someterá al proceso de absorción; por ejemplo, el CO_2 de una mezcla con aire, puede ser absorbido con agua o solución de monoetanol amina (MEA).

En caso de ser requerido, preparar el volumen necesario del líquido a usar (120 litros), en la concentración requerida. Ejemplo: MEA al 15% en peso.

Fijar la eficiencia de absorción que se desea obtener o cantidad de soluto (moles) que se desea absorber.

Establecer la relación de líquido (solvente, L_{N+1}) con la que se trabajará, usualmente entre 1.5 y 2 veces el solvente mínimo.

Determinar el caudal de alimentación de líquido y gas que se trabajará en el experimento.

Determinar la técnica a utilizar para medir la concentración del soluto en el líquido que sale de la columna, ejemplo: potenciometría, cromatografía, titulación, entre otras.

b) Datos de equilibrio del sistema soluto-líquido

Se pueden obtener de dos formas:

1.A partir de los datos experimentales de concentraciones/presiones parciales de las fases en el equilibrio para el sistema soluto-líquido a la presión y temperatura de trabajo. Estos datos pueden encontrarse en forma de gráficas o tablas en la bibliografía especializada: Perry, 2003; McCabe, 1991; Treybal, 2001; Zarza y López, 1988.

2.A partir de la constante de la ley Henry, para el soluto utilizado y a la temperatura de trabajo. En el Anexo C, se encuentra la gráfica de las constantes de la ley de Henry en función de la temperatura para diversos gases disueltos en agua.

c) Elaboración de balances de materia

Dibujar el esquema de la torre empacada indicando las corrientes de entrada y salida, tanto del gas (mezcla gaseosa alimentada, gas pobre), como del líquido (solvente, solución rica).

A partir del dato de eficiencia de absorción que se desea lograr y los flujos que el profesor proporcionará, realizar los balances de materia correspondientes para determinar todos flujos que entran y salen de la columna, así como su composición (fracción molar).

d) Cálculo del solvente mínimo ($L_{MÍN}$)

Para poder obtener el flujo (moles/h) de líquido (solvente) que se requiere para absorber las moles de soluto deseadas (L_{N+1}), se debe calcular el solvente mínimo.

$$L_{MÍN} = \frac{V_0 \cdot y_0 - V_N \cdot y_N}{\frac{x^*_1}{1 - x^*_1}}$$

donde:

$L_{MÍN}$ = solvente mínimo, moles/hora

V_0 = moles de la mezcla gaseosa alimentada a la columna/hora

V_N = moles de la mezcla gaseosa que sale de la columna (gas pobre)/hora

y_0 = fracción mol de la mezcla gaseosa alimentada

y_N = fracción mol del gas pobre

x^*_1 = fracción mol en el equilibrio de la solución rica que sale de la columna. Se obtiene de los datos en el equilibrio mencionados en el inciso b

e) Cálculo del flujo de líquido (solvente) requerido o real (L_{N+1})

Obtener el flujo (moles/h) de líquido para absorber las moles de soluto deseadas usando la relación establecida en inciso b:

$$L_{N+1} = 1.5 \text{ a } 2 \text{ veces } L_{MÍN}$$

f) Cálculo de la caída de presión (ΔP)

Tomando como base el algoritmo de la figura 10.5:

Establecer el algoritmo requerido para obtener la caída de presión para los datos de la práctica.

Calcular ΔP^* .

*Se recomienda realizar los cálculos con los flujos del gas y líquido en el fondo de la columna, ya que éstos son mayores en comparación con los flujos en la parte superior de la torre (Henley y Seader, 1990).

Determinar si la ΔP calculada se encuentra dentro del rango aceptable, $0.25 < \Delta P < 1.5$ pulgadas de agua/pie de empaque, para prevenir inundación o contacto pobre en la columna.

Verificar que la ΔP obtenida, no exceda de 40 lb/in^2 , que es el valor de la presión máxima de operación (Zarza y López, 1988). NOTA: Hacer los cálculos necesarios para transformar la ΔP obtenida de la gráfica, en plg agua/pie de empaque, a lb/in^2 .

Recordar que se cuenta con los siguientes datos para la columna: Diámetro, tipo y tamaño de empaque, T y P de operación, flujos* del gas y líquido.

En caso de no cumplirse el rango aceptable para ΔP (pulgadas de agua/ft de empaque), proponer que datos se podrían modificar para poder cumplir con el valor de ΔP , y repetir los cálculos con las nuevas condiciones.

g) Operación de la columna y obtención de datos

Condiciones de la columna del laboratorio de equipo pesado del ITT:

Presión máxima de operación: 40 lb/in^2

Temperatura máxima de operación: 300°C, cuidando de no someter a cambios bruscos de temperatura que excedan a 120°C de diferencia (Zarza y López, 1988)

En la figura 10.6 se muestra un dibujo de la torre empacada del ITT.

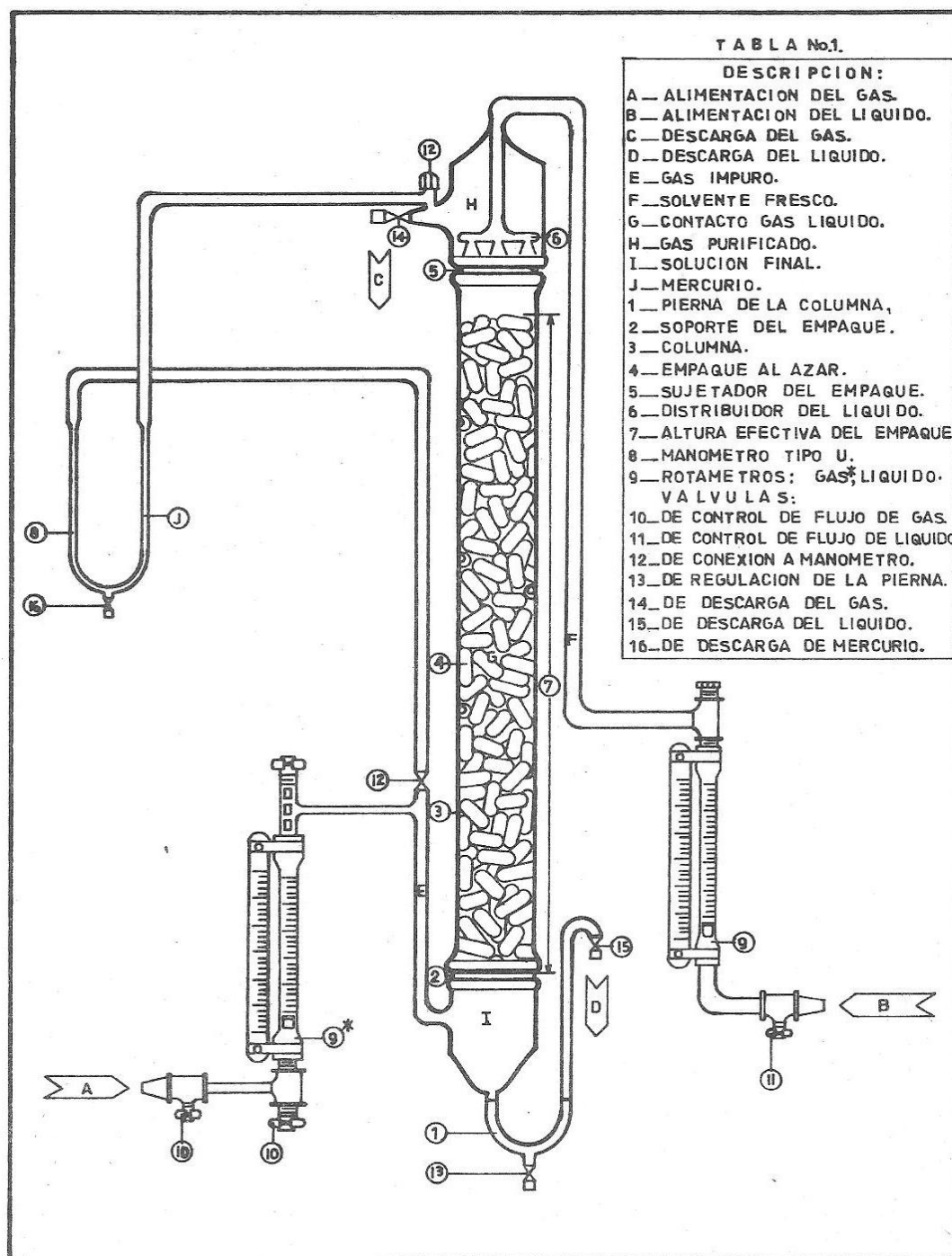


Figura 10.6. Torre empacada del laboratorio de equipo pesado del ITT (Zarza y López, 1988).

Si se cuenta con una columna de lecho fijo, anotar los pasos que sigue el encargado de la planta piloto para arrancar la operación de la columna y ajustar los flujos de gas y líquido. Tomar una muestra de la disolución que ingresa a la columna empacada, para determinar la concentración inicial del soluto (C_0) a eliminar.

El seguimiento de la operación, es decir, la medición de la concentración de soluto en el líquido que sale de la columna con respecto al tiempo, se llevará a cabo con la técnica elegida en el inciso a). Por ejemplo, el CO_2 se puede determinar en el agua mediante valoración ácido-base con disolución de NaOH, utilizando fenolftaleína como indicador de punto final.

Abrir la válvula de alimentación del solvente y de la mezcla gaseosa a tratar, ajustando los caudales a los valores determinados anteriormente.

Tomar ese momento como tiempo cero y en intervalos regulares de tiempo (cada 2 o 5 minutos), tomar alícuotas de la corriente líquida que abandona la columna, a la salida del lecho empacado, con el propósito de determinar el contenido de soluto en el agua que sale de la columna. La toma de muestras puede realizarse con jeringa (UNAM, 2003) y (Univ. Politécnica de Cataluña, 2011).

Registrar caída de presión, temperaturas del gas y líquido a la entrada y salida de la columna.

Vigilar en todo momento la estabilidad de los flujos para la correcta lectura de datos.

Tomar las lecturas de flujos de alimentación de gas y líquido de las escalas que están en las reglillas a un costado de los rotámetros, y la caída de presión mediante el manómetro (Zarza y López, 1988).

h) Cálculo de la eficiencia

Calcular la eficiencia de la columna para las condiciones de operación llevadas a cabo en la práctica y expresarla en %.

i) Limpieza de la torre

En caso de haber utilizado como solvente un líquido diferente del agua: circular agua por la columna empacada durante 15-20 minutos para eliminar residuos de la solución empleada.

Circular aire por la columna y rotámetros durante 15 minutos para secar empaque y rotámetros (Zarza y López, 1988).

Medidas de seguridad:

Tener cuidado de no manejar gastos mayores a los indicados en los rotámetros y no exceder la presión de operación de 40 lb/in^2 .

Usar mangueras apropiadas a la presión que se va a manejar y al tipo de flujo, sea gas o líquido.

Tener cuidado de no golpear la columna o estructura.

En caso de manejar cilindros de algún gas, fijarlos a la pared y no golpearlos, ni golpear el regulador.

Cuando los cilindros no estén en uso, las válvulas de salida deben mantenerse herméticamente cerradas.

Al terminar el experimento, vaciar totalmente de líquido, tanto el equipo como los rotámetros.

Si la solución se desea recuperar, recolectarla en depósitos apropiados (Zarza y López, 1988).

Cuando se trabaje este método, debe usarse todo el tiempo el equipo de seguridad indicado en “Material y equipo necesario”.

Recogerse el cabello.

Mantener limpio el piso.

Limpiar inmediatamente cualquier líquido derramado.

Mantener despejadas las áreas de trabajo.

Para el manejo del NaOH es necesario el uso de lentes de seguridad, bata y guantes de neopreno, nitrilo o vinilo. Siempre debe manejarse en una campana y no deben utilizarse lentes de contacto al trabajar con este compuesto.

En el caso de trasvasar pequeñas cantidades de disoluciones de sosa con pipeta, utilizar una propipeta, NUNCA ASPIRAR CON LA BOCA (UNAM, 2007).

Cuando se diluyen, ácidos y bases fuertes, debe evitarse el contacto con la piel y vías respiratorias.

La preparación de ácidos y bases debe efectuarse bajo una campana de extracción.

El ácido sulfúrico concentrado es un producto químico altamente corrosivo que debe manejarse con extremo cuidado. El adicionar ácido sulfúrico concentrado al agua produce una fuerte reacción exotérmica, por lo cual debe realizarse lentamente.

Los desechos ácidos o básicos se deben neutralizar para su posterior desecho.

Todas las muestras que cumplan con la norma de descarga a alcantarillado pueden descargarse en el mismo sistema.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

-Se recomienda pedir como prelaboratorio los diagramas de bloques mencionados en el reporte del alumno.

-Preparar por anticipado material y soluciones a utilizar, para optimizar el tiempo de la práctica.

-Revisar los cálculos para la preparación de las soluciones.

-Pedir a los estudiantes que lleven una bitácora con todas las observaciones y resultados obtenidos.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

-Portada (bajarla del portal del ITT).

1. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Realizar un dibujo que muestre cada una de las partes de la columna empacada utilizada en la práctica.

2.2. Elaborar una tabla que contenga la siguiente información para la operación de absorción: Parámetros de operación, descripción, importancia, rango de operación (para la columna del laboratorio J del ITT).

NOTA: Se recomienda consultar el tema 1.2.4 Operación de la Torre Empacada, de Barbour y colaboradores, reportado en la bibliografía preliminar; así como a Zarza y López, 1988.

