MANUAL DE PLANTAS DEPURADORAS

VOLUMEN 1

Caracterización de efluentes: ensayos físicos y químicos



colección redes

Lazos de agua

aysa



Ciencia, tecnología y gestión
en servicios de agua potable
y saneamiento.

MANUAL DE PLANTAS DEPURADORAS

VOLUMEN 1

Caracterización de efluentes:
ensayos físicos y químicos

LAZOS DE AGUA EDICIONES

Edición: Mariana Stein, Daiana Reinhardt y Santiago Basso
Diseño: Mariano Gaitán
Fotografía: Martín Mombrú y Pablo Carducci

Producción gráfica: Jorge Mondini, Javier Domenichini, Alexis Olivares y Mario Barbieri

Coordinación autoral: Pablo Carducci
Autoría: Pablo Carducci, Julián Castellanos, Leonardo Ceballos, Ángela Cícero, Marcelo Der Meguerditchian, Walter Gil, Sebastián Lomazzi, Nahuel Maldonado, Rodrigo Marcev, Carlos Molina, Corina Nigro, Andrés Rodríguez Reta, Alejandro Ruhl, Mariana Stein y Miguel Villamor
Revisión técnica: Miguel Villamor y Oscar Vélez

Idea original: Enrique Calderón y Rubén Darío Maldonado

Agradecimientos: a Martha Alfonso, Paula Azpitarte, Natalia Basil, Julieta Berardo, Walter Dalia, Valeria Ionno, Santiago Kuster, Mario López, Inés Pantaleo, Julieta Piombo y Maximiliano Vander Horden.

Agradecimientos especiales: a todo el personal de las plantas depuradoras Hurlingham, El Jagüel, Norte, Santa Catalina, Sudoeste y del Laboratorio Central de AySA por su colaboración y dedicación en las visitas a las instalaciones y su invaluable aporte de consejos y experiencias.

Agua y Saneamientos Argentinos S.A. - AySA S.A.
Manual de plantas depuradoras. Vol. 1: caracterización de efluentes: ensayos físicos y químicos. - 1a ed. -
Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Lazos de Agua, 2018.
80 p.; 20 x 28 cm. - (Redes)

ISBN 978-987-29750-7-4

1. Saneamiento. 2. Técnicas de Laboratorio.
CDD 363.72

Edición no comercial. Queda hecho el depósito que marca la Ley Nº 11.723.
Todos los derechos reservados.

Realizado en Imprenta AySA
Impreso en la Argentina

1ª edición, febrero de 2018

©2018, Lazos de Agua Ediciones
Contacto: lazosdeaguaediciones@aysa.com.ar

Agua y Saneamientos Argentinos S.A.
Cuit: 30-70956507-5
Tucumán 752 Piso 20, CP 1049
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

serie manuales

MANUAL DE PLANTAS DEPURADORAS

VOLUMEN 1

Caracterización de efluentes: ensayos físicos y químicos

colección redes

Lazos de agua

aysa

Prólogo I

Es una satisfacción presentar el primer volumen del presente *Manual de plantas depuradoras*, obra realizada íntegramente por los trabajadores del área de saneamiento de AySA S.A.

En esta publicación se formalizan experiencias y conocimientos adquiridos tras décadas de ardua labor en las plantas de la empresa, con el objetivo de transmitir saberes a las nuevas generaciones de operarios, en un contexto histórico de gran expansión de infraestructura, por la ampliación de plantas existentes y la construcción de nuevos establecimientos.

Es un orgullo constatar que el espíritu de la escuela sanitaria iniciada por Obras Sanitarias de la Nación desde su fundación, y continuada por nuestro sindicato a través del Instituto Leopoldo Marechal, se perpetúa aquí en su misión de formar personal especializado en un servicio indispensable para el bienestar y la salud de la sociedad y para la preservación del medio ambiente.

Deseamos que este libro constituya un pilar para la elaboración de otras obras de divulgación técnica que colaboren con la capacitación de los trabajadores, así como con el desarrollo y la evolución de la labor sanitaria, que es un motor de mejora de la calidad de vida de todos los ciudadanos.

José Luis Lingeri
Secretario General
Sindicato Gran Buenos Aires de Trabajadores de Obras Sanitarias (SGBATOS)

Tomás Vigliotti
Secretario de Técnica y Reconversión Laboral
Sindicato Gran Buenos Aires de Trabajadores de Obras Sanitarias (SGBATOS)

Prólogo II

Lo escuché y lo olvidé, lo vi y lo entendí, lo hice y lo aprendí.
Confucio

El *Manual de plantas depuradoras*, que se inicia con el presente volumen, es un compendio de las mejores prácticas aplicadas en las plantas depuradoras operadas por AySA S.A. Su objetivo principal es compartir la vasta experiencia de los operadores de nuestras instalaciones. Los textos que siguen no abordan exhaustivamente los conocimientos teóricos ya disponibles en los libros especializados o en los manuales de estándares de métodos de análisis, pero ofrecen valiosa y detallada información técnica sobre la labor cotidiana en nuestros establecimientos. Esta información es difícil de encontrar en la bibliografía actual en lengua española y, hasta donde tenemos conocimiento, no existe precedente en la región de una obra de este tipo. Y todo ello en un lenguaje claro, preciso y accesible.

El manual ha sido organizado en siete volúmenes que tratan los diversos aspectos de la actividad de depuración de líquidos cloacales. A este primer volumen, "Caracterización de efluentes: ensayos físicos y químicos", le seguirán "Depuración de líquidos cloacales" (funcionamiento de las unidades operativas), "Tratamiento de lodos", "Microflora y microfauna en el tratamiento biológico de depuración", "Control de procesos de depuración", "Gestión de una planta depuradora" y "Glosario y bibliografía".

Es nuestra esperanza que sirva tanto para los operadores de AySA S.A. como para todos aquellos que necesiten información relativa a la gestión de estas nobles instalaciones, fundamentales para una vida sana en un medio que debe preservarse.

Agradecemos sinceramente a todos los redactores de esta obra porque han cumplido con la misión de compartir y transmitir sus conocimientos, fruto de una experiencia de años, y han sabido incorporar otros nuevos para actualizarse y optimizar las tareas, con vistas al futuro y en pos de mantener siempre la meta de la excelencia.

Oscar Raffa
Director de Plantas y Establecimientos
Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (AySA S.A.)

Pedro Rondinelli
Director Adjunto de Plantas y Establecimientos
Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (AySA S.A.)

Rubén Darío Maldonado
Gerente de Plantas Depuradoras
Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (AySA S.A.)

Contenido

1 Introducción 12

2 Muestreo 14

3 Materia en suspensión 20

4 Sólidos sedimentables 24

5 Índice volumétrico de lodos 28

6 Oxígeno disuelto 30

7 Demanda bioquímica de oxígeno 32

8 Demanda química de oxígeno 38

9 Oxígeno consumido 42

10 Potencial redox 44

11 pH 47
12 Temperatura 50
13 Turbiedad 52
14 Parámetros complementarios 54
15 Resumen y recomendaciones 61
Anexo A. Normas para desagües cloacales 70
Anexo B. Técnicas analíticas estandarizadas 72
Referencias 74
Índice analítico 76

1 | Introducción

Durante las etapas de depuración de los líquidos cloacales, es necesario realizar una serie de ensayos de parámetros físicos y químicos para evaluar la calidad del fluido y el funcionamiento de las instalaciones y, también, para tomar decisiones relativas al proceso. Los niveles de aireación, el porcentaje de recirculación y las purgas de lodos, entre otros aspectos operativos, están en gran medida condicionados por los resultados de estos ensayos.

Ciertos parámetros, como la concentración de oxígeno disuelto, son de rápida medición y, por lo tanto, permiten tomar decisiones operativas inmediatas. En cambio, otros, como la demanda bioquímica de oxígeno, cuyos resultados demoran cinco días en obtenerse, son de control global o de largo plazo. Por su parte, algunos parámetros resultan complementarios de las operaciones, como el pH y la temperatura, pues informan sobre las condiciones en que estas se desarrollan. Finalmente, determinados valores como los correspondientes a las concentraciones de metales pesados y de hidrocarburos alertan sobre eventuales anomalías en los vertidos cloacales.

Desde el punto de vista legal, las plantas depuradoras deben respetar marcos regulatorios que establecen límites de vuelco a los cuerpos receptores para un conjunto de parámetros, como por ejemplo las demandas química y bioquímica de oxígeno, la materia en suspensión, el pH y la temperatura.

En las siguientes páginas se definen todos los parámetros físicos y químicos que se determinan en los laboratorios de las plantas de AySA S.A., tanto aquellos exigidos por la normativa de vuelco (Ley N° 26221, Anexo B) como aquellos no regulados pero también necesarios. Además, se describen los tipos de muestreo y se presentan recomendaciones para obtener muestras que arrojen resultados confiables y representativos.

Profesionales y estudiantes hallarán en los textos que siguen los fundamentos de aplicación de estos análisis e inestimables consejos prácticos*. Sin dudas, esta información ayudará a los operadores a resolver inconvenientes durante su tarea cotidiana y a decidir qué ensayos les permitirán controlar mejor el proceso de depuración.

* Dado que los protocolos de las técnicas están descriptos en *Métodos estandarizados*, a disposición de los profesionales en todos los laboratorios de las plantas, estos no se detallan en la presente publicación.


aysa
aysa

2 | Muestreo

¿Qué es y por qué se realiza?

El muestreo consiste en extraer una porción de un universo con el propósito de estudiarlo. Esta porción, o muestra, debe representar con exactitud el universo de procedencia y, además, debe ser lo suficientemente pequeña como para poder ser transportada y analizada en un laboratorio. Por otra parte, las muestras deben manejarse de forma tal que no sufran alteraciones significativas antes de que sean realizados los ensayos correspondientes. Una muestra será representativa cuando las concentraciones relativas de todos sus componentes sean iguales a las del universo de origen.

En el caso de las plantas depuradoras, el universo estudiado es el líquido cloacal que circula por las unidades operativas. Este líquido exhibe características específicas:

- Es heterogéneo: incluye grasas, espumas, residuos sólidos (papeles y plásticos, entre otros), arenas y contaminantes disueltos.
- Contiene sólidos decantables y en suspensión que pueden alterar los resultados si no se homogeneiza la muestra adecuadamente antes de analizarla.
- Es sensible a la degradación por el efecto de la luz, del calor y de la incorporación de oxígeno, entre otros.

Por lo tanto, el empleo de las mejores y más eficaces técnicas de laboratorio arrojarán resultados erróneos si el muestreo no se realiza adecuadamente o si no se preservan las propiedades del líquido cloacal extraído antes de su análisis.

Cada planta deberá establecer un programa de muestreo adecuado a cada variable, que contemple la legislación vigente respecto de los parámetros de medición obligatoria. Así, este programa servirá para verificar el cumplimiento de las normas y para garantizar que las unidades operativas funcionen eficientemente. Por otra parte, proveerá información confiable sobre la que se podrán sustentar decisiones de cambios durante el proceso de depuración.

Modos y tipos de muestreo

Las muestras se obtienen manualmente o bien con equipos muestreadores que funcionan con bombas que succionan el líquido mediante un captor a intervalos regulares, de forma automática, y lo disponen en recipientes para su posterior análisis.

Si los dispositivos cuentan con refrigeración, permiten extender el período de muestreo, por ejemplo a 24 horas. En el mercado se ofrecen diversos modelos con capacidad, por ejemplo, para 4, 12 o 24 recipientes.

Muestreo puntual

Una muestra puntual es una porción única de material extraída en un lugar y un momento determinado. Si una fuente o masa de agua es relativamente constante en su composición, en el tiempo y en el espacio, la muestra se considera representativa. En cambio, si se sabe o se sospecha que el líquido varía en su caudal o calidad a lo largo del tiempo, una muestra puntual solo representa el instante en que fue obtenida.

El muestreo puntual es imprescindible en el control de las plantas depuradoras porque se aplica en:

- Determinaciones de temperatura, oxígeno disuelto y potencial redox, que son parámetros sujetos a variación si no se miden en el momento.
- Sectores del proceso donde la calidad y cantidad del analito a estudiar se mantiene relativamente constante en el tiempo, como por ejemplo la materia en suspensión de un reactor biológico.
- Lugares de la planta en que no es posible realizar otro tipo de muestreo, por ejemplo en las tuberías donde fluyen lodos, porque si se instalaran muestradores automáticos, estos se obstruirían rápidamente y, en consecuencia, no solo habría que aumentar la frecuencia de su mantenimiento preventivo, sino que disminuiría su vida útil.
- Procesos o equipos que funcionan en forma discontinua, por ejemplo la purga de lodos o las bombas de recirculación.
- Análisis por sospechas de eventuales descargas de origen industrial pues, en estos casos, urge extraer una muestra instantánea del afluente.



Extracción de una muestra puntual.

- De manera general, análisis inmediato de anomalías, por ejemplo, ante detecciones organolépticas anómalas (olores, espumas, etcétera) en cualquier instancia del proceso.

Una muestra puntual es válida y brinda información valiosa a condición de que se tomen ciertos recaudos:

- Las muestras rutinarias deben ser extraídas en el mismo horario y lugar para que sean representativas y comparables.
- Si se desea calcular el rendimiento de una unidad, se debe respetar el tiempo de residencia hidráulico entre muestras, por ejemplo, si el líquido permanece 2 horas en un sedimentador, las muestras de entrada y salida deben obtenerse respetando ese intervalo de tiempo entre ambas.
- En las corrientes de líquido discontinuas se debe esperar a que las características del líquido se estabilicen antes de tomar la muestra. Por ejemplo, en una purga, la concentración de sólidos será mayor al inicio del funcionamiento de la bomba de extracción, y luego exhibirá valores uniformes.
- Es necesario prestar especial atención a no contaminar la muestra con sobrenadantes, que no representan el líquido que fluye de una unidad a otra.

Muestreo compuesto

Los muestreos compuestos se basan en extracciones realizadas a intervalos regulares de tiempo que se integran luego en una única muestra.

Los muestreadores automáticos están programados para este tipo de muestreo. Si no se cuenta con un muestreador automático, el muestreo compuesto se puede hacer integrando una serie de muestras puntuales.

Respecto del muestreo puntual, el compuesto presenta la ventaja de reflejar las características del líquido a analizar en un período de tiempo y no en un



Muestreador automático.

instante. En una planta depuradora, las muestras de afluente y efluente suelen tomarse en forma compuesta o bien, como se describe en las líneas que siguen, de forma compensada, cubriendo intervalos de 12 o de 24 horas.

Muestreo compensado

Una muestra es compensada si su volumen se ajusta al caudal de circulación en el momento de su extracción. Si el caudal es alto, el volumen de la muestra será mayor que si el caudal es bajo. Ponderar la muestra en función del caudal arroja resultados más representativos de la realidad de una jornada de depuración.

Indudablemente, el muestreo compensado es muy completo respecto de la información que brinda; no obstante, presenta algunos inconvenientes. En primer lugar, requiere de un muestreador automático asociado a un medidor de caudal, pero no siempre se dispone de caudalímetros en todos los puntos de control. Además, caudalímetros y muestreadores deben incluir ciertas especificaciones técnicas, por ejemplo, los sistemas de emisión y recepción de señales deben ser compatibles. Por otra parte, como los muestreadores automáticos son costosos, se suelen utilizar en pocos puntos de la planta, por lo general, a nivel del afluente y del efluente.

Criterios de selección de los puntos de muestreo

Los puntos de muestreo deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Representar la corriente que se quiere caracterizar. Por ejemplo, no se debe muestrear solo un perfil superficial, pues hay sustancias que flotan y su concentración local no representa la composición de la corriente principal.
- Ser de fácil acceso y seguros para el personal. El muestreador automático debe ubicarse dejando espacio suficiente para que los envases se puedan manipular con facilidad. Además, el sitio de muestreo debe ofrecer al operario protección contra el riesgo de caídas.
- Presentar mezcla constante y turbulenta. Ello favorece la homogeneidad de la muestra.
- Ninguna corriente de líquido debe interferir con aquella que se desea analizar. En la mayoría de las cabeceras de las plantas hay cámaras que reciben drenajes provenientes de unidades de tratamiento de lodos. Así, si se desea analizar el afluente, se deberá tener la precaución de extraer la muestra en un sitio que no se vea afectado por estas corrientes de retorno.

Recomendaciones técnicas durante el muestreo

- El captor del muestreador automático no debe resultar interferido por residuos. Tampoco debe ubicarse en las cercanías de la superficie ni en el fondo del sitio elegido. Así se evitará que el colector se obstruya y, además, se obtendrán determinaciones más representativas. Un captor cercano al fondo extraerá demasiados sólidos decantables y uno muy cercano a la superficie arrojará valores de sólidos menores al promedio general.

- Las mangueras de captación del muestreador deben higienizarse correctamente para evitar el desarrollo de hongos y algas que alteren la composición de la corriente a muestrear. Además, se evitarán así dificultades de succión y taponamientos.

