

Resumen de los Avances Tecnológicos en el Campo de la Ingeniería Sanitaria

Cada día es más importante la protección y purificación de los recursos de agua y se intensifica el control de la contaminación ambiental, propósitos que no tendrían éxito sin la conjugación armónica de variadas ciencias apoyadas por la nueva tecnología y cuyas relaciones básicas y últimos alcances trata de describir el presente artículo.

LAURO HORACIO ARTURO M.
Ingeniero Civil M. Sc.
Profesor Asociado de la
Universidad Nacional

Muchas conquistas se han logrado en las últimas décadas en el campo de la Ingeniería Sanitaria, que han permitido la proyección más real y el diseño más eficiente de las obras sanitarias, junto con la reducción de su costo, limitante que en el caso del proceso del lodo activado en el tratamiento de las aguas negras ha sido vencida por la innovación de aereadores de menor consumo de flujo eléctrico¹.

Si se inicia la revisión por el diseño de las redes de acueducto, se observa el creciente influjo de la sistematización en el desarrollo del cálculo de los diámetros de las tuberías; así ya existen diversos programas para trasladar al lenguaje Fortran o Basic todo el compendio de formulismos y ecuaciones, que constituyen los conocidos métodos de Hardy Cross o el de Longitudes Equivalentes más flexible éste último para el propósito por tener menor número de variables. Con este perfeccionamiento el tiempo de cálculo se ha acortado desde unos días hasta escasos minutos, ganando exactitud las operaciones y claridad y nitidez los resultados.

La sistematización ha contribuido también en el análisis de los caudales, diámetros y perfiles e inclusive en la determinación de los costos de sistemas de alcantarillado².

Y en la computación hidráulica de los caudales usando el método de

aforos, existe actualmente un programa manual que dados el valor de las variables principales, el listado determina caudal, área de la sección y velocidad de la corriente medida. Como un ejemplo de lo anterior se describe la mensura de la profundidad variable de un río con el objeto de definir la relación entre caudal y profundidad. Actualmente un trazador señala sobre un disco las variaciones diarias de la profundidad de las cuales tras un análisis son sujetas a largas computaciones para convertirlas en valores de caudal.

Esta operación se agiliza al usar un registrador digital, en el cual una cinta con capacidad para 10000 valores, es perforada para cada valor de la profundidad medida a intervalos ajustables entre 5' y 60'.

Usando luego un computador digital se trasladan los datos registrados en la cinta a tarjetas para su uso y procesamiento posterior. En las tarjetas quedan consignados además la fecha de la mensura, las profundidades máximas, mínimas y medias, junto con las correcciones correspondientes, el caudal medio, las profundidades para diversas horas del día y el tiempo en que ocurrió la profundidad máxima.

Es claro que este procedimiento comparado con el procedimiento manual tiene una ventaja de proporcionar una mayor seguridad y

mayor número de datos en un tiempo menor³.

Las matemáticas avanzadas han contribuido a la estructuración de los formulismos necesarios, despejando el camino para encontrar por ejemplo, el valor de la corrección del caudal en la iteración de los cálculos de las mallas en el método de las longitudes equivalentes aplicando las series de Taylor⁴.

Los procedimientos implicados para obtener la adsorción del líquido tratado mediante carbón activado, con el objeto práctico de reducir malos olores o la de extraer contaminantes del agua, fueron descritos gracias a la ecuación isotérmica exponencial de Freundlich y a la lineal de Langmuir, que describen el equilibrio entre la cantidad adsorbida por unidad de adsorbente con la concentración de adsorbato^{5 6}.

Las ecuaciones cinéticas de Monod resolvieron la determinación de los coeficientes cinético-biológicos, que relacionan en el proceso del lodo activado la utilización del substrato o alimento por parte de los microorganismos, y la concentración del mismo, para la cual estos mismos trabajan, y también facilitaron conocer la producción de microorganismos y su posterior decaimiento, que luego se usaron para la derivación de las ecuaciones del modelo respectivo, por ajustarse mejor que ninguna otra relación al crecimiento real y heterogéneo de la población microbiológica^{7 8}.

El manejo de las ecuaciones diferenciales, permite encontrar la íntima relación entre la concentración de oxígeno disuelto en el agua, y la demanda de éste o DBO por parte de la materia orgánica, que arrastran las aguas negras en determinado sector de una corriente⁹.

El análisis proporcionado por Langrange, ha servido de punto de arranque para mejorar la técnica de cálculo y encontrar los valores óptimos de las cinco variables como concentración de sólidos en el líquido mezclado, volumen del tanque de aeración, lodo re-

circulado, lodo de desecho y concentración de sólido de desecho, decisivas en la evaluación de los costos más favorables de construcción y de operación de una planta de lodos activados¹⁰.