2.3. Explicar en qué consiste el efecto de pared, y cómo se puede contrarrestar.

2.4. Mencionar 5 aplicaciones del proceso de absorción en el área ambiental.

3. METODOLOGÍA

3.1. Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos que se siguieron en el experimento con la columna de absorción para la obtención de las condiciones de operación.

4. RESULTADOS

4.1. Reportar los siguientes parámetros de operación:

Esquema de la torre empacada indicando los flujos molares y composiciones (fracciones molares) de las corrientes de entrada y salida, tanto del gas (mezcla gaseosa alimentada, gas pobre), como del líquido (solvente, solución rica).

Eficiencia que se buscó obtener.

Presión y temperatura de operación de la columna.

Diámetro interior de la columna.

Altura del lecho empacado.

Características del empaque (relleno): tipo, tamaño, material.

Tipo de circulación: en contracorriente o en paralelo.

Datos de equilibrio del sistema gas-líquido a la temperatura y presión.

Cálculos de $L_{MÍN}$ y L_{N+1} .

Cálculo de ΔP y verificaciones de que el valor se encuentra dentro de los rangos recomendados.

NOTA: Todos los cálculos deben incluir:

Datos, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades.

4.2. Reportar el método usado para medir la concentración de soluto y elaborar una tabla con los resultados de las concentraciones de soluto en el líquido para los diferentes tiempos.

Incluir un ejemplo de cálculo con ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades.

4.3. Calcular la eficiencia real

5. CONCLUSIONES: Revisar el objetivo de la práctica y redactar las conclusiones que se piden a continuación.

5.1. Conclusiones individuales.

5.1. Conclusiones del equipo.

6. FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

Barbour, W.; R. Oommen, G. S. Shareef y W.M. Vatauvuk.. 1995. Sección 5.2 Controles post-combustión. Chapter 1 Torres de limpieza húmeda para gas ácido. EPA 452/B-02-002. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Carolina del Norte, USA.
<http://www.epa.gov/ttn/catc1/dir2/cs5-2ch1-s.pdf>

Canudas S., E. 1993. Operaciones unitarias de Ingeniería Química. Volumen I. Instituto Tecnológico de Veracruz. Veracruz, México.

Chemicalpacking. 2004. Empaque de plástico aleatorio. España.
<http://www.chemicalpacking.es/6-plastic-random-packing.html>

Henley, E. J. y J. D. Seader. 1990. Operaciones de separación por etapas de equilibrio en Ingeniería Química. Repla. México, D.F.

McCabe, W.L.; J. C. Smith y P. Harriot. 1991. Operaciones unitarias en Ingeniería Química. 4ª ed. McGraw Hill. Madrid, España.

Perry, R.H. y D.W. Green, Eds. 2003. Adsorción e intercambio iónico. Manual del Ingeniero Químico. Vol. III. 7ª ed. Mc Graw Hill. Madrid, España.

Sulzer Chemtech. 2002. Empaques aleatorios. Winterthur, Suiza.
<http://www.sulzer.com/es/Products-and-Services/Separation-Technology/Random-Packings>

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2007. Hoja de seguridad II. Hidróxido de sodio. Facultad de Química. México, D.F.
<http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/2hsnaoh.pdf>

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2003. Prácticas de laboratorio de Procesos de separación I. Experimento 6: Absorción de CO₂. Facultad de Química. México, D.F. <http://depa.fquim.unam.mx/procesos/PDF/ProcesosI.pdf>

Universidad Politécnica de Cataluña. 2011. Planta piloto de absorción de gases. Departamento de Ingeniería Minera y Recursos Naturales. Barcelona, España.
<http://epsem.upc.edu/~plantapilot/castella/procediment.html>

Zarza A., E. y A. López G. 1988. Instructivo de operación y prácticas para la columna empacada de absorción del laboratorio de Ingeniería Química. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Toluca. Metepec, México.

Práctica No. 11

Corrida experimental en reactor biológico de mezcla completa

OBJETIVO

Conocer el funcionamiento de un reactor biológico de mezcla completa y determinar sus parámetros de operación y diseño.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento biológico tiene como objetivo eliminar la materia orgánica disuelta. Para ello se emplean millones de microorganismos cuya función es degradar la materia orgánica para transformarla en más microorganismos (biomasa) y en sustancias más sencillas, tales como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), nitrógeno amoniacal (NH_3), nitratos (NO_3^-) y agua (H_2O).

Las bacterias son los organismos que desempeñan el papel más importante en dicha transformación, al encargarse de degradar la materia orgánica presente en el agua. Por eso es importante que la materia orgánica llegue en un tamaño tal que permita la asimilación rápida por parte de estos microorganismos. Como se sabe, las sustancias se consideran disueltas cuando el tamaño de partícula es menor a $0.001 \mu\text{m}$. En la medida en que las partículas tienen un tamaño mayor, resulta más difícil su asimilación por parte de las bacterias; primero tendrán que segregar exo-enzimas para que se lleve a cabo la hidrólisis (ruptura) de las partículas y, una vez llevadas a un tamaño adecuado, poderlas consumir. Con base en su afinidad con el oxígeno las bacterias son aerobias, anaerobias o facultativas. Las que requieren un ambiente con oxígeno molecular (O_2) para desarrollarse, se denominan aerobias; las bacterias que proliferan en un ambiente carente de oxígeno son anaerobias. Existen bacterias que pueden desarrollarse en ambientes aerobios o anaerobios; éstas se conocen como facultativas. Las bacterias al consumir la materia orgánica, independientemente de su afinidad por el oxígeno, la transforman. Como producto de la transformación hay generación de nuevas células y otras sustancias. La figura 11.1 muestra los productos finales que se obtienen por las vías aerobia y anaerobia.

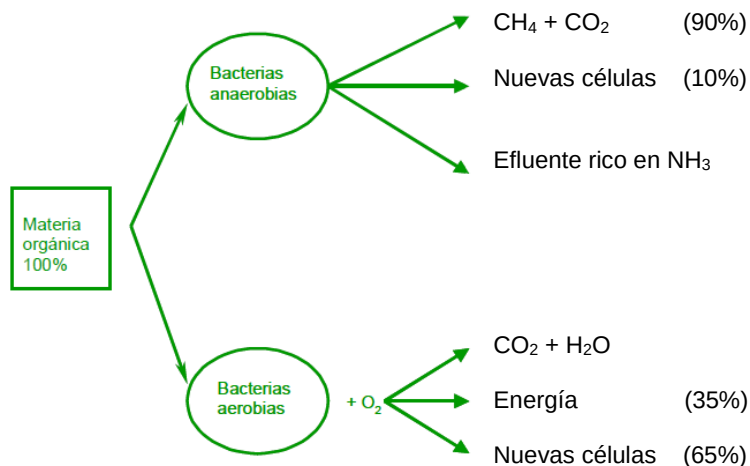


Figura 11.1. Productos finales de la digestión aerobia y anaerobia (Calderón y colaboradores, 2004)

Se puede observar que durante la oxidación aeróbica se libera una cantidad considerable de energía, en consecuencia, la mayoría de los organismos aeróbicos tienen altas tasas de crecimiento, presentándose una producción relativamente grande de nuevas células y generándose mayor cantidad de lodo biológico que en los procesos anaeróbicos. Además, un espectro más amplio de materiales orgánicos es susceptible de ser degradado por vía aeróbica más que por vía anaeróbica. Lo anterior, aunado a que los productos finales se oxidan mientras no tengan un contenido de energía muy bajo, genera un producto final más estable. Por su parte, las bacterias anaerobias dirigen la mayor parte de su actividad a generar gases (metano y bióxido de carbono), sin embargo, el número de sustratos para la formación de metano es limitado (ver Práctica No. 12), en consecuencia el agua tratada por vía anaerobia tiene una calidad inferior que la de los sistemas aerobios (Calderón y colaboradores, 2004) y (Davis y Masten, 2005).

La descomposición aeróbica por lo general es el método elegido para tratar grandes volúmenes de agua residual con bajo contenido orgánico (menos de 500 mg/L de DBO₅), ya que es rápida, eficiente y con bajo potencial de generar olores desagradables. Mientras que las aguas residuales concentradas (DBO₅ mayores de 1000 mg/L), no son recomendables de tratar por vía aeróbica, debido a la dificultad para suministrar el oxígeno suficiente y a la gran cantidad de lodos que se producen, lo que haría muy elevado su costo. Ambos tipos de tratamiento tienen sus ventajas y desventajas, las cuales se mencionan en la práctica No. 12.

Además de las bacterias, otros organismos de importancia durante el tratamiento biológico son: A) Los protozoarios, organismos unicelulares que se alimentan de bacterias y otras partículas orgánicas, constituyen la segunda etapa de la cadena alimenticia y su función radica en controlar de las poblaciones bacterianas y ayudar a dar consistencia y peso a la biomasa; la mayoría de los protozoarios son aerobios, sin embargo, se encuentran algunos anaerobios. B) Los rotíferos son organismos multicelulares, heterótrofos y aerobios, su nombre proviene de dos juegos de cilios rotativos en su cabeza que utilizan tanto para moverse como para procurarse alimento; consumen protozoarios, bacterias y algunas partículas orgánicas; su función es de pulimento del efluente; debido a que no toleran niveles bajos de oxígeno disuelto ni concentraciones medias o altas de DBO, su presencia en los efluentes de los sistemas de tratamiento es un indicador de un buen nivel de tratamiento y de un contenido alto de oxígeno disuelto. C) Las algas, organismos uni o multicelulares y autótrofos, son fundamentales para el tratamiento con lagunas de estabilización, ya que oxigenan el agua. D) Los hongos son organismos no fotosintéticos y heterótrofos; son poco comunes en los sistemas de tratamientos de aguas residuales urbanas, su presencia en abundancia se asocia, por lo general, a condiciones de pH demasiado bajos. Pueden ser usuales en procesos industriales. Un aspecto importante es que sus células solo requieren la mitad del nitrógeno que las bacterias, por lo que en un agua residual con deficiencia de nitrógeno y pH bajo, predominarán sobre las bacterias (Calderón y colaboradores, 2004) y (Davis y Masten, 2005).

De lo anterior, se puede resumir que el tratamiento biológico es una cadena alimenticia que se lleva a cabo dentro de un reactor: las bacterias consumen la materia orgánica presente en el agua residual, la mayor parte la aprovechan para su crecimiento y reproducción y el resto lo transforman en sustancias inorgánicas tal como bióxido de carbono y agua. Una vez transformada la materia orgánica en biomasa, es necesario separarla del agua, de lo contrario, para efectos prácticos, no ha habido tratamiento. La separación de la biomasa se realiza por efecto de la gravedad: en los sistemas aerobios mediante sedimentadores

secundarios; y en los procesos anaerobios, generalmente, la separación ocurre dentro del mismo reactor, ya que la producción de biomasa es mucho más limitada y generalmente está adherida a un soporte.

Los sistemas biológicos se pueden clasificar con base en la vía metabólica de los microorganismos que lo integran y en la forma en que los microorganismos se ubican dentro del reactor, así se distinguen cuatro grupos: 1)aerobios de biomasa (o cultivo) en suspensión, 2)aerobios de biomasa fija (o adherida), 3)anaerobios de biomasa no adherida y 4)anaerobios de biomasa fija (Calderón y colaboradores, 2004).

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

La presente práctica aborda directamente el rubro 4.1.1. Reactor aerobio de mezcla completa, del programa de estudio, ya que se trabajará con un reactor de este tipo, para que el estudiante conozca su funcionamiento y variables de operación.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

Reactor de mezcla completa del Laboratorio de equipo pesado de Ingeniería Química del ITT (ver figura 11.2)

Agua residual de tipo doméstica o agua residual sintética: las cantidades mencionadas a continuación son para preparar 25 litros (Castellar y colaboradores, 2008):

Peptona (medio carbonado): 7 g., urea: 0.75 g., NaCl: 0.175 g., $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$: 0.1 g., $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$: 0.05 g., K_2HPO_4 : 0.7 g.

Lodo activado fresco como inóculo

Bomba de desplazamiento positivo

Manguera para aireación

pHmetro y conductímetro

Microscopio óptico

Portaobjetos y cubreobjetos

Colorante azul de metileno

Equipo de seguridad: Bata, lentes de seguridad, guantes, protectores auditivos, cubrebocas.



Figura 11.2. Reactor de mezcla completa del ITT

a)Determinación de SSV

Consultar inciso f de la práctica No.1.

b)Determinación de DBO₅ (consultar NMX-AA-028-SCFI-2000 y Sawyer, 2000)

Equipo de aireación con difusor

Incubador: Controlado por termostato a 20°C ± 1°C. Eliminar toda la luz para evitar la posibilidad de producción fotosintética de oxígeno disuelto.

Balanza analítica con precisión de 0.1 mg

Medidor de oxígeno disuelto

Botellas Winkler de vidrio para incubación con capacidad de 300 mL de aforo total y con boca estrecha, reborde y tapón de vidrio esmerilado, de forma cónica.

Contratapa de politetrafluoroetileno u otro material plástico para botella Winkler

Material de vidrio y reactivos para preparación de disoluciones

METODOLOGÍA

a)Muestreo

Calcular el volumen adecuado de muestra, tomando en cuenta el volumen del reactor, si se operará en forma continua o por lote, así como la toma de muestras para realizar los análisis necesarios para el seguimiento de la operación.

Consultar inciso a)Muestreo, de la práctica No. 1 y tomar el volumen de muestra calculado en el punto anterior.