Preservación de las muestras

Las muestras de líquido cloacal pueden degradarse por acción de la luz, del calor y por oxigenación. Por otra parte, suelen contener una gran cantidad de sólidos. Por ello se recomienda:

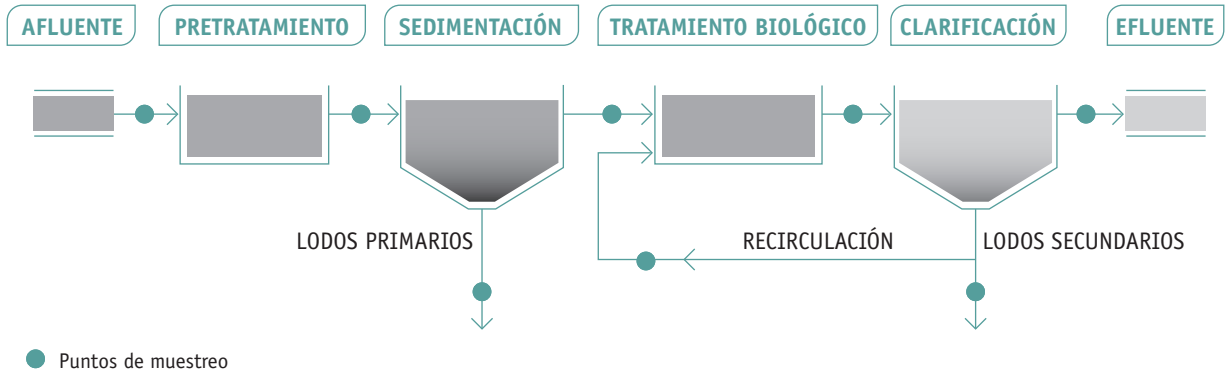
- Analizar las muestras en el momento o refrigerarlas a 4 °C; pero evitar conservarlas más de 48 horas.
- Verificar el correcto funcionamiento de la refrigeración de los equipos automáticos.
- Respetar las indicaciones de conservación para cada tipo de ensayo. Por ejemplo, en la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno, mantener las muestras en la oscuridad.
- Homogeneizar el contenido de la muestra antes de realizar transvases.

En una jornada de depuración se extraen de 25 a 50 litros de muestras.



Puntos de control en plantas depuradoras

Básicamente, el líquido (afluente) que ingresa a una planta depuradora es sometido a las siguientes etapas: pretratamiento (rejas y desarenadores); sedimentación primaria; tratamiento biológico; y clarificación. El proceso se termina en un punto de vuelco de líquido (efluente) al cuerpo receptor. Estos sitios constituyen puntos de donde se extraen muestras para análisis como se esquematiza en la siguiente ilustración.



El tipo de muestreo varía con la unidad de tratamiento. Así, una muestra compensada o compuesta representará mejor que una muestra puntual las características del afluente que ingresa a la planta a lo largo de una jornada. En cambio, para tomar decisiones vinculadas con los procesos biológicos, como modificar el nivel de aireación en una unidad de tratamiento biológico, es necesaria una muestra puntual que represente el estado del licor mezcla o del lodo en el momento. En la siguiente tabla se enumeran los tipos de muestreo más recomendados para cada etapa del proceso.

TIPOS DE MUESTREO POR ETAPA

Puntos de muestreo	Muestreo compensado	Muestreo compuesto	Muestreo puntual
Afluente	+	▣	–
Pretratamiento*	+	▣	–
Sedimentación primaria*	+	▣	–
Tratamiento biológico			+
Corrientes de lodos			+
Efluente	+	▣	–

\+ Opción más representativa
▣ Opción alternativa
– Opción menos representativa

* En estas etapas, las muestras se extraen de las corrientes de salida.

3 | Materia en suspensión



Equipo de filtración por sistema de vacío.

¿Qué es?

Cuando se filtra una muestra, la *materia en suspensión* (MES), también llamada *sólidos suspendidos totales*, es la masa del residuo retenido sobre un filtro una vez que se lo deshidrató a 103 °C–105 °C. Los valores se presentan en unidades de concentración, generalmente, en mg/l.

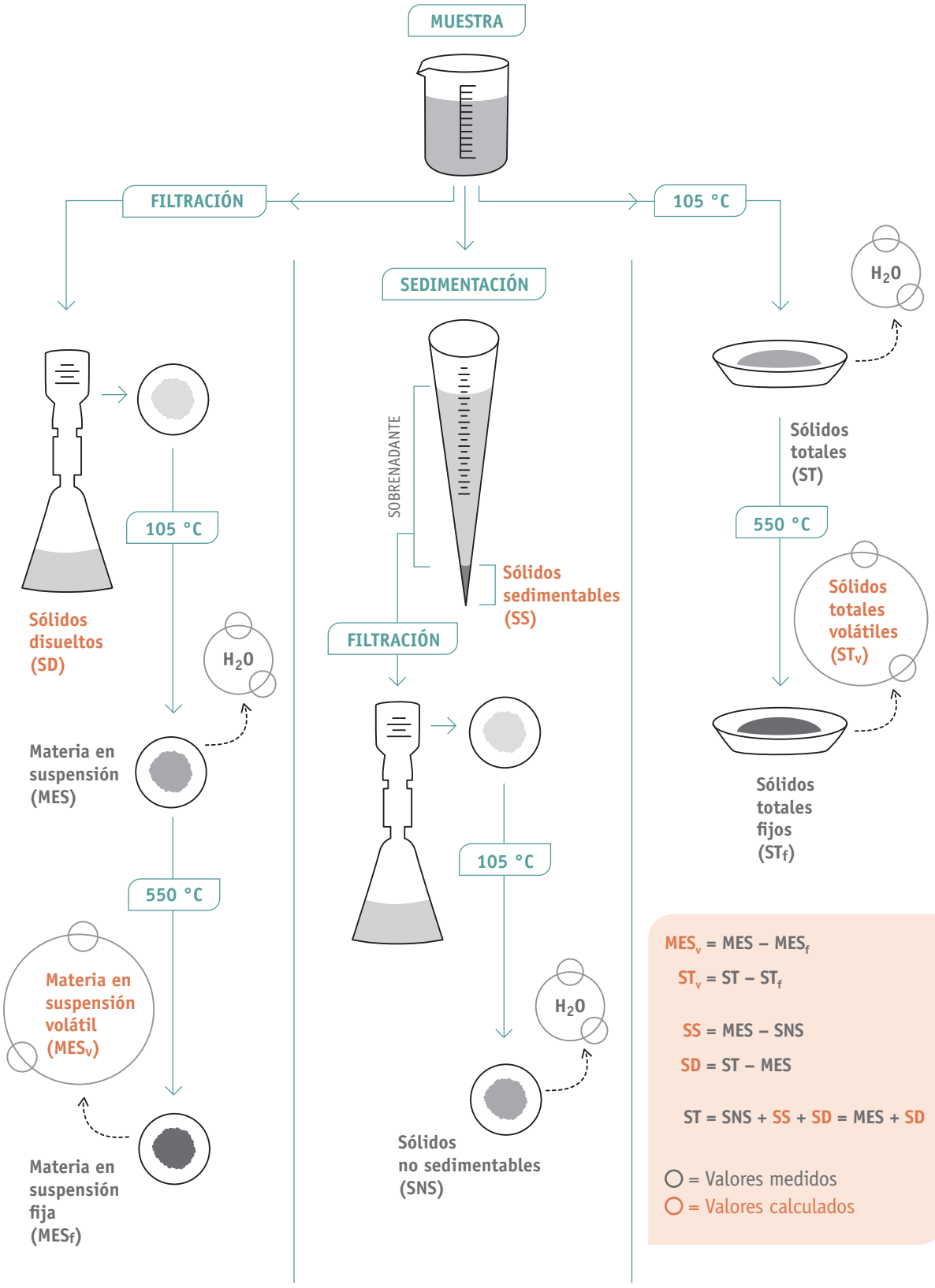
Fracciones de sólidos

La MES se compone de *sólidos suspendidos volátiles* (MES_v) y de *sólidos suspendidos fijos* (MES_f). La MES_f está constituida por la masa de las cenizas que quedan después de un tratamiento de incineración en muflas a 550 ± 50 °C. La MES_v es la fracción mayormente orgánica que se volatiliza durante este tratamiento y se calcula por diferencia entre la MES y la MES_f.

El líquido que pasó a través del filtro contiene *sólidos disueltos*, que se encuentran en estado soluble y coloidal. Estos constituyen en gran medida el sustrato de la oxidación por microorganismos en las unidades de tratamiento biológico. La suma de los sólidos disueltos y la MES constituye los *sólidos totales*, que se determinan luego de secar a 105 °C una muestra no filtrada. Los sólidos totales también resultan de sumar los *sólidos sedimentables*, los *sólidos no sedimentables* (es decir, aquellos que quedan retenidos en un filtro cuando se pasa el sobrenadante proveniente de un cono Imhoff) y los sólidos disueltos.

El esquema de la página siguiente muestra los diversos modos de fraccionar una muestra. A partir de los valores de las fracciones que se determinan directamente, como los sólidos totales y la MES, se calculan los valores de otras fracciones, como los sólidos disueltos (en naranja).

FRACCIONAMIENTO DE SÓLIDOS DE UNA MUESTRA



$MES_v = MES - MES_f$

$ST_v = ST - ST_f$

$SS = MES - SNS$

$SD = ST - MES$

$ST = SNS + SS + SD = MES + SD$

○ = Valores medidos

○ = Valores calculados



Extracción de un filtro con residuos luego de una filtración.

¿Por qué se determina?

Las determinaciones de MES permiten calcular el porcentaje de rendimiento de la sedimentación en las unidades decantadoras, ajustar la masa de lodos a extraer de los sedimentadores primarios y ajustar los tiempos de permanencia del líquido.

Además, la cuantificación de los sólidos en el licor mezcla de los tanques de aireación, en conjunto con otras determinaciones complementarias —como la demanda bioquímica de oxígeno—, se usa para controlar el proceso biológico.

Por otra parte, parámetros como la edad del lodo y la carga másica (F/M), que se calculan a partir de la fracción volátil, se utilizan para regular los caudales de recirculación y la masa de lodos diaria que se debe purgar del sistema.

Finalmente, la MES del efluente que se vuelca en el cuerpo receptor es de medición obligatoria según las normas de vuelco de la mayoría de las legislaciones vigentes.



Balanza analítica

Características

- La técnica es sencilla y rápida. Los resultados se obtienen aproximadamente en 2 horas, lo cual permite tomar decisiones operativas rápidamente.
- La MES es un parámetro valioso porque presenta una estrecha correlación con la demanda bioquímica de oxígeno (0,8-1,3 : 1) e informa sobre los rendimientos de casi todas las unidades de tratamiento.

Inconvenientes

Las determinaciones de MES, MES_v y MES_f requieren una inversión económica inicial en estufas de secado, muflas, bombas de vacío, equipos de filtración y balanzas analíticas, lo cual, habida cuenta de sus costos, puede representar una limitación.

VALORES REALES* DE MES (PLANTA DEPURADORA NORTE)

Punto de muestreo	MES (mg/l)
Afluente	130
Sedimentación primaria	82
Lodos primarios	3.500
Reactor biológico	1.910
Lodos secundarios	3.730
Efluente	17

* Medidos sobre muestras del 1 de agosto de 2015.

AySA OPERA

Frecuencia

Dada la relevancia de la determinación, es conveniente establecer una frecuencia que garantice la calidad final del líquido tratado, mediante un correcto control de las unidades intermedias. Esta frecuencia se irá ajustando según el desarrollo y el grado de confiabilidad de los procesos. En principio, se recomienda hacer una determinación diaria y, luego, establecer frecuencias mínimas por unidades; por ejemplo, tres muestreos semanales a la salida de la sedimentación primaria, dos del licor mezcla y diariamente a la salida de planta.

Condiciones y puntos de muestreo

Para los afluentes, la salida del pretratamiento, de los sedimentadores primarios y de la clarificación se recomienda trabajar con muestras compensadas de 24 horas o compuestas. De este modo, los resultados serán representativos del proceso de planta. Las muestras se pueden obtener mediante muestreadores automáticos refrigerados a 4 °C, que garantizan una conservación adecuada hasta el momento de los análisis.

En cambio, para analizar la MES de los reactores biológicos, de la recirculación de lodos (en sedimentación primaria o en clarificación) y de la purga de lodos, por lo general, se aplica la modalidad de muestreo puntual. Así, el dato obtenido se puede relacionar con el análisis visual al momento de la toma de muestra (estado de los equipos, características del barro, etcétera). Además, dadas las características físicas de estas mezclas, no es conveniente utilizar muestreadores automáticos porque se pueden producir obturaciones. Ahora bien, en estos casos, se debe tomar la precaución de asegurar la repetibilidad de las condiciones de muestreo en el tiempo, es decir, respetar horarios y puntos de muestreo, y tener en cuenta los parámetros del proceso (caudales recirculados, equipos en funcionamiento y observaciones generales que puedan incidir en el resultado final del análisis).

Recomendaciones

- Homogeneizar bien la muestra inmediatamente antes de filtrarla.
- Tener en cuenta la concentración de la muestra para decidir qué volumen se filtrará. Si se trata de líquidos concentrados, por ejemplo, del afluente, se necesitará un volumen menor (por lo general, alícuotas de 50–100 ml) que si los líquidos se encuentran clarificados (por lo general, alícuotas de 250–500 ml).
- Hay muestras tan concentradas, como las de recirculación de lodos, que no se pueden filtrar. En estos casos, es conveniente evaporarlas directamente en una cápsula; por lo tanto, a la hora de realizar cálculos habrá que considerar que se determinaron sólidos totales en lugar de MES.



Shibasaburo Kitasato

Fue un médico y bacteriólogo japonés (1852-1931), discípulo de Robert Koch (el descubridor del bacilo de la tuberculosis). Colaboró en investigaciones sobre el tratamiento y la prevención de la difteria y el tétanos. En 1894, identificó el agente causante de un brote de peste bubónica en Hong Kong. En su honor se llama *kitasato* el recipiente cónico con cuello cilíndrico y tubo de desprendimiento lateral que se utiliza para realizar filtraciones.



El “kitasato”

4 | Sólidos sedimentables

¿Qué son?

En una muestra, los *sólidos sedimentables* (SS) representan el volumen o la masa de material que sedimenta en un lapso de tiempo dado, usualmente a los 10 minutos y a las 2 horas.

El valor se expresa como volumen en volumen (ml/l), mediante la medición con un cono Imhoff, el método más utilizado; o como masa en volumen (mg/l), por gravimetría de la fracción de sólidos que ha sedimentado o por cálculo a partir de la MES. En este caso, los sólidos sedimentables equivalen a la diferencia entre la materia en suspensión total (MES) y la materia en suspensión del líquido sobrenadante en el cono Imhoff, es decir, los sólidos no sedimentables (SNS).

¿Por qué se determinan?

La determinación de los sólidos sedimentables permite estimar la eficiencia de las unidades de sedimentación. Además, es uno de los parámetros con que se evalúan los rendimientos de una planta depuradora, pues la diferencia entre los valores de sólidos sedimentables a la entrada y a la salida de cada unidad de tratamiento brinda una estimación rápida del funcionamiento de estas unidades.

Características

- Es una determinación sencilla. Requiere poco equipamiento: una gradilla, conos Imhoff y un reloj o un cronómetro.
- Los valores se obtienen rápidamente y son de lectura directa.
- Un operador experimentado obtendrá información adicional del líquido mediante la observación del aspecto en el cono Imhoff. Por ejemplo, un líquido más turbio de lo habitual podría indicar falta de oxígeno.

Inconvenientes

- La calidad del muestreo puede afectar notablemente el valor de este parámetro. Si se extrae material cerca de la superficie del líquido, es probable que la muestra contenga menos sedimentos y se subestime el valor de SS a los 10 minutos. Si la muestra proviene de un sitio demasiado profundo incluirá sólidos acumulados y el valor resultará sobreestimado.

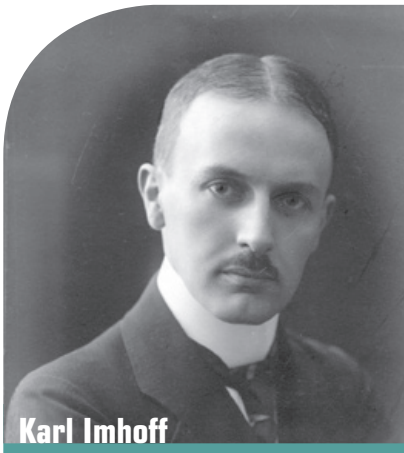
- Como se trata de una lectura visual en una escala graduada, el valor incluirá errores de apreciación.

Recomendaciones

- Prestar especial atención al sitio donde se coloca la manguera de extracción del muestreador automático. Lo ideal es que el punto de extracción se halle a una profundidad intermedia y que la zona presente turbulencia.
- Debido a la sencillez técnica y operativa del ensayo y a su rapidez, las muestras pueden ser eventualmente analizadas *in situ* (en el lugar de extracción); en el caso de los SS, a los 10 minutos.
- El uso de conos Imhoff permite determinar con precisión valores de sedimentación de 0 a 100 ml con muestras de 1.000 ml. En cambio, si se miden valores de sedimentación que pueden ser mayores a 200 ml, como los de la salida de un reactor biológico, se recomienda utilizar probetas o vasos de precipitado graduados.
- Agitar bien la muestra antes de verterla en el recipiente de medición.



Determinación de sólidos sedimentables en conos Imhoff. De izquierda a derecha, afluente, salida de sedimentación primaria y efluente de planta.



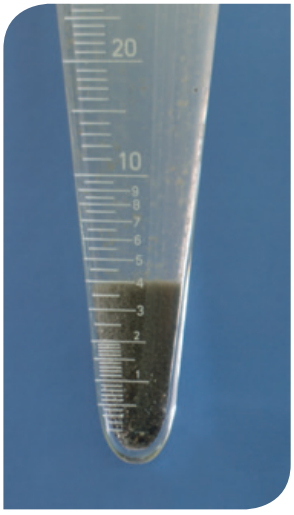
Karl Imhoff

Ingeniero civil alemán (1876-1965), fue un pionero en la depuración de líquidos cloacales. Su manual sobre drenajes urbanos, publicado en 1906, se ha traducido a más de veinte idiomas y aún mantiene vigencia. Entre sus múltiples innovaciones e inventos se encuentran el cono y el tanque Imhoff.



