

durante la época de altas aguas en el lago superior, Innerthal, las aguas recogidas en aquél. Durante los meses de invierno los motores síncronos de la estación se utilizan como compensadores de fase (con las bombas desacopladas) mejorando el $\cos \varphi$ de la red, con la consiguiente elevación en el rendimiento de las instalaciones.

Tales son, a grandes rasgos, algunas de las aplicaciones más perfectas que hemos podido visitar del principio de acumulación hidráulica por procedimientos mecánicos.

Este sistema, por bonito que quiera parecernos, es muy caro y debe recurrirse a él cuando la utilización integral de los recursos hidráulicos del país,

unida a una demanda constantemente creciente del mercado consumidor, obliga a considerar como una riqueza que se pierde cada gota de agua que llega a los valles inferiores sin haber rendido entre los álabes de las turbinas toda la energía que en ella acumuló el sol cuando formó las nubes. Entonces, y no porque la necesidad no reconozca leyes, sino precisamente porque las crea y modifica los precios de la energía, es llegado el momento de poner en explotación los recursos generadores que en una etapa anterior de la producción no reunían condiciones económicas para ello.

Que tal circunstancia se presente pronto en España es mi más egoísta deseo.

C. BOTÍN
Ingeniero de Caminos

El procedimiento de los lodos activos en la depuración de aguas negras

La depuración de las aguas procedentes del alcantarillado, antes de su afluencia a los ríos, es cuestión actualmente muy importante para la salud pública, por el gran caudal de estas aguas que en las poblaciones importantes se produce, obligando en muchos casos los más elementales deberes de higiene pública a una previa depuración.

Ya los pueblos que incorporan a sus ideales el culto a la higiene se han preocupado mucho, últimamente, de perfeccionar los procedimientos de drenaje y depuración de aguas negras. Desde 1914, ingleses y norteamericanos, muy principalmente, no han cesado en sus investigaciones, a que les llevara la obligación de sanear los campamentos militares; adquiriendo más que nunca importancia la cuestión. Por este camino fué como, a mediados del citado año, M. Jones y Attwood, dos ingenieros especialistas, preconizaron el sistema de *l'Activated sludge*, para depuración de las aguas de alcantarillado.

Antes de continuar y para justificar mi nombre al final de estas líneas, juzgo oportuno expresar mi intención al escribirlas. Creo que, actualmente, entre nosotros, la Ingeniería Sanitaria tiene ante sí un campo de realizaciones prácticas tan extenso que, aun animados de los mejores deseos, hemos de tardar mucho tiempo en alcanzar una situación satisfactoria. La conciencia de este retraso y el concepto de su importancia nos determina a esforzarnos en su impulso, no deteniéndonos el convencimiento de nuestras modestas fuerzas, porque siendo en el mismo sentido, aumentan siempre el valor de la resultante.

El tema que vamos a desarrollar se nos ocurrió, hace ya algún tiempo, visitando las instalaciones de ensayo que funcionaban en Clichy y Mont Mely, para proyectar por este procedimiento la depuración de las aguas del alcantarillado de París. La importancia que en Inglaterra y Norteamérica ha adquirido el procedimiento y la novedad con que aun puede presentarse en castellano, pues salvo el reciente artículo en esta REVISTA de mis compañeros Herrán y Escario y otro en *Ingeniería y Construcción*, muy poco se

habrá escrito sobre ello, nos hace creer pueda ser de algún interés para los lectores de esta REVISTA.

Todos los procedimientos de depuración de aguas negras tienden a la desintegración de la materia orgánica, y deben terminar siempre por acciones de oxidación. Pero como la oxidación de la materia orgánica compleja, casi siempre en el estado coloidal, es difícil, resulta indispensable, o desintegrarla en productos fácilmente oxidables, o separarla al estado insoluble. La desintegración se efectúa, en parte, en la fosa séptica, la separación se consigue por precipitación química, o por depósito en los lechos bacterianos, y por medio de los cienos o lodos, activos o activados.

Los cienos activos son cienos de aguas negras que por una aireación prolongada son transformados, mediante la acción de organismos oxidantes, análogos a los que pueblan los lechos bacterianos aerobios. El proceso exacto de su formación es complejo y no muy bien definido aún, por lo que no hemos de tratar de tenidamente de él (1). Puestos en contacto íntimo por una agitación constante con las aguas negras dan, en presencia de un exceso de oxígeno, producido por una aireación forzada, una depuración, por lo menos, comparable a los mejores resultados dados por los lechos bacterianos.

Gilbert Forwlez y sus colaboradores Ardern y Lockett, que constituyeron en Manchester la mejor escuela para la