

AVANCES Y TENDENCIAS DE LA DEPURACION DE AGUAS RESIDUALES(*)

Por AURELIO HERNANDEZ MUÑOZ

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Desde las civilizaciones hindúes hasta las modernas técnicas espaciales, la eliminación de aguas residuales ha sido preocupación constante. Hoy la técnica se orienta, sobre todo, a la depuración de esas aguas, para su posible reutilización. En el artículo se exponen las bases teóricas de la tecnología actual de depuración de aguas, estudiándose los sistemas biológicos y químicos, sus costes y rendimientos. Se tratan especialmente las técnicas de fangos activos y lechos bacterianos, sus ventajas e inconvenientes y las tendencias previsibles en el futuro.

Parece aconsejable, para fijar la situación real-actual de la técnica de la depuración de aguas residuales, interpolar entre dos puntos. El primero situado en las primeras referencias históricas con que se cuenta, y el segundo basado en los objetivos señalados actualmente por los investigadores en punta sobre este campo de actividad. Es decir, ¿de dónde venimos? ¿Hacia dónde vamos?

En la Edad Antigua, analizando la cultura de los hindús, entre los años 3000 y 2000 antes de J.C., a través de los estudios efectuados en las excavaciones de sus ciudades, se desprende la existencia de casas dotadas de todo *confort*, incluyendo cuarto de baño, retrete y las correspondientes canalizaciones de desagüe.

Las aguas residuales discurrían a través de un canal de ladrillos situado en el interior del muro y cuya salida se disponía de forma tal, que el agua al bajar no salpicaba a los peatones. Ya en la calle circulaban las aguas por canales con profundidad entre 30 y 60 cm y anchura de 23 a 46 cm, que conducían a canales más grandes visitables con techos de madera

e incluso arcos de ladrillos en forma de cuña. Para evitar el rebose de estos canales, cada ciertos tramos, se colocaban unas arquetas de gran tamaño, donde se producían depósitos.

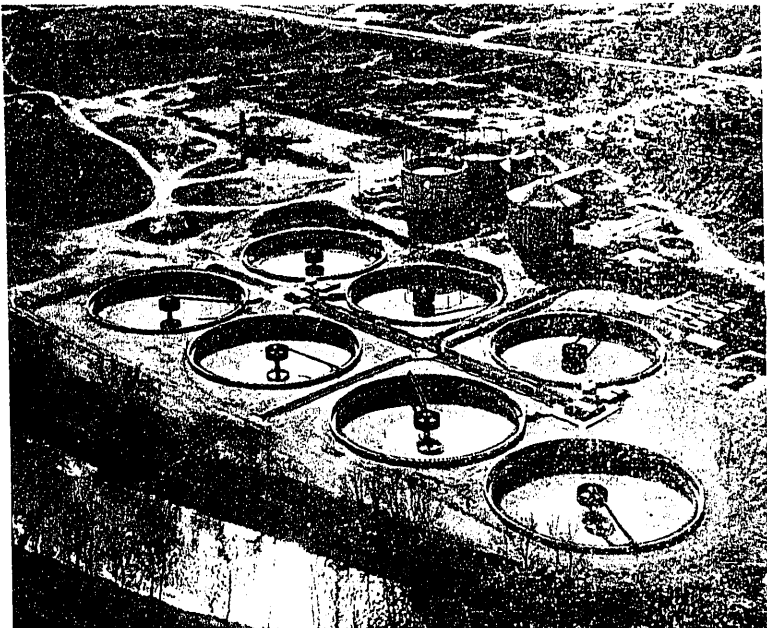
En cuanto a la preocupación por eliminar los residuos humanos en Palestina, nos habla el Deuteronomio 23: "...también tienes que tener en las afueras del campamento, un sitio solitario al que tú saldrás. Además, has de tener entre tus utensilios una pala. Entonces, cuando tú salgas para hacer tus necesidades, cava un agujero y tapa después tus excrementos..."

En Egipto, en relación con las instalaciones de elevación de agua de la noria de Sakieh, se utilizaba un sistema de tornillo, cuyo descubrimiento se le atribuye a Arquímedes (287 a 212 a. de J.C.). Este es hoy uno de los sistemas más empleados en el bombeo de aguas residuales brutas en la entrada de las actuales estaciones depuradoras.

Según nos indica la Biblia, en la época del Rey David, año 655 a. de J.C., para vencer a los jebusitas, David utilizó el ardid de introducirse en la ciudad por la desembocadura de los canales de desagüe de las aguas negras y de lluvia. Así Joab entró en Jerusalén y David ocupó la ciudad sin derramamiento de sangre.

Creo que todo lo anterior es suficiente para

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta revista hasta el 31 de octubre de 1976.



Butarque-Depuradora. Madrid.

señalar los antecedentes del problema y la preocupación del ser humano para eliminar sus residuos.

Pero hay más aún, cuando David entró en Jerusalén y convirtió la ciudad en el centro de su reino, ordenó la ampliación de la antigua red, convirtiéndola en un sistema de alcantarillado separativo.

Los sedimentos que se hallaban en los canales de desagüe se aprovechaban. El canal principal desembocaba en grandes lagos, donde sedimentaban las materias en suspensión que posteriormente se utilizaban como abono; el agua de los lagos servía después para riego de huertas.