El "cono Imhoff"

- 15 minutos antes de cumplirse las 2 horas de sedimentación, remover suavemente, con una varilla agitadora, los sedimentos que hubieran podido adherirse a las paredes del recipiente.
- Si el nivel de sólidos se encuentra entre dos divisiones de escala, se tomará el valor más próximo a la división. Si hasta la altura máxima de sólidos se observaran cámaras de aire, el volumen de aire deberá restarse del volumen total del sedimento. A continuación, se detallan los intervalos de medición en el cono Imhoff, en ml/l, y sus respectivas divisiones de escala.



En la base del cono Imhoff, se determinan valores con una precisión de 1/10 ml.

Intervalo de volumen (ml)	División de la escala (ml)
0-2	0,1
2-10	0,5
10-40	1,0
40-100	2,0
100-1.000	50,0

Frecuencia

Dado que se trata de un ensayo básico y sencillo, se recomienda realizar mediciones diarias.

Condiciones y puntos de muestreo

Es conveniente utilizar muestras compensadas o compuestas extraídas de los siguientes puntos.

- Afluente
- Pretratamiento
- Sedimentación primaria
- Efluente



Sedimentador primario en la Planta Depuradora Sudoeste I.

5 | Índice volumétrico de lodos

¿Qué es?

De modo complementario a las determinaciones de sólidos y de materia en suspensión, se realizan ensayos de sedimentación sobre el licor mezcla y las corrientes de lodos. El *índice volumétrico de lodos* (IVL) o *índice de Mohlman* es el volumen en mililitros que ocupa 1 gramo de lodo luego de sedimentar durante un tiempo dado, por ejemplo, 30 minutos, en un recipiente graduado. El valor se obtiene dividiendo el volumen sedimentado por la concentración de la materia en suspensión del lodo en cuestión. De modo que su expresión matemática es:

$$IVL = \frac{\text{Volumen sedimentado (ml/l)} \cdot 1.000 \text{ mg/g}}{\text{MES lodo (mg/l)}}$$

¿Por qué se determina?

El valor del IVL informa sobre las características del lodo y permite, por lo tanto, controlar el funcionamiento de las unidades de tratamiento biológico con procesos de "barros activados":

IVL < 80 ml/g	⇒	el barro es muy compacto, probablemente viejo, y no forma flóculos. El efluente será turbio.
80 ml/g ≤ IVL ≤ 200 ml/g	⇒	el lodo es óptimo para el tratamiento biológico.
IVL > 200 ml/g	⇒	el barro presenta baja sedimentación y es probable que haya bacterias filamentosas generadoras de *bulking*.

No obstante estos valores generales, cada operador deberá determinar los valores de IVL más representativos de su instalación.

Por otra parte, independientemente del valor final del índice, la simple observación de la muestra en sedimentación aporta información cualitativa al operador de planta, porque permite analizar características físicas tales como la turbiedad del líquido sobrenadante, la formación de flóculos, el grado de compactación y el color.

En conjunto con otros indicadores del proceso, como la edad del lodo y la carga másica (F/M), el aspecto de la sedimentación y el IVL permiten ajustar variables globales, como los porcentajes de recirculación y los niveles de purga de barros en exceso.

Características

- Es un valor de determinación sencilla.
- En los reactores biológicos, es complementario a la MES.
- El aspecto físico de la muestra durante la sedimentación arroja información cualitativa.
- Los valores de referencia del IVL varían de una planta a otra.

Frecuencia

La frecuencia del ensayo será igual a la frecuencia de determinación de la MES del reactor biológico que, por lo general, es diaria.

Condiciones y puntos de muestreo

Las muestras para los ensayos de sedimentación son, generalmente, puntuales. El IVL se calcula solo en el reactor biológico para predecir el comportamiento del lodo en la etapa de clarificación. Sin embargo, es conveniente ensayar la sedimentación sobre muestras provenientes de recirculaciones de lodos porque sus características físicas (compactación, color, etcétera) aportarán información complementaria para tomar decisiones operativas.

AYSA RECOMIENDA

RECIPIENTES DE LABORATORIO E IVL

El tipo de recipiente y la concentración de sólidos de la muestra pueden afectar el resultado final del ensayo. Probetas de diámetro pequeño pueden retrasar la sedimentación debido a la fricción de los flóculos contra las paredes de vidrio; efecto que se incrementa con muestras muy concentradas. El uso de recipientes de mayor diámetro reduce la fricción, pero puede introducir errores en la precisión de la medición del volumen sedimentado. Por lo tanto, para que los resultados sean verdaderamente comparables, se recomienda tener en cuenta el origen de la muestra y emplear siempre el mismo tipo de recipiente.

A modo de ilustración, la imagen de la derecha muestra la diferencia de sedimentación de una misma muestra, luego de 30 minutos, en recipientes de igual capacidad (1.000 ml) pero de formato diferente.



6 | Oxígeno disuelto

¿Qué es?

Es la concentración de oxígeno molecular (O_2) disuelto en un líquido. Usualmente se expresa en mg O_2/l. Para determinar este valor se utilizan dos métodos: el de Winkler (o yodométrico) y el electrométrico. El método de Winkler es un ensayo de titulación sumamente preciso que se basa en la propiedad oxidante del oxígeno disuelto; no obstante, puede arrojar errores por interferencias con diversas reacciones de óxido-reducción propias del líquido cloacal. El método electrométrico se basa en la generación de una corriente eléctrica directamente proporcional a la concentración del oxígeno que atraviesa la membrana de un electrodo, que es solo permeable a los gases. Este método es el más utilizado porque no presenta interferencias (otros gases no generan corrientes eléctricas), la determinación es inmediata y, además, permite efectuar mediciones *in situ* con dispositivos portátiles.

¿Por qué se determina?

La concentración de oxígeno disuelto es crucial en los reactores de barros activados. Estos reactores se someten a aireación con dos objetivos: proveer de oxígeno para la actividad microbiológica que en ellos se desarrolla, y mantener agitado el licor mezcla. La correcta aireación en los reactores se monitorea mediante la determinación de oxígeno disuelto.

Los microorganismos que requieren oxígeno para degradar la materia orgánica son aerobios. Una carencia de oxígeno disuelto inhibe el desarrollo de microorganismos aerobios y genera condiciones anóxicas e incluso anaeróbicas. Si el valor de oxígeno disuelto es inferior a 0,5 mg/l, no hay condiciones aerobias. Si es inferior a 1 mg/l, prevalece el desarrollo de microorganismos indeseables para el proceso (bacterias filamentosas, que interfieren en la correcta sedimentación del lodo).

Por lo general, se recomienda mantener la concentración de oxígeno disuelto en el rango 1,5-3 mg/l. Si es superior a 4 mg/l, no se suelen obtener beneficios adicionales; más aún, mayor aireación no solo generaría un consumo innecesario de energía sino que perturbaría la formación de flóculos.

El afluente de una planta suele presentar bajos valores de oxígeno disuelto por la gran cantidad de materia oxidable que lo consume. En cambio, el líquido ya tratado presenta concentraciones de oxígeno superiores y, además, al final del proceso se suelen agregar resaltos hidráulicos para favorecer su aireación. Si el vertido presentara bajo tenor de oxígeno disuelto, podría provocar condiciones hostiles para el desarrollo de la flora y la fauna del cuerpo receptor.

Puntos de muestreo

- Tratamiento biológico
- Efluente

Recomendaciones de muestreo y medición

En los reactores biológicos, se recomienda utilizar equipos de medición continua o realizar lecturas *in situ* con equipos portátiles. Como este líquido no se puede trasladar, pues entre tanto los microorganismos consumirían el oxígeno que contiene, no se practican determinaciones en laboratorio. Los equipos portátiles incluyen un electrodo de membrana o un sensor de luminiscencia, que es el dispositivo más adecuado para una planta depuradora porque su mantenimiento es simple y económico: basta limpiarlo con un paño húmedo (no requiere de soluciones salinas ni de recambios de membranas). Debe tenerse la precaución de contar con un cable lo suficientemente largo para que la sonda alcance el sitio elegido y, una vez en el sitio, se debe mantener un cierto movimiento para evitar que se adhieran burbujas de aire y se generen lecturas erradas.

En el caso del efluente, si no se cuenta con equipos portátiles o en linea, se deberá tener especial recaudo durante la extracción y manipulación de las muestras con que se realizarán determinaciones en el laboratorio. Se debe evitar todo tipo de agitación al transvasar, ya que de esta manera podría favorecerse la solubilización de más oxígeno en la muestra y, por lo tanto, se sobreestimaría el valor. Para evitar variaciones, la lectura debe realizarse tan pronto como llegue la muestra al laboratorio.

Frecuencia

Se sugiere, al menos, una medición diaria. Hoy en día, en los reactores de tratamiento biológico, lo ideal es realizar un monitoreo continuo mediante sondas. Además, para optimizar el consumo energético, se pueden vincular las mediciones de las sondas de oxígeno a los equipos de aireación para regular su funcionamiento.



Medición continua mediante un sensor de oxígeno disuelto, en un reactor biológico.



Lajos Winkler

Químico de origen húngaro (1863-1939), considerado uno de los científicos más importantes de su país. En 1888, desarrolló el método yodométrico para la determinación de oxígeno disuelto en agua que hoy lleva su nombre. Así se llama también el frasco que se utiliza en el ensayo de demanda bioquímica de oxígeno.



El "frasco de Winkler"

7 | Demanda bioquímica de oxígeno

¿Qué es?

La *demanda bioquímica de oxígeno* es la cantidad de oxígeno necesaria para que se produzca la oxidación bioquímica de la materia orgánica contenida en un líquido. Esta oxidación es llevada a cabo por microorganismos presentes en el mismo a través de procesos metabólicos como la respiración.

La determinación de este parámetro permite estimar los efectos de las descargas de efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores, porque brinda una idea de la cantidad de oxígeno disuelto que deberá aportar el cuerpo receptor para depurar el vuelco.

Para realizar el ensayo, las muestras se incuban en la oscuridad a 20 °C, durante un tiempo determinado. Antes y después de esta incubación se determina la concentración de oxígeno disuelto. La diferencia entre estos dos valores es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para consumir la materia orgánica biodegradable del líquido. Como el tiempo de incubación adoptado es de 5 días, el nombre de este parámetro se abrevia DBO_5.

En la actualidad, se practican tres técnicas para medir la concentración de oxígeno disuelto: el método respirométrico y los métodos de Winkler y de electrodo de membrana que se describieron en la sección precedente. El método respirométrico se basa en la disminución de la presión de la cámara de aire del recipiente que contiene la muestra; la disminución de esta presión es proporcional al oxígeno que se consumió. En las plantas donde se practican varias determinaciones diarias, el método del electrodo de membrana resulta más apropiado, pues no necesita un equipo específico por cada muestra y, además, es más rápido. En efecto, la primera técnica requiere un manómetro por recipiente.

¿Por qué se determina?

La DBO_5 es el parámetro universalmente adoptado para determinar los niveles de polución orgánica biodegradable de un cuerpo de agua y de los efluentes que allí se vuelcan. Por esta razón, las normativas vigentes exigen su determinación.

La DBO_5 permite evaluar el rendimiento de la planta depuradora y es uno de los principales parámetros que se contemplan para diseñar y calcular las dimensiones de nuevas instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

Además, en función de este parámetro, se calculan los indicadores de proceso tales como la carga másica (F/M), y se ajustan las variables globales, por ejemplo, los niveles de aireación y los tiempos de permanencia.

Inconvenientes

- Requiere de un tiempo de espera de 5 días entre la toma de la muestra y la obtención del resultado. Esto es poco práctico a la hora de tomar decisiones diarias relativas al proceso de depuración.
- Los resultados se pueden ver afectados por el estado de conservación de la muestra, la temperatura del ensayo, la falta de oscuridad y la calidad del agua de dilución, entre otros.
- La técnica es compleja, pues se debe preparar agua de dilución, sembrar, determinar oxígeno disuelto y realizar cálculos para obtener un valor final (otros parámetros se determinan mediante técnicas más directas). Asimismo, requiere de personal especializado.

Recomendaciones

- Para controlar eficazmente los procesos, se aconseja complementar la medición de la DBO_5 con otros parámetros tales como la turbiedad, la MES y la demanda química de oxígeno. Como estos parámetros son de rápida medición y presentan un alto grado de correlación con la DBO_5, su aplicación permite realizar un control indirecto de la misma.
- Un resultado final representativo depende en gran medida de una correcta conservación de las muestras. Se recomienda utilizar muestras compensadas o compuestas lo más frescas posible. Si se utilizan muestreadores automáticos (para muestras compuestas o compensadas), estos deberán estar refrigerados a 4 °C, para que la conservación resulte adecuada durante el período de muestreo (usualmente, 24 horas). Si las muestras son puntuales, se recomienda iniciar el procedimiento lo antes posible o bien refrigerarlas a 4 °C hasta su utilización.
- Si las muestras deben ser analizadas en laboratorios externos a la planta depuradora, deberán ser transportadas en condiciones que garanticen refrigeración y oscuridad.



Frascos de Winkler con muestras de afluente.

- La limpieza del material del vidrio es crucial para la determinación de DBO_5 porque un contaminante biológico puede alterar significativamente el valor del parámetro.
- Antes de comenzar el ensayo, la temperatura de las muestras debe alcanzar los 20 °C.
- Durante las manipulaciones, no agitar ni generar turbulencias que pudieran modificar la concentración del oxígeno disuelto en la muestra.

Frecuencia

La frecuencia mínima del ensayo depende en buena medida de dónde se realiza el procedimiento de determinación (laboratorio de la propia planta o laboratorio externo). También depende, lógicamente, de lo que establecen las normas vigentes.

Si la determinación se puede realizar en el laboratorio de la planta de tratamiento, se recomienda realizar de 2 a 3 determinaciones semanales como mínimo. Si se observan condiciones anómalas de funcionamiento (espumas, barros flotados, aumentos de caudal o problemas técnicos en equipos) o ingreso de fluidos de características no habituales (hidrocarburos, pinturas, grasas), se sugiere aumentar la frecuencia de las determinaciones semanales.

Por otra parte, si se realiza la puesta en marcha de un nuevo módulo o de una unidad, se aconseja multiplicar la cantidad de ensayos.

Si las muestras se envían a un laboratorio externo, se deberá contemplar cómo afectan al resultado final su estado de conservación y el tiempo transcurrido hasta que se realizan los ensayos. En estos casos, se sugiere cumplir con las obligaciones normativas relativas a la frecuencia mínima del ensayo y controlar el proceso a través de otros parámetros (demanda química de oxígeno, turbiedad y MES).



Determinación de la concentración de oxígeno al final del período de incubación.

Puntos de muestreo

- Afluente
- Sedimentación primaria
- Efluente

Las determinaciones sobre los afluentes permiten calcular la carga que ingresa a la planta y tomar decisiones sobre el resto del proceso, como los niveles de aireación y la recirculación. Adicionalmente, permiten detectar vuelcos anormales como, por ejemplo, de líquidos provenientes de frigoríficos con elevada carga de materia orgánica.

Los análisis sobre la salida de la sedimentación primaria son fundamentales para medir el rendimiento de la etapa de sedimentación y, sobre todo, para calcular la carga, es decir, la cantidad de sustrato, que recibirá el tratamiento biológico posterior.

Finalmente, las determinaciones sobre los efluentes permiten calcular el rendimiento de todo el proceso y verificar el cumplimiento de los límites de vuelco.

DBO_5 en muestras decantadas y filtradas

Si, con el fin de evaluar el proceso, se desea obtener información sobre el aporte de la materia disuelta, suspendida y sedimentable a la DBO_5, se puede dejar decantar la muestra y analizar el sobrenadante, es decir, calcular la *DBO_5 decantada*. Si este ensayo se realiza sobre una muestra de la salida del tratamiento biológico, se puede, entonces, pronosticar el rendimiento del proceso de clarificación ulterior.

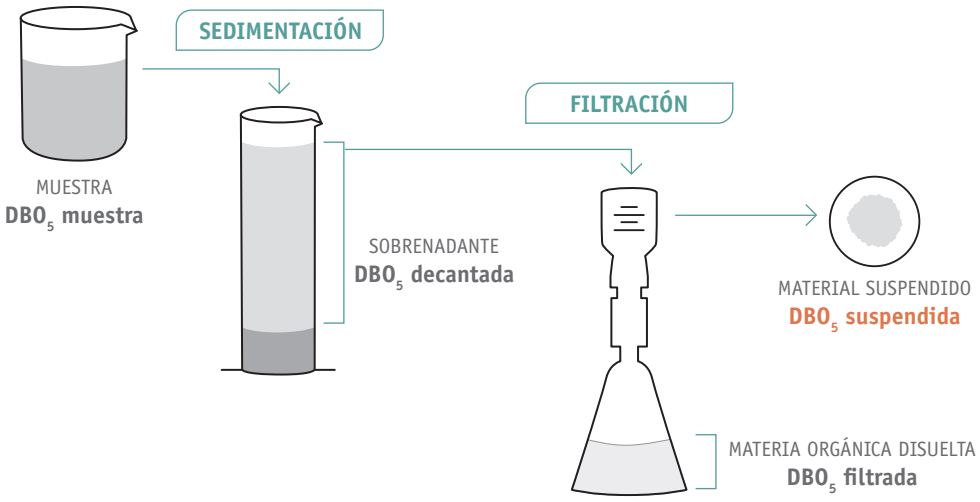
Por otra parte, si se filtra el sobrenadante, el filtro retendrá el material suspendido y, cuando se analice el líquido que pasó a través, se obtendrá la *DBO_5 filtrada*, que representará el aporte de la materia orgánica disuelta. Para calcular el aporte de la materia retenida por el filtro bastará con calcular la *DBO_5 suspendida*, es decir, realizar la diferencia entre la DBO_5 decantada y la DBO_5 filtrada.