Y en los estudios hidrológicos la integral de Duhamel o de circunvolución, ha sido usada para determinar la respuesta o hidrógrafo de una cuenca a cualquier arbitraria excitación o exceso de lluvia de constante intensidad y de determinada duración¹¹.

Las complejas reacciones químicas y aún biológicas, que se suscitan por influencia de la temperatura o participación natural o artificial de sustancias orgánicas o inorgánicas, se han clasificado de acuerdo a un orden matemático. Así se llaman ecuaciones de primer orden cuando la tasa de dosificación de una sustancia es proporcional a su concentración; llamándose de segundo orden cuando más de una sustancia reactante de igual concentración está implicado dando lugar a una proporción inversa entre tasa y concentración. Esta clasificación matemática, ha esclarecido la interpretación de procesos como los de aeración, remoción de la DBO, desinfección, cloración y digestión de lodos.

La televisión, que la ciencia electrónica ha conseguido desarrollar con indiscutible éxito para las comunicaciones audio-visuales, ha prestado también su valioso apoyo para mejorar los trabajos de limpieza de los alcantarillados, aliviando el esfuerzo humano, y localizando con precisión y celeridad a través de un circuito cerrado fugas, crecimiento de raíces y fallas estructurales, que se registran luego en cintas de video y aún en fotografías que se extraen del monitor de televisión¹².

El aforo de las corrientes naturales ha recibido el beneficio del aprovechamiento práctico de los radioisótopos, basándose "en el hecho que un radioisótopo que pasa a gran velocidad no origina la misma cantidad de radiaciones sobre un detector que un radioisótopo que pasa lentamente, y

que por tanto permanece más tiempo cerca del detector. En consecuencia con una cantidad conocida de un radioisótopo el número de cuentas detectadas será inversamente proporcional a la tasa de flujo buscada y directamente proporcional a la actividad del radioisótopo"; conociendo pues el número promedio de cuentas por segundo del paso de una micra de oro-198, que se detectan en un escalímetro, un factor de ajuste que se determina de manera previa y en forma experimental en un tanque, que contiene el radioisótopo en solución con agua, es posible calcular el caudal de una corriente con precisión mayor que usando un molinete Gurley¹³.

Los radiotrazadores basados en el mismo principio simplifican el cómputo de caudales y de tiempos de recorrido de desechos entre dos puntos establecidos en el curso de un río evitando el uso de "fórmulas complicadas de la hidrodinámica"¹⁴.

Igualmente se constituye en valiosa herramienta para identificar posibles escapes o filtraciones en las redes de acueducto y alcantarillado usando para el efecto el oxígeno 18 y el deuterio¹⁵. Usando esta técnica se identificaron interconexiones peligrosas entre las redes de acueducto y alcantarillado de Manizales causadas por erosión y deslizamientos. En la detección de acuíferos los trazadores naturales y artificiales se usan ya con exitosos resultados, como el carbono 14, para la determinación de la edad de las aguas, y el hidrógeno 2 y el oxígeno 18 en los estudios de origen e interpretación de acuíferos¹⁶.

Las anteriores técnicas nucleares han ampliado en el presente su radio de acción, y es así como también se aplican para analizar la eficiencia de plantas de tratamiento o detección de obstrucciones en las tuberías de una red de acueducto.

En los estudios pitométricos, se ha logrado una exactitud y reducción del tiempo de rastreo de las fugas en las tuberías presuriza-

das, mediante la innovación de un laboratorio electrónico portátil, que determina la localización, tipo y cantidad de agua perdida en cada fuga individual. La técnica aplicada se basa en que las fugas de agua emiten impulsos acústicos, que se transmiten a través del material en que están construídas las tuberías y del líquido que estas transportan, los cuales son convertidos en señales eléctricas amplificadas por un sensor, que las transmite a su vez a una consola electrónica, donde son sometidas a su análisis a través de un espectrómetro, luces, medidores de analogía y osciloscopios¹⁷.

Y en la mensura de caudales en tuberías a presión un sistema electrónico consistente en un sensor, un transductor y un multiplicador de movimientos unidos por una transmisión magnética, y regulados por un control, facilitan la lectura inmediata de los caudales en una escala lineal, evitando el paso por operaciones esforzadas y las computaciones posteriores, y con la ventaja adicional de su aplicación tanto en tuberías horizontales como en verticales¹⁸.

Otro reciente método de mensura de caudales, es el basado en la fuerza dinámica desarrollada sobre un cuerpo fijo introducido en la corriente de agua. La magnitud de esta fuerza es trasladada y convertida en un potencial eléctrico proporcional al cuadrado del valor del caudal, y luego reducido a unidades corrientes para su fácil lectura sobre un cuadrante apropiado¹⁹.

La estadística ha proporcionado a la ingeniería sanitaria ingente y valiosa contribución, que se hace patente en el análisis del crecimiento de la población, en la mensura del consumo de agua potable y del volumen de aguas negras, en el registro de observaciones hidrológicas, en el análisis bacteriológico del agua, en el funcionamiento de las plantas de tratamiento y en la evaluación de costos de toda clase.