Véase en estos descubrimientos del científico Schick, los antecedentes del tratamiento físico de la depuradora de las aguas residuales, según los sistemas actuales y los antecedentes de la reutilización de las aguas.

En el estudio del reino de los hititas, de la Grecia antigua y del Imperio Romano, o ya en fechas posteriores, son numerosas las citas posibles sobre los grandes canales de desagüe de aguas negras y de lluvia y las zonas de sedimentación.

En contraste con lo anterior, pasemos a analizar las tendencias más avanzadas de nuestros científicos y técnicos actuales en respuesta a nuestra segunda pregunta, ¿hacia dónde vamos?

Como elemento sustitutivo de la escasez de recursos de aguas dulces, bien por su inexistencia o por su inutilización por la contaminación, el hombre actual tiene su mirada puesta en la desalación del agua del mar, pero el coste energético necesario, incluso con el empleo de energía atómica, si bien es aceptable para el consumo doméstico, es alto para su uso en agricultura e industria.

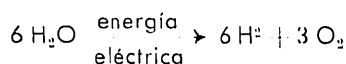
Hay quien piensa como solución de los recursos de agua, en las lluvias artificiales y la modificación de las condiciones meteorológicas. Esta teoría va contra el pensamiento de científicos como Waggoner, Sargent y McDonald, que insisten en las precauciones necesarias antes de efectuar modificación alguna.

En la era del espacio actual, uno de los condicionantes claves se establece en el diseño de las cápsulas espaciales en cuanto a su espacio disponible y su peso. Los alimentos y los vertidos de los astronautas constituyen un peso muy importante a considerar. Así, universidades como las de Georgia y Kent, entre otras, dirigen todos sus esfuerzos hacia la reutilización de los vertidos.

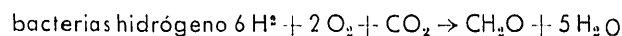
Los investigadores, empeñados en la reutilización completa, parten del aprovechamiento de la energía solar, residuos, CO_2 , orina y agua, buscando regenerar oxígeno y agua.

Para ellos, la ecuación fundamental viene dada por: La materia concreta + organismos + gases respiratorios y agua potable.

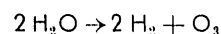
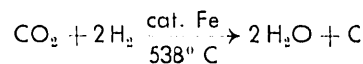
Un sistema equilibrado biológico podría conseguirse por las siguientes ecuaciones (Jenkins):



Por biosíntesis



Otro posible paso vendría dado por el siguiente sistema equilibrado:



Los sistemas regenerativos pensados pueden resumirse en los siguientes caminos:

1. Quimiorregeneración mecánica.
2. La regeneración (algas fotosintéticas), (*Chlorella spirodela lemna*).

3. La quimiosintética bacteriana.
4. Microsistema de espacios múltiples (0,8 Ha/hombre — superficie mínima).

En todos estos sistemas se debe conseguir el óptimo de eficacia buscando sistemas.

$$\text{La optimización } c = \frac{\text{velocidad de la producción}}{\text{peso de la máquina regeneradora}}$$

Si bien los costes de regeneración son muy elevados, los investigadores han demostrado que:

En viaje de 1 semana es rentable regeneración del agua.

En viaje de 3 meses es rentable regeneración del gas.

En viaje de 1 año. Total regeneración.

¿Cuál es entonces nuestra situación actual?

Nos encontramos en una trayectoria que partiendo del año 1000 d. J.C., con los balbuceos de una sedimentación de las aguas residuales (iniciación del tratamiento físico actual), pasa a los posibles resultados del año 2000, donde será una realidad la regeneración de las aguas por procedimientos quimiosintéticos y por acción de microorganismos.

Es de todos sabido que el problema actual principal para dotar de la depuración necesaria a nuestros núcleos y a nuestras industrias es, principalmente, de tipo económico. Por otra parte, es sabido que los efectos de la contaminación sobrepasan las barreras de la industria aislada, de los barrios, de los municipios, de las provincias e incluso de las cuencas hidrográficas (unidad considerada en muchos países como básica de estudio y actuación), para convertirse, con los imprescindibles transvases en ejecución y proyectos, en problema a nivel nacional e incluso internacional.

Por otro lado, unos límites preestablecidos en los vertidos, con independencia de las características del cauce receptor, lleva, en unos casos de vertidos importantes y de caudal receptor escaso, a unos valores absolutos de contaminación, que en ningún caso son admisibles pese a cumplirse las normas y, por el contrario, en cauces con caudales importantes, los vertidos de pequeñas poblaciones o de escasa importancia se ven atenazados por unas condiciones que les señalan rendimiento fijo a su depuración y con fuertes inversiones económicas no respaldadas por la necesidad.