DBO_5: VALORES PROMEDIO EN AFLUENTES DE PLANTAS DEPURADORAS DE AYSA S.A. (AÑO 2014)

Planta depuradora	DBO_5 (mg/l)
Norte	159
Hurlingham	130
Sudoeste I	158
Sudoeste II	120
El Jagüel I	141
El Jagüel II	183
Santa Catalina	144

El análisis de la DBO_5 de las fases de una muestra es útil para tomar decisiones respecto de la inclusión de tratamientos adicionales luego de la clarificación. Si la DBO_5 suspendida es significativa, se la puede reducir a través de una filtración terciaria. Obsérvense los datos del siguiente ejemplo sobre una muestra extraída a la salida del tratamiento biológico.

FRACCIONES PARA DBO_5



Valores medidos:

DBO_5 muestra = 100 mg/l

DBO_5 decantada = 25 mg/l

DBO_5 filtrada = 7 mg/l

Valores calculados:

DBO_5 sedimentable = 100 mg/l – 25 mg/l = 75 mg/l

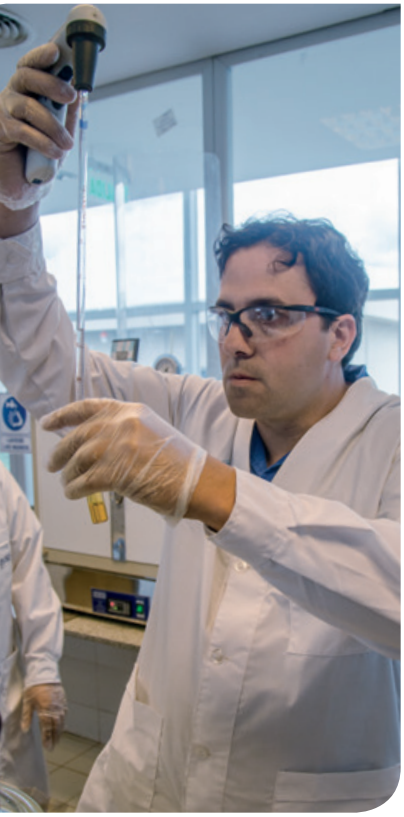
DBO_5 suspendida = 25 mg/l – 7 mg/l = 18 mg/l

Después del proceso de clarificación, la DBO_5 del efluente de la planta debería ser similar al resultado de la muestra decantada de la salida del tratamiento biológico (25 mg/l). Si se incluyera un proceso adicional de filtrado, que eliminara la fase suspendida, se podría obtener una DBO_5 final de 7 mg/l.



Lecho percolador para tratamiento biológico en la Planta Depuradora El Jagüel.

8 | Demanda química de oxígeno



Siembra de muestra en el vial de ensayo de DQO.

¿Qué es?

La *demanda química de oxígeno* (DQO) es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar los compuestos de una muestra con un oxidante fuerte. Mientras que la DBO_5 solo detecta el material orgánico que degradan los microorganismos, la DQO incluye también los compuestos orgánicos no biodegradables y algunos compuestos inorgánicos.

En la determinación de DQO el material orgánico es oxidado con dicromato de potasio, en medio ácido, en presencia de un catalizador. Para ello, se emplea una mezcla de ácido sulfúrico y dicromato ($Cr_2O_7^{-2}$) de potasio con iones de plata (Ag^+) como catalizadores. En estas condiciones, tras 2 horas de digestión, a 150 °C, el cromo hexavalente del dicromato pasa al estado de oxidación trivalente(Cr^{+3}), es decir, se reduce, oxidando la materia orgánica.

La ecuación simplificada del proceso químico es:

$$M.O. + Cr_2O_7^{-2} + H^+ \xrightarrow[Ag^+]{150\ °C} Cr^{+3} + CO_2 + H_2O$$

donde M.O. representa el conjunto de los compuestos orgánicos.

En la actualidad, la técnica más utilizada para determinar la DQO es el método de reflujo cerrado en termorreactor con cuantificación colorimétrica. El mercado ofrece kits de viales y soluciones preparadas que han simplificado el ensayo y evitan la preparación de soluciones y titulaciones prolongadas y laboriosas.

¿Por qué se determina?

La DQO es uno de los parámetros regulados por todas las normas de vuelco para plantas depuradoras. Brinda una rápida idea del contenido total de compuestos orgánicos y es de gran ayuda para detectar ingresos de líquidos de origen industrial. Valores elevados de DQO en el afluente pueden alertar sobre vuelcos industriales con elevado contenido orgánico.

En el proceso de depuración, sirve principalmente como un parámetro de control y confirmación de otras mediciones. En efecto, la DQO suele presentar una alta correlación con la DBO_5 y con la materia en suspensión (2,5-3,5 : 1), de manera que su resultado sirve para confirmar o bien estimar otros parámetros.

Los métodos colorimétricos comerciales de uso actual son ensayos sencillos y rápidos (alrededor de 3 horas en total).



Termorreactor con viales.

Inconvenientes

- El equipamiento para realizar el ensayo es de costo elevado. Requiere una inversión inicial en un espectrofotómetro y un termorreactor. Los insumos para realizar cada ensayo (viales) tienen también un costo muy superior al de otros ensayos (por ejemplo de DBO_5 o MES).
- Los viales contienen soluciones tóxicas y corrosivas; por lo tanto, deben manipularse con precaución. Una vez usados, se disponen como residuos peligrosos.
- Los resultados suelen presentar un amplio rango de variabilidad. En ocasiones, los valores se alejan mucho de la media. Esto se debe principalmente a la heterogeneidad del líquido cloacal. A consecuencia de ello, antes de tomar decisiones sobre el proceso, se suele complementar la medición con otros ensayos de laboratorio (DBO_5 o MES).

Condiciones de muestreo y medición

Las muestras para este ensayo pueden ser compuestas o compensadas (afluente y efluente) o puntuales (si se sospecha un ingreso de líquidos no habituales). Como la técnica de reflujo cerrado utiliza muy poco volumen de muestra (2-3 ml), lo más importante es homogeneizarlas correctamente para que los resultados sean representativos. Por cierto, algunos fabricantes de kits comerciales recomiendan mezclar las muestras en licuadoras y extraer las alícuotas manteniendo un cierto nivel de agitación.

Cuando se retiran los viales del termorreactor, se los debe dejar alcanzar la temperatura ambiente. En ningún caso deben enfriarse bajo un chorro de agua de canilla pues se corre el riesgo de que los viales se quiebren por la diferencia de temperatura. Una vez a temperatura ambiente, debe determinarse su valor de absorbancia sin demora. Si no se respeta este criterio de tiempo, los resultados no serán comparables.



Los kits comerciales simplifican la determinación de DQO pero, una vez utilizados, deben disponerse como residuos peligrosos.



Frecuencia

La frecuencia del ensayo depende de la posibilidad de realizar otras determinaciones en la planta (por ejemplo, de MES y DBO_5). La frecuencia mínima puede ser de 2 o 3 determinaciones semanales, similar a la de DBO_5. Si no se puede determinar la DBO_5 en la planta, la frecuencia de ensayo de DQO debería ser mayor, para contar con una mejor estimación del tratamiento de la materia orgánica en el proceso.

Puntos de muestreo

- Afluente
- Sedimentación primaria
- Efluente

La medición en el afluente permite detectar principalmente ingresos de contaminantes orgánicos. Las determinaciones a la salida de la sedimentación primaria y a la salida de la planta permiten calcular la reducción de la materia orgánica a lo largo del proceso.

AySA RECOMIENDA

ANÁLISIS DE MUESTRAS POR DUPLICADO

En muchos laboratorios químicos se analizan las muestras por duplicado, incluso por triplicado, de manera sistemática, con el fin de garantizar la fiabilidad de los resultados. Sin embargo, en los laboratorios de las plantas, donde se necesita constantemente hallar soluciones de compromiso entre la precisión analítica y las urgencias operativas del proceso, la ejecución rutinaria de duplicados puede conllevar algunos inconvenientes:

- Aumento significativo de costos operativos, es decir, mayor necesidad de mano de obra y de insumos.
- Demoras en la obtención de los resultados.

Dado que varios parámetros de laboratorio presentan una alta correlación entre sí (materia en suspensión, turbiedad, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno), otros ensayos pueden confirmar si un resultado analítico atípico es producto de un error de medición o no.

No obstante:

- Se aconseja analizar un determinado porcentaje (por ejemplo, un 5%) de muestras por duplicado, de acuerdo con las recomendaciones de los métodos estándar para cada técnica.
- Realizar muestras por duplicado si se necesita ajustar una técnica analítica, si se requiere entrenar personal, o si se cambiaron los equipos de medición.
- En el caso de una situación excepcional que requiera un resultado de alto nivel de confianza, se recomienda analizar las muestras por triplicado.
- Es conveniente evaluar siempre la confiabilidad de los resultados cotejando su correlación con el conjunto de los parámetros analizados.

CORRELACIÓN ENTRE LA MATERIA EN SUSPENSIÓN (MES) Y LAS DEMANDAS BIOQUÍMICA Y QUÍMICA DE OXÍGENO (DBO_5 Y DQO)

Introducción

Cuando se estudia el funcionamiento y el rendimiento de una planta depuradora, resulta de utilidad correlacionar parámetros de determinación rápida y diaria, como la DQO, la MES y la turbiedad, con otros cuya realización es más compleja y sobre todo más lenta, como la DBO_5. Así, se puede anticipar el rango de este último parámetro, cuyos valores están regulados por la normativa vigente.

Para que los resultados sean significativos y representativos, es necesario analizar un elevado número de muestras, obtenidas durante un lapso de tiempo suficientemente prolongado, en todas las localizaciones posibles.

En las plantas de AySA S.A., se cuenta con corpus de datos registrados desde el año 1998. Así, se han podido analizar valores arrojados por más de 17.000 muestras provenientes de siete plantas depuradoras, con el objetivo de determinar el cumplimiento de las normas de vuelco para distintos rangos de valores de MES.

Resultados

Para realizar los cálculos, se contemplaron solo los valores de los días en que se determinaron simultáneamente la MES y la DBO_5 o la MES y la DQO de las muestras de efluente.

Los resultados por planta depuradora se resumen en la tabla. Si los valores de MES de los efluentes de plantas son iguales o inferiores a 30 mg/l, en el 99,31% de estos casos, la DBO_5 de salida presenta valores iguales o inferiores a 30 mg/l, acorde a lo exigido por las normas (solo 83 de los 12.155 valores de DBO_5 se hallaron fuera de norma).

Cuando se consideró un rango de valores de MES más exigente, por ejemplo, menor o igual 25 mg/l, el porcentaje de cumplimiento en DBO_5 se elevó a 99,65% (con tan solo 34 valores fuera de norma, en 9.975 casos).

Por otra parte, de los 14.654 valores de DQO examinados, solo 19 están fuera de norma cuando los valores de MES de los efluentes de plantas son iguales o inferiores a 30 mg/l. Por lo tanto, en un 99,87% de los casos, la DQO correspondiente arroja valores iguales o inferiores a 125 mg/l, conforme a lo exigido por el marco regulatorio. Si se considera un rango de MES de valores iguales o menores a 25 mg/l, el porcentaje de cumplimiento fue mayor: 99,93% (con tan solo 8 valores fuera de norma, en 12.161 casos).

Planta depuradora	Porcentaje de muestras con valores de DBO_5 en norma (MES ≤ 30 mg/l)	Porcentaje de muestras con valores de DQO en norma (MES ≤ 30 mg/l)
Norte	99,73	100,00
Hurlingham	99,92	99,92
Sudoeste I	98,39	99,61
Sudoeste II	99,78	100,00
El Jagüel I	98,79	99,83
El Jagüel II	100,00	100,00
Santa Catalina	99,35	99,87
Total de muestras	99,31	99,87

Porcentajes de cumplimiento de DBO_5 y DQO en muestras con MES ≤ 30 mg/l.

Conclusiones

La determinación de MES, además de ser rápida, sencilla y de bajo costo, brinda información fiable sobre el proceso de depuración. Dado el excelente grado de correlación entre parámetros, el control de MES permite anticipar por inferencia valores de DBO_5 que recién se confirmarán cinco días después; y valores de DQO, cuya determinación, por lo onerosa, podrá realizarse con una frecuencia adaptada al presupuesto económico de la planta.

9 | Oxígeno consumido



Equipo de titulación para determinar oxígeno consumido.

¿Qué es?

Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica de una muestra, con permanganato de potasio, en presencia de ácido sulfúrico, a 100 °C de temperatura.

El permanganato consumido, que es proporcional al oxígeno, se valora posteriormente por titulación con ácido oxálico.

¿Por qué se determina?

Este parámetro permite estimar el contenido de materia orgánica de un líquido. Es un ensayo útil si no se mide la DBO_5. Por otra parte puede ser utilizado como complemento de la DBO_5 porque correlaciona estrechamente con esta; de este modo, su valor indicará cuánto habrá que diluir las muestras para determinar la DBO_5.

El permanganato de potasio también reacciona con algunas sustancias inorgánicas. Como las sustancias orgánicas no se oxidan a bajas temperaturas, si se realiza un ensayo en frío se puede estimar por diferencia qué parte del valor obtenido corresponde estrictamente a oxígeno consumido por la materia orgánica.

En la actualidad, para determinar la materia orgánica biodegradable de una muestra, se aplican mayormente la técnica de DQO por reflujo cerrado, que es más sencilla, y la de DBO_5, que es más precisa; por eso, la determinación de oxígeno consumido ha sido prácticamente dejada de lado como ensayo de rutina.

Características

- El ensayo es rápido. En menos de 1 hora se obtiene una estimación del contenido de materia orgánica.
- Puede utilizarse como complemento de la DBO_5.
- Requiere equipamiento sencillo (material de vidrio y baño termostático); por lo tanto, es adecuada para laboratorios poco equipados.

Inconvenientes

- Los resultados del ensayo son muy sensibles a las condiciones de realización. Las soluciones deben prepararse en el momento, las lecturas de los volúmenes deben ser muy precisas y la temperatura no puede ser superior a 100 °C.
- Si bien los resultados son rápidos, la técnica es compleja, dadas las titulaciones y los reactivos corrosivos que requiere. El personal debe estar entrenado y tomar las medidas de seguridad necesarias para evitar accidentes, como quemaduras.

Condición de muestreo

Al igual que con las otras técnicas de determinación de materia orgánica, se recomienda trabajar con muestras lo más frescas posible. Estas deben refrigerarse a 4 °C antes de ser utilizadas y los ensayos deben realizarse a la mayor brevedad.

Frecuencia

Dado que el oxígeno consumido ha dejado de ser un parámetro regulado para los efluentes, y que la aplicación de la DBO_5 y la DQO está ampliamente difundida, se sugiere mantener simplemente una frecuencia mínima, por ejemplo, una medición mensual, que asegure contar con datos para establecer correlaciones con los otros ensayos.

Puntos de muestreo

- Afluente
- Sedimentación primaria
- Efluente

10 | Potencial redox



Equipo portátil de medición de potencial redox.

¿Qué es?

El *potencial redox* es un valor relativo de potencial eléctrico, que se mide respecto del punto "0" de un electrodo normal de hidrógeno. Se trata de un parámetro electroquímico que brinda información sobre el tipo de reacciones químicas de óxido-reducción que ocurren en un líquido residual, en particular, durante el tratamiento biológico.

En el curso de estas reacciones hay reactivos que ceden electrones, es decir, que se oxidan; y otros que los aceptan y, así, se reducen. En condiciones favorables a la oxidación, el potencial redox, que se mide en voltios (V) o en milivoltios (mV), tiende a aumentar. En condiciones reductoras, el potencial redox disminuye.

Un ejemplo de este tipo de reacciones es la nitrificación, que es la oxidación del amonio (NH_4^+) a nitrito (NO_2^-) y, luego, a nitrato (NO_3^-), como indican las siguientes ecuaciones:

$$2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$$

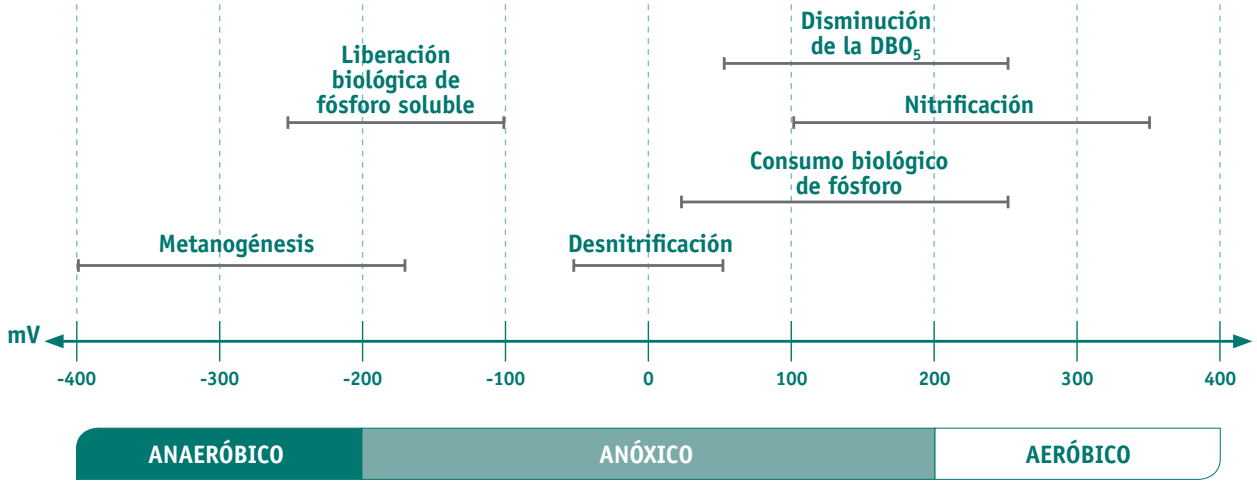
$$2NO_2^- + O_2 \rightarrow 2NO_3^-$$

Durante el proceso de nitrificación el potencial redox se halla en un rango positivo de 100 a 350 mV.