Así es frecuente acudir al método gráfico para ajustar una ecuación que relacione matemáticamente

un conjunto de observaciones, a partir del intercepto sobre el eje de las y y la inclinación de la línea resultante, como por ejemplo para encontrar la relación existente entre el grado de floculación y la gradiente de velocidad producidos en un tanque de floculación, para deducir una ecuación de primer orden²⁰; o la evaluación de las variables teóricas presentes en el espesamiento de los lodos para el mejor manejo, concentración y acondicionamiento de éstos en el tratamiento de lodo activado²¹.

El estudio de la DBO ha permitido la aplicación de los métodos matemáticos y estadísticos en relativa sucesión. Una ecuación de primer orden caracterizada por la dependencia de las reacciones químicas de la concentración de un solo reactante, fue base para el desarrollo de la primera curva de la DBO.

El procedimiento de Reed Thériault, usando el método estadístico de los mínimos cuadrados, puso a la disposición una solución completa y rigurosa para este parámetro, aunque exigía largo tiempo de computación.

Después Fair desarrolló el método de la diferencia logarítmica, matemáticamente sano, pero difícil de resolver.

Thomas siguiendo estrechamente a Fair, propuso el método gráfico del intercepto y de la inclinación, para producir por vía del tratamiento con los mínimos cuadrados las constantes de la curva de la DBO, método profusamente usado hasta 1950.

Años más tarde el método de los momentos desarrollado por Moore, Thomas y Show, pronto llegó a ser la técnica más conveniente para resolver las constantes de la DBO, por ser una solución simple, real y precisa.

Y últimamente se ha presentado una ecuación basada en una reacción química de segundo grado, que produce la misma precisión de una ecuación de primer orden, en el rango de temperaturas entre 20° y 35°C, y que ha demostrado su sana apli-

cación en el campo de las oxidaciones biológicas²².

Otras herramientas estadísticas, que se echan mano en las investigaciones sanitarias para ordenar los datos u observaciones de un fenómeno natural o de un ensayo de laboratorio, son provistas por el diagrama de la frecuencia o por el gráfico de acumulación, donde en las ordenadas se muestra el número o frecuencia de los valores menos o iguales a un dado valor representado en el eje de las abscisas. Cuando el número de observaciones es grande, la tabulación de los grupos de ocurrencias, más bien, que la de los valores individuales de un fenómeno o dato da lugar al conocido método de la distribución de la frecuencia, cuya representación gráfica llamada la curva de la frecuencia normal, o curva normal de probabilidad de Gauss, califica cuan típicos son los datos u observaciones registrados.

El grado de agrupamiento o dispersión de los datos es determinado mediante la estadística con los valores del rango, la desviación media y la variación o desviación estandar que se derivan de la curva mencionada, que capacitan al analista para predecir por ejemplo el valor de los caudales de aguas negras o el valor promedio de la DBO de un río para determinados períodos de tiempo.

El aumento o disminución de los valores iniciales de los caudales y DBO, producen variaciones diferentes en el sistema bajo estudio, que se pueden conocer apelando al coeficiente de regresión lineal²³.

Otra forma de correlación estadística es la aplicación en la hidrología de la función Gamma, útil en el desarrollo del hidrógrafo sintético de un número de cuencas, a partir de la relación entre sus características físicas mensurables como área, longitud y pendiente y los parámetros hidrológicos como precipitación, escurrimiento y tiempo de concentración.

Usando esta función es posible además estimar la curva de respuesta, que relaciona el tiempo

de retención con la concentración de un trazador y con la concentración en el efluente, en el estudio analítico de un tanque de aeración²⁵.

Y hablando de ensayos, los trabajos del laboratorio de Ingeniería Sanitaria han encontrado en la polarografía, espectroscopia y detectores coulométricos, sólido apoyo para detectar los metales pesados tales como el Mn, Cr, Ni, Pb, Cd, Zn, Cu, Fe y Hg en muy bajas concentraciones usando las primeras; o más específicamente para medir el oxígeno disuelto utilizando un analizador polarográfico Beckman²⁶.

La imperiosa necesidad de medir el contenido de pesticidas en las aguas naturales, fue satisfecha primero con la técnica de la cromatografía al papel, y luego usando las propiedades ultrasensitivas de la cromatografía microcolumétrica al gas, complementada en ciertos casos con la espectroscopia fluorescente^{27 28}.

De esta manera, previa la extracción de los compuestos orgánicos, y su posterior separación de las aguas del río, mediante la adsorción por una columna de carbón activado con el cloroformo como agente extractor, ha sido posible detectar tóxicos como el dieldrín, endrín, lindano, DDT y parathion, y facilitar su tratamiento y remoción de las aguas contaminadas.