Si se prefiere, se puede preparar agua residual sintética, según lo indicado en el apartado de “Material y equipo necesario” y ajustando las cantidades de reactivos según el volumen de muestra calculado.

b)Determinación de parámetros iniciales del agua residual

Tomar una muestra del agua residual y determinar pH, conductividad, sólidos suspendidos volátiles, DBO₅.

c)Determinación de SSV

Consultar inciso f de la práctica No.1.

d)Determinación de DBO₅

Preparar las siguientes soluciones según NMX-AA-028-SCFI-2000 (SEMARNAT, 2011):

- Solución amortiguadora de fosfato
- Solución de sulfato de magnesio
- Solución de cloruro de calcio
- Solución de cloruro férrico
- Solución de ácido sulfúrico 0.1 N
- Solución de hidróxido de sodio 0.1 N
- Solución de sulfito de sodio
- Solución patrón de glucosa-ácido glutámico
- Solución de cloruro de amonio

d.1)Preparación de diluciones (se recomienda usar dos diluciones diferentes)

Para preparar el agua de dilución:

- Agregar 1 mL de cada uno de los nutrientes por cada litro de agua de dilución.
- Aforar 1 litro de agua destilada.

- Colocar en un recipiente y agregar: 1 mL de disolución amortiguadora, 1 mL de disolución de sulfato de magnesio, 1 mL de disolución de cloruro de calcio, 1 mL de solución de cloruro férrico.
 - Mezclar perfectamente.
 - Instalar el aireador en el recipiente que contiene el agua destilada con nutrientes.
- Para realizar las diluciones, los valores recomendados son al 0.5 %, 1 % o 5 %.

Elegir 2 valores de diluciones y prepararlas según las cantidades indicadas en la tabla 11.1.

Tabla 11.1. Preparación de diluciones (UNAM, 2008)

<i>Dilución al 0.5%</i>	<i>Dilución al 1%</i>	<i>Dilución al 5%</i>
5 ml de agua de muestra	10 ml de agua de muestra	50 ml de agua de muestra
995 ml de agua de dilución	990 ml de agua de dilución	950 ml de agua de dilución

Llenar 2 frascos Winkler de 300 mL con cada una de las diferentes diluciones, rotular (con fecha y % de dilución).

Guardar un frasco de cada dilución en la incubadora a 20°C, para su análisis posterior.

Con los 2 frascos Winkler restantes se determinará el oxígeno disuelto inicial.

d.2)Determinación de O.D.inicial

Neutralizar a un pH entre 6.5 y 7.5.

Determinar el oxígeno disuelto (O.D.) inicial (por el método yodométrico de azida modificado o por el método electrométrico con electrodo de membrana, de acuerdo a lo establecido en la norma mexicana NMX-AA-012-SCFI). Se recomienda hacerlo por duplicado.

NOTA:La medición del O.D. debe ser realizada inmediatamente después de destapar la botella de Winkler, para evitar la absorción de oxígeno del aire por la muestra.

d.3)Determinación de O.D. final

·Incubar durante 5 días las botellas a 20°C.

·A los 5 días determinar el O.D. final según el método usado para medir la concentración de O.D. inicial.

d.4)Cálculo de la DBO₅

Cuando no se utilicen diluciones:

$$DBO_5 \text{ (mg/L)} = O.D_i \text{ mg/L} - O.D_5 \text{ mg/L}$$

donde:

O.D_i mg/L es el oxígeno disuelto inicial, y

O.D₅ mg/L es el oxígeno disuelto al quinto día.

Cuando se emplean diluciones:

$$DBO_5 \text{ (mg/L)} = \frac{O.D_i \text{ mg/L} - O.D_5 \text{ mg/L}}{\% \text{ de dilución expresado en decimales}}$$

e)Características del biorreactor

Investigar:

·Tamaño, capacidad, tipo, etc.

·Variables a verificar para el seguimiento de la operación del reactor (temperatura, pH, tiempo de retención, entre otras).

·Métodos a seguir para verificar las variables anteriores.

·Condiciones finales

f)Corrida en reactor de tipo batch para el tratamiento de agua residual

Seguir las instrucciones del encargado del Laboratorio de equipo pesado para realizar la puesta en marcha del reactor.

Suministrar aireación al agua dentro del reactor con ayuda de una manguera de látex y una piedra difusora (como las usadas en las peceras).

Inocular 1 mL de lodos activados por cada litro de agua residual.

Estabilizar los parámetros de operación del reactor.

Realizar la toma de muestras cada 30 minutos o cada hora para determinar pH, conductividad, sólidos suspendidos volátiles.

Al finalizar el tiempo de retención deseado para el tratamiento biológico, suspender la aireación, y dejar el licor mixto en reposo para que se lleve a cabo la sedimentación de los lodos.

g)Determinación de parámetros finales.

Al finalizar el tiempo de retención deseado para el tratamiento biológico, tomar otra muestra del licor mixto, y determinar:

pH, conductividad, sólidos suspendidos volátiles, DBO_5 , índice volumétrico de los lodos (IVL) y realizar la observación al microscopio de las especies presentes en el reactor.

h)Observación al microscopio

Tomar 100 mL de muestra del reactor.

Dejar destapadas para que el oxígeno se difunda.

Las muestra han de ser observadas al microscopio lo antes posible ya que las condiciones cambian y con ellas las poblaciones de microorganismos

Las muestras se observan en vivo pues el tipo de movimiento de los organismos puede dar información importante sobre el grupo al que pertenecen.

Colocar una gota de muestra en el portaobjetos y se poner un cubreobjetos.

Observar bajo el microscopio óptico, comenzando con el lente de menor aumento.

Tomar nota y dibujar organismos observados.

g)Vaciado y limpieza del reactor

Seguir instrucciones del encargado del laboratorio para su correcto vaciado y limpieza.

h)Determinar la eficiencia del tratamiento

Calcular la eficiencia en función del contenido de SSV, la DBO_5 y la conductividad.

Medidas de seguridad:

Se debe usar todo el tiempo equipo de seguridad, tal como: bata, guantes de látex y lentes de seguridad.

Es importante tener especial cuidado al manejar la estufa y la mufla, se deben usar los guantes de protección al calor, la careta y las pinzas para crisol, ya que se trabajará la mufla a temperaturas de 500°C .

Consultar las hojas de seguridad sobre manipulación y disposición de todos los reactivos utilizados.

Cuando se diluyen bases fuertes, debe evitarse el contacto con la piel y vías respiratorias.

Los desechos ácidos o básicos se deben neutralizar para su posterior desecho.

Todas las muestras que cumplan con la norma de descarga a alcantarillado pueden descargarse en el mismo sistema.

Recogerse el cabello.

Mantener limpio el piso.
Limpiar inmediatamente cualquier líquido derramado.
Mantener despejadas las áreas de trabajo.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- Se puede realizar esta práctica en conjunto con la práctica No. 6 “Estudio de sedimentación impedida (retardada o zonal) y por compactación en una columna”, y así utilizar el licor mixto del reactor para hacer el estudio de sedimentación zonal en columna.
- Se recomienda pedir como prelaboratorio los diagramas de bloques mencionados en el reporte del alumno.
- Si se desea se pueden realizar tinciones con azul de metileno para una mejor observación al microscopio de los organismos presentes.
- Se sugiere preparar solo las cantidades necesarias de los diferentes reactivos, tanto para no desperdiciar reactivos, como para reducir las cantidades a neutralizar al finalizar la práctica.
- Preparar por anticipado material y soluciones a utilizar, para optimizar el tiempo de la práctica.
- La preparación de soluciones puede dividirse por equipos, para evitar que todos los equipos preparen las mismas soluciones y se desperdicien reactivos. Revisar que todos los equipos realicen los cálculos para la preparación de todas las soluciones, y no solo de las que les fueron asignadas.
- Pedir a los estudiantes que lleven una bitácora con todas las observaciones y resultados obtenidos.
- Para la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno, lavar el material como lo indica la norma mexicana, para evitar interferencias en los resultados.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

- Portada (bajarla del portal del ITT).
- 1. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.
- 2. FUNDAMENTO TEÓRICO
 - 2.1.Elaborar un mapa conceptual con información sobre la clasificación y ejemplos de los diferentes tipos de reactores aerobios (incluyendo las modificaciones al proceso de lodos activados).
Se recomienda consultar a Calderón y colaboradores, 2004.
 - 2.2.Elaborar un mapa conceptual con al menos 8 factores (ambientales, físico-químicos y biológicos) que afectan el proceso aeróbico, así como una breve descripción de su importancia.
 - 2.3.Elaborar una tabla que contenga la siguiente información sobre el tipo de proceso empleado en la práctica: Nombre del proceso, principio de operación, variables de operación.
 - 2.4.Mencionar 3 ejemplos de aplicación de procesos aerobios en el área ambiental, especificando tipo de efluente, condiciones de operación, lugar y referencia bibliográfica.
- 3. METODOLOGÍA
 - 3.1.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la determinación de DBO_5 .
 - 3.2.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la operación del reactor.

4. RESULTADOS

- 4.1. Reportar resultados de cada una de las determinaciones realizadas, incluyendo cálculos: Datos, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades.
- 4.2. Reportar en forma de tabla los aspectos que se pidió investigar en el inciso c de la metodología (características del reactor, variables a verificar para el seguimiento de la operación del reactor, métodos a seguir para verificar las variables anteriores, condiciones finales), explicando la importancia de cada una de las variables de operación del reactor.
- 4.3. Reportar las variables de operación manejadas durante la práctica, sus valores y unidades.
- 4.4. Calcular la eficiencia del tratamiento, indicando el parámetro usado para determinarla, por ejemplo, DBO₅.
- 4.5. Diagrama del reactor usado, indicando sus partes.
5. CONCLUSIONES: Revisar el objetivo de la práctica y redactar las conclusiones que se piden a continuación.
- 5.1. Conclusiones individuales.
- 5.2. Conclusiones del equipo.
6. FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

Calderón M., C.G.; Pozo R., F.; Arreortúa C., M.B. y Rivera C., L. M. 2004. Identificación y descripción de los sistemas secundarios de tratamiento de aguas residuales. Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Jiutepec, Morelos.
http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA/Noticias/Sistemas_secundarios.pdf

Castellar R., M.R; M. Alacid C., J.M. Obón Castro. 2008. Práctica de laboratorio: Planta piloto de tratamiento biológico de efluentes. Universidad Politécnica de Cartagena, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Comunicaciones de las I Jornadas Nuevas tendencias en la enseñanza de las ciencias y las ingenierías. Murcia, España.
http://www.murciencia.com/upload/comunicaciones/planta_piloto_efluentes.pdf

Davis, M. L. y S. J. Masten. 2005. Ingeniería y ciencias ambientales. Mc Graw Hill. México, D.F.

Sawyer, C. N.; P. L. McCarty; G. F. Parkin. 2000. Química para Ingeniería Ambiental. McGraw Hill. Colombia.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2011. Normas mexicanas en materia de agua. México, D.F
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nmx-agua.aspx>

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2008. Práctica No.1: Caracterización del agua residual. Laboratorio de Ingenierías Sanitaria y Ambiental. División de Ingenierías Civil y Geomática. México, D.F.
http://dicyg.fi-c.unam.mx:8080/labsanitaria/documentos/01_TAR.pdf

Práctica No. 12

Corrida experimental en reactor anaerobio para tratamiento de residuos sólidos

OBJETIVO

Conocer el funcionamiento de un reactor anaerobio, determinar sus parámetros de operación y diseño; así como analizar las ventajas y desventajas entre los procesos aerobios y anaerobios para el tratamiento de efluentes.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento biológico en condiciones anaerobias consiste en la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular, por una población bacteriana heterogénea hasta metano y dióxido de carbono (figura 12.1). Sus principales aplicaciones han sido: a) la estabilización de lodos primarios y secundarios producidos durante la depuración de aguas residuales; b) el tratamiento de aguas residuales con altas cargas orgánicas, recomendable para concentraciones mayores a 1,000 mg/L de DBO₅ (Crites y Tchobanoglous, 2000), como los efluentes de las industrias química, textil, farmacéutica, petroquímica, papelera, alimenticia (cervecera, refresquera, azucarera, de productos lácteos, de procesamiento de frutas y verduras); así como, c) el tratamiento de desechos sólidos orgánicos provenientes de mercados municipales (Buenrostro y colaboradores, 2000), rellenos sanitarios (Hernández y colaboradores, 2008), mataderos y granjas.

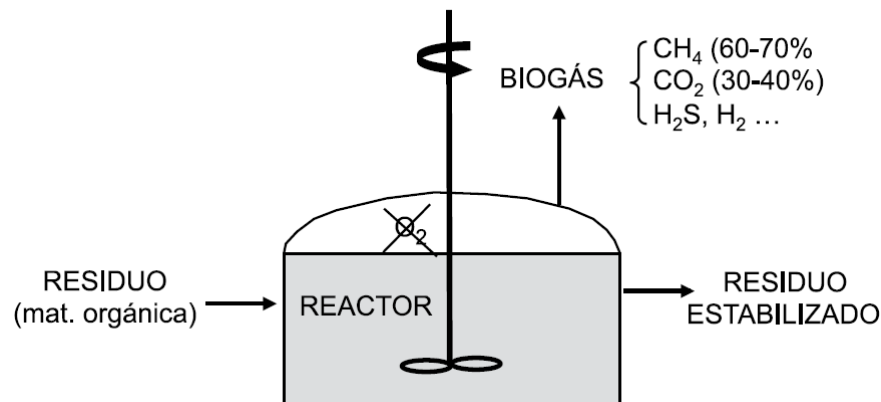


Figura 12.1. Proceso anaerobio (Bonmatí, 2008).

La conversión biológica de la materia orgánica bajo condiciones anaerobias ocurre en tres etapas (ver figura 12.2):

Etapas 1) Hidrólisis: Un grupo de bacterias facultativas es responsable de hidrolizar los polímeros orgánicos y los lípidos, con la ayuda de enzimas exocelulares (celulasas, lipasas, amilasas, proteasas), en estructuras básicas tales como monosacáridos, aminoácidos y ácidos grasos, que son utilizados como fuente de energía y carbono celular.