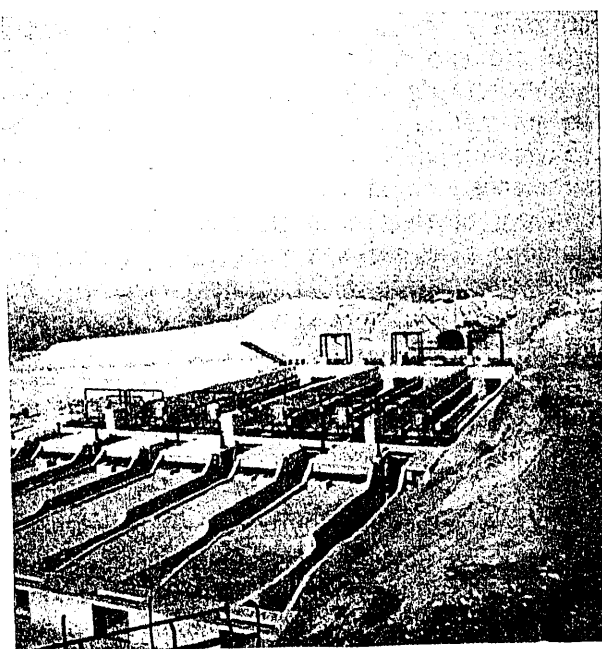
El conocimiento de la situación actual del problema no está aún plasmado totalmente en

nuestro país con la suficiente generalidad y el suficiente análisis para servir de punto de partida para la planificación correcta, si bien la Administración desde hace algún tiempo, efectúa análisis sistemáticos y prepara parcialmente los censos de vertido.

Pero dejando aparte otros aspectos, vamos a centrarnos en las bases teóricas de nuestros conocimientos que dirigen la tecnología actual de la depuración de las aguas residuales. Dirigiéndonos hacia las aguas residuales urbanas normales, sabemos que la contaminación queda integrada por una serie de productos inorgánicos y orgánicos, siendo éstos los que realmente producen las perturbaciones más importantes.

Sabemos también que de forma natural, millones de microorganismos, como trabajadores incansables, utilizan para su alimentación y transforman la materia orgánica, siendo los elementos esenciales que garantizan la permanencia de la vida, manteniendo entre otros, los ciclos esenciales del nitrógeno y carbono. Estos procesos, debidos a la actividad de los organismos, se conocen bajo la denominación de "metabolismo".

Sabemos que las reacciones químicas desarrolladas en el metabolismo quedan limitadas por temperatura y presión que pueda afectar a las células vivas, y que dichas reacciones químicas son posibles en presencia de catalizadores orgánicos que son compuestos proteínicos



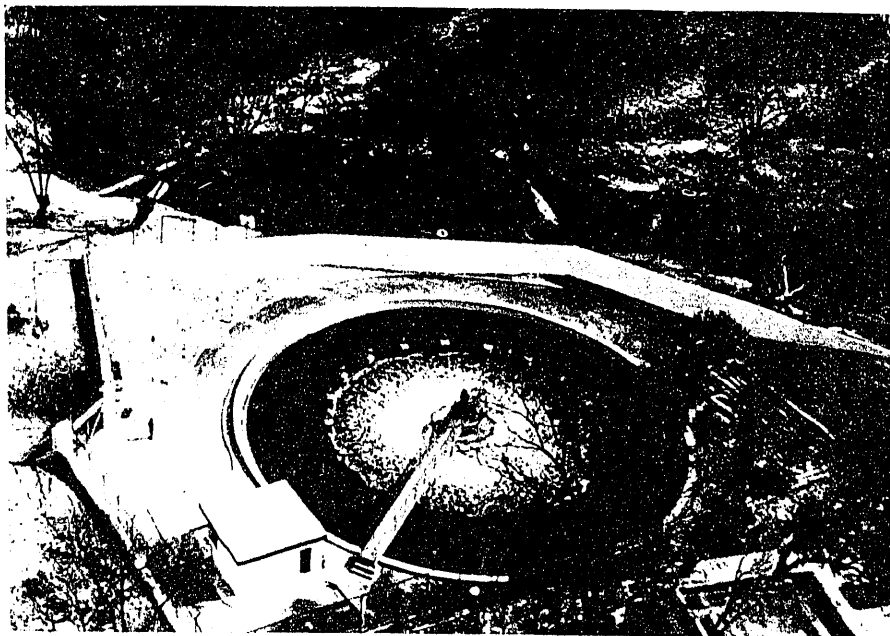
Butarque-Depuradora. Madrid.

producidos por las células vivas y que se denominan "enzimas".

Puede decirse que el desarrollo normal de una depuración biológica estriba en la adecuada producción de las enzimas en el metabolis-

clusiones, que gobiernan los tratamientos biológicos.

- a) Proporcionar un estado coloidal adecuado para la acción de los organismos.



Reutilización de aguas. Depuradora Zoo de Madrid.

mo de las células, por lo que es conveniente señalar aquí los factores que influyen sobre su actividad y que son, por tanto, determinantes en el proceso de depuración.

El efecto de la temperatura sobre la actividad enzimática es doble. Como en muchas reacciones químicas, la velocidad de reacción se incrementa con la elevación de temperatura, pero, por otra parte, la elevación de temperatura hace a las enzimas menos estables. Es decir, la depuración biológica se desarrolla de forma adecuada entre dos límites de temperatura, 12 y 38° C.

Las enzimas son activas en un estrecho corredor alrededor de un pH determinado y que, normalmente, no puede ser muy diferente del $\text{pH} = 7$.

Las enzimas son activas en estado coloidal, inhibiendo su actividad las sustancias que forman sales insolubles, iones de metales pesados, reactivos alcaloides, agitación mecánica brusca, radiación ultravioleta, el cloro y sus compuestos.

De aquí se desprenden las siguientes con-

- b) La necesidad de evitar en los vertidos a ser tratados biológicamente al sobrepasar en cierta cuantía el contenido de sales y elementos.