La radioactividad juega en este campo también importante papel, pues ofrece un promisorio método para la mensura e identificación de los polutantes orgánicos, mediante la dilución de isótopos²⁹.

Respecto a la mensura de la radioactividad de partículas beta en las aguas naturales, como un método satisfactorio de conteo, fue calificada la adición de calculadas concentraciones de cesium 137 a la muestra de agua bajo análisis. Más tarde, la precipitación química facilitó el mejor camino para determinaciones más específicas, como para el fósforo 23 y el cobalto radioactivo³⁰.

Como la toxicidad tanto de los

polutantes orgánicos como la de los elementos radioactivos, es tan aguda y persistente, aún en cantidades infinitesimales, la tabla corriente de medidas se extendió para acoger nuevos niveles de mensura, como el nanogramo o $1 \text{ gramo} \times 10^{-9}$ /litro para los primeros, o el picurie o un curie $\times 10^{-12}$ /litro, medidas que complementan las técnicas anteriormente descritas³¹.

En los procedimientos de purificación de agua es donde en forma más espectacular, se han aprovechado los beneficios de la nueva tecnología, trátase de la mezcla rápida, la coagulación y floculación, la sedimentación o la filtración rápida.

En la mezcla rápida por ejemplo los mezcladores de tipo hidráulico, sean Cámaras Parshall, saltos hidráulicos o difusores hechos con mallas de tubos perforados, o sistemas similares para producir turbulencia han demostrado ser por lo menos tan eficientes como los mezcladores mecánicos y probablemente más eficientes en la mayoría de los casos. La eficacia de estos mezcladores hidráulicos se basa en que evita la estratificación en la cámara de contacto, que produce la poca dispersión del desinfectante o coagulante y los consecuentes cortocircuitos o pasos directos y rápidos a través de la cámara de la mezcla. Además suprime los problemas de operación y mantenimiento de un equipo mecánico y baja los costos de construcción^{32 33}.

En el proceso unitario de la coagulación la dosificación de carbonato de magnesio ha proporcionado las siguientes ventajas:

- 1) Posibilidad de recircular el coagulante.
- 2) Eliminación de los problemas derivados de la disposición de los lodos producidos.
- 3) Desinfección adicional debido al alto pH conseguido.
- 4) Remoción del hierro y del manganeso.
- 5) Control de la corrosión por la resultante estabilización del agua.

6) Economía de los costos de tratamiento³⁴.

La desestabilización de los coloides para promover su contacto, agrupamiento y sedimentación, se ha conseguido merced al uso de los polímeros orgánicos, algunos de ellos llamados frecuentemente polielectrolitos.

Sus características reconocidas son principalmente:

- 1) Su facilidad de manejo.
- 2) Su eficiencia en pequeñas dosis.
- 3) Su aprovechamiento como acondicionadores de los lodos producidos.
- 4) El complementar la acción de los coagulantes metálicos y reducir su dosificación^{35 36}.

Sin embargo, la dosificación de los polielectrolitos debe obedecer a una juiciosa decisión, pues su aplicación puede aumentar la resistencia y dureza del flóculo, producir menor penetración en la capa filtrante, resultar en mayores pérdidas de carga, y consecuentemente acortar la carrera del filtro³⁷.

Por tal motivo la adopción de los polímeros orgánicos, debe ser resultado de una experimentación en filtros pilotos, que señalen la dosis óptima del polímero, que contribuya a aumentar la eficiencia de la planta, y no produzca efectos negativos, máxime en Colombia donde la costosa adquisición de estos químicos, debe ser justificada con el aumento de la capacidad de la planta, y el mantenimiento de la calidad del agua producida^{38 39}.

La sedimentación acelerada impulsada definitivamente por la ecuación de Kuan M. Yao, que relaciona la velocidad con la longitud, espaciamento e inclinación de los elementos inclinados, clave básica del éxito de esta operación, resolvió desde 1970 el problema planteado antes por Camp y otros, para aumentar la eficiencia del tanque sedimentador sin entrar en complicaciones costosas y antifuncionales de orden constructivo⁴⁰.

Las bases de estos estudios habían sido propuestos por Fischers-trom, quien encontró el límite

óptimo del número de Reynolds, para obtener favorables condiciones hidráulicas para el trabajo de estos sedimentadores.

La dirección del flujo en éstos puede ser tanto ascensional como descendente, funcionando mejor éste último tipo, aunque el primero soporta sin esfuerzo las sobrecargas de caudal.

Los de flujo ascensional remueven con mayor eficiencia la turbiedad del efluente, y la velocidad óptima para ambos tipos se ha fijado en 18.3 cms./minuto.