Etapas 2) Acidogénesis o fermentación ácida: Otro grupo de bacterias oxida los productos de la descomposición en ácidos orgánicos simples, como el ácido acético, propiónico y

butírico. Este grupo de organismos no metanógenos está compuesto por bacterias facultativas y anaerobias obligadas, llamadas acidógenas o formadoras de ácido; algunas de éstas son *Clostridium* spp, *Staphylococcus* y *Escherichia coli*.

Etapa 3) Metanogénesis o fermentación metánica: Un tercer grupo de organismos convierten los ácidos de cadenas más largas a metano, dióxido de carbono y ácidos orgánicos de cadenas más cortas. Las moléculas de ácidos se rompen repetidamente dando lugar finalmente a ácido acético, que se convierte en gas metano y dióxido de carbono, alcanzándose la estabilización de los residuos. Las bacterias responsables de esta conversión son anaerobias estrictas, muy sensibles a sustancias tóxicas e inhibidores, y se conocen como metanogénicas o formadoras de metano. Algunos ejemplos son *Methanobacterium*, *Methanobacillus*, *Methanococcus* y *Methanosarcina*. El grupo de bacterias responsables de la fermentación ácida tiene una velocidad de crecimiento mayor que las bacterias metanogénicas; como consecuencia, la etapa de fermentación ácida es relativamente rápida y la etapa de fermentación metánica es la que controla la velocidad en los procesos anaerobios (Crites y Tchobanoglous, 2000), (Bonmatí, 2008) y (Ramalho, 1991).

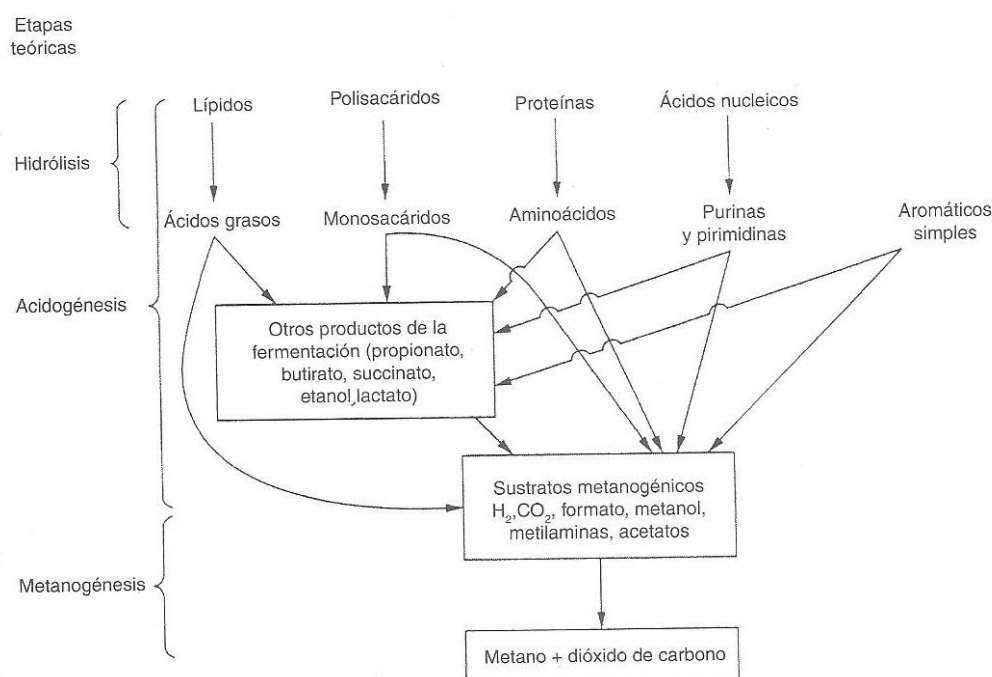
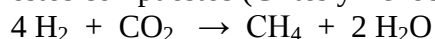
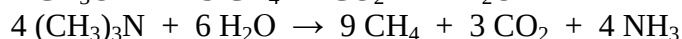
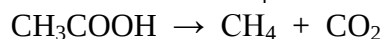
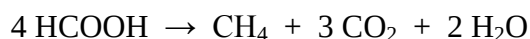


Figura 12.2. Vías que conducen a la producción de metano y dióxido de carbono a partir de la digestión anaerobia de sustratos orgánicos (Crites y Tchobanoglous, 2000)

Es importante hacer notar que las bacterias metanogénicas solo pueden usar un número limitado de sustratos para la formación de metano, entre ellos: CO_2 , H_2 , formato, acetato, metanol, metilaminas. A continuación se presentan las reacciones químicas que involucran estos compuestos (Crites y Tchobanoglous, 2000):





Además de las bacterias mencionadas anteriormente, existen muchos otros grupos de bacterias facultativas y anaerobias que utilizan los diferentes iones orgánicos presentes en el material a degradar, y que reducen el ión sulfato a ión sulfuro, compuestos orgánicos de azufre a mercaptanos, compuestos nitrogenados a amoníaco o los iones nitrato a gas nitrógeno.

Para poder mantener un sistema anaerobio que estabilice correctamente el residuo orgánico, debe haber un equilibrio dinámico entre los microorganismos formadores de ácido y de metano. Para lograrlo, en el reactor se deben mantener las siguientes condiciones: a) ausencia de oxígeno disuelto, b) libre de concentraciones inhibitorias de sustancias como metales pesados y sulfuros, c) pH óptimo entre 6.8 a 7.6, para el desarrollo de bacterias formadoras de metano, d) alcalinidad entre 1000 y 5000 mg/L para mantener el pH por arriba de 6.2, e) cantidad suficiente de nutrientes como nitrógeno y fósforo, para asegurar crecimiento adecuado de los organismos, f) temperatura entre el rango mesófilo (30 a 38°C) y el termófilo (49 a 57°C), g) tiempos de residencia lo suficientemente largos para permitir que los microorganismos metánicos permanezcan en el sistema (Metcalf & Eddy, 1985) y (Ramalho, 1991).

En la práctica anterior se mencionó que los sistemas biológicos anaerobios se pueden clasificar con base en la forma en que los microorganismos se ubican dentro del reactor, así se distinguen 2 grupos: anaerobios de biomasa no adherida y anaerobios de biomasa fija.

En términos generales, cuando el residuo a tratar tenga consistencia líquida y un contenido relativamente bajo de materia orgánica, se recomienda operar en forma continua y con reactores que retengan biomasa (filtros; reactores de manto de lodos, lecho fluidizado, entre otros); y para residuos con un alto contenido de sólidos se recomienda una operación discontinua o el uso de reactores de mezcla completa o flujo pistón sin retención de biomasa (Calderón y colaboradores, 2004) y (Bonmatí, 2008).

Entre algunas de las ventajas más significativas del tratamiento anaerobio sobre el aerobio están: a) menor consumo de energía, al no requerir equipo de aereación; b) baja producción de lodos, debido a que los sistemas anaerobios poseen un valor menor de coeficiente de producción de biomasa, Y , que los sistemas aerobios, lo que se traduce en ahorros considerables durante el manejo y disposición de lodos, además de menores requerimientos de nutrientes (nitrógeno y fósforo); c) posibilidad de manejar cargas orgánicas en el influente mayores que los procesos aerobios, ya que al no requerir oxígeno, la velocidad de transferencia de oxígeno no resulta una limitante; y por último d) fuente de energía alternativa, al obtenerse metano.

También existen desventajas, como son: a) tiempos de residencia mayores y por tanto mayor tamaño y costo del reactor; b) olores desagradables, debido a los gases producidos (sulfuro de hidrógeno, amoníaco y mercaptanos); c) temperaturas de operación mayores, alrededor de los 35°C; d) proceso sensible a cambios de temperatura y pH; e) el agua residual tratada por vía anaerobia tiene una calidad inferior que la de los sistemas aerobios, y generalmente tiene que ser pulido con un proceso aerobio para cumplir con las normas de descarga (Ramalho, 1991), (Collazos, 2008) y (Calderón y colaboradores, 2004).

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

La presente práctica aborda directamente el rubro 4.2.1. Degradación anaerobia acelerada de residuos, del programa de estudio, ya que se realizará una práctica de tipo demostrativo con un reactor anaerobio, con la finalidad de que el estudiante conozca su funcionamiento y variables de operación.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

Biorreactor anaerobio a escala semipiloto del ITT (LIIA)

Residuos sólidos orgánicos de tipo urbano

pHmetro

Estufa de secado

Mufla

Desecador

Crisoles

Material de vidrio

Material y equipo según NMXs de la tabla 12.1 (consultar prácticas No. 1 y 3 de este Manual).

Equipo de seguridad: Botas, bata, guantes, cubrebocas, lentes de seguridad, protectores auditivos.

METODOLOGÍA

a) Muestreo y caracterización de los residuos

Realizar las siguientes determinaciones: peso volumétrico in situ, separación de subproductos, determinación de humedad, pH y sólidos totales volátiles de acuerdo a los métodos mostrados en la tabla 12.1.

Tabla 12.1. Normas mexicanas para la caracterización de residuos sólidos

Parámetro	Norma mexicana/método
Muestreo	NMX-AA-061-1985
Cuarteo	NMX-AA-015-1985
Peso volumétrico “in situ”	NMX-AA-019-1985
Separación de subproductos	NMX-AA-022-1985
Humedad	NMX-AA-016-1984
pH	NMX-AA-025-1984
Sólidos totales volátiles	Método 2540G (*)

(*) Para determinar el contenido de sólidos totales volátiles (STV) se usará el método 2540G del libro Standard methods for the examination of water and wastewater publicado por APHA, AWWA y WEF que se reporta en la bibliografía preliminar (Hernández y colaboradores, 2010).

NOTA: Se recomienda consultar la práctica No. 3, donde se detallan los materiales y metodología a seguir para las determinaciones anteriores, así como la práctica No. 1 para el caso de los sólidos totales volátiles.

b)Acondicionamiento de los residuos

Calcular el peso de los residuos necesarios que se introducirán al reactor, en función del volumen del reactor y el peso volumétrico de los residuos.

Fraccionar la muestra en trozos de aproximadamente 1 cm.

c)Características del biorreactor

Investigar:

- Tamaño, capacidad, tipo, etc.
- Variables a verificar para el seguimiento de la operación del reactor (presión, temperatura, tiempo de retención, producción de biogás, entre otras).
- Métodos a seguir para verificar las variables anteriores.
- Condiciones finales

d)Montaje y operación de biorreactor

Vaciar los residuos acondicionados al reactor.

Seguir instrucciones de la investigadora responsable del biorreactor para su correcto sellado y operación.

Verificar la existencia de condiciones anaerobias en el interior del reactor.

Determinación de las características finales del residuo para poder calcular la eficiencia del tratamiento.

e)Vaciado y limpieza del reactor

Seguir instrucciones de la investigadora responsable del biorreactor para su correcto vaciado y limpieza.

f)Determinar la eficiencia del tratamiento

Calcular la eficiencia en función del contenido de SSV.

Medidas de seguridad:

Cuando se trabaje este método, debe usarse todo el tiempo equipo de seguridad, ya que se trabajará con residuos sólidos urbanos.

Es importante tener especial cuidado al manejar la estufa y la mufla, se deben usar los guantes de protección al calor, la careta y las pinzas para crisol, ya que se trabajará la mufla a temperaturas de 500°C.

Recogerse el cabello.

Mantener limpio el piso.

Limpiar inmediatamente cualquier líquido derramado.

Mantener despejadas las áreas de trabajo.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

-Se recomienda pedir como prelaboratorio los diagramas de bloques mencionados en el reporte del alumno.

-Se sugiere preparar solo las cantidades necesarias de los diferentes reactivos, tanto para no desperdiciar reactivos, como para reducir las cantidades a neutralizar al finalizar la práctica.

-Preparar por anticipado material y soluciones a utilizar, para optimizar el tiempo de la práctica.

-La preparación de soluciones puede dividirse por equipos, para evitar que todos los equipos preparen las mismas soluciones y se desperdicien reactivos. Revisar que todos los equipos realicen los cálculos para la preparación de todas las soluciones, y no solo de las que les fueron asignadas.

-Pedir a los estudiantes que lleven una bitácora con todas las observaciones y resultados obtenidos.

-Si se desea, se puede realizar esta práctica en conjunto con la práctica No.3, que trata sobre la caracterización, y usar la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos para el tratamiento anaerobio.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

-Portada (bajarla del portal del ITT).

1. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.Elaborar un mapa conceptual sobre la clasificación y ejemplos de los diferentes tipos de reactores anaerobios.

Se recomienda consultar (Bonmatí, 2008), (Collazos, 2008) y (Calderón y colaboradores, 2004).

2.2.Elaborar un mapa cognitivo con información sobre 6 factores (ambientales, físico-químicos y biológicos) que afectan el proceso anaeróbico, incluyendo una breve descripción de su importancia.

Consultar apartado 8.3.2.2 de Bonmatí, 2008.

2.3.Elaborar una tabla comparativa de los ventajas y desventajas de los procesos anaerobios y aerobios.

Consultar (Collazos, 2008) y (Ramalho, 1991).

2.4.Mencionar 3 ejemplos de aplicación de procesos anaerobios en el área ambiental, especificando tipo de residuo, condiciones de operación, lugar y referencia bibliográfica.

3. METODOLOGÍA

3.1.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para cada una de las determinaciones realizadas: cuarteo, cuantificación de subproductos, ..., sólidos totales volátiles.