La determinación del potencial redox se realiza por medio de un electrodo, que se sumerge en el líquido, conectado a un equipo de medición de pH que exhibe valores en V o en mV.

¿Por qué se determina?

El potencial redox de un líquido cloacal es un indicador de la actividad metabólica que desarrollan los microorganismos y, por ende, del tipo de microorganismos predominantes. En el siguiente esquema, se presentan, a título de referencia, los procesos bioquímicos que tienen lugar en un líquido según su rango de potencial redox.



Obsérvese que en el rango de -400 a -200 mV prevalece la metanogénesis porque las condiciones son anaeróbicas (no hay fuente de oxígeno). En el rango de -200 a 200 mV, el proceso es anóxico (no hay oxígeno molecular libre) y se favorece la desnitrificación, es decir, la reducción de nitratos y nitritos a nitrógeno molecular gaseoso. A partir de 200 mV, el proceso es aeróbico.

En una planta depuradora, el potencial redox se utiliza como parámetro de control del proceso. Así, por ejemplo, si se estima que se debe favorecer la nitrificación, pero el potencial redox es relativamente bajo, se procederá a aumentar la aireación en el reactor para aumentar la concentración de oxígeno disuelto. En efecto, las variables "potencial redox" y "oxígeno disuelto" están estrechamente vinculadas y conviene utilizarlas conjuntamente.

Nótese que antes de realizar este tipo de operaciones se deben caracterizar los valores típicos de cada etapa porque estos pueden variar según la planta depuradora.

Características

- Se trata de una medición rápida.
- Los dispositivos de medición son relativamente económicos. Además, el mismo equipo puede medir pH, potencial redox y temperatura.
- Se puede realizar una instalación de electrodos en línea.
- Se puede emplear como parámetro de control para automatizar el proceso.

Condiciones de muestreo

Dado que el valor de este parámetro puede condicionar decisiones operativas inmediatas, se debe medir en muestras puntuales o *in situ*, con equipos portátiles de uso ya muy difundido. Así y todo, lo ideal es realizar mediciones en línea mediante sondas de instalación fija que brindan lecturas en tiempo real.

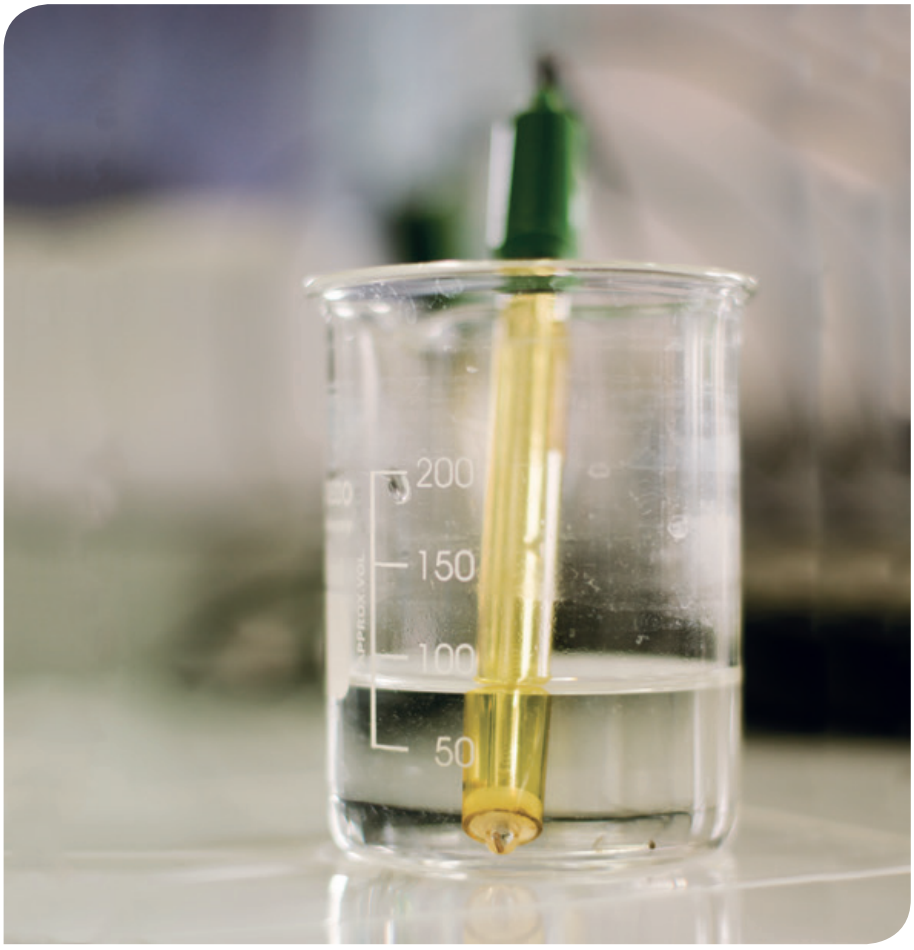
Frecuencia

Si no se cuenta con sondas de instalación fija, se recomienda realizar al menos una determinación diaria en una muestra puntual o *in situ*.

Puntos de muestreo

La medición del potencial redox se puede efectuar en cualquier etapa del proceso pero los puntos de medición más apropiados son las unidades de tratamiento biológico.

Ante situaciones extraordinarias, como fallos en algún equipo, o la puesta en marcha de una unidad, puede resultar útil conocer cuándo se estabiliza o cómo evoluciona este parámetro, para cerciorarse de que el problema se ha resuelto o que la unidad ya funciona normalmente.



Sonda de potencial redox.

11 | pH

¿Qué es?

El *pH* es un parámetro que relaciona la concentración de protones en solución con el grado de acidez o alcalinidad de una muestra. Se expresa según la siguiente ecuación:

$$pH = -\log [H^+]$$

La escala de los valores de pH varía de 0 a 14. Valores de pH inferiores a 7 indican acidez; superiores a 7, alcalinidad; y un pH = 7 es neutro.

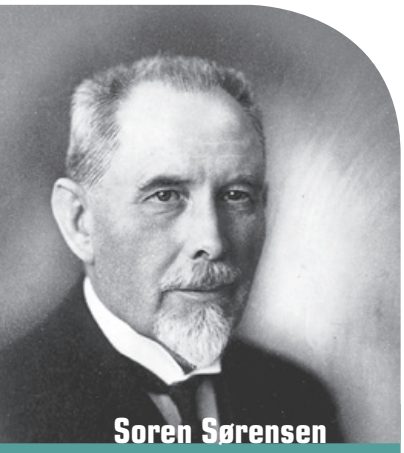
Si no se cuenta con instrumental de potenciometría directa, para su medición se pueden utilizar tiras reactivas de papel, cuya coloración cambia según el pH del líquido. Si la determinación se realiza con instrumental, hay varias opciones. Antiguamente se utilizaban medidores provistos de un electrodo de membrana de vidrio y de un electrodo de referencia. En la actualidad, los sensores de pH incluyen ambos electrodos combinados en un solo cuerpo. Existen unidades selladas rellenas con un gel de referencia o bien unidades recargables con una solución electrolítica.

Además, los instrumentos de medición de pH pueden ser portátiles o de mesada. Los primeros son prácticos si se necesita obtener un valor rápidamente *in situ*, por ejemplo, para monitorear eventuales contaminaciones. Actualmente, el pH se suele monitorear de forma continua a través de sondas fijas conectadas a los sistemas de control de las plantas.

¿Por qué se determina?

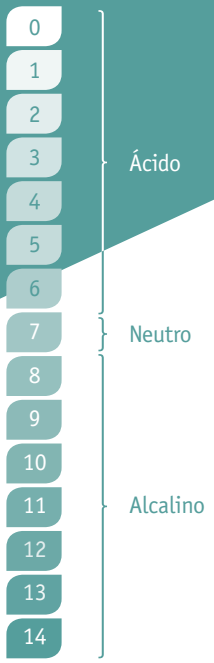
Normalmente, los líquidos cloacales exhiben valores de pH cercanos a 7,5. Valores fuera de norma en los afluentes a la planta pueden ser resultado de contaminación de origen industrial. En estos casos, acidez o alcalinidad elevadas conllevan riesgos de corrosión en los equipos e instalaciones de la planta y condiciones hostiles al desarrollo de microorganismos en el tratamiento biológico.

En los efluentes, se monitorea el pH para controlar que no se encuentre fuera de norma (6,5-8). Un valor fuera de este rango puede generar condiciones hostiles para la flora y la fauna del cuerpo receptor.



Soren Sørensen

Químico danés (1868-1939), director por más de 35 años del departamento químico del laboratorio Carlsberg de Copenhague, donde se dedicó a la investigación científica sobre la fabricación de cerveza. En 1909, presentó la escala de pH.



La escala de pH

El intervalo óptimo de pH para la depuración biológica se encuentra entre 6 y 8. Las bacterias dejan de desarrollarse si el pH es menor a 5 o mayor a 10. Por otra parte, en los procesos biológicos con tiempos de residencia largos, puede ocurrir nitrificación (conversión de nitrógeno amoniacal a nitratos) y ello puede conllevar una disminución del pH en el reactor biológico; por eso, debe monitorearse en estas unidades.

Características

- Método fácil y de rápida determinación.
- Buen indicador de presencia de líquidos perjudiciales para el proceso de depuración.
- Los electrodos de medición de pH cuentan con una sonda de medición de temperatura; por lo tanto, se pueden medir ambos parámetros simultáneamente.
- Si el pH se mide en línea, los valores se reportan directamente a los sistemas de control de la planta.
- Ni los equipos ni los reactivos son de alto costo económico.
- Los equipos de medición de pH permiten en general conectar otro tipo de electrodos, por ejemplo sondas de potencial redox. De este modo, se pueden realizar determinaciones adicionales con un mismo instrumental.
- Los sensores de pH combinados en unidades selladas no requieren reactivos, son sumamente estables, necesitan poco mantenimiento y son de bajo costo económico.

Condiciones de muestreo

El pH se puede medir en campo (con instrumentos portátiles) o en el laboratorio. Si se mide en un laboratorio, las muestras deben ser extraídas en el día y la medición debe realizarse lo antes posible. Si las muestras fueron refrigeradas, debe esperarse a que las mismas alcancen la temperatura ambiente antes de practicar la determinación.

Frecuencia

Dado que es una medición sencilla y rápida, se recomienda realizar al menos una determinación diaria. Si se sospecha de un ingreso de líquidos contaminantes a la planta, como el pH es un buen primer indicador de contaminación, se sugiere aumentar puntualmente la frecuencia.

Puntos de muestreo

- Afluente
- Tratamiento biológico
- Efluente
- Corrientes de lodos

Recomendaciones

- Se debe ser cuidadoso con las calibraciones y el mantenimiento de los electrodos.

  El electrodo incluye una membrana de vidrio porosa donde se produce el intercambio de protones. Esta membrana debe mantenerse humedecida en forma permanente porque si se secara, sería muy difícil regenerarla. Para tal fin, mientras no se utiliza, el electrodo debe conservarse sumergido en una solución de KCl 3 M. Esta solución se puede adquirir comercialmente o bien puede prepararse en el laboratorio.

- Para las mediciones de pH en línea se debe tener en cuenta la velocidad de flujo.

  Las velocidades de circulación de los líquidos no deben ser mayores de 1,5 m/seg. Velocidades demasiado altas pueden conducir a lecturas inestables (valores fluctuantes) y producir un desgaste prematuro del electrodo de medición.

- Debe tenerse en cuenta que el pH es una determinación complementaria de los otros parámetros. Por sí solo no aporta demasiada información sobre el estado del proceso, pero un pH fuera de norma alertará sobre una posible presencia de agentes contaminantes que deberá ser verificada mediante los análisis correspondientes.





Arriba, pantalla de potenciómetro de pH mostrando valores de pH y de temperatura. A la izquierda, sonda de pH.

12 | Temperatura

¿Por qué se determina?

La temperatura es un parámetro de monitoreo habitual en líquidos cloacales. Si bien no presenta grandes variaciones diarias, puede presentar variaciones estacionales.

Su valor influye en la velocidad de las reacciones químicas y en el desarrollo de los microorganismos del proceso de depuración. En climas extremos, el proceso de depuración puede verse afectado. A bajas temperaturas, disminuye la velocidad del tratamiento biológico y, además, como el líquido de los clarificadores se vuelve más denso, disminuye la sedimentación de sólidos. En climas cálidos, cuando la temperatura ambiente es superior a 30 °C, se aceleran los procesos de putrefacción de lodos. A medida que la temperatura del líquido se eleva, disminuye la solubilidad del oxígeno y el proceso de aireación resulta menos eficiente.

Usualmente, la temperatura de las aguas residuales es superior a la temperatura de las aguas de abastecimiento de red, debido al vertido de aguas calientes domiciliarias y al de aguas de uso industrial (aguas de enfriamiento). En una planta depuradora, temperaturas más elevadas de lo habitual pueden indicar vertidos industriales con temperatura fuera de norma. La temperatura del vuelco de los desagües cloacales no debe superar los 45 °C, ni en los fluidos que se vierten en la red colectora ni en los fluidos de salida de la planta depuradora. Un valor superior genera un efluente fuera de norma.

Para la determinación de la temperatura se emplean termómetros analógicos o digitales, con error de determinación de $\pm$ 0,1 °C. También se utilizan las sondas de temperatura de los equipos de medición de pH.

Características

- Solo es necesario el instrumento debidamente calibrado.
- El instrumental es de bajo costo.
- La medición es instantánea y de alta precisión.
- Mediante sondas en línea se puede realizar un monitoreo continuo.

Recomendaciones de muestreo y medición

La medición debe realizarse *in situ*, es decir, directamente en el punto a examinar, asegurándose de que el instrumento de medición permanezca correctamente sumergido en el líquido hasta que el valor de lectura sea estable. En el caso de no poder medir *in situ*, se tomará una muestra puntual y se realizará la determinación inmediatamente.

No se pueden utilizar muestras provenientes de muestreadores automáticos, ya que estos cuentan con refrigeración y, por lo tanto, modifican la temperatura del líquido.

Frecuencia

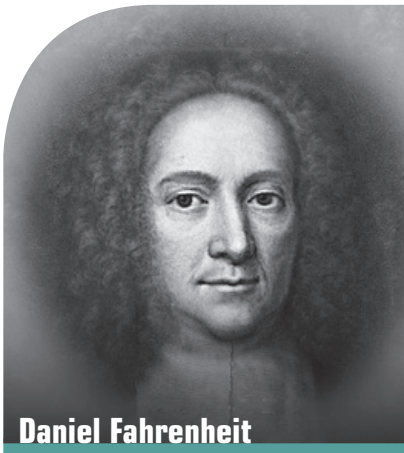
Se recomienda una determinación diaria.

Puntos de medición

- Afluente
- Tratamiento biológico
- Efluente

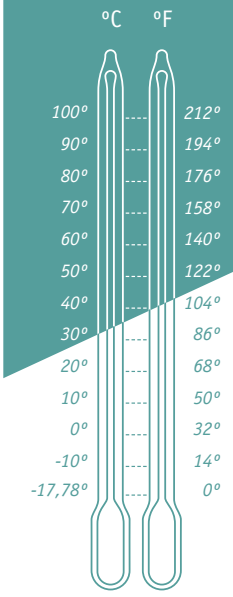


Sensor manual de temperatura.



Daniel Fahrenheit

Físico nacido en Polonia (1686-1736) que dedicó su vida a la investigación y a la fabricación de instrumentos científicos. Inventó el termómetro de mercurio. La escala de temperatura Fahrenheit aún se utiliza en Estados Unidos y en otros pocos países.



Comparación de las escalas de temperatura Celsius y Fahrenheit.

13 | Turbiedad

¿Qué es?

Es una medida de la materia en suspensión presente en un líquido. El principio de medición se basa en la propiedad de las partículas suspendidas de dispersar un haz de luz incidente, es decir, de desviarlo. En un líquido sin materia suspendida, no se produce dispersión de luz, por lo tanto, la turbiedad es nula. A medida que la concentración de estas partículas aumenta, mayor es la dispersión lumínica, o sea, mayor es su turbiedad.

La determinación se realiza mediante un turbidímetro calibrado, provisto de una lámpara de tungsteno que emite luz blanca, o de un emisor de infrarrojo, y de una célula fotoeléctrica que capta los haces lumínicos dispersados en un ángulo determinado. Por lo general, el visualizador del equipo arroja directamente valores en unidades nefelométricas de turbiedad.

¿Por qué se determina?

El tratamiento en una planta depuradora debe reducir significativamente la turbiedad. Así, su valor brinda información esencial sobre la calidad del efluente que se vuelca al cuerpo receptor. Por otra parte, en el efluente, este dato suele correlacionarse con el valor de la materia en suspensión. Esta correlación debe establecerse en cada planta.

Características

- Es una prueba muy rápida, sencilla y económica.
- Es el modo de evaluación más inmediato de la calidad del efluente de la planta.
- Existen turbidímetros que funcionan en modo continuo y permiten controlar la salida de planta en línea.

Inconvenientes

La medición de la turbiedad resulta fácilmente interferida por burbujas de aire, sólidos decantables, partículas que absorben mucha luz, por ejemplo, de carbón activado, y por coloración debida a sustancias disueltas. También puede verse alterada si la cubeta de medición está rayada o sucia.

Condiciones de muestreo

Las muestras pueden ser compuestas, compensadas o puntuales. Dado que la turbiedad es un parámetro netamente operativo, y que sirve para tener un primer control de la calidad del líquido, las muestras deberían analizarse inmediatamente después de obtenidas.

Frecuencia

Por su sencillez y rapidez, se recomienda realizar al menos un ensayo diario.



Turbidímetro de mesada.