La operación de los sedimentadores de alta tasa ha demostrado entre otras cosas que:

- Es notable la reducción del área superficial requerida en el tanque.
- Permite además, que sin variar la eficiencia inicial, aumente la carga unitaria o inversamente sin variar la carga unitaria aumente dicha eficiencia⁴¹.
- Consecuentemente la inversión de capital será menor usando esta clase de sedimentadores⁴².
- Permiten tasas unitarias del orden de 120 a 300 M³/M²/día superiores a la de 60 M³/M²/día de los sedimentadores convencionales.

El aspecto económico se puede apreciar recordando, que el costo del sedimentador convencional era 1/3 del costo total de la planta, y al aplicar esta nueva tecnología desciende a un sólo 17%.

Por otra parte las relaciones económicas encontradas en otros países, indican que los costos varían usando diversos tipos de sedimentadores de alta tasa comparados con los del sedimentador convencional de la siguiente forma:

De placas paralelas	1.00
(base de la comparación)	
De placas onduladas	1.30
De tubos	2.60
Sedimentador convencional	3.30

resultados que determinan que los sedimentadores de placas son los más baratos de todos los comparados⁴³.

Aunque los sedimentadores de flujo descendente trabajan mejor que los de flujo ascendente en la auto-limpieza y remoción del lodo asentado, la bondad de esta tecnología, se complementa en el mejor aprovechamiento del sistema de recolección del efluente, para evitar debido a los altos caudales de agua tratados, un rápido crecimiento del volumen de lodos.

Sustanciales mejoras también se han conseguido en el rendimiento de los filtros, al aumentar el número de capas filtrantes, con la introducción de la antracita de granos más grandes pero más livianos que los de arena, o de la ilmenita, granate o magnetita de granos más pequeños y más pesados que los anteriores.

Los resultados de estos cambios evidencian:

- Aumento en 2^{1/2} veces de la tasa normal de filtración de 150 M³/M²/día.
- Alargamiento de la carrera del filtro.
- Producción de un efluente más claro.
- Menor volumen del agua de lavado.
- Aumento en un 100% a un 150% de la capacidad de la planta.
- Facilidad para mejorar el equipo de control de toda la planta⁴⁴.

Pero si la capacidad de filtración, ha aumentado con las innovaciones anteriores, el costo de construcción se redujo grandemente, sobre todo considerando nuestro medio colombiano, al realizar simplificaciones más drásticas como son:

- La de lavar el filtro con el flujo proveniente de las otras unidades, siempre y cuando se tenga una carga de 240 M³/M²/día, un número mínimo de cuatro filtros, y una velocidad mínima de lavado de 0.60 M/minuto.
- La de suprimir los reguladores que mantienen la velocidad de filtración constante, durante la carrera del filtro, la construcción del tanque elevado y el controlador de la tasa de

lavado, y reducir a un mínimo las válvulas y tuberías que constituyen la galería de filtros⁴⁵.

Hidráulicamente estas reformas fueron posibles, reemplazando el control mecánico mediante un vertedero u orificio a la salida del efluente, o aún sin ninguna restricción en este punto, permitiendo trabajar al filtro con una tasa declinante, o sea la reducción del caudal del efluente a medida que aumenta la pérdida de carga.

La cibernética, que en su más amplio sentido puede definirse como la ciencia del control remoto de cualquier operación física, ha contribuido con la telemetría una de sus aplicaciones específicas para convertir una magnitud medida en una señal eléctrica representativa para ser procesada, almacenada o utilizada como medio de control o como dato de entrada en un computador⁴⁶.

Su aplicación directa en el control de la calidad del agua tratada, se ha implementado en forma real con la instrumentación en diversas fases del tratamiento⁴⁷.

Las variables que se pueden someter automáticamente a regulación o medida, registro, control y aún programación computarizada son la turbiedad, pH, tasa de filtración, cloro residual, fluor residual, caudales de llegada, caudales de filtros, caudal de lavado y caudal efluente junto con los respectivos niveles y pérdida de carga alcanzados o producidos.

La instauración de esta técnica permite:

- Producción eficiente de buena calidad y costo moderado de agua.
- Ajuste oportuno del funcionamiento hidráulico.
- Facilidad de revisión de las prácticas de operación.
- Información permanente sobre la calidad y volumen del agua tratada⁴⁸.

Como una extensión de la telemetría, es oportuno mencionar aquí, el control remoto de los medidores de agua potable, me-

dante la inserción de un sistema electrónico, que permite desde un panel central, la lectura del consumo, la detección de fallas de operación y la suspensión del servicio, ahorrándose así la lectura engorrosa y a veces incierta a base de un equipo humano.