3.2.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la operación del biorreactor.

4. RESULTADOS

4.1.Reportar resultados de cada una de las determinaciones realizadas para la caracterización de los residuos, incluyendo cálculos:

Datos, ecuaciones, sustituciones, análisis de unidades.

4.2.Reportar en forma de tabla los aspectos que se pidió investigar en el inciso c de la metodología (características del reactor, variables a verificar para el seguimiento de la operación del reactor, métodos a seguir para verificar las variables anteriores, condiciones finales), explicando la importancia de cada una de las variables de operación del reactor.

4.3.Reportar las variables de operación manejadas durante la práctica, sus valores y unidades.

4.4.Calcular la eficiencia del tratamiento.

4.5.Esquema del biorreactor usado, indicando sus partes.

5. CONCLUSIONES: Revisar el objetivo de la práctica y redactar las conclusiones que se piden a continuación.

5.1. Conclusiones individuales.

5.2. Conclusiones del equipo.

6. FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). 1998. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 20th edition. Washington, D.C.

Bonmatí, A. 2008. Capítulo 8: Gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos. Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica. Documenta Universitaria. Girona, España.
http://www.creaf.uab.es/propies/pilar/LibroRiesgos/09_Capítulos8.pdf

Buenrostro, O.; S. Cram; G. Bernache; G. Bocco. 2000. La digestión anaerobia como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, Vol. 16, No. 1, pág 19-26.
http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/TLAXCALA%202009/REVISTA/contaminacion/acervo/vol_16_1/3.pdf

Calderón M., C.G.; F. Pozo R., M.B. Arreortúa C. y L. M. Rivera C. 2004. Identificación y descripción de los sistemas secundarios de tratamiento de aguas residuales. Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Jiutepec, Morelos.
http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA/Noticias/Sistemas_secundarios.pdf

Collazos, C.J. 2008. Tratamiento anaerobio de aguas residuales. Curso: Salud Pública y Saneamiento Ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Colombia.
http://www.ing.unal.edu.co/catedra/drs_diaz_collazos/Salud,%20Calidad%20y%20Tratamiento%20de%20AR/TRATAMIENTO%20ANAEROBIO%20DE%20LAS%20AGUAS%20RESIDUALES%20BASICO.pdf

Crites, R. y G. Tchobanoglous. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Mc Graw Hill. Colombia.

Hernández B., M.C.; L. Márquez B., D. J. González P. and O. Buenrostro D. 2008. The effect of moisture regimes on the anaerobic degradation of municipal solid waste from Metepec (México). *Waste Management Journal*, vol. 28, p. 14-20.
<http://www.elsevier.com/locate/wasman>

Hernández B., M.C.; C. Mañón S., J.M. Sánchez Y., J. Lugo D. la F. and L. Márquez B. 2010. Influence of recycling different leachate volumes on refuse anaerobic degradation. *The Open Waste Management Journal*, Vol. 3, pags.155-166. Bentham Open.
<http://creativecommons.org/licenses/bync/3.0/>

Metcalf & Eddy, Inc. 1985. Ingeniería sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. 2ª ed. Labor. Barcelona, España.

Ramalho, R.S. 1991. Tratamiento de aguas residuales. Reverté. España.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2012. Normas mexicanas en materia de contaminación del suelo. México, D.F
<http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nmx-suelo.aspx>

Práctica No. 13

Composteo de residuos sólidos

OBJETIVO

Conocer el proceso de composteo de residuos sólidos y determinar sus parámetros de operación.

INTRODUCCIÓN

Una parte importante de la gestión integral de los residuos es lograr su valorización, y en el caso de los residuos de tipo orgánico se puede lograr a través del composteo o compostaje, en el cual son procesados y transformados en composta (compost), un producto que aporta nutrientes y mejora las características del suelo.

Los materiales orgánicos, como restos de alimentos, hojas, pasto y poda en general; suelen constituir desde el 30% hasta más del 70% de los residuos sólidos urbanos (Bonmatí, 2008), por lo que al producir composta, se contribuye a reducir la cantidad de residuos que terminan en rellenos sanitarios, prolongando su vida útil. Además, se disminuye la cantidad de lixiviados, debido a que los desechos orgánicos, por su alto contenido de humedad son los principales generadores de lixiviados en un relleno sanitario (INE, 2007).

El composteo puede definirse como la descomposición biológica por vía aerobia bajo condiciones controladas que permitan obtener un producto (composta) con una alta calidad y suficientemente estable para su almacenaje y utilización sin efectos secundarios (Figura 13.1). Para lograr lo anterior, el composteo se debe conducir de tal forma que se favorezcan los procesos de mineralización para garantizar la presencia de los macro y micro nutrientes en las formas más asimilables posibles para los productores primarios. Por lo tanto, la presencia de oxígeno es indispensable para que prevalezcan los metabolismos respiratorios de tipo aerobio, y así minimizar los procesos fermentativos, cuyos productos finales no son adecuados para su aplicación en la agricultura y conducen a la pérdida de nutrientes (Bonmatí, 2008) y (Sztern y Pravia, 2004).

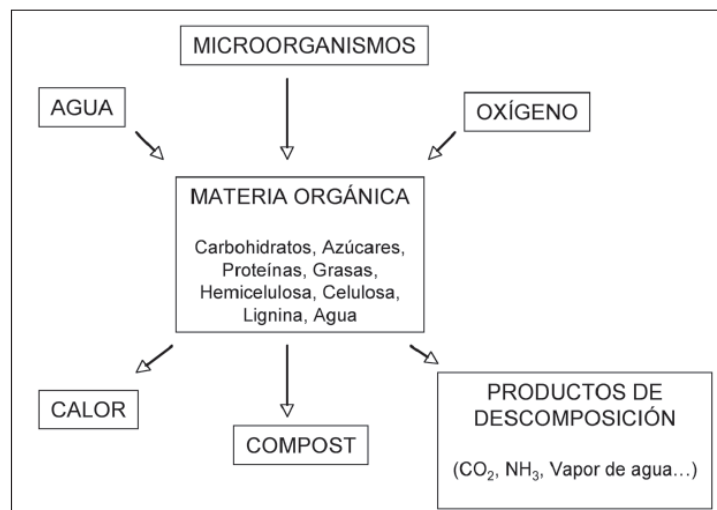
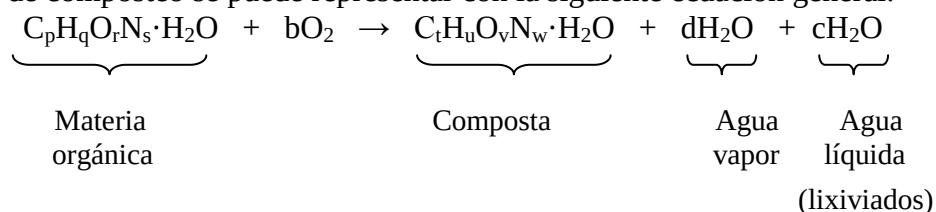


Figura 13.1. Proceso de composteo (Bonmatí, 2008).

El proceso de composteo se puede representar con la siguiente ecuación general:



Donde la composición de la materia orgánica, y en consecuencia, los valores de los coeficientes dependen de cada tipo de residuo.

De manera general, el composteo, como todo tratamiento biológico, consta de 3 fases (Bonmatí, 2008):

1)Pre-tratamiento: son las operaciones previas para preparar el residuo y conseguir el desarrollo adecuado del proceso, puede incluir la eliminación de materiales extraños, molienda, homogeneización, ajuste de humedad, mezclado con aditivos (material estructurante, co-sustratos), entre otros.

2)Tratamiento biológico: el proceso de compostaje que se describirá a continuación.

3)Post-tratamiento: involucra las operaciones destinadas a refinar las características del producto, por ejemplo el tamizado, clasificación por tamaño, eliminación de impurezas, ajuste de humedad, entre otras.

Son tres las operaciones que ocurren durante el proceso de composteo: la descomposición o degradación, la pasteurización y la maduración (Rodríguez y Vázquez, 2006).

1)Descomposición: ocurre la degradación de las moléculas más sencillas a través de reacciones exotérmicas, se presenta una elevación de la temperatura, pasando de un rango mesofílico (menor de 50°C) a uno termofílico (mayor de 50°C).

2)Pasteurización: se lleva a cabo durante la etapa termofílica manteniendo la temperatura en 55°C durante varios días, hasta que se presenta la fase de muerte de los microorganismos termofílicos. También se produce la destrucción de organismos patógenos, semillas de maleza, huevos y larvas de insectos.

3)Maduración: Después de la pasteurización la temperatura baja, y se obtiene una composta inmadura, la cual todavía contiene moléculas complejas como celulosa y lignina, por lo que tiene que seguirse degradando lentamente y a temperatura ambiente.

Como se trata de un proceso biológico, es afectado por una serie de factores, entre los que resaltan los siguientes: tamaño de partículas, aireación, humedad, temperatura, relación C/N, pH y conductividad.

1)Tamaño de partículas: resulta conveniente moler el material orgánico para proporcionar mayor superficie de acceso a los microorganismos; sin embargo, tamaños excesivamente pequeños pueden provocar problemas de compactación que dificultarán el proceso de aireación.

2)Aireación: la deficiencia de oxígeno puede conducir a la estabilización incompleta de los materiales orgánicos. Los principales medios para incorporar oxígeno a los materiales en descomposición son: a)incorporando a la pila de residuo partículas de diferentes tamaños que generen túneles de aire (aireación natural), b)volteando o revolviendo los residuos (aireación manual o mecánica) y por último c)introduciendo aire mediante tuberías (aireación forzada).

3)Humedad: para asegurar un proceso adecuado la mezcla de residuos debe tener un porcentaje de humedad del 40 al 60%. Si se rebasa dicho límite, los poros en la mezcla son ocupados por agua, entorpeciendo la difusión de aire, lo cual provoca condiciones

anaerobias y olores desagradables. Por otro lado, valores de humedad bajos disminuyen la actividad microbiana, y el proceso se hace muy lento. Por lo que debe cuidarse una correcta combinación de materiales húmedos y secos.

4)Temperatura: la temperatura influye en la tasa de crecimiento y el tipo de poblaciones microbianas. Al inicio del proceso se presentan temperaturas entre 25 y 40°C, predominando microorganismos mesófilos. A continuación, se debe mantener en el intervalo óptimo para el crecimiento de organismos termófilos (de 45 a 55°C); esto se logra por medio de la aereación. Posteriormente, la temperatura desciende por debajo de los 40°C, ocurriendo otra degradación mesofílica, el curado, para dar una estabilización adicional a la materia prima. Además, la temperatura elevada en combinación con la humedad provocan calor húmedo, uno de los métodos más efectivos para destruir patógenos. El calor húmedo mata las células por coagulación de sus proteínas, siendo más rápido y efectivo que el calor seco.

5)Relación C/N: Los microorganismos encargados de la degradación necesitan carbono como fuente de energía, y nitrógeno para la síntesis de proteínas en las proporciones adecuadas. La relación C/N óptima se encuentra entre 25:1 y 35:1, basada en que los organismos requieren en promedio 30 partes de carbono para degradar una parte de nitrógeno.

6)pH y conductividad: el valor recomendado se sitúa entre 5 y 8, porque es el rango de crecimiento óptimo para la mayoría de los microorganismos. Conductividades elevadas también pueden limitar su crecimiento.

Una composta de alta calidad debe tener las siguientes características: aspecto y color aceptable, olor a tierra, pH entre 6 y 8, higienización correcta, bajo nivel de impurezas y contaminantes, nivel alto de componentes útiles desde el punto de vista agrícola (N, P, K) y composición constante (Bonmatí, 2008), (Cardoso y Ramírez, 2004), (Rodríguez y Vázquez, 2006), (Sztern y Pravia, 2004).

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

Esta práctica complementa el tema 4.2. Tratamiento biológico de residuos sólidos del programa de estudio, al tratar un tratamiento diferente al abordado en la práctica 12, el composteo, proceso ampliamente utilizado para el tratamiento de residuos de tipo orgánico. Es importante resaltar que el programa de la asignatura Laboratorio de Depuración de Efluentes, recomienda llevar a cabo prácticas adicionales (optativas), con la finalidad de enriquecer algunos de los temas.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

Residuos de tipo orgánico: Cáscaras de frutas y verduras, restos de poda de jardín.

pHmetro.

Palas.

Termopar.

Báscula.

Superficie de 3x3 metros, de preferencia en el exterior y techada.

Material y equipo para determinación de humedad y pH (consultar práctica No.3).

Equipo de protección personal: Bata, botas, guantes, cubrebocas, lentes de seguridad.

METODOLOGÍA

a)Acondicionamiento de los residuos orgánicos

Pesar la cantidad de residuos adecuada, en función del área disponible para la elaboración de la composta.

Separar el material inorgánico que pudiera estar presente: plásticos, metales, papel.

Cortar en pedazos pequeños el material orgánico.

Revolver los residuos con la pala para su homogeneización.

Mezclar los residuos en la proporción adecuada para obtener una relación C/N de 30.

Pesar la cantidad adecuada de sustrato de inóculo (consultar Franco, 2012).

Colocar de manera adecuada los residuos en la superficie elegida.

b)Caracterización de los residuos

Determinar humedad y pH según normas mexicanas NMX-AA-016-1984 y NMX-AA-025-1984 (consultar práctica No.3)

c)Seguimiento del proceso

Establecer los parámetros a medir para controlar el proceso, así como la frecuencia con la que se registrarán.

Establecer roles por equipo para la medición de parámetros y la aireación de los residuos.

Elaborar una tabla para realizar el seguimiento y registro de los parámetros de operación.

Graficar las siguientes variables en función del tiempo: temperatura y pH.