Metales no férricos	10 mg/l
Hierro	2 mg/l
Cobre	1 »
Níquel	3 »
Cinc	5 »
Cianuro.....	1 »
Cromo (VI).....	3 »

- c) La energía necesaria para el proceso vital de los microorganismos, se consigue por explotación de oxígeno. Los organismos aerobios que actúan con oxígeno de la atmósfera y los anaerobios por descomposición de otros compuestos.

Tomando como bases la diferencia de captación del oxígeno por los microorganismos, podemos contemplar dos procesos totalmente diferenciados, también en sus efectos.

El proceso aerobio queda reflejado en el siguiente cuadro:

Materia orgánica	Materia nitrogenada	Materia carbonácea	Materia sulfurosa
Descomposición	amoníaco	CO ₂	H ₂ S
Oxidación	nitritos	CO ₂	Azufre
Oxidación	nitritos	CO ₂	Sulfatos

Ciclos estos que se producen en horas.
El ciclo anaerobio se produce según los siguientes escalones:

Materia orgánica	Nitrogenada	Carbonácea	Sulfurosa
	Acidos orgánicos	Acido carbónico	Sulfhídrico
	Amoníaco y ácidos	Carbohidratos	Sulfuros
	Amoníaco	Humue Metano CH ₄	Sulfuros

El llegar a una mineralización precisa meses.
Esto justifica que por velocidad de reacción y por tanto velocidad del proceso de alcanzar la mineralización final, así como la falta de problemas físicos, ausencia de olores en las fases intermedias, dirigen la técnica de depuración de aguas hacia los procesos aeróbicos, resaltándose, por tanto, la importancia de la aireación necesaria.

Otro sistema actual sin colaboración de microorganismos es el tratamiento químico, ya usado desde 1762; éste tiene como objeto el separar del agua los elementos extraños por precipitación, rompiendo, mediante la atracción de los coagulantes, la estructura antigravitatoria de las partículas coloidales.

Los coagulantes normalmente usados son el sulfato de alúmina, cloruro férrico, polielectrólitos, unidos o no a la acción de los coadyuvantes.

Con la base teórica que acabo de relatar, es fácil deducir que las técnicas han evolucionado hacia dos sistemas de depuración actuales:

Depuración química.

Depuración biológica.

En esta última pueden citarse varias fases del proceso, como son pretratamiento, decan-

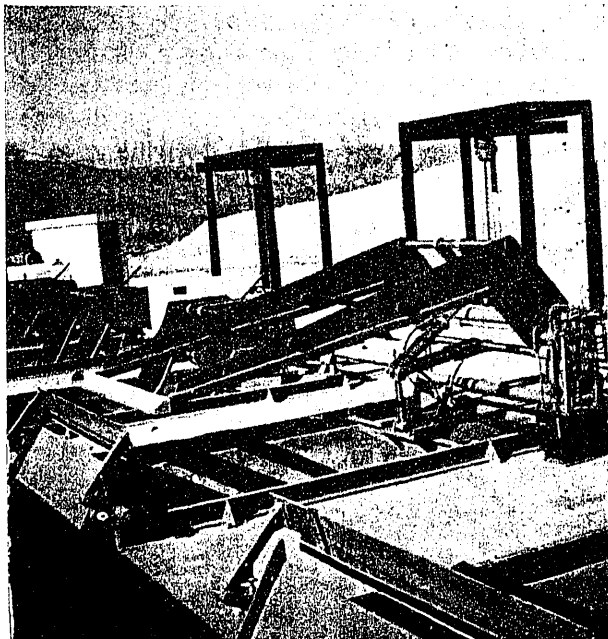
tación o tratamiento primario y el tratamiento secundario o biológico propiamente dicho.

Los rendimientos posibles de obtener, de acuerdo con la experiencia y con los distintos sistemas actuales de depuración, queda reflejado en el cuadro siguiente:

Proceso de depuración	% en reducción		
	B.O.D.	Sólidos en suspens.	B. Coli.
Cloración del agua bruta o sedimentada	15-30	—	90-95
Sedimentación	25-40	40-70	25-75
Precipitación química	50-85	70-90	40-80
Filtropercolador de alta velocidad, precedido y seguido de sedimentación	65-92	65-92	80-95
Fangos activos de alta velocidad, precedidos y seguidos de sedimentación	80-92	70-92	90-95
Fangos activos de alta velocidad, precedidos y seguidos de sedimentación	65-92	68-95	80-95
Método convencional de fangos activos precedidos de sedimentación.	75-92	85-95	90-98
Tratamiento terciario	92-98	93-98	
Cloración tratada del agua biológicamente	—	—	98-99

Contemplando las coordenadas actuales de la depuración de las aguas, y trazando el vector hacia las tendencias más avanzadas de la investigación, se observa que de los tratamientos actuales químicos y biológicos se tiende hacia la regeneración de residuos con procedimientos quimiosintéticos o a la creación de ecosistemas de microorganismos especializados. Así puede afirmarse que los sistemas a considerar en un corto plazo, seguirán siendo los mismos actuales con algunos avances tecnológicos no muy significativos. Pero según la experiencia actual es preciso en las acciones futuras tener en cuenta algunas consideraciones como:

1. En un proceso químico el consumo de reactivos oscila entre 90 y 250 mg/l, cuyo coste, unido al del control permanente de la dosificación por técnicos especialistas, obliga



Butarque-Madrid. Rejillas finas de entrada.

a descartar el sistema, salvo excepciones en favor de los tratamientos biológicos.