En el campo de las aguas negras, en que se trabaja en el complejo mundo de la población microbológica, y sus variadas reacciones con la materia orgánica o inorgánica presentes, en donde en el terreno de la biología sanitaria, se mezclan, enfrentan o complementan conceptos, estados o procesos como la respiración endógena o la reducción de la masa celular, las reacciones de síntesis de la materia celular y las reacciones de las enzimas o proteínas, que convierten los nutrientes en productos finales o el papel jugado por el carbón bacteriano dentro del intrincado y complejo metabolismo microbiano, en que se apoya el proceso de los lodos activados cuyos objetivos más claramente establecidos son:

- Máxima remoción de DBO y DQO solubles.
- Máxima remoción de amoníaco soluble o de nitrificación.
- Minimización de la generación de lodo biológico en exceso.
- Eficiente separación de sólidos en el sedimentador secundario o espesador.
- Minimización de problemas de abultamiento de lodos.
- Asimilación de cargas violentas.

el progreso ha sido continuo y provechoso⁵¹.

En el proceso de filtros percoladores, se ha obtenido clarificación entre la relación de las variables de recirculación, temperatura, profundidad, carga orgánica y carga hidráulica, concluyéndose que la remoción de la DBO no depende de la magnitud de ésta última^{52 53}.

También ha tomado últimamente gran incremento para el tratamiento de las aguas negras los contactores biológicos rotatorios, pero que requieren cerca de 1061 m² por cada litro tratado⁶⁶.

En el proceso de la digestión anaeróbica, se ha destacado la importancia que tienen en el diseño los factores tales como la mezcla, temperatura, tiempo de retención de los sólidos, carga y disponibilidad de nutrientes; la influencia de las reacciones que tienen lugar en este sistema y la forma como el medio ambiente afecta tales reacciones; y las recientes innovaciones para su mejor funcionamiento como fondos planos, tuberías múltiples de recolección de lodos, tuberías de fondo para inyección del gas comprimido, facilidades de acceso, de limpieza y de muestreo y tuberías para transporte del gas desplazado o para su disposición^{54 55}.

Respecto al tratamiento por lagunas aereadas, usando la mezcla completa este sistema se puede aplicar tanto para el tratamiento de residuos industriales como de aguas negras domésticas⁵⁶.

En las lagunas de oxidación, se ha reconocido el papel importante que juega la temperatura en su funcionamiento, solas o combinadas con las anteriores, llegando en este último caso a alcanzar una remoción de DBO del 88%. Estas lagunas pueden usarse como tratamientos terciarios para reducir no solamente la DBO, sólidos suspendidos o coliformes, sino fósforo y nitrógeno, siempre y cuando el contenido del gas haya sido removido previamente⁵⁷. El uso de estas lagunas y el de las lagunas aereadas es restringido en algunos lugares por el costo de la tierra.

Con referencia a los tratamientos avanzados o terciarios, se ha conseguido remover hasta el 99% de la DBO, aplicando la adsorción; el 90% de los sólidos suspendidos usando la desnitrificación; el 50% de los sólidos disueltos, el 75% del nitrógeno total y el 79% del fósforo total con el auxilio de la electrodiálisis, complementados previamente todos estos tratamientos con la sedimentación, coagulación y filtración⁵⁸.

En el campo de los residuos industriales, se puede establecer que "usando los filtros percoladores se pueden tratar los residuos de textiles, lácteos, bebidas fermentadas, productos de carne o pollo, levaduras, café, almidón y formaldehidos" y usando la adsorción se pueden tratar residuos de lavanderías, explosivos, formaldehidos y sobre todo aquella gama contaminante de efectos persistentes, que constituyen los pesticidas, fungicidas y herbicidas, ejemplos indicativos de la flexibilidad de los tratamientos aerobiológicos o químicos en sus múltiples aplicaciones.

Al respecto conviene mencionar en este punto, que en el control de la polución de origen industrial, ha cedido gradualmente la ANDI, y es de esperar que su interés para la solución del problema sea creciente y animado de la mejor voluntad⁶⁰.

Según las experiencias realizadas en el Brasil⁶¹ parece que el principio del control de la polución industrial, se puede realizar de manera económica, usando zanjas de oxidación, convenientes para caudales pequeños y en los cuales se alcanzan del 95 al 96% en la remoción de la DBO⁶².

Abordando ahora el terreno de las instalaciones hidráulicas y sanitarias en los edificios, la introducción de tuberías de PVC o cloruro de polivinilo, ha simplificado por una parte la construcción de las redes internas, y por otra ha mejorado la capacidad de transporte tanto en las conducciones de agua potable como en las de evacuación de aguas negras.

La gran aceptación en el mercado de la construcción de estas tuberías obedece a su escaso peso por metro lineal, por ejemplo 1 Kg. en la tubería de diámetro 3" que permiten su fácil manejo, el mayor coeficiente de fricción $C=150$ en la fórmula de Hazen-Williams, y $n=0.008$ en la fórmula de Manning, para tuberías a presión o gravedad respectivamente y el rango de presiones de trabajo que oscilan entre 70 y 140 metros de columna de agua⁶³.