Definir las características finales de la composta y parámetros de operación necesarios para establecer el final del proceso.

Hacer una lista de cotejo donde se anoten las características deseadas en la composta.

Empaquetar la composta.

Realizar la limpieza del área utilizada.

Medidas de seguridad:

Debe usarse todo el tiempo el equipo de seguridad mencionado anteriormente, ya que se trabaja con residuos de tipo orgánico.

Tener especial cuidado al cortar el material orgánico, para evitar accidentes.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

-Se recomienda pedir como prelaboratorio los diagramas de bloques mencionados en el reporte del alumno.

-Pedir a los estudiantes que lleven una bitácora con todas las observaciones y resultados obtenidos.

-Se puede trabajar con residuos orgánicos procedentes de algún restaurant o de la cafetería de la institución.

-Si se desea, se puede realizar esta práctica en conjunto con la práctica No.3, que trata sobre la caracterización, y usar la fracción orgánica de los residuos para el composteo.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

-Portada (bajarla del portal del ITT).

1. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

- 2.1. Elaborar un mapa cognitivo sobre las diferentes tecnologías o sistemas de composteo.
- 2.2. Investigar qué tratamientos se aplican a los residuos orgánicos en: a) Europa, a) nuestro país, b) el estado que habita.
- 2.3. Elaborar un cuadro con las aplicaciones del composteo, mencionando los tipos de residuos susceptibles de ser tratados por este método.
- 2.4. Determinar los valores de los parámetros de operación que se manejarán en la práctica.
3. METODOLOGÍA
- 3.1. Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para el proceso de composteo a realizar en esta práctica.
4. RESULTADOS
- 4.1. Reportar en forma de tabla: a) área utilizada y sus características, b) cantidad total de residuos orgánicos empleados, c) tamaño de partícula, d) cálculos para obtener las cantidades y tipo de residuos a mezclar para lograr la relación C/N deseada.
- 4.2. Incluir la tabla con la distribución de roles para la medición de parámetros de operación y aireación de los residuos.
- 4.3. Tabla con el registro de los parámetros de operación medidos durante el proceso.
- 4.4. A partir de los valores de los parámetros obtenidos a lo largo del proceso de composteo, elaborar las gráficas que se mencionaron en la Metodología:
 - a) Temperatura vs tiempo, explicar el comportamiento de la temperatura durante la práctica y comparar con la figura 8.2 reportada por Bonmatí (2008).
 - b) pH vs tiempo, explicar comportamiento y comparar con lo reportado en la bibliografía.
- 4.5. Lista de cotejo con las características deseadas en la composta.
5. CONCLUSIONES: Revisar el objetivo de la práctica y redactar las conclusiones que se piden a continuación.
- 5.1. Conclusiones individuales.
- 5.2. Conclusiones del equipo.
6. FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

Bonmatí, A. 2008. Capítulo 8: Gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos. Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica. Documenta Universitaria. Girona, España.

http://www.creaf.uab.es/propies/pilar/LibroRiesgos/09_Capitulos8.pdf

Cardoso V., L. y A. Ramírez G. 2004. Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua. Segunda parte. Identificación de sistemas de lodos residuales. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Jiutepec, Morelos. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/lodosresiduales.pdf>

Franco A., F. 2012. Composteo de lodos residuales utilizando arcilla como sustrato de inóculo. Tesis de licenciatura. Departamento de Ingeniería Química. Instituto Tecnológico de Toluca. Metepec, Méx.

Instituto Nacional de Ecología (INE). 2007. Producción de composta doméstica. México, D.F. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/499/producción.html>

Rodríguez S., M.A y A. Córdova y Vázquez. 2006. Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). México, D.F. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd68/compsmuni.pdf>

Sztern, D. y M. A. Pravia. 2004. Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud (OPS). Montevideo, Uruguay. <http://www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf>

Práctica No. 14

Visita a una planta de tratamiento de aguas residuales

OBJETIVO

Identificar el equipo empleado para el tratamiento de aguas residuales, así como el objetivo y principio de operación de los procesos involucrados. Realizar el diagrama del proceso.

INTRODUCCIÓN

Cualquier actividad humana tiene como resultado la generación de agua residual. Se denomina agua residual al líquido cuya composición y calidad ha sido alterada como consecuencia del uso municipal, industrial, comercial, agrícola, pecuario o de cualquier otra índole (SECOFI, 1980). Para que dicha agua pueda ser vertida a los cauces naturales sin que ocasione daños al medio ambiente, debe ser sometida a una serie de procesos para reducir la concentración de contaminantes a parámetros aceptables para su vertido o para que pueda ser utilizada nuevamente.

El tratamiento de las aguas residuales involucra procesos físicos, químicos y biológicos. Entre los de tipo físico se encuentran la sedimentación y filtración. La coagulación-floculación, desinfección, adsorción, intercambio iónico y la absorción son algunos ejemplos de procesos químicos; y los tratamientos aerobios y anaerobios son los más comunes entre los biológicos.

Las diversas operaciones de tratamiento también se suelen dividir por etapas:

- 1) Pretratamiento o tratamiento preliminar
- 2) Tratamiento primario
- 3) Secundario y
- 4) Terciario o avanzado.

En el pretratamiento se prepara el agua residual, retirando la basura, arenas, grasas que pudieran afectar el equipo o las etapas posteriores de tratamiento. El tratamiento primario puede consistir en una sedimentación para retirar del agua la fracción sedimentable de los sólidos en suspensión; o un proceso de coagulación-floculación previo a la sedimentación, si las partículas predominantes son de tipo coloidal. El tratamiento secundario, generalmente biológico, va dirigido a transformar la materia orgánica soluble y coloidal en material sedimentable que pueda ser retirado del agua; para lograrlo se usan cultivos de microorganismos, los cuales oxidan la materia orgánica produciendo nueva biomasa (flóculos biológicos) con peso específico superior al del agua y con la propiedad de sedimentar. Como ya se mencionó en la práctica No.11, el tratamiento biológico puede realizarse por vía aerobia o anaerobia. Finalmente, el objetivo del tratamiento terciario consiste en reducir las concentraciones aquellos contaminantes que no pudieron ser eliminados en las etapas anteriores.

El grado o nivel de tratamiento que se aplicará al agua residual dependerá del tipo y concentración de contaminantes que posea el agua, así como del uso posterior que se le dará al agua, es decir, si se trata de un agua residual doméstica o de tipo industrial, y si se va a tratar para su descarga a un río, para riego de jardines o si se va a reutilizar en alguna parte del proceso, los tratamientos necesarios para tratar el agua en cada uno de los casos

serán diferentes. Como ya se trató en la práctica No.1, a través de la caracterización es posible determinar las concentraciones de los contaminantes del agua.

El tamaño de las instalaciones en la estación depuradora será función del volumen de agua por unidad de tiempo que ingrese a la planta, es decir del caudal (Q) que reciba, por esta razón, la medición del caudal o flujo es una operación importante para el diseño y operación de la planta tratadora (práctica No. 4).

Otro aspecto a tomar en cuenta al diseñar un sistema de tratamiento de agua residual, son los lodos que se producirán a lo largo de las diversas etapas de tratamiento y que requieren un tratamiento adecuado por su alta carga contaminante. Los lodos se pueden clasificar en función de la etapa en la cual son producidos (lodos primarios, secundarios y terciarios), o también dependiendo del tratamiento recibido (lodos crudos, digeridos o estabilizados, deshidratados, entre otros). El tratamiento de los lodos, al igual que el del agua residual, incluye una serie de procesos físicos, químicos y biológicos; siendo los más comunes (Metcalf & Eddy, 1985), (Ramalho, 1991) y (Secretariado Alianza por el Agua, 2011):

- 1)Espesamiento
- 2)Estabilización
- 3)Acondicionamiento
- 4)Deshidratación o desaguado
- 5)Reducción térmica

En los últimos años se ha reducido de manera considerable el uso de la etapa de reducción térmica, por los problemas de contaminación del aire que puede provocar y su costo elevado.

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

El tema 5.1. del programa de la asignatura, indica realizar visitas a empresas que cuenten con sistemas de tratamiento de efluentes líquidos, y en esta práctica se establece la metodología a seguir al realizar una visita a una planta tratadora de aguas residuales, con la finalidad de que el estudiante relacione los principios teóricos vistos en el aula con los diferentes procesos y equipos presentes en la planta de tratamiento.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

Equipo de protección personal: Bata, zapatos de seguridad, cubrebocas, lentes de seguridad. Bloqueador solar y gorra para protegerse del sol, en caso de que las instalaciones de la planta se encuentren al aire libre.

Libreta de notas o bitácora

Lápiz y goma

METODOLOGÍA

Presentarse puntualmente en el lugar indicado por el profesor para asistir a la visita.

Seguir las indicaciones y normas de seguridad que indique el encargado de la planta tratadora durante la visita.

Indagar la siguiente información:

a) Datos sobre el influente:

- Tipo de agua que se trata.
- Caudal promedio de entrada, método empleado para la medición de caudal y principio en el que basa dicho método.
- Características iniciales del agua: DBO₅, DQO, SST, SSV, entre otros.

b) Datos del proceso de tratamiento del agua:

- Tipo de tratamiento.
- Diagrama de bloques del proceso.
- Elaborar una tabla que contenga la siguiente información sobre cada una de las operaciones involucradas en el tratamiento del agua: nombre de la operación, objetivo, descripción breve del equipo, parámetro(s) y variables de operación involucrados para el seguimiento y control de la operación.
- Características finales del agua: DBO₅, DQO, SST, SSV, entre otros.
- Eficiencia de la planta y parámetro considerado.
- Uso del agua tratada.
- Norma oficial mexicana que debe cumplir el efluente.

c) Datos del proceso de tratamiento de lodos

- Características iniciales de los lodos
- Diagrama de bloques del proceso.
- Elaborar una tabla que contenga la siguiente información sobre cada una de las operaciones involucradas en el tratamiento del agua: nombre de la operación, objetivo, descripción breve del equipo, parámetro(s) y variables de operación involucrados para el seguimiento y control de la operación.
- Características finales de los lodos
- Uso final de los lodos.
- Norma oficial mexicana que deben cumplir los lodos.

Medidas de seguridad:

Durante la visita a la tratadora, debe usarse todo el tiempo el equipo de protección personal y seguir las normas de seguridad que indique el encargado de la planta.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- Se recomienda plantear estrategias para relacionar las prácticas anteriores (No. 1, 4, 5, 6, 8 y 11) que contienen temas relacionados con la visita, para que el alumno pueda ser capaz de integrar y reforzar lo aprendido por medio de esta práctica.
- Pedir a los estudiantes que lleven una bitácora con todas las observaciones e indagaciones realizadas durante la visita.
- Que el alumno investigue por equipos el número, tipo y ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales que existen en la zona donde habita y analice si son suficientes para cubrir la problemática de la región.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

- Portada (bajarla del portal del ITT).
- 1. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.
- 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.Elaborar un mapa cognitivo con la siguiente información sobre las diferentes etapas (pretratamiento, tratamiento, primario, secundario y terciario) para el tratamiento del agua residual: a)operaciones o procesos involucradas en cada una de las etapas, b)principio de cada operación, c)equipo utilizado.

2.2.Elaborar un mapa cognitivo con la siguiente información sobre las diferentes etapas (espesamiento, estabilización, acondicionamiento, deshidratación y reducción térmica) para el tratamiento de los lodos: a)operaciones o procesos involucradas en cada una de las etapas, b)principio de cada operación, c)equipo utilizado.

3. METODO

3.1.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la realización de la visita a la planta tratadora.

4. RESULTADOS

4.1.Reportar de forma ordenada y creativa la información que se solicitó en el inciso a) de la Metodología.

4.2.Reportar de forma ordenada y creativa la información que se solicitó en el inciso b) de la Metodología.

4.3.Reportar de forma ordenada y creativa la información que se solicitó en el inciso c) de la Metodología.

5. CONCLUSIONES: Revisar el objetivo de la práctica y redactar las conclusiones que se piden a continuación.

5.1. Conclusiones individuales.

5.2. Conclusiones del equipo.

6. FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI). 1980. Norma Mexicana NMX-AA-003-1980. Aguas residuales. Muestreo. Diario Oficial de la Federación 25 de marzo de 1980. México, D.F.

Metcalf & Eddy, Inc. 1985. Ingeniería sanitaria: Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. 2ª ed. Labor. Barcelona, España.

Ramalho, R.S. 1991. Tratamiento de aguas residuales. Reverté. España.

Secretariado Alianza por el Agua. 2011. Monográficos Agua en Centroamérica. 3. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Centro de las nuevas tecnologías del agua (Centa). Ideasamares. España.

<http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICOS3.pdf>.

Práctica No. 15

Visita a una empresa que cuente con equipo para el control de emisiones a la atmósfera

OBJETIVO

Identificar el equipo empleado para el control de emisiones a la atmósfera, así como el objetivo y principio de operación de los procesos involucrados. Realizar el diagrama del proceso.

INTRODUCCIÓN

Los contaminantes del aire se pueden encontrar en forma de gases o partículas (sólidas y líquidas), como ya se trató en la práctica No.2; y pueden ser emitidos tanto por fuentes móviles como fijas. Entre las fuentes móviles se pueden mencionar los automóviles, trenes, aviones, barcos, etc., y entre las fuentes fijas o estacionarias se encuentran las chimeneas de las industrias, plantas generadoras de energía, quema de vegetación para agricultura y quema de basura, entre otras. La composición de las emisiones de ambos tipos de fuentes (móviles y fijas), dependerá de la composición del combustible y las condiciones de operación del proceso generador de la emisión (temperatura, presión, cantidad de oxígeno presente), que generalmente es una combustión (Enkerlin y colaboradores, 1997).