2. Si bien el coste del mantenimiento y explotación de la depuración química no tiene parangón económico con los costes de los procesos biológicos, el tratamiento químico tiene su aplicación indudable en:

- a) Depuradoras para zonas turísticas con vertidos reducidos a ciertas épocas del año. Puede justificarse en estos casos una inversión inferior compensándose los gastos de mantenimiento y explotación. Es decir, depuradoras funcionando según un proceso durante la mayor parte del año y acondicionados a trabajar en punta con la ayuda de un tratamiento químico funcional.
- b) Depuradoras para zonas industriales o mixtas donde los vertidos arrastran iones metálicos, tóxicos, etc., que pueden destruir la actividad biológica. En caso contrario, siempre que no se inhiba la fauna bacteriana, es aconsejable como solución más económica el tratamiento de las aguas industriales y urbanas conjuntas.
- c) Como tratamiento terciario, bien para obtener una eliminación más completa de los contaminantes, bien para la eliminación de compuestos orgánicos y

nutrientes, como el nitrógeno y fósforo, tras un tratamiento biológico. En este caso los consumos de reactivos se elevan a 40-150 mg/l.

La utilización de este sistema es plausible sólo cuando los nutrientes en exceso dan origen a problemas de autofización, como es el caso de los vertidos en lagos con desarrollo excesivo de algas, o en embalse con utilización posterior, principalmente para abastecimientos.

Puede considerarse que un tratamiento terciario representa un incremento del costo de la depuradora oscilando entre un 40 y un 80 por 100 del importe del tratamiento biológico completo, para una reducción complementaria de la D.B.O.₅ y S.S., pasando de un 90 y 92 por 100 a 96 y 97 por 100.

Así se justifica, por las consideraciones expuestas de rendimientos y económicas, el tratamiento biológico como base fundamental de la depuración de aguas domésticas y mixtas (doméstico-industriales sin sobrepasar los límites antes indicados). Para un correcto proceso biológico es imprescindible controlar las relaciones entre nutrientes que optimizarán los resultados del proceso biológico.

pH en posición neutra

La capacidad de degradación expresada por la relación:

$$\frac{B.O.D_5}{D.Q.O.}$$

debe quedar comprendida entre 0,5 y 0,65.

En cuanto al desarrollo favorable de la actividad de microorganismos, la relación entre nutrientes debe ser de:

$$\frac{D.Q.O.}{N} = 20$$

$$\frac{D.Q.O.}{P} = 100$$

Los dos métodos principales del proceso biológico que la técnica seguirá contemplando, son el de fangos activos y el de lechos bacterianos. Las diferencias esenciales entre los dos métodos pueden resumirse de la siguiente forma:

Mientras en los fangos activos las bacterias se encuentran continuamente en movimiento,

siendo característica esencial la agitación mecánica o de aireación para conservar los *flocs* en suspensión, en los lechos bacterianos quedan unidos de forma fija a los áridos que les sirven de base, u otros elementos.

La fauna de los fangos activos se reduce a microorganismos, mientras que en los lechos bacterianos forma de vida superiores, gusanos e insectos.

En el sistema de fangos activos se controla la masa microbiana purgando el exceso, en los lechos bacterianos el exceso de película biológica queda eliminada por la acción de las propias bacterias, que por la acción anaerobia al formar gas en las capas profundas, desprende las capas, que son arrastradas por la corriente de agua.

En los lechos bacterianos las distintas comunidades se asientan a distintas alturas del lecho, correspondiendo a cada colonia una acción específica y ordenada dentro de la purificación. En los fangos activos la comunidad en los *flocs* es homogénea. En los lechos bacterianos se consigue una nitrificación superior por esta acción en etapas.

El sistema de fangos activos es más sensible a las oscilaciones de caudal y carga contaminante, así como a la existencia de tóxicos o iones metálicos pesados. Por el contrario, si la película biológica queda destruida por exceso de carga o descarga de tóxicos, el período de recuperación es muy superior al de los fangos activos, estimándose un mínimo para los lechos de quince a dieciocho días contra horas en el proceso de fangos activos.

La incorporación de vertidos de algunas industrias, como mataderos o derivados de la leche, en el sistema de fangos activos, crea dificultades por carga y por difícil sedimentación. La actuación de bacterias en capas sucesivas diferenciadas, caso de los lechos, logran unos resultados superiores.

En el caso contrario, existen vertidos oxidables biológicamente que producen depósitos en los lechos bacterianos haciendo difícil su arrastre.

Es recomendable que para los vertidos con variación de volumen estacional considerable se utilice el sistema de fangos activados por el tiempo necesario de maduración del lecho.

Las bajas temperaturas afectan más a los fangos activos que a los lechos bacterianos.