El Código Colombiano de Fontanería, fruto de un esfuerzo mancomunado de varias entidades y coordinado por ICONTEC, Instituto Nacional de Normas Técnicas, ha ordenado la confusión existente en cuanto a la aplicación de normas de diverso origen, que se venían usando no sólo en la práctica del diseño y de la construcción de las instalaciones hidráulicas y sanitarias, sino a nivel de la enseñanza en el ámbito universitario. Sin embargo como

todo intento que se realiza por primera vez, es necesario aplicar con cautela la tabla de este Código referente al consumo de agua potable para algunos aparatos sanitarios, que sería bueno en el futuro rectificar con el estudio hidráulico y estadístico respectivo, acorde con el medio colombiano^{64 65}.

Hasta aquí esta rápida descripción de los avances de la Ingeniería Sanitaria, cuyo corolario no puede ser otro que el inducirnos

al correcto manejo de las matemáticas, a familiarizarnos con las técnicas del laboratorio, a usar con frecuencia las herramientas de la estadística y a ser capaces de interpretar un programa para el computador y reconocer la importancia de un modelo matemático o físico para estudiar y comprender cualquier situación, fenómeno o resultado, que se presente en el desarrollo de la teoría y práctica de la Ingeniería Sanitaria.

BIBLIOGRAFIA

1. Yáñez, Fabio. Asesor de la OMS. Comunicación personal. Noviembre 1978.
2. Call Data Systems, Inc. y Polycamp Systems Inc.
3. Arturo M. Lauro. "Diseño básico de Acueductos y Alcantarillados". 2a. edición, 1978.
4. INSFOPAL "Análisis de niveles de distribución por balance de longitudes equivalentes" 1970.
5. Fair, Gayer y Okun "Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales". Volumen 2. Limusa-Wiley, 1971.
6. Metcalf & Eddy "Wastewater Engineering" Mc Graw Hill, 1972.
7. Gaudy, Srinivasaragharan y Saleh "Conceptual Model for Activated Sludge Processes" JEED, ASCE, February 1977, pág. 75.
8. Chiang Ch. H. "Process Stability of Activate Sludge Processes" JEED, ASCE, April, 1977, pág. 268.
9. Dresnack y Dobbins "Numerical Analysis of BOD and DO Profiles" JEED, ASCE, October 1968, pág. 789.
10. Lauria Uunk y Schaefer "Activated sludge Process Design". JEED, ASCE, August 1977, pág. 625.
11. Wu Pa I "Design Hydrographs for small Watersheds in Indiana" JHED, ASCE, November 1963, pág. 35.
12. Robinson Pipe Cleaning Co.
13. Quintero S.J. "Medición del caudal de un río utilizando Oro 198" ACODAL N° 48, octubre y diciembre de 1970, pág. 31.
14. Rodríguez O. C. "Los radioisótopos, nueva y valiosa herramienta" ACODAL N° 57, julio y agosto 1972, pág. 5.
15. Rodríguez O. C., "Estudio de escapes de la red de acueducto y alcantarillado de Manizales con técnicas isotópicas" ACODAL N° 75, marzo 1977, pág. 43.
16. Zapata G. y Sánchez L. "Uso de Radioisótopos en medidas de flujo" ACODAL N° 78, septiembre 1977, pág. 35.
17. Hydrotronic International LTD. Catálogo.
18. Eagle Eye, Ellison Instrument División - Catálogo.
19. Mark. V. Flow Metter - Catálogo.
20. Harris, Kauffanm y Krone "Orthocinetic flocculation in water purification" JEED, ASCE, December 1966, pág. 95.
21. Dick y Ewing "Evaluation of Activated Sludge Thickening Theories" JEED, ASCE, August 1967, pág. 9.
22. Young y Clark "Second Order Equation for BOD" JEED, ASCE, February 1965, pág. 43.
23. Franklin, N.L. "Statistical Analysis in Chemistry and the Chemical Industry" John Wiley, 1953.
24. Moontgomey y Lynn "Analysis of Sewage Treatment Systems by Simulation" JEED, ASCE February 1964, pág. 73.
25. Murpy y Timpany "Design and analysis of Mixing for Aeration Tank" JEED, ASCE, October 1967, pág. 1.
26. Maier, Behn y Gates "Simulation of the Trickling Filter Process". JEED, ASCE, August 1967, pág. 91.
27. Robeck, Dostal, Cohen y Keissl "Effectiveness of Water Treatment Processes in Pesticides Removal" JAWWA, February 1965, pág. 181.
28. Ryckman, Burbank y Edgerly "New Techniques for the Evaluation of Organic Pollutants" JAWWA, August 1964, pág. 975.
29. Hahn, Ross y Marsh "Determination of Radioactivity" JAWWA, February 1965, Pág. 975.
30. Setter, L. r. "Realiability of measurements of Gross Beta Radioactivity in water" JAWWA, February 1964, pág. 228.
31. Teasley y Cox "Determination of Pesticides" JAWWA, August 1963, pág. 1093.
32. Arboleda, J. "Plantas simplificadas de tratamiento de agua. Una necesidad para Latinoamérica" Simposio. Asunción, Paraguay. OMS, OPS, CEPIS, agosto 1972.