Los contaminantes del aire pueden provocar efectos adversos en la salud del ser humano, animales, plantas y materiales; por lo que deben controlarse sus emisiones hacia la atmósfera. El primer paso es llevar a cabo la reducción o minimización desde la fuente, esto es, analizar el proceso generador de la emisión y llevar a cabo los cambios pertinentes para mejorar la calidad de las emisiones: uso de combustible de mejor calidad, optimización del proceso de combustión, optimización y/o cambios en el proceso. Una vez realizado lo anterior, si todavía no se cumplen los estándares requeridos, se procede a colocar equipo para controlar las emisiones.

Dentro del equipo existente para el control de contaminantes en forma de partículas generalmente se encuentran:

- 1) Cámaras de sedimentación por gravedad
- 2) Colectores húmedos (lavadores líquidos)
- 3) Separadores ciclónicos o centrífugos (ciclones)
- 4) Filtros de tela
- 5) Precipitadores electrostáticos

Mientras que las operaciones más usadas para controlar los contaminantes gaseosos son:

- 1) Adsorción
- 2) Absorción
- 3) Combustión

Los aparatos basados en el principio de absorción se enfocan en transferir el contaminante de la fase gaseosa a la líquida, como ya se vió en la práctica No. 9; y en el proceso de adsorción el contaminante gaseoso se une a una fase sólida (práctica No. 10).

El control por combustión se utiliza cuando el contaminante en la corriente de gas se oxida formando un gas inerte, como ocurre con el monóxido de carbono y la mayoría de los

hidrocarburos. Los dos métodos de combustión más usados son: la incineración directa en flama y la combustión catalítica.

La incineración directa en flama es recomendable cuando se satisfacen dos requisitos: 1) La corriente gaseosa tiene una energía mayor de 3.7 Megajoules/m³, y 2) ninguno de los subproductos de la combustión debe ser tóxico. Con el primer requisito se asegura que la flama de gas se sostendrá por sí sola después de su ignición, de lo contrario, se necesitará combustible suplementario. El segundo criterio existe porque en ocasiones, el subproducto de la combustión puede ser más tóxico que el contaminante original, como ocurre en el caso de las dioxinas y furanos. Algunas aplicaciones de la incineración directa en flama son el tratamiento de emisiones procedentes del horneado de barnices, ahumado de carnes y hornos de cocción.

La combustión catalítica permite efectuar la oxidación de gases cuyo contenido de energía es menor de 3.7 Megajoules/m³, mediante un catalizador, generalmente compuestos de platino o paladio. El catalizador es colocado en un soporte, que suele ser una cerámica. Debe tenerse especial cuidado porque los catalizadores son susceptibles a envenenarse con compuestos de azufre y plomo. Este método ha sido utilizado para tratar emisiones de prensas de impresión, horneado de barnices, oxidación de asfalto, así como también para emisiones de automóviles (Davis y Masten, 2005).

Con respecto al equipo para el control de partículas, los incisos a y b ya fueron abordados en la práctica No.7, por lo que en esta práctica ya no se tratarán.

Los separadores ciclónicos son aparatos que carecen de partes móviles, el gas contaminado con partículas entra de forma tangencial y se mueve en espiral dentro del ciclón. La fuerza centrífuga arroja las partículas hacia las paredes del aparato y son colectadas en la parte inferior, mientras que el gas “limpio” sale por la parte superior. Los ciclones suelen utilizarse para recolectar partículas con diámetros mayores a 10 micrómetros.

Los filtros contienen bolsas cilíndricas de tela abiertas por el extremo inferior, cuya longitud oscila entre 2 y 6 metros. El gas sucio entra por la parte inferior de la bolsa, fluye hacia arriba y traviesa la tela, quedando retenidas las partículas. Este tipo de aparatos es ampliamente usado para partículas con diámetros entre 0.01 y 5 micrómetros.

Los precipitadores electrostáticos son dispositivos cuyo funcionamiento se basa en la ionización de las partículas, y son colectadas en placas con carga eléctrica opuesta. Son altamente eficientes para recolectar partículas muy finas de hasta milésimas de micrómetro (Wark y Warner, 1996), (De Nevers, 1995) y (Davis y Masten, 2005).

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

El programa de la asignatura, como parte del tema 5.1, establece llevar a cabo visitas a empresas que dispongan de sistemas para el control de efluentes gaseosos, por lo que a través de esta práctica se abordan los aspectos a tomar en cuenta al visitar dicha empresa, tomando en consideración que el alumno deberá identificar los diferentes equipos utilizados, sus principios de operación y tipos de contaminantes que controlan.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

Equipo de protección personal: Bata, zapatos de seguridad, lentes de seguridad.
Libreta de notas o bitácora

Lápiz y goma

METODOLOGÍA

Presentarse puntualmente en el lugar indicado por el profesor para asistir a la visita.
Seguir las indicaciones y normas de seguridad que indique el encargado de la planta durante la visita.

Indagar la siguiente información:

a) Datos sobre la corriente gaseosa a tratar:

- Tipo de contaminantes presentes (gases y/o material particulado), y otras características como: tamaño y densidad de las partículas, nombre de los gases, corrosividad, concentraciones.
- Caudal promedio de entrada, método empleado para la medición de caudal y principio en el que basa dicho método.
- Características de la chimenea o conducto.
- Características de los ventiladores.

b) Datos del sistema de depuración de la corriente gaseosa:

- Diagrama de bloques del proceso que genera las emisiones, incluyendo el equipo para su control.
- Elaborar una tabla que contenga la siguiente información sobre cada uno de los equipos involucrados en el control de las emisiones en la empresa donde se realiza la visita: nombre del equipo, objetivo, descripción breve del equipo, parámetro(s) y variables de operación involucrados para el seguimiento y control de la operación.
- Características finales de la corriente de gas.
- Eficiencia de la planta y parámetro considerado.
- Norma oficial mexicana que debe cumplir el efluente.
- Tratamiento y/o disposición final de los contaminantes separados.

Medidas de seguridad:

Durante la visita a la tratadora, debe usarse todo el tiempo el equipo de protección personal y seguir las normas de seguridad que indique el encargado de la planta.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- Se recomienda plantear estrategias para relacionar las prácticas No. 2, 7, 9 y 10, que contienen temas relacionados con la visita, para que el alumno pueda ser capaz de integrar y reforzar lo aprendido anteriormente por medio de esta práctica.
- Pedir a los estudiantes que lleven una bitácora con todas las observaciones e indagaciones realizadas durante la visita.
- Que el alumno investigue por equipos los procesos industriales que requieren controlar sus emisiones gaseosas y analice cuáles de ellos existen en la zona donde habita.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

- Portada (bajarla del portal del ITT).
- 1. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.
- 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.Elaborar un mapa cognitivo con la siguiente información sobre los diferentes equipos que existen para el control de emisiones de partículas: a)nombre del equipo, b)tamaño de partícula, c)principio de funcionamiento.

2.2.Elaborar un mapa cognitivo con la siguiente información sobre los diferentes equipos que existen para el control de emisiones de gases: a)nombre del equipo, b)nombre del gas(es) que controla, c)principio de funcionamiento.

2.3.Elaborar un cuadro con las ventajas y desventajas de los equipos mencionados en las dos preguntas anteriores.

3. METODO

3.1.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la realización de la visita a la empresa.

4. RESULTADOS

4.1.Reportar de forma ordenada y creativa la información que se solicitó en el inciso a) de la Metodología.

4.2.Reportar de forma ordenada y creativa la información que se solicitó en el inciso b) de la Metodología.

5. CONCLUSIONES: Revisar el objetivo de la práctica y redactar las conclusiones que se piden a continuación.

5.1. Conclusiones individuales.

5.2. Conclusiones del equipo.

6. FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

Davis, M. L. y S. J. Masten. 2005. Ingeniería y ciencias ambientales. Mc Graw Hill. México, D.F.

De Nevers, N. 1995. Air pollution control engineering. Mc Graw Hill. Singapore.

Enkerlin H., E.C.; G. Cano C., R.A. Garza C., E. Vogel M. 1997. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. International Thompson Editores. México, D.F.

Wark K. y C.F. Warner. 1996. Contaminación del aire. Origen y control. Limusa. México, D.F.

Práctica No. 16

Visita a un relleno sanitario/estación de reciclado de residuos sólidos

OBJETIVO

Conocer el funcionamiento de un relleno sanitario/estación de reciclado, así como identificar la legislación y normatividad vigente para su instalación y operación.

INTRODUCCIÓN

El manejo y disposición adecuados de los residuos sólidos constituye un problema, principalmente en las ciudades con alta densidad de población. La disposición final no controlada de los residuos sólidos generados por las actividades humanas puede contaminar el suelo, el aire y el agua. Por ejemplo, cuando se tiran residuos domésticos al aire libre, ocurre la proliferación de insectos y roedores, los cuales son vectores para la propagación de enfermedades; también se producen gases contaminantes, olores desagradables; contaminación del suelo y de los mantos freáticos, y/o contaminación de cuerpos de agua superficiales cercanos por escurrimiento al llover. Por esta razón, es de suma importancia contar con una gestión integral eficiente de los residuos sólidos que se generan. La tendencia internacional y la nueva legislación en materia de residuos en el país están dirigidas a la implantación de estrategias para la minimización de residuos. Dichas estrategias se centran en la adquisición inteligente de costumbres en el consumo, el reciclaje y la reutilización de los materiales con la finalidad de valorizar los residuos, y de esta manera reducir las cantidades de éstos, los costos y los riesgos asociados con su disposición final (Enkerlin y colaboradores, 1997).

Entre los residuos sólidos que se generan comúnmente se encuentran los denominados reciclables, llamados así porque se les puede dar un uso alternativo antes de ser dispuestos en rellenos sanitarios. Los principales residuos reciclables son: papel, cartón, productos textiles, vidrio, aluminio, otros metales (Fe, Cu, acero) y plásticos. Su aprovechamiento óptimo implica separarlos desde la fuente, ya que si se mezclan con otros residuos, por ejemplo con materia orgánica, sus características se afectan y puede alterarse su capacidad para ser reciclados. Además de la separación, el reciclaje implica 2 etapas adicionales, recolección en centros de acopio, y finalmente el procesamiento o transformación del material seleccionado.

La práctica del reciclaje permite el ahorro de energía, al gastar menor cantidad que el proceso de producción a partir de materia prima virgen; reduce la contaminación al aire, agua y suelo; así como también permite conservar los recursos naturales.

El reciclaje puede ser primario, secundario o terciario.

1)Reciclaje primario o en circuito cerrado: se refiere al aprovechamiento de productos reciclados para hacer los mismos productos u otros semejantes. Ejemplos: utilización de botellas de vidrio para elaborar nuevamente botellas de vidrio, o fabricación de nuevas latas de aluminio a partir de latas de aluminio.

2)Reciclaje secundario: es el uso de materiales reciclados para producir productos con características diferentes a las de los originales. Ejemplo: los envases de polietileno de alta densidad sirven para fabricar juguetes o tubos para el drenaje.

3)Reciclaje terciario: consiste en la recuperación de las sustancias químicas o la obtención de energía a partir de los residuos. Ejemplo: la recuperación de solventes mediante destilación, en los procesos de manufactura de la industria electrónica.

A pesar de las técnicas de minimización, reciclaje, composteo, siempre queda una porción de residuos sólidos urbanos que deben ser enviados a disposición final. Desde finales del siglo pasado, se estableció el relleno sanitario como el método más adecuado para la colocación de residuos en el terreno. Un relleno sanitario aplica técnicas de ingeniería para la disposición de los residuos sobre la tierra, compactándolos y cubriéndolos con material de cubierta al final de cada día, de tal forma que se minimicen los riesgos ambientales. Además, los rellenos sanitarios son instalaciones cuyo diseño, construcción, operación y clausura se encuentran reglamentados a través de Normas Oficiales Mexicanas. Los métodos más comunes para su construcción son el método de trinchera y el de área.

La operación de un relleno sanitario consiste en depositar los residuos ya sea en una trinchera o sobre la superficie (según el método de trinchera o área, respectivamente), se compactan con equipo pesado, se cubren con una capa de suelo que también se compacta, al terminar la jornada diaria de trabajo. Los residuos y la cubierta diaria se conocen como celda.

Dos aspectos a considerar durante la operación del relleno sanitario son la generación de lixiviados y de gases, los cuales deben ser monitoreados de manera continua. Las normas también consideran la colocación de geomembranas para evitar la filtración del lixiviado al suelo y mantos freáticos, pozos de monitoreo; así como también la construcción de instalaciones para la captación de gases (Davis y Masten, 2005) y (Bonmatí, 2008).

CORRELACIÓN CON EL O LOS TEMAS Y SUBTEMAS DEL PROGRAMA DE ESTUDIO VIGENTE.

En el programa de la asignatura, se menciona la realización de visitas a empresas u organismos que se encarguen del tratamiento de residuos sólidos (tema 5.1), por esta razón, en esta práctica se plantea visitar ya sea un sitio de disposición final (relleno sanitario) o una planta recicladora. El estudiante al observar el funcionamiento y/o el proceso podrá relacionar lo visto en el aula con lo que se realiza en la planta, e identificar la aplicación de la legislación y normatividad que regula la gestión de los residuos sólidos.

MATERIAL Y EQUIPO NECESARIO

Equipo de protección personal: Bata, zapatos de seguridad, lentes de seguridad, cubrebocas. Bloqueador solar y gorra en caso de que las instalaciones se encuentren a la intemperie. Libreta de notas o bitácora. Lápiz y goma.