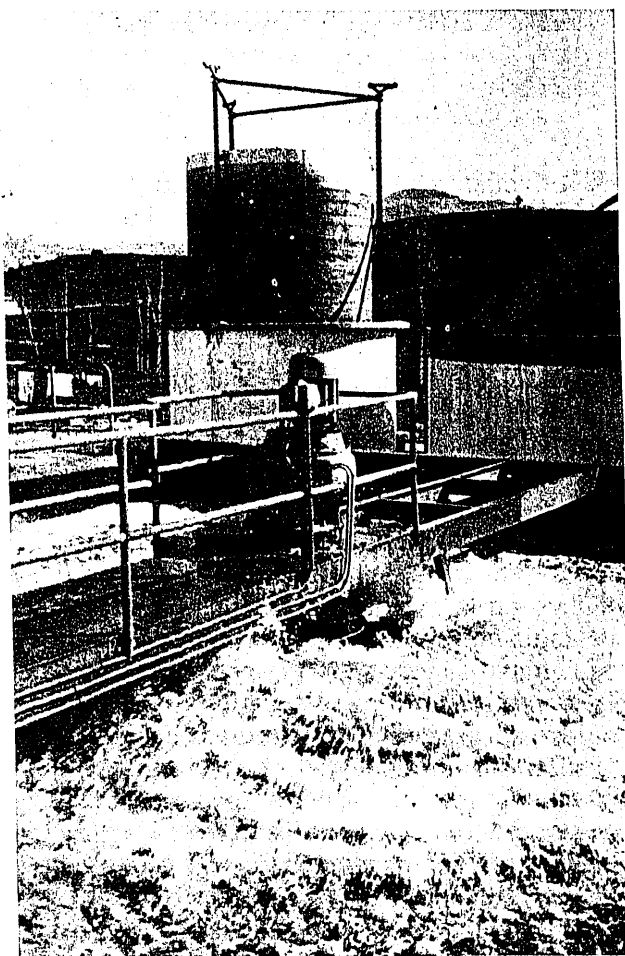
La ventaja fundamental de los fangos acti-

vos es la facilidad de controlar sus condiciones de trabajo, mientras que en los lechos no ventilados artificialmente la incorporación de oxígeno queda establecido por el efecto chimenea de diferencia de temperatura entre el interior del lecho y la temperatura ambiental.

En los no ventilados, cuando la diferencia entre temperatura ambiente y el interior del lecho es menor de 3° C se producen las inversiones térmicas que originan una paralización de la aportación de oxígeno con la actividad preponderante de las bacterias anaerobias productoras de gases no deseables.

La posibilidad de olores, unida a la presencia de insectos como la *Psychoda*, obliga a recomendar la instalación de estas instalaciones alejadas sensiblemente de los núcleos habitados.

Respecto a la economía, puede considerarse que en primera instalación la diferencia de



Depuradora de Ronda. Aireadores de superficie en tratamiento biológico por fangos activos.

costo es mínima, obteniéndose, por el contrario una reducción, oscilando de un 30 a un 70 por 100 en el consumo de energía en el caso de lechos.

Los problemas de los lechos desaparecen al ir a una ventilación forzada, en cuyo caso su coste inicial es superior al sistema de fangos activos, y similares los gastos de explotación y mantenimiento.

Para aumentar las instalaciones pequeñas, basadas principalmente en procesos de fangos, y analizando los costes reales de construcción para el correcto funcionamiento, y considerando la actualización, en un período de treinta años de la carga anual de amortización, mantenimiento y explotación, pueden compararse sistemas anteriores, dando origen a las recomendaciones siguientes:

Oxidación total. — Hasta 2.500 habitantes.

Instalaciones estabilizadas. — Contacto entre 2.000 y 10.000 habitantes.

Instalaciones biológicas con digestión aerobia de 6.000 a 30.000 habitantes.

Instalaciones biológicas convencionales con digestión anaerobia de 25.000 habitantes en adelante.

En cuanto a la eliminación de fangos, es aconsejable su reutilización como abono, desde el punto de vista de la economía nacional. El proceso necesario es su digestión seguida del secado por eras, centrifugas, filtros, etc. En este punto indicaremos que las centrifugas trabajan preferentemente con polielectrólitos, mientras que los filtros responden más favorablemente a la adición de cloruro férrico y cal (productos nacionales). Los rendimientos son similares.

Como el único freno a la utilización de los lodos puede ser el aspecto sanitario, que no influye en la mayor parte de los casos, la tendencia será someter a procesos de pasteurización los fangos, de forma previa a su secado. La energía calorífica necesaria puede obtenerse del aprovechamiento de los gases de la digestión anaerobia.

Dados los incrementos constantes de la energía, se va haciendo rentable la utilización integral de los gases producidos en la digestión anaerobia, siendo rentable la obtención de energía eléctrica a partir de dichos gases con instalaciones de más de 500.000 habitantes.

Pasemos a los sistemas a utilizar en un futuro inmediato.