Puntos de muestreo

- Afluente
- Sedimentación primaria
- Efluente

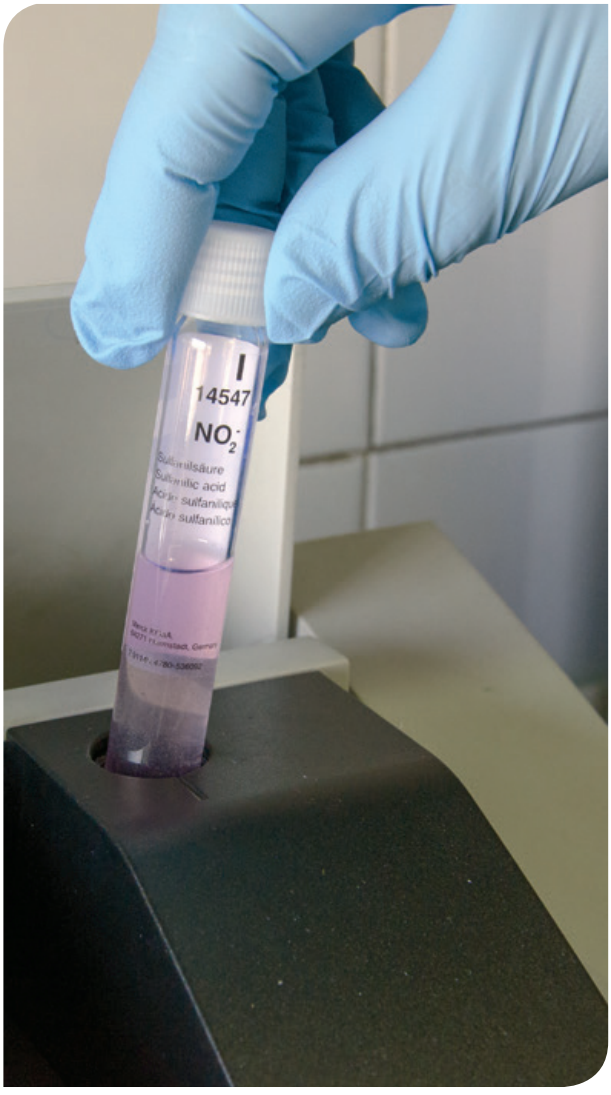
Como se trata de una medición muy sencilla, se suele medir la turbiedad en el afluente y a la salida de la sedimentación primaria para realizar aproximaciones sobre el contenido de sólidos suspendidos. Si bien la relación entre turbiedad y materia en suspensión no es necesariamente lineal en estos sitios, grandes variaciones en los valores de turbiedad pueden indicar ingreso de líquidos no habituales o problemas en el funcionamiento del sedimentador.

La medición al final del proceso informa de modo preciso sobre el contenido de sólidos suspendidos del efluente que se vuelca al cuerpo receptor pues estos parámetros presentan una correlación lineal.



Las cubetas de medición de turbiedad deben manipularse con la precaución de no dejar huellas o marcas en su superficie.

14 | Parámetros complementarios



Determinación colorimétrica de nitritos.

Fósforo y nitrógeno

En condiciones de aportes excesivos de compuestos de fósforo y nitrógeno, por lo general, por vertidos de aguas residuales domésticas e industriales, así como por drenaje de fertilizantes y pesticidas, muchos cuerpos de agua receptores, en particular, los cuerpos cerrados como lagos y embalses, pueden sufrir un proceso de eutrofización. Esta situación de elevada concentración de nutrientes favorece el desarrollo excesivo de algas y plantas acuáticas. Cuando las poblaciones vegetales cubren la superficie del agua, la luz no alcanza niveles más profundos y, por lo tanto, otros organismos (productores de oxígeno gaseoso) no pueden llevar a cabo la fotosíntesis y mueren. A consecuencia de ello, disminuye la concentración de oxígeno. Además, los seres vivos que se alimentan de algas y plantas consumen el poco oxígeno disponible. Esto conduce a estados de anoxia que empobrecen, en ocasiones de modo irreversible, la biodiversidad del ecosistema en cuestión.

Remoción de fósforo y nitrógeno en plantas depuradoras

Los compuestos nitrogenados se remueven durante el tratamiento biológico. Para ello, se opera de forma secuencial, en condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno gaseoso) que favorecen la nitrificación, y en condiciones anóxicas (cuando la fuente de oxígeno son los nitratos y nitritos) que favorecen la desnitrificación. El resultado final es la liberación de nitrógeno gaseoso a la atmósfera.

Para la remoción biológica del fósforo, se realizan combinaciones operativas entre condiciones anaerobias (sin oxígeno disponible), y aeróbicas. En estas condiciones de alternancia de ciclos, los microorganismos acumulan fósforo más allá de sus necesidades metabólicas de crecimiento. Posteriormente, los microorganismos decantan y se extraen como lodos en exceso.

Si se combinan todos los ciclos mencionados, es posible remover simultáneamente tanto fósforo como nitrógeno.

El fósforo también se puede remover por medios químicos. Si se agregan sales metálicas (cloruro férrico, sulfato de aluminio, etcétera), el fósforo precipita principalmente como fosfato y decanta en una etapa de sedimentación.

Determinaciones

Usualmente estos parámetros se pueden determinar utilizando kits comerciales que se basan en métodos espectrofotométricos. A continuación, se describen algunas valoraciones usuales de laboratorio.

- Nitrógeno total Kjeldahl (NTK): este método utilizado en ingeniería ambiental refleja la cantidad total de nitrógeno orgánico, en sus diversas formas (proteínas y ácidos nucleicos en varios estados de degradación, urea, aminas, etcétera), y de iones amonio (NH_4^+). El parámetro indica cuánto nitrógeno podrá ser nitrificado a nitritos y nitratos que, por desnitrificación posterior, rendirán nitrógeno gaseoso; pero no incluye los nitritos y nitratos presentes como tal en el medio acuoso.
- Nitrógeno total (NT): incluye el NTK y los nitritos y nitratos (formas oxidadas del nitrógeno).
- Amonio, nitritos y nitratos: se determinan por separado para contar con información sobre el estado de oxidación del nitrógeno en el efluente.
- Fósforo total: en las aguas residuales, el fósforo puede encontrarse en forma disuelta o en partículas, ya sea en compuestos orgánicos o inorgánicos. Para liberar el fósforo combinado en la materia orgánica, es preciso someter la muestra a un proceso de digestión ácida. Así, se convierte en ortofosfato, que posteriormente se determina por métodos colorimétricos.

Puntos de muestreo

- Afluente
- Sedimentación primaria
- Efluente

Las determinaciones en el afluente sirven para evaluar la magnitud de la remoción a realizar. A la salida del sedimentador primario, se determina el fósforo que se encuentra en polifosfatos insolubles, lo que permite calcular la eficiencia de su remoción. En el efluente, las concentraciones de fósforo y nitrógeno permiten conocer la eficiencia de remoción al cabo de todo el proceso.

Frecuencia

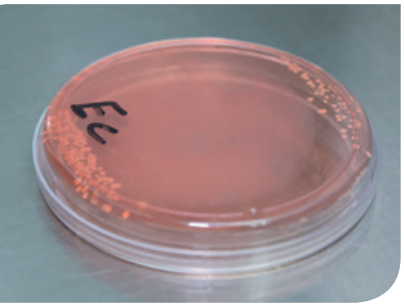
Si la planta cuenta con mecanismos de remoción de fósforo y nitrógeno, se recomienda realizar al menos una o dos determinaciones semanales. En caso contrario, es conveniente realizar al menos una determinación mensual.

Situación normativa

El marco regulatorio actual de la empresa AySA S.A. (Ley N° 26221, anexo B) no contempla valores máximos de nitrógeno y fósforo, ni para los desagües cloacales ni para las descargas a cuerpos receptores.

Organismos patógenos

Además de las comunidades microbianas naturales de los desechos fecales, los afluentes pueden contener microorganismos patógenos (bacterias y virus, entre otros) provenientes de personas que padecen enfermedades infecto-contagiosas. Por lo general, tales organismos se encuentran en tan poca cantidad en el líquido cloacal que no representan un riesgo para la población. Además, el proceso de depuración reduce de manera significativa esta población microbiológica.



Colonias de ***Escherichia coli*** en una caja de Petri.

No obstante, en aquellas plantas que vuelcan sus efluentes en cuerpos de uso recreativo, como en lagos, es conveniente efectuar controles para garantizar que los líquidos que se vuelcan no conlleven un riesgo sanitario para la población.

Detección de organismos patógenos

Identificar organismos patógenos en una muestra de líquido cloacal es complejo. Como su concentración es baja, sería necesario analizar grandes volúmenes de muestras para detectarlos. Sin embargo, esta dificultad se resuelve mediante la determinación de organismos indicadores de contaminación fecal. Estos organismos son predominantemente no patógenos, pero brindan indicios satisfactorios acerca de la calidad sanitaria del agua. Los indicadores comúnmente analizados para este fin son bacterias del grupo de las coliformes fecales. Se trata de bacterias cilíndricas, huéspedes naturales del tracto intestinal, que los seres humanos excretan junto con los organismos patógenos. Una elevada concentración de coliformes fecales en muestras de líquido ya depurado puede correlacionar con presencia de vectores de enfermedades infecciosas. Aplicando el mismo razonamiento, bajas concentraciones de coliformes fecales indican baja probabilidad de presencia de organismos patógenos.

En ocasiones, se cuantifican las bacterias coliformes totales, población que incluye coliformes fecales y coliformes de vida libre. Usualmente, en el líquido cloacal, la relación de concentraciones de estas poblaciones es estable; por lo tanto, es frecuente que se utilice este parámetro como indicador. No obstante, si se necesita distinguir estos grupos, se ensaya su resistencia a altas temperaturas. En efecto, a 42 °C, solo se desarrollan poblaciones de colibacilos fecales. Las técnicas de cuantificación más utilizadas son el recuento en placas y el método de número más probable.

Eliminación de organismos patógenos

En las plantas depuradoras donde rige la obligación de desinfectar el efluente, la técnica más utilizada es la cloración. También existen métodos de desinfección por irradación con luz ultravioleta o por tratamiento con ozono. La eficacia de la desinfección se evalúa generalmente por la disminución de organismos indicadores. Si la población de coliformes disminuye, también se reduce la población de patógenos.

Situación normativa

Algunos marcos regulatorios fijan límites de descarga a los cuerpos receptores para coliformes fecales o totales. A veces, se exige una decloración sistemática

del líquido antes del vuelco. En estos casos, se fija un límite de descarga de cloro libre, pues un exceso de cloro puede afectar la biota del cuerpo receptor. El marco regulatorio de AySA S.A. no fija límites para estos parámetros.

Agentes contaminantes de origen industrial

Las plantas depuradoras están diseñadas para tratar líquidos cloacales de origen doméstico. El tratamiento de líquidos de origen industrial requiere aplicar otros criterios y otras tecnologías. Ciertos vertidos ilegales en la red cloacal, como por ejemplo, de hidrocarburos y cianuros, contaminan el líquido residual y pueden afectar gravemente la eficiencia del tratamiento biológico. Por tratarse de desechos industriales, que deben ser tratados por las empresas que los producen, su eliminación no está prevista en las operaciones de saneamiento cloacal doméstico. No obstante, dada su peligrosidad, es conveniente practicar mensualmente determinaciones de agentes tales como:

- Metales pesados
- Hidrocarburos
- Plaguicidas y herbicidas
- Sulfuros
- Cianuros
- Detergentes
- Grasas
- Fenoles

Si bien algunos de estos parámetros se pueden determinar en las plantas, lo usual es remitir las muestras a un laboratorio especializado, por ejemplo, el Laboratorio Central de AySA S.A., donde se aplican técnicas precisas y de alto rango de determinación.

Si los valores de alguno de estos parámetros sobrepasan los límites regulados, se debe realizar una inspección de la red, pues se trata de una señal de alarma de presencia de efluentes de origen industrial, prohibidos en la red domiciliaria.

Metales pesados

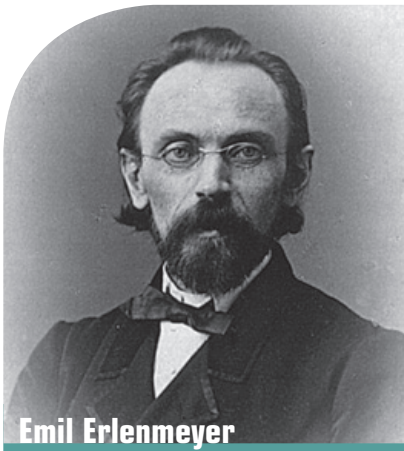
Son los contaminantes de origen industrial más comunes en las aguas residuales. A partir de determinadas concentraciones, son tóxicos para los seres vivos, incluidos los seres humanos. Una vez que se mezclaron con el agua residual, pueden permanecer mucho tiempo en el cuerpo receptor del efluente. Así, contaminan aguas y suelos, y se acumulan en el ambiente.

Para el cadmio, el plomo, el mercurio, el cromo y el arsénico, existen límites de vuelco legales. Sus concentraciones en los líquidos residuales se determinan mediante los siguientes métodos analíticos:

- Cromo total, plomo y cadmio: espectrometría de absorción atómica por llama.
- Mercurio: espectrometría de absorción atómica por vapor frío.
- Arsénico: espectrometría de absorción atómica por generación continua de hidruros.

Hidrocarburos

Los líquidos cloacales pueden llegar a la planta contaminados con hidrocarburos, generalmente combustibles, disolventes y aceites minerales.

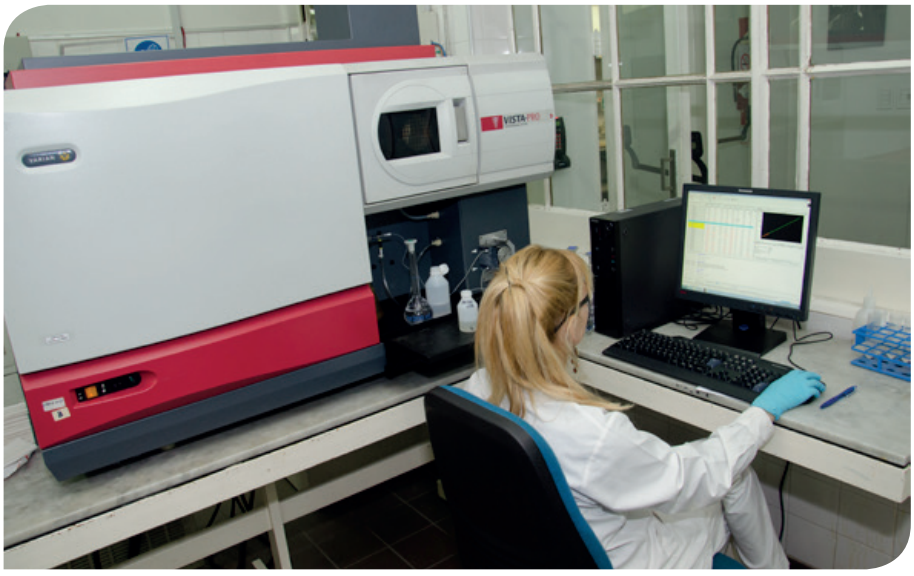


Emil Erlenmeyer

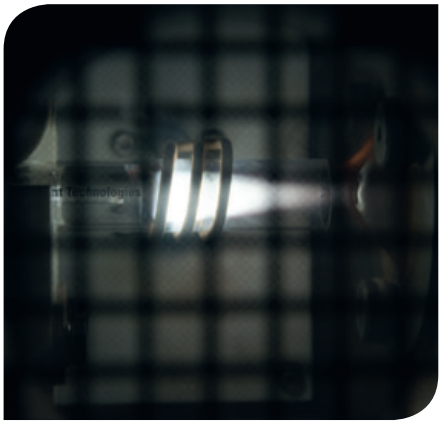
Fue un científico alemán (1825-1909) que se dedicó principalmente a la investigación en el área de la química orgánica. En 1861, diseñó el matraz cónico, actualmente conocido como matraz Erlenmeyer.

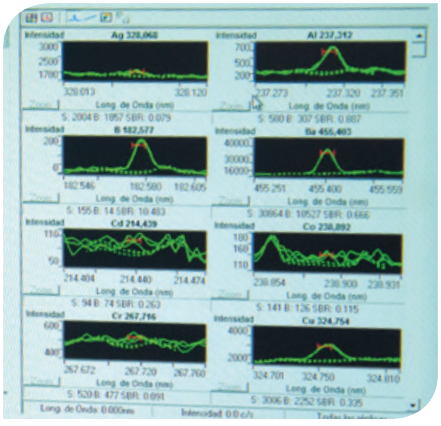


El "erlenmeyer"



Espectrómetro de plasma de acoplamiento inductivo.





A la izquierda, fuente de un espectrómetro de plasma de acoplamiento inductivo en funcionamiento. A la derecha, registro de espectros de emisión de varios elementos metálicos (plata, aluminio, boro, bario, cadmio, cobalto, cromo y cobre).

Estos compuestos son perjudiciales tanto para los seres vivos del cuerpo hídrico receptor como para aquellos de la planta. Además, algunos hidrocarburos conllevan riesgo de explosión en los conductos cloacales. Por estas razones, se les ha asignado un límite legal de descarga.

En las plantas depuradoras, parte de los hidrocarburos quedan retenidos en los fangos. Por eso, el proceso de depuración contribuye parcialmente a eliminarlos del efluente que se vuelca en el cuerpo receptor. Sin embargo, si en los lechos percoladores su concentración es elevada, pueden recubrir las colonias de microorganismos de las paredes del lecho y perturbar la aireación y, por ende, el proceso de oxidación biológica. Por otra parte, los fangos contaminados con hidrocarburos deberán ser dispuestos como residuos especiales.

En el Laboratorio Central de AySA S.A., los hidrocarburos se determinan por espectrometría de absorción infrarroja.