METODOLOGÍA

Presentarse puntualmente en el lugar indicado por el profesor para asistir a la visita. Seguir las indicaciones y normas de seguridad que indique el encargado de la planta recicladora/relleno sanitario durante la visita.

Indagar la siguiente información:

- Tipo y cantidad diaria de residuos que se reciben en el lugar.

- Diagrama de bloques del proceso de reciclaje/disposición final según se trate de una planta recicladora o un relleno sanitario.
- Elaborar una tabla que contenga la siguiente información sobre cada uno de los procesos/etapas involucrados durante el reciclaje/disposición final de los residuos: nombre del proceso, objetivo, equipo utilizado, descripción breve del equipo, parámetro(s) y variables de operación involucrados para el seguimiento y control de la operación.
- Material de cobertura utilizado y su procedencia (para el relleno sanitario).
- Producto obtenido y sus características (en el caso de la planta recicladora).
- Uso del producto, mercado (para la planta recicladora).
- Normas oficiales mexicanas y legislación que se debe cumplir y su relación con cada etapa de la operación del relleno sanitario/planta recicladora.

Medidas de seguridad:

Durante la visita a la tratadora, debe usarse todo el tiempo el equipo de protección personal y seguir las normas de seguridad que indique el encargado de la planta recicladora/relleno sanitario.

SUGERENCIAS DIDÁCTICAS

- Se recomienda plantear estrategias para relacionar las prácticas No. 3, 11, 12 y 13, que contienen temas relacionados con la visita, para que el alumno pueda ser capaz de integrar y reforzar lo aprendido anteriormente por medio de esta práctica.
- Pedir a los estudiantes que lleven una bitácora con todas las observaciones e indagaciones realizadas durante la visita.
- Que el alumno investigue por equipos sobre las plantas recicladoras/rellenos sanitarios que existen en la zona donde habita y analice su impacto en la gestión de los residuos.

REPORTE DEL ALUMNO (RESULTADOS)

- Portada (bajarla del portal del ITT).
- 1. OBJETIVO DE LA PRÁCTICA.
- 2. FUNDAMENTO TEÓRICO
 - 2.1.Elaborar un mapa cognitivo con la siguiente información sobre los procesos de reciclaje para el papel, plástico PET, vidrio, aluminio, fierro: a)operaciones involucradas en el proceso de reciclaje, b)objetivo de cada operación, c)equipo utilizado.
 - 2.2.Elaborar un mapa cognitivo con la siguiente información sobre las etapas involucradas en la operación de un relleno sanitario: a)nombre de la etapa, b)objetivo, c)modo de realización, d)NOM y/o legislación (en caso de que aplique).
- 3. METODO
 - 3.1.Diagrama de bloques donde se ordenen los pasos a seguir para la realización de la visita a la empresa.
- 4. RESULTADOS
 - 4.1.Reportar de forma ordenada y creativa la información que se solicitó en la Metodología.
 - 4.2.Dibujo del relleno sanitario visitado.
- 5. CONCLUSIONES: Revisar el objetivo de la práctica y redactar las conclusiones que se piden a continuación.
 - 5.1. Conclusiones individuales.

5.2. Conclusiones del equipo.

6. FUENTES CONSULTADAS

BIBLIOGRAFÍA PRELIMINAR

Bonmatí, A. 2008. Capítulo 8: Gestión y tratamiento de residuos sólidos urbanos. Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica. Documenta Universitaria. Girona, España.

http://www.creaf.uab.es/propies/pilar/LibroRiesgos/09_Capítulos8.pdf

Davis, M. L. y S. J. Masten. 2005. Ingeniería y ciencias ambientales. Mc Graw Hill. México, D.F.

Enkerlin H., E.C.; G. Cano C., R.A. Garza C., E. Vogel M. 1997. Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. International Thompson Editores. México, D.F.

Anexos

ANEXO A

Tabla A.1. Algunas Normas Mexicanas vigentes en materia de agua

Clave	Nombre	Fecha publicación D.O.F. (dd-mm-aa)
NMX-AA-003-1980	Aguas residuales – Muestreo (cancela a la NMX-AA-003-1975).	25-03-1980
PROY-NMX-AA-003/1-SCFI-2008 (parte 1) PROY-NMX-AA-003/2-SCFI-2008 (parte 2)	Aguas residuales – muestreo (partes 1 y 2) (todas las partes cancelan al PROY NMX-AA-003-SCFI-2006)	06-03-2006
NMX-AA-004-SCFI-2000	Análisis de agua-determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-004-1977)	18-12-2000
NMX-AA-005-SCFI-2000	Análisis de agua- determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. (cancela a la NMX-AA-005-1980).	18-12-2000
NMX-AA-006-SCFI-2010	Análisis de agua-determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas-método de prueba (cancela a la NMX-AA-006-SCFI-2000)	30-09-2010
NMX-AA-007-SCFI-2000 Nota: se encuentra en consulta el PROY-NMX-AA-007-SCFI-2011.	Análisis de agua -determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba (cancela a la NMX-AA-007-1980)	18-12-2000
NMX-AA-008-SCFI-2011	Análisis de agua- determinación del pH método de prueba (cancela a la NMX-AA-008-SCFI-2000)	05-10-2011
NMX-AA-012-SCFI-2001	Análisis de agua-determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-012-1980)	17-04-2001
NMX-AA-014-1980	Cuerpos receptores – muestreo (cancela a la NMX-AA-014-1975)	05-09-1980
NMX-AA-026-SCFI-2010	Análisis de agua-medición de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-026-SCFI-2001)	3-03-2011
NMX-AA-028-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO ₅) y residuales tratadas-método de prueba (cancela a la NMX-AA-028-1981)	17-04-2001
NMX-AA-029-SCFI-2001	Análisis de aguas-determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.	17-04-2001

Cont. Tabla A.1

	(cancela a la NMX-AA-029-1981)	
NMX-AA-030-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba (cancela a la NMX-AA-030-1981)	17-04-2001
NMX-AA-034-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-034-1981).	01-08-2001
NMX-AA-036-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-036-1980)	01-08-2001
NMX-AA-038-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. (cancela a la NMX-AA-038-1982).	01-08-2001
NMX-AA-039-SCFI-2001	Análisis de aguas - determinación de sustancias activas al azul de metileno (SAAM) en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-039-1980).	01-08-2001
NMX-AA-042-1987	Calidad del agua - determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y <i>Escherichia coli</i> presuntiva (cancela a la NMX-AA-042-1981).	22-06-1987
NMX-AA-044-SCFI-2001	Análisis de aguas - determinación de cromo hexavalente en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-044-1982).	01-08-2001
NMX-AA-045-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de color platino cobalto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (cancela a la NMX-AA-045-1981)	01-08-2001

ANEXO B

Tabla B.1. Factores de relleno (Henley y Seader, 1990).

Tipo de relleno	Material	Tamaño nominal de relleno, in.										
		$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	3	$3\frac{1}{2}$
Super Intalox	Cerámica	—	—	—	—	—	60	—	—	30	—	—
Super Intalox	Plástico	—	—	—	—	—	33	—	—	21	16	—
Monturas Intalox	Cerámica	725	330	200	—	145	98	—	52	40	22	—
Anillo Hy-Pak	Metal	—	—	—	—	—	42	—	—	18	15	—
Anillos Pall	Plástico	—	—	—	97	—	52	—	40	25	—	16
Anillos Pall	Metal	—	—	—	70	—	48	—	28	20	—	16
Monturas Berl	Cerámica	900 ⁱ	—	240 ⁱ	—	170 ^h	110 ^h	—	65 ^h	45 ⁱ	—	—
Anillos Raschig	Cerámica	1,600 ^{b,i}	1,000 ^{b,i}	580 ^c	380 ^c	255 ^c	155 ^d	125 ^{e,i}	95 ^e	65 ^f	37 ^{g,i}	—
Anillos Raschig, 1/32-in. de pared	Metal	700 ⁱ	390 ⁱ	300 ⁱ	170	155	115 ⁱ	—	—	—	—	—
Anillos Raschig, 1/16-in. de pared	Metal	—	—	410	290	220	137	110 ⁱ	83	57	32 ⁱ	—
Tellerettes	Plástico	—	—	—	—	—	40	—	—	20	—	—
Maspak	Plástico	—	—	—	—	—	—	—	—	32	20	—
Lessing exp.	Metal	—	—	—	—	—	—	—	30	—	—	—
Partición cruzada	Cerámica	—	—	—	—	—	—	—	—	—	70	—

ANEXO C

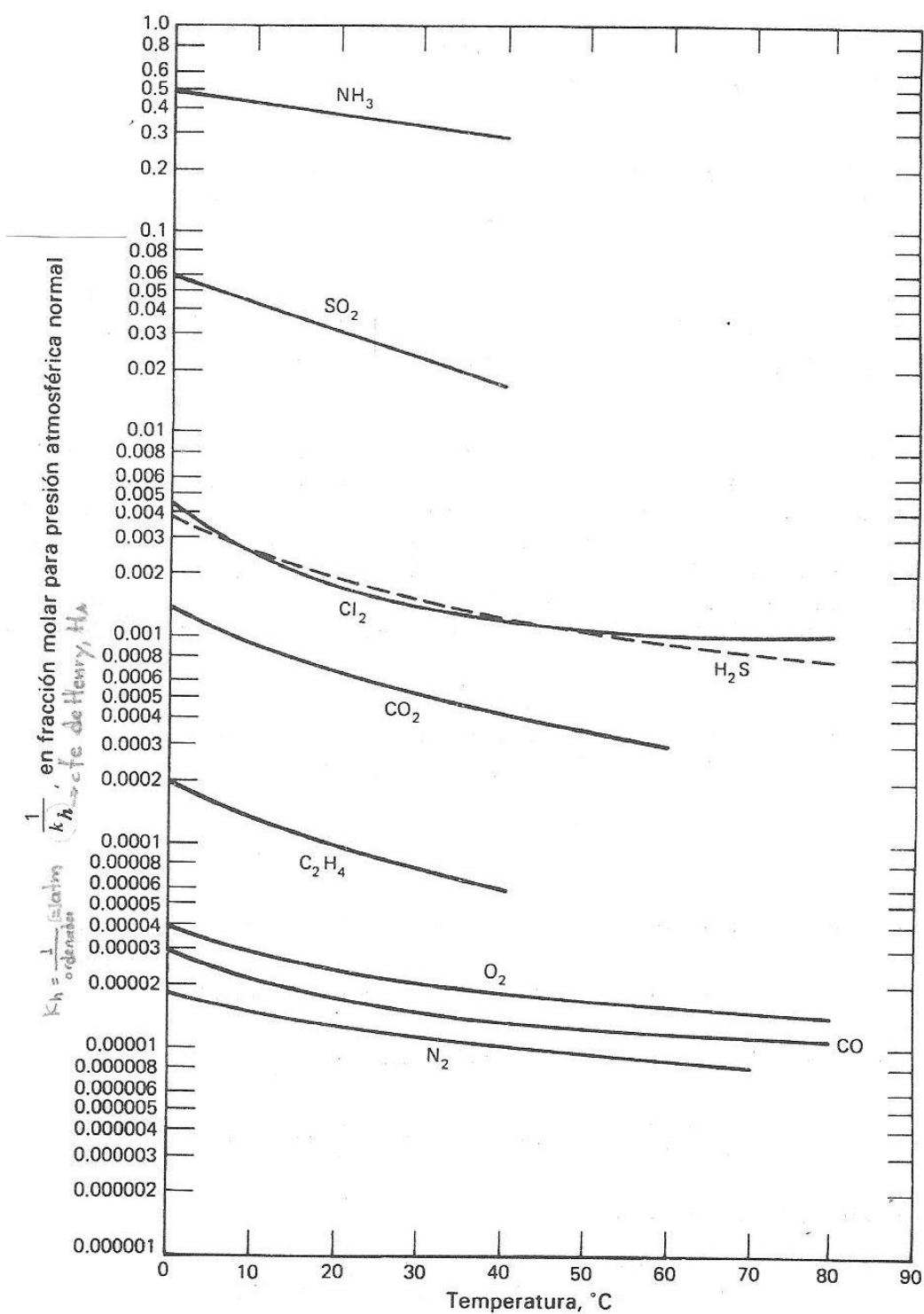


Figura C.1. Constante de la Ley de Henry para gases en agua (Henley y Seader, 1990).

Tabla C.1. Coeficiente de la Ley de Henry (Zarza y López, 1988).

COEFICIENTE DE LA LEY DE HENRY ⁹ (10 ² atm/unidad de fracción molar).													
T °C	H ₂ S	CO ₂	CO	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	CH ₄	NO	O ₂	N ₂	Br ₂	H ₂	Aire
0	2.68	7.28	342	7.20	55.2	126	224	169	255	529	0.213	579	432
10	3.67	10.40	442	9.60	76.8	189	297	218	327	668	0.366	636	549
20	4.83	14.20	536	12.10	102.0	263	376	264	401	804	0.593	683	664
30	6.09	18.60	620	14.60	127.0	342	449	310	475	924	0.905	729	771
40	7.45	23.30	696	-----	-----	423	520	352	535	1040	1.330	651	870
50	8.84	28.30	761	-----	-----	500	577	390	588	1130	1.910	765	946
60	10.30	34.10	831	-----	-----	565	626	418	629	1200	2.510	765	1010
70	11.90	-----	845	-----	-----	623	666	438	663	1250	3.210	761	1050
80	13.50	-----	845	-----	-----	661	682	448	687	1260	4.040	755	1070
90	14.40	-----	846	-----	-----	687	692	452	699	1260	-----	751	1080
100	14.80	-----	846	-----	-----	692	701	454	701	1260	-----	745	1070