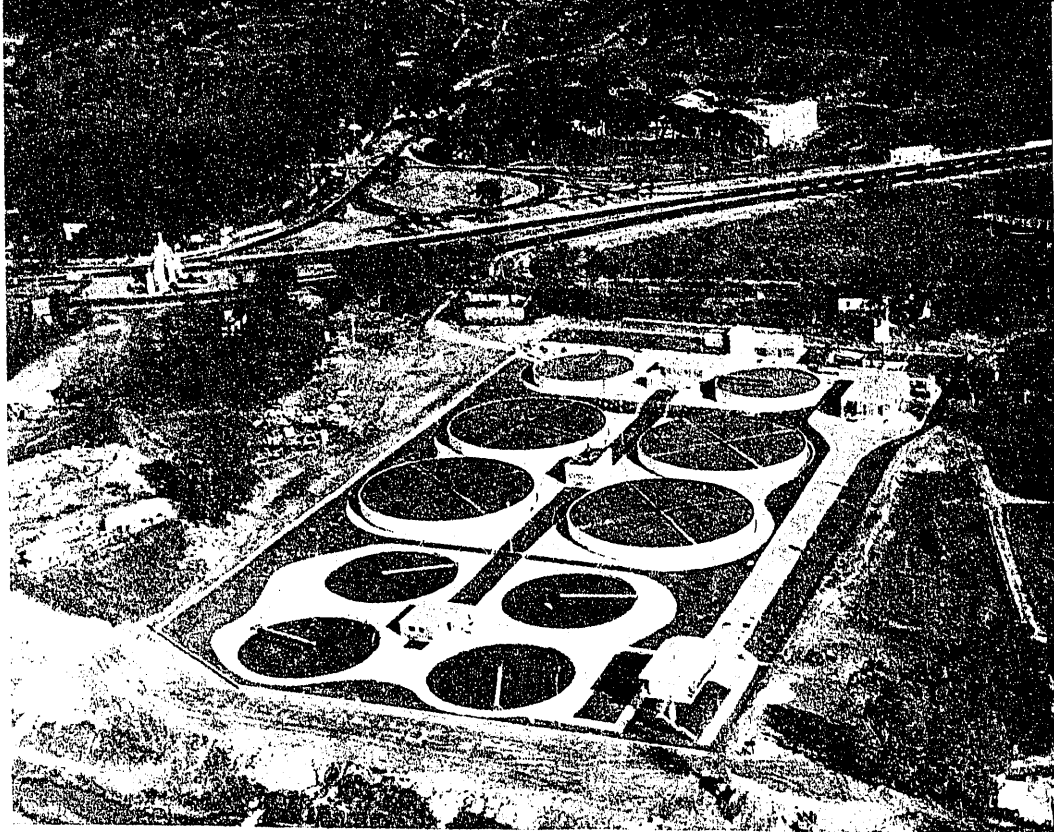
Las distintas variantes de este sistema del tratamiento de lechos bacterianos, se basan en modificaciones de tres factores. Superficie específica, aireación y caudal de paso.

La superficie específica del material a emplear en lechos bacterianos se ha intentado aumentar mediante el empleo de rellenos de material plástico de muy diversas formas, normalmente sometidas a patente. Las ventajas de estos rellenos sobre el tradicional de árido machacado proceden tanto de una mayor economía de montaje por su menor peso (factor éste que influye igualmente en una economía en la estructura necesaria para su soporte), como de una mayor seguridad del cálculo, por ser un dato bastante exacto la superficie activa por unidad de volumen (frente a una mayor irregularidad de este dato en los rellenos de árido). Como ventaja complementaria de las anteriores hay que citar el que, debido al mayor porcentaje de huecos que permiten estos rellenos, se facilita la ventilación del lecho.

El segundo factor, aireación, es el que más ha hecho evolucionar al sistema. Frente al tradicional de aireación natural por la creación de un "tiro" de aire por efecto chimenea, ya citado, se ha adoptado últimamente la ventilación artificial por inyección de aire en lecho bacteriano cerrado. Esto ha hecho desaparecer uno de los principales "puntos negros" del procedimiento, como era el de los olores, al mismo tiempo que independiza el proceso de los cambios térmicos atmosféricos muy influyentes en la antigua ventilación natural.

La combinación de estas dos mejoras, relleno de material plástico y ventilación artificial, ha conducido al diseño de torres de lechos bacterianos, a veces con varios pisos, lo que ha redundado en una economía en la superficie ocupada por la planta de tratamiento.

El tercer factor citado, caudal de paso, por el lecho, ha influido en el diseño en tanto en cuanto se ha ido a la creación de un "caudal mezcla" de entrada por recirculación de caudales ya tratados. En efecto, debido al escaso rendimiento de depuración del sistema de lechos bacterianos, nunca superior al 65-70 por 100 en eliminación de DBO₅, se ha seguido el procedimiento de acelerar el proceso biológico por la adición de agua bruta, de agua ya pasada anteriormente por el lecho, con lo que se aporta una siembra de bacterias aclimatadas al proceso de depuración. De esta forma se



Depuradora de "Viveros de la Villa-Madrid". Lechos bacterianos.

consiguen rendimientos comparables a los de un sistema de fangos activos.

En resumen, la tendencia en el diseño de lechos bacterianos parece que decantará en la adopción de:

- Rellenos de materiales plásticos.
- Ventilación forzada en lecho cerrado.
- Recirculación del agua y/o creación de varias etapas o "pisos" de lechos bacterianos.

Conviene añadir que la adopción en nuestro país de rellenos de materiales plásticos en el factor que, pensamos, más tardará en introducirse y ello basado tanto en una carencia casi absoluta de referencias, que justifiquen ventajas y técnicas en rendimientos, como en la mayor dificultad de suministro (por tratarse de patentes y fabricación extranjeras todos los rellenos conocidos) y en un mayor costo, por el momento, frente al relleno de árido.

Estas ideas antes expresadas se pondrán de manifiesto en una planta de próxima construcción en el polígono industrial de Talavera de la Reina, donde por su especial diseño de etapas sucesivas de lechos bacterianos cerrados y ventilados artificialmente y por su gran ver-

satilidad al ser modificables los circuitos de agua, puede obtenerse una gran experiencia para el futuro de este sistema.