Plaguicidas y herbicidas

La mayoría de los plaguicidas y herbicidas de uso agrícola son sustancias tóxicas para los seres vivos. No obstante, es muy infrecuente hallar trazas de estos productos químicos en líquidos residuales urbanos.

Si se necesitara determinarlos, plaguicidas como el DDT, el heptacloro, y el dieldrin (hidrocarbonados clorados), o compuestos fosforados como el malatión y el paratión se pueden detectar por cromatografía gaseosa.

Sulfuros

Los sulfuros se producen en las cañerías cloacales por reducción química de los sulfatos y se hallan en forma disuelta, coloidal o insoluble. El sulfuro disuelto se presenta como sulfuro (S^{2-}), sulfuro ácido (SH^{-}) o ácido sulfhídrico (H_2S). La proporción de cada compuesto depende en gran parte del pH del líquido.

El ácido sulfhídrico es muy tóxico y, a concentraciones elevadas (>20 ppm), puede causar muerte por inhalación. Su presencia puede evidenciarse por medio del olfato ya que despide un olor muy característico, a "huevo podrido". Este compuesto es sintetizado por bacterias en condiciones anaeróbicas. Por eso, si se aporta oxígeno al medio mediante la aireación, su concentración disminuye notablemente.

En ocasiones las aguas residuales se presentan oscuras. Ello puede deberse a la presencia de sulfuros metálicos, como los sulfuros de hierro.

Los sulfuros pueden afectar gravemente la digestión de los barros: si su concentración es superior a 200 mg/l inhiben la producción de biogas.

Estos compuestos se determinan por técnicas colorimétricas.

Cianuros

El ion cianuro (CN^{-}) proviene de compuestos altamente tóxicos como el ácido cianhídrico, los ferrocianuros y los tiocianatos. Estos son producidos por algunas bacterias, hongos y algas, y pueden encontrarse en algunos alimentos y plantas. Sin embargo, la mayoría provienen de empresas de galvanotecnia, de industrias metalúrgicas y químicas y de curtiembres. Los compuestos de cianuro más frecuentes en la actividad industrial son el ácido cianhídrico y los cianuros de sodio y de potasio. Además, los tubos de escape de los vehículos, la incineración de basurales y los plaguicidas de la familia de los tiocianatos también son fuente de cianuros.

Estos compuestos se cuantifican por titulación o colorimetría.

Detergentes

Los detergentes se utilizan comúnmente para la limpieza por sus propiedades tensoactivas y emulsionantes. Pueden ser biodegradables o no biodegradables.

En las plantas depuradoras, causan inconvenientes porque generan espumas que pueden interferir en los procesos de aireación de los desarenadores y de las unidades biológicas.

Por otra parte, en los cuerpos receptores, como pueden formar finas capas en la superficie del agua, impiden el paso de oxígeno desde la atmosfera al líquido. Así, reducen la concentración de oxígeno disuelto y aumentan la DBO_5. En consecuencia, disminuye la autodepuración y se favorece la acumulación de materia orgánica.



Para su determinación, se practica la técnica espectrofotométrica de coloración con azul de *o*-toluidina. Mediante este método se cuantifican los detergentes aniónicos, pues son reactivos a este colorante. Por eso, se los suele denominar detergentes "SRAO" (por sustancias reactivas al azul de *o*-toluidina).

Grasas

Las grasas y aceites son ésteres de ácidos grasos y glicerina. A temperatura ambiente, las grasas se encuentran en estado sólido mientras que los aceites, en estado líquido. Como estas sustancias no son fácilmente degradables, se las remueve por el método de separación de fases, en el desengrasador.

Si estos compuestos están en exceso, durante el tratamiento biológico, pueden afectar el pasaje de oxígeno gaseoso de la atmósfera al líquido porque forman una capa superficial que resulta una barrera impermeable al aire. Así, disminuyen la disponibilidad de oxígeno y, por ende, limitan la eficiencia de la oxidación biológica. Además, los aceites derivados de productos del petróleo, flotantes o emulsionados, afectan la coagulación y la sedimentación. Si el aceite recubre los flóculos, puede ocurrir que estos no sedimenten correctamente. Otro inconveniente que puede causar su acumulación es la generación de obturaciones en los equipos de bombeo.

Para cuantificar aceites y grasas, se realiza una separación ácida y una posterior extracción en frío con éter etílico. Tras la evaporación del éter, se pesa el residuo, que está conformado por las sustancias solubles en éter etílico (SSEE).

Fenoles

Las sustancias fenólicas son contaminantes provenientes de vertidos ilegales de fábricas de plásticos, de papeles y de pinturas, entre otras. Se trata de compuestos volátiles, irritantes en contacto con la piel y mucosas, y tóxicos por inhalación e ingestión; pueden causar quemaduras y trastornos sistémicos en los seres vivos.

En los lechos percoladores, si su concentración es elevada, disminuyen la eficiencia de la oxidación biológica porque afectan a las algas que suelen desarrollarse en las paredes del lecho. A bajas concentraciones, estos compuestos suelen degradarse durante el tratamiento biológico.

Los fenoles se determinan por volumetría y colorimetría.

15 | Resumen y recomendaciones

Al final de cuentas

El líquido cloacal que circula en una planta depuradora se analiza para controlar el proceso, optimizarlo y cumplir con los requisitos legales. Asimismo, permite generar un registro de datos de manera de caracterizar y determinar los parámetros de operación típicos de la planta. A partir de estos datos, pueden extraerse conclusiones sobre el funcionamiento de la misma a lo largo del tiempo.

Los parámetros físicos y químicos básicos que se determinan en un laboratorio de planta son: MES, sólidos sedimentables, DBO_5, DQO, turbiedad, pH, temperatura, potencial redox y oxígeno disuelto.

Cotidianamente y en la mayoría de los puntos de muestreo se recomienda determinar la MES porque es un ensayo de vasto alcance en términos de información sobre el proceso de depuración y, además, es sencillo, rápido y económico.

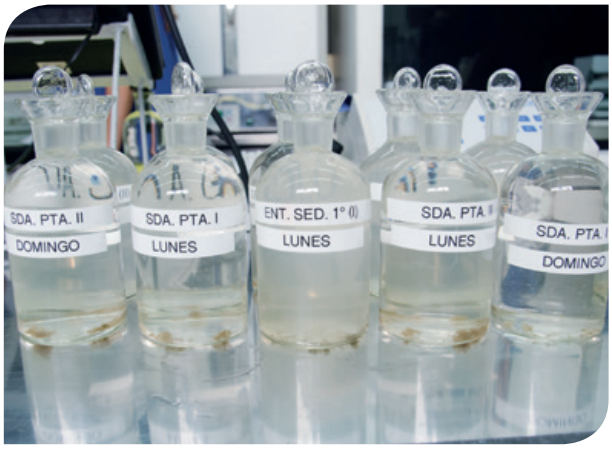
Otros parámetros como turbiedad, sólidos sedimentables y DQO también se determinan mediante métodos relativamente sencillos y aportan información casi inmediata.

Por otra parte, se aconseja estudiar las correlaciones entre los parámetros porque, en ocasiones, es posible realizar inferencias sobre ensayos de determinación más larga y compleja como la DBO_5.

Adicionalmente se pueden realizar determinaciones de oxígeno consumido al $KMnO_4$, fósforo, nitrógeno y otros parámetros complementarios como metales pesados, detergentes, cianuros, etcétera. Estas determinaciones permiten detectar contaminaciones de origen industrial y, en algunos casos, son requisito de las legislaciones vigentes.

A continuación, se describen brevemente buenas prácticas de laboratorio, se discute sobre la pertinencia de los análisis complementarios, y se detallan algunas consideraciones según los puntos de muestreo.







Buenas prácticas de laboratorio

Para obtener resultados comparables y representativos del proceso de depuración es necesario cuidar las muestras y respetar su cadena de custodia. Además, a la hora de determinar concentraciones de sólidos, DBO_5, DQO, pH, temperatura, potencial redox y concentración de oxígeno disuelto es conveniente tener en cuenta los recaudos que se indican en los siguientes apartados.

Cuidado de la muestra

El objetivo de tomar recaudos con las muestras es obtener resultados comparables y representativos del proceso. Para evitar la contaminación o el deterioro de las muestras, antes de realizar los ensayos correspondientes, es necesario conservarlas y almacenarlas de tal manera que no se produzcan cambios físicos, químicos ni biológicos que alteren los resultados de las mediciones. Se recomiendan las siguientes acciones.

- Para que los resultados sean comparables a lo largo del tiempo, conviene extraer muestras siempre en los mismos sitios y horarios; y abreviar cuanto sea posible el lapso de tiempo entre las extracciones y los análisis.
- Para obtener resultados representativos, las muestras deben ser homogéneas. Por lo tanto, conviene elegir puntos que presenten mezcla o turbulencia, y evitar sitios con materia sobrenadante o espumas, porque los valores no representarían las características del líquido que fluye de una unidad operativa a otra.
- Lavar los recipientes correctamente antes de llenarlos con muestras.
- Para conservar los líquidos antes de los análisis, se deben seguir las recomendaciones de los métodos estandarizados para cada determinación. Por ejemplo, según el caso, refrigerar de modo inmediato, usar recipientes opacos, agregar químicos y modificar el pH, entre otras.
- Identificar claramente cada envase con la etiqueta correspondiente.
- Mantener un registro que detalle fecha, hora y sitio de extracción de cada muestra.

Cadena de custodia

La cadena de custodia de las muestras consiste en una serie de acciones que se realizan con el objetivo de preservar su calidad desde el momento de la extracción hasta su análisis.

Los siguientes factores influyen sobre la cadena de custodia.

- Etiquetado del envase. Escribir en la etiqueta toda la información con que se cuente: número de muestra, fecha y hora de la extracción y punto de muestreo. Usar tinta indeleble.
- Hermeticidad de la muestra. Se deben cerrar firmemente los envases para evitar el contacto del contenido con el medio externo.
- Información de campo. Resulta muy útil llevar un registro de toda variable que pueda influir en la muestra, por ejemplo, tipo de muestra (puntual, compensada), instrumento con que se extrae, nombre de la persona que

muestrea, punto de muestreo, condiciones de proceso en el momento de extracción y variables climáticas, entre otros.

- Recepción de la muestra en el laboratorio. La muestra debe llevarse al laboratorio lo antes posible y ser recibida por la persona responsable. Allí, debe inspeccionarse su aspecto y registrarse toda la información del muestreo.

Medición de concentración de sólidos

En la medición de la concentración de sólidos de una muestra, tanto suspendidos como totales, se recomienda contemplar los siguientes aspectos.

- Se pueden utilizar envases de plástico o de vidrio. Se debe cuidar que no queden partículas adheridas a las paredes de los mismos.
- Si se va a determinar la fracción de sólidos volátiles, limpiar bien y tratar previamente la placa o cápsula de evaporación en el horno de mufla a 550 ºC (30 minutos) para incinerar restos de compuestos orgánicos que puedan interferir con la determinación, especialmente si se determinan bajas concentraciones de sólidos fijos y altas concentraciones de sólidos volátiles, pues se sobreestimaría el valor de estos últimos por incineración de residuos de antiguo material orgánico incrustado en los recipientes.
- Agitar las muestras antes de verterlas en las placas de evaporación.
- Medir con precisión los volúmenes de alícuotas de muestra a filtrar.

Determinaciones de materia orgánica (DBO_5 y DQO)

Cuando se determina la materia oxidable de una muestra, se recomienda tener en cuenta los siguientes recaudos.

- Los recipientes de muestras deben ser opacos, para evitar el proceso de producción de oxígeno por fotosíntesis, y deben conservarse a 4 °C.
- Llenar los envases por completo, para evitar que queden cámaras de aire.
- Realizar blancos y determinaciones por duplicado según las recomendaciones de los métodos estandarizados para cada técnica.
- Efectuar las diluciones con precisión.
- Los frascos de Winkler deben ser lavados con detergente neutro, enjuagados y secados perfectamente. Además, una vez agregada la dilución, deben sellarse para impedir la entrada de oxígeno.
- Si las muestras para determinar DQO deben conservarse por un tiempo prolongado, se les puede agregar ácido sulfúrico (H_2SO_4), hasta alcanzar un valor de pH igual o inferior a 2, o bien se pueden congelar.
- Dado que las muestras de líquidos cloacales suelen tener gran cantidad de sólidos, las mismas deben homogeneizarse antes de su análisis, pero sin agitar excesivamente para evitar el ingreso de oxígeno.

Determinaciones de pH, temperatura, oxígeno disuelto y potencial redox

- Dada la posibilidad de contar con equipos localizados y portátiles, es preferible realizar las mediciones *in situ*.
- Si la muestra debe analizarse en el laboratorio, reducir tanto como sea posible el tiempo entre la extracción y el análisis. En este caso, transvasar cuidadosamente las muestras para no alterar su contenido en oxígeno disuelto.
- Calibrar y conservar los electrodos y sondas de acuerdo a las recomendaciones brindadas por los fabricantes, a fin de garantizar la precisión de las mediciones.

Análisis complementarios: ¿por qué?

Para completar la caracterización de los líquidos cloacales, se realizan otros análisis en las plantas o bien en laboratorios externos (metales pesados, hidrocarburos, cianuros, grasas, etcétera). Estos ensayos se practican con una frecuencia menor. No obstante, su determinación aporta información que ayuda a mantener un mejor control sobre el proceso de depuración y, en especial, sobre los afluentes a la plantas. Si se detectan ingresos de líquidos con aspecto no habitual, por ejemplo, coloreados, con olor inusual, con hidrocarburos o espumas, se recomienda extraer y analizar muestras inmediatamente a fin de alertar a las autoridades, ya que pueden revelar vuelcos prohibidos en la red cloacal (vuelcos de tipo industrial).

En las plantas que incluyen procesos de tratamiento de nitrógeno y de fósforo, la determinación de estos parámetros será parte de la rutina de control. Además, si las normas de vuelco exigen desinfección, también se practicará la determinación de bacterias coliformes de forma rutinaria.

AySA RECOMIENDA

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Los filtros y, de modo general, todos los recipientes con muestras (frascos, conos Imhoff y tubos de ensayo) deben ser etiquetados con claridad a fin de que el analista identifique instantáneamente su procedencia.

Una modalidad consiste en adjudicar rótulos que representen la secuencia del proceso. Así, M1 significa "muestra de afluente"; M2, "muestra de salida del pretratamiento"; M3, "muestra de salida del sedimentador primario"; M4, "muestra de salida del tratamiento biológico" y M5, "muestra de efluente". Otra modalidad es rotular los envases directamente con el nombre del punto de muestreo , por ejemplo, "afluente", "salida de sedimentador primario", etcétera.



Los filtros con muestras para MES se conservan en desecadores.

Consideraciones por punto de muestreo

¿Por qué se extraen muestras en determinados puntos del proceso? ¿Qué tipo de muestreo se recomienda practicar en cada caso? Respondemos etapa por etapa.

Afluente

El objetivo de caracterizar el líquido afluente a la planta es conocer su nivel de polución y detectar variaciones en su calidad, para identificar los momentos de mayor carga y poder tomar las decisiones necesarias respecto del control y la operación del proceso.

Además, los datos del líquido afluente se tienen en cuenta a la hora de calcular el rendimiento global de la planta, es decir, los porcentajes de reducción de sólidos y de materia orgánica en las etapas intermedias y al final del proceso.

Los parámetros que normalmente se miden en esta etapa son, entre otros, MES, DBO_5, DQO, sólidos sedimentables, pH, temperatura y turbiedad.

Un operador entrenado estimará rápidamente las características de un líquido afluente observando sus características en un cono Imhoff, en particular, su nivel de polución.

En el afluente se recomienda el muestreo compensado por caudal o, en su defecto, un muestreo compuesto por intervalo de tiempo. Es posible extraer muestras puntuales, pero los resultados obtenidos con este tipo de muestras deben analizarse teniendo en cuenta que no reflejan la condición general del afluente.

El punto de muestreo más representativo del afluente varía según la configuración de cada planta. No obstante, se recomienda extraer las muestras a continuación de la etapa de desbaste, por ejemplo, a la salida de las rejas de la planta, ya sea de las gruesas como de las finas, y antes de la elevación del líquido cloacal a las siguientes unidades de tratamiento. Se elige este punto porque tras la remoción de los sólidos groseros (basura, piedras, etcétera) la muestra será más representativa del líquido que ingresa a la línea de tratamiento.

Salida de pretratamiento con desarenado

En esta etapa se recomienda realizar un muestreo de tipo compensado; no obstante, el muestreo puntual está muy difundido pues no siempre se cuenta con muestreadores automáticos, que son de costo elevado. Si bien el punto de muestreo depende de cada planta, lo ideal es extraer las muestras en el canal de salida de los desarenadores.

El análisis de este líquido aporta información sobre el contenido de sólidos que ingresará al sedimentador primario.

Se recomienda evaluar posibles depósitos de arenas en el fondo de las unidades mediante un juez de lodos o, en su defecto, con algún tipo de varilla.



Extracción de una muestra puntual a la salida de un desarenador.

Salida de la sedimentación primaria

El tipo de muestreo recomendado para la sedimentación primaria es el de tipo compensado por caudal. Los parámetros que normalmente se miden a la salida del sedimentador primario son, entre otros, MES, DBO_5, DQO, sólidos sedimentables y turbiedad.

Con los valores de la MES de la salida del desarenador (o del afluente) y los valores de la salida del sedimentador primario se podrá determinar el porcentaje de remoción de MES en esta unidad.

Con el dato de la cuantificación de los sólidos en suspensión removidos entre la entrada y la salida de los sedimentadores primarios se puede calcular la cantidad teórica de barros primarios que se generan y que deben extraerse de estas unidades.

Es aconsejable medir con un juez de lodos o dispositivo similar la altura del manto de lodos que se deposita en el fondo de estas unidades.