Análisis de Coherencia para Estudios de Equivalentes Dinámicos

Este trabajo describe los métodos más actuales en el análisis de coherencia y el uso de los generadores de un sistema de contacto entre un edificio en el terreno del tiempo, utilizando la teoría de la coherencia y se proponen otros que se refieren a la coherencia de la frecuencia.

MS. ING. LUCIO FLORES
ING. DAVID REINSTEIN
ING. WOLFF KERPEL
Universidad Nacional
Departamento de
Ingeniería Estructural

SÍMBOLOS

33. Rivas M.G. "Avances tecnológicos en aguas residuales" ACODAL N° 81, abril 1978, pág. 19.
34. Singley J.E. "Experiencias with the Magnesium Carbonate Coagulation Process in North America" SAP, OMS, OPS CEPIS, Agosto 1972.
35. Arboleda, J. "Teoría, diseño y control de los procesos de Clarificación de agua" OPS, OMS, CEPIS, 1973.
36. Singley J.E. "State of the Art of Coagulation" SAP, OMS, OPS, CEPIS, agosto 1972.
37. Miller D.G. "Solids Contact Reactor" SAP, OMS, OPS, CEPIS, 1972.
38. Yáñez F. "Incremento de la capacidad de plantas de filtración de agua" SAP, OMS, OPS, CEPIS, agosto 1972.
39. Wagher E.G. "Economic Impact of the new Treatment Processes" SAP, OMS, OPS, CEPIS, Agosto 1972.
40. Yao, Kuan M. "High Rate Settlers" SAP, OMS, OPS, CEPIS, 1972.
41. Arturo, García y Malaver "Consideraciones sobre el uso de los sedimentadores de alta tasa" Universidad Nacional, tesis de grado, julio 1975.
42. Epresa de Teléfonos y agua potable, Cuenca, Ecuador, "Sedimentadores de Placas" SAP, OMS, OPS, CEDIS, 1972.
43. Robeck G.C. "Experiencias in the United States with Mixed Media" SAP, OMS, OPS, CEDIS, 1972.
44. Arboleda, J. "Plantas simplificadas de tratamiento de agua. Una necesidad para América Latina" SAP, OMS, OPS, CEPIS, 1972.
45. Joint Discussion "Telemetry" JAWWA, October 1963, pág. 1297.
46. Ortega C. H. "Eficiencia y control de las plantas de tratamiento" Bogotá, Julio 1966.
47. Samel, Engineering Science Inc. "Diseño preliminar de la planta del Sapo" Bogotá, 1971, pág. 6-22.
48. Hartmant y Laubebnerger "Toxicity Measurements in Activate Sludge" JEED, ASCE, april 1968, pág. 247.
49. Walters, Engelbrecht y Speece "Microbial Substrate Storage in Activated Sludge" JEED, ASCE, April 1968, pág. 257.
50. Yáñez F. "Panorama del tratamiento de Aguas Residuales en la región" Congreso AIDIS, Santo Domingo, febrero 1978.
51. Galler y Gotaas "Analysis of Biological Filter Variables" JSED, December 1964, pág. 59.
52. Baker y Greves "Recent approaches for trickling Filter Design" JSED, February 1968, pág. 65.
53. Carpenter "Design of anaerobic digestion Systems" JSED, February 1966, pág. 19.
54. Pomeroy "Design of Sludge Digestion Tanks" JSED, October 1968, pág. 769.
55. McKinney y Benjes "Evaluation of two Aerated Lagoons" JSED, December 1965, pág. 43.
56. Loehr y Stephenson "An Oxidation as a Tertiary Treatment Device" JSED, June 1965, pág. 31.
57. Thoman, R. V. "Systems Analysis and Water Quality Management" McGraw, Hill, 1972.
58. Nemerow, N. L. "Aguas residuales Industriales" H. Blume Ediciones 1977.
59. Ortiz, Luis. Ingeniero de la ANDI.
60. Lothar Max, Consultor de CTESB.
61. Giraldo, E. "Zanjas de Oxidación" 1978.
62. PAVCO S.A. "El PVC en la conducción de agua potable" ACODAL N° 84, octubre 1978, pág. 9.
63. ICONTEC "Código Colombiano de Fontanería" ACODAL N° 82, Junio 1978.
64. Arturo M. Lauro "Comentarios sobre el Código Colombiano de Fontanería" Agosto 1978.
65. Civil Engineering "U.S.'s largest rotatory biological contactor plant to slash energy use 30%" January 1979, pág. 70.