Variantes del procedimiento de lechos bacterianos pueden considerarse tanto los sistemas de rodillos sumergidos en el agua residual (procedimiento Rotonyl) o el conocido por el nombre de Biodiscos. En ambos casos se trata de un elemento móvil, giratorio, que alternativamente está sumergido en el agua residual o expuesto a la atmósfera, creando de esta forma la aireación necesaria para el mantenimiento de la aerobiosis en la película bacteriana que se crea en dicho elemento.

No se encuentran ventajas en este tipo de procedimientos como para pensar en su desarrollo futuro, salvo, quizá, para determinados procesos de "desbaste biológico" de aguas industriales fuertemente contaminadas.

En cuanto al procedimiento de fangos activados, aunque con una vida ya de sesenta y cinco años, es el de empleo más normal y el de más amplias posibilidades de cara al futuro.

Durante muchos años, las variantes más importantes del procedimiento se han basado en el sistema de aireación empleado y, últimamente, ha cobrado nueva importancia este fac-

tor por la repercusión que tiene en el consumo de energía de la planta depuradora. El logro de una mayor oxigenación con un menor consumo de energía ha sido, durante mucho tiempo, especial preocupación de los técnicos, y marcará su desarrollo futuro.

Hoy parece demostrado que los sistemas basados en la inyección de aire en burbujas finas y la aireación por turbinas de superficie parecen los más adecuados. El primero de ellos presenta sobre el segundo el inconveniente de requerir un mayor mantenimiento que el segundo, pero también supone la ventaja de permitir contar con elementos de reserva sin variación en las condiciones de oxigenación normales en el tanque. Es tendencia actual también la adopción de un sistema mixto de los dos anteriores, según patentes ya españolas.

Se está usando actualmente, con carácter experimental, la oxigenación del agua por inyección de oxígeno puro, de aire sobreoxigenado y de agua oxigenada. No parecen, de momento, procedimientos dignos de tener en cuenta y por problemas de almacenamiento, difusión y el aspecto económico.

La tendencia actual de la técnica de fangos activos es la de dar una mayor importancia a los problemas de "alimentación" del tanque de oxidación, es decir, aquellos que tienen en cuenta la mezcla agua-fango, el momento en que ésta se produce, las proporciones en que se realiza y, en definitiva, la evolución durante el proceso de la carga másica y la tasa de crecimiento del cultivo.

De los antiguos procedimientos de mezcla homogénea, en *media carga* primero y a *baja carga* después, con lo que se llegó al concepto de *oxidación prolongada*, perdurando todavía esta variante por sus evidentes ventajas en el caso de pequeñas plantas de tratamiento, se pasó más tarde a la adopción de sistemas de doble etapa (contacto-activación), lo que ya expresaba una preocupación sobre la "calidad" del fango a adicionar al agua residual.

En la actualidad, el procedimiento citado de contacto-activación puede considerarse como un primer paso hacia un desdoblamiento a múltiples etapas, procedimiento éste que ya se ha ensayado a nivel de planta de tratamiento con el nombre de "alimentación escalonada".

Las posibilidades que permiten la resolución de estos problemas esbozados hacen imaginar un gran futuro, apenas entrevisto, para el pro-

cedimiento de fangos activados, hasta el punto de pensar que la antigua preocupación de buscar máxima oxigenación con el mínimo costo se transformará en buscar el mínimo costo para una oxigenación suficiente.

En cuanto a la decantación secundaria, proceso imprescindible para cualquiera de los dos anteriores, los perfeccionamientos que han marcado su desarrollo durante varios años se han referido a los sistemas de recogida y recirculación de fangos. Entre éstos cabe destacar dos: la concentración del fango en un punto de donde es bombeado *continuamente* a la balsa de oxidación (en el proceso de fangos activos) y la aspiración continua del fango por todo el fondo, o parte de él, del decantador mediante aspiradores móviles, sistema continuo mucho más perfecto.

La técnica de la decantación parece, sin embargo, encaminada últimamente hacia la sedimentación laminar. Primando, para el caso de decantación de materia floculada, el concepto de carga específica, es decir, caudal unitario por superficie de decantación, sobre el de tiempo de retención. Se tiende a la reducción de éste y, por tanto, el volumen de decantadores mediante la adopción de lamelas, que dividen el sedimentador en múltiples zonas de decantación, multiplicando con ello la superficie efectiva y, por tanto, su capacidad y su rendimiento.

No cabe duda que, puesto a punto este procedimiento, sobre todo en cuanto a su cálculo de dimensionado, ha de ser el procedimiento a seguir en el futuro para la decantación del agua en tratamientos biológicos.

Como novedad, y de momento únicamente como eso, se está intentando sustituir el proceso de decantación por el de flotación. Consiste este procedimiento en la introducción en el agua de una parte de agua mezclada con aire a presión que, por su menor densidad, produce un barrido hacia arriba de la materia floculada, recogiendo éste en superficie. La mayor complicación del procedimiento y, por tanto, sus mayores costos tanto de primera instalación como de explotación y mantenimiento impedirá su desarrollo frente a la decantación, salvo en casos muy específicos en los que la materia floculada en el tratamiento biológico tenga una densidad muy baja. Estas ventajas se dan, por ejemplo, en el tratamiento de papeleras y otras industrias.