A partir de los valores de DBO_5 y de DQO se puede calcular el rendimiento de la eliminación de materia orgánica del tratamiento primario, porque parte de la materia orgánica del líquido se remueve por decantación en esta etapa. Además, es necesario conocer el valor de DBO_5 de la salida del sedimentador primario porque constituye el valor de entrada al tratamiento biológico.

Tratamiento biológico

Los tratamientos biológicos más utilizados son los de lechos percoladores y los de barros activados. Cada método presenta requerimientos específicos de medición y control.



Lecho percolador de la Planta Depuradora Sudoeste I.

En los lechos percoladores, las colonias de microorganismos aeróbicos, que se encuentran adheridas al relleno, oxidan la materia orgánica en estado soluble o coloidal y generan sólidos decantables que serán removidos del sistema en los clarificadores.

En estos lechos, el muestreo más representativo es el de tipo compensado por caudal, y es recomendable realizarlo a la salida conjunta de estas unidades (por ejemplo, en la cámara que colecta el líquido de 2 o más percoladores). Si se necesita estudiar cada lecho en forma individual, habrá que realizar muestreos puntuales de cada uno.

En estas unidades, se determinan principalmente MES, DBO_5, DQO, sólidos sedimentables, turbiedad, oxígeno disuelto y potencial redox. Si se necesitara controlar el funcionamiento de los lechos con mayor detalle, podrán agregarse ensayos de MES, DQO y DBO_5 sobre muestras decantadas. De esta manera, podrá simularse el proceso que tiene lugar en los clarificadores y preverse las cantidades de barros biológicos que se generen, así como las concentraciones probables en el efluente de planta.



Reactor de barros activados en la Planta Depuradora Norte.

Adicionalmente, los valores de pH, oxígeno disuelto y temperatura, obtenidos preferentemente *in situ* o en línea, completarán la información sobre las condiciones de la oxidación biológica en el lecho.

Durante el tratamiento biológico por la técnica de barros activados, las colonias de microorganismos aeróbicos se encuentran en suspensión y oxidan la materia orgánica en estado soluble o coloidal. Así, generan sólidos decantables que se remueven del sistema en los clarificadores.

Como el reactor contiene elevadas concentraciones de sólidos, el uso de muestreadores automáticos puede conllevar dificultades, tales como obturaciones, amén de que se necesitarían tantos muestreadores como reactores compartimentados

hubiera en la planta. Por lo tanto, en este caso, se aconseja la modalidad de muestreo puntual en un sitio cercano a la salida, donde, además, el líquido se encuentre lo más homogéneo posible. Se evitarán las muestras de líquido superficial, porque pueden no ser representativas debido a la presencia de barros flotados, entre otros. En la medida de lo posible, la muestra se extraerá siempre en el mismo lugar y en el mismo horario.

En estos reactores, se miden principalmente valores de MES, oxígeno disuelto, pH, temperatura, IVL y potencial redox.

La determinación de MES permite conocer la concentración de sólidos en suspensión en el licor mezcla del reactor que, junto con el dato de la concentración de oxígeno disuelto en el tanque de aireación, se usa para regular los caudales de recirculación, la purga de lodos y los niveles de aireación. El cálculo del IVL también aporta valiosa información sobre las características del lodo y el funcionamiento del proceso.

La fracción volátil de MES, que representa la masa de microorganismos, permite calcular indicadores, como la carga másica (F/M) y la edad del lodo, necesarios para el seguimiento y el control del proceso. Además, con estos valores se toman decisiones sobre la extracción y recirculación de barros biológicos, de modo de ajustar la concentración de microorganismos.

Adicionalmente, mediciones de pH, potencial redox y temperatura, preferentemente en línea, completarán la información sobre las condiciones de la unidad de tratamiento biológico.



Control del manto depositado mediante un juez de lodos.

Los parámetros del líquido de salida de los reactores biológicos constituyen aquellos de la entrada a la etapa de clarificación, y se utilizan para calcular su rendimiento.

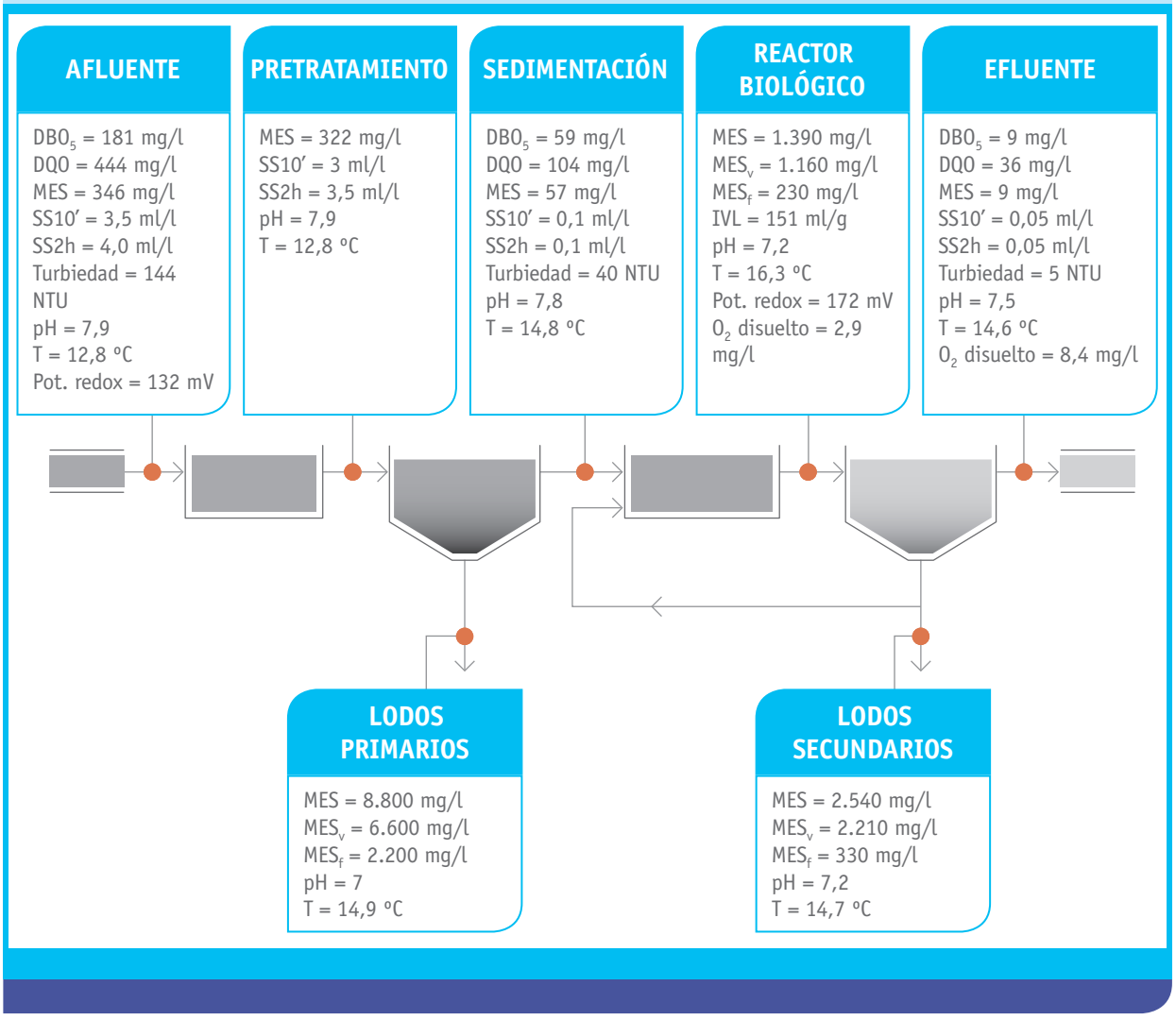
Efluente

La caracterización del efluente que la planta vierte en el cuerpo receptor permite comprobar la eficacia del proceso de depuración, es decir, cuánto se redujo la contaminación del líquido que ingresó a la planta. Desde el punto de vista legal, es necesario determinar los parámetros incluidos en la normativa vigente, a fin de verificar que se cumple con los límites exigidos para cada tipo de vuelco.

En esta última etapa, se recomienda el muestreo compensado. El muestreador debe ubicarse aguas abajo de la salida de los clarificadores.



ENSAYOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DE UNA JORNADA DE DEPURACIÓN*



* Planta Depuradora Sudoeste II, 10 de agosto de 2015.



Clarificador en la Planta Depuradora Norte.

Anexo A
Normas para desagües cloacales*

		Tipo de descarga			
		Directa a cuerpo receptor	A colectora cloacal (afluente)	A cuerpo receptor con tratamiento primario	A cuerpo receptor con tratamiento biológico (efluente)
PARÁMETRO	**Unidades**	**Valores límite**			
Materias en suspensión (MES)	mg/l	---	---	---	35
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)	mg/l	300	200	180	30
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	---	---	---	125
Oxígeno consumido al $KMnO_4$	mg/l	120	80	70	---
pH	u. de pH	6,5-8	5,5-10	6,5-8	6,5-8
Temperatura	°C	45	45	45	45
Sustancias solubles en éter etílico	mg/l	100	100	100	100
Sulfuros	mg/l	---	1	---	1
Cianuros totales	mg/l	1	1	1	1
Cianuros destructibles por cloración	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1
Hidrocarburos totales	mg/l	100	50	100	50
Detergentes SRAO	mg/l	5	5	5	3
Sustancias fenólicas	mg/l	0,5	0,5	0,5	0,05
Cromo trivalente	mg/l	2	2	2	2

* De acuerdo con la Ley N° 26221, Anexo B.

		Tipo de descarga			
		Directa a cuerpo receptor	A colectora cloacal (afluente)	A cuerpo receptor con tratamiento primario	A cuerpo receptor con tratamiento biológico (efluente)
PARÁMETRO	**Unidades**	**Valores límite**			
Cromo hexavalente	mg/l	0,2	0,2	0,2	0,2
Cadmio	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1
Plomo	mg/l	0,5	0,5	0,5	0,5
Mercurio	mg/l	0,005	0,005	0,005	0,005
Arsénico	mg/l	0,5	0,5	0,5	0,5
2, 4 D	µg/l	100	---	100	100
Aldrín	µg/l	0,03	0,03	0,03	0,03
Alfa, beta, gama o delta lindano	µg/l	3	3	3	3
Clordano	µg/l	0,1	0,1	0,1	0,1
DDT	µg/l	1	1	1	1
Dieldrín	µg/l	0,01	---	0,01	0,01
Heptacloro	µg/l	0,04	---	0,04	0,04
Heptacloro epóxido	µg/l	0,04	---	0,04	0,04
Hexaclorobenceno	µg/l	0,01	---	0,01	0,01
Metoxicloro	µg/l	30	---	30	30

Rutinarios (en laboratorios de planta)

Mensuales (en laboratorios externos)

Anexo B
Técnicas analíticas estandarizadas

Materia en suspensión (MES)

- SM_17 2540 D

Sólidos totales

- SM_17 2540 B

Sólidos fijos y volátiles

- SM_17 2540 E

Sólidos sedimentables

- SM_17 2540 F

Índice volumétrico de lodos (IVL)

- SM_17 2710 C y D

Oxígeno disuelto

- SM_17 4500-O B (método de Winkler)
- SM_17 4500-O G (método electrométrico)

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

- SM_17 5210 B (métodos de Winkler y electrométrico)
- SM_20 5210 D (método respirométrico)
- ISO 5815:1989
- IRAM 29006

Demanda química de oxígeno (DQO)

- SM_17 5220 D (reflujo cerrado)
- ISO 15705:2002
- EPA 410.4
- ASTM D1252 - 06 B

Oxígeno consumido al $KMnO_4$

- ISO 8467:1993

Potencial redox

- SM_20 2580 B
- ASTM D1498-14

pH

- SM_17 4500-H^+ B

Temperatura

- SM_17 2550 B

Turbiedad

- SM_17 2130 B

Abreviaturas:

SM_17: Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, 17ª edición.

SM_20: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20ª edición.

ISO: International Organization for Standardization

IRAM: Instituto Argentino de Normalización y Certificación

EPA: Environmental Protection Agency

ASTM: American Society for Testing and Materials



Casi treinta colaboradores trabajan en los laboratorios de las plantas depuradoras de AySA S.A.

Referencias

Establecimientos de AySA S.A. citados

Laboratorio Central de AySA S.A., Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Planta Depuradora El Jagüel I, partido de Esteban Echeverría, provincia de Buenos Aires.

Planta Depuradora El Jagüel II, partido de Esteban Echeverría, provincia de Buenos Aires.

Planta Depuradora Hurlingham, partido de Hurlingham, provincia de Buenos Aires.

Planta Depuradora Norte, partido de San Fernando, provincia de Buenos Aires.

Planta Depuradora Santa Catalina, localidad de Santa Catalina, partido de Lomas de Zamora, provincia de Buenos Aires.

Planta Depuradora Sudoeste I, localidad de Aldo Bonzi, partido de La Matanza, provincia de Buenos Aires.

Planta Depuradora Sudoeste II, localidad de Aldo Bonzi, partido de La Matanza, provincia de Buenos Aires.

Bibliografía

APHA, AWWA, WEF (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*, 17ª edición. Madrid: Díaz de Santos, S. A.

APHA, AWWA, WEF (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,* 20ª edición. Washington: American Public Health Association.

Castellán, G. (2000). *Fisicoquímica*, 2ª edición. México: Addison Wesley.

Hernández Muñoz, A. (1994). *Depuración de aguas residuales*, 3ª edición. Madrid: Paraninfo S.A.

Metcalf & Eddy (1995). *Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización*, 3ª edición. Madrid: McGraw-Hill.

Metcalf & Eddy (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse,* 4ª edición. Boston: McGraw-Hill.

Obras Sanitarias de la Nación (1974). *Manual de laboratorio para técnicos sanitarios*. Buenos Aires: OSN.

Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales.* Barcelona: Reverté S.A.

Von Sperling, M. y Lemos Chernicharo, C. A. (2005). *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions.* Londres: IWA Publishing.

Índice analítico y onomástico

A

Análisis de muestras por duplicado, 40

C

Cianuros, 57, 59, 70

Cloro libre, 57

Coliformes fecales, 56, 57

Cono Imhoff, 24, 25

Contaminantes de origen industrial, 57

D

DBO_5, 32, 41, 45, 61, 62, 63, 65, 66, 68, 70, 72

  decantada, 35

  filtrada, 35

  suspendida, 35

Demanda bioquímica de oxígeno, 32

  véase también DBO_5

Demanda química de oxígeno, 38

  véase también DQO

Desinfección, 56

Desnitrificación, 45, 54, 55

Detergentes, 57, 59, 70

DQO, 38, 41, 42, 61, 62, 63, 65, 66, 68, 70, 72

E

Electrodo de membrana, 31

Erlenmeyer, Emil, 57

Eutrofización, 54

F

Fahrenheit, Daniel, 51

Fenoles, 57, 60

Filtración terciaria, 36

Fósforo, 45, 54, 61, 64

G

Grasas, 57, 60

H

Herbicidas, 57, 58

Hidrocarburos, 57, 64, 70

I

Imhoff, Karl, 25

  cono, *véase* Cono Imhoff

Índice, de Mohlman, 28

  volumétrico de lodos, 28, 72

  véase también IVL

IVL, 28, 67, 68, 72

K

Kitasato, 23

Kitasato, Shibasaburo, 23

M

Materia en suspensión, 20, 38, 41

  véase también MES

MES, 20, 24, 28, 41, 61, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 72

Metales pesados, 57, 61, 64

Método, de reflujo cerrado, 38
de Winkler, 30, 32, 72
electrométrico, 30, 72
respirométrico, 32, 72
yodométrico, 31
Microorganismos aerobios, 30
Muestreadores automáticos, 16, 17, 23, 33
Muestreo, 14, 63, 64
compensado, 17, 65, 66, 68
compuesto, 16, 65
puntual, 15, 16, 23, 65, 66, 67
puntos de, 17, 19, 23, 26, 29, 31, 35, 40, 43, 46, 48, 53, 55, 65

N

Nitrificación, 44, 45, 48, 54
Nitrógeno, 45, 48, 54, 55, 61, 64
total Kjeldahl, 55
Normas para desagües cloacales, 70

O

Organismos patógenos, detección, 56
eliminación, 56
Oxígeno, consumido, 42, 61
disuelto, 30, 32, 33, 45, 61, 64, 66, 67

P

pH, 47, 61, 64, 65, 67, 68, 70, 73
Plaguicidas, 58
Potencial redox, 44, 61, 64, 66, 67

R

Reactores biológicos, 29, 30, 66, 68

S

Sólidos, disueltos, 20
no sedimentables, 20, 24
sedimentables, 20, 24, 61, 65, 66, 72
suspendidos fijos, 20
suspendidos totales, 20
suspendidos volátiles, 20
totales, 20, 23
Sørensen, Soren, 48
Sulfuros, 57, 59, 70

T

Temperatura, 50, 61, 64, 66, 67
Tiempo de residencia hidráulico, 16
Turbidímetro, 52, 53
Turbiedad, 52, 61, 65, 66, 68, 73

W

Winkler, frasco de, 31
método, *véase* Método, de Winkler
Winkler, Lajos, 31



MANUAL DE PLANTAS DEPURADORAS

VOLUMEN 1
Caracterización de efluentes:
ensayos físicos y químicos

VOLUMEN 2
Depuración de líquidos cloacales

VOLUMEN 3
Tratamiento de lodos

VOLUMEN 4
Control de procesos de depuración

VOLUMEN 5
Microflora y microfauna en el tratamiento biológico de depuración

VOLUMEN 6
Gestión de una planta

VOLUMEN 7
Glosario y bibliografía

colección redes



Realizado en Imprenta AySA



colección redes

Lazos de agua

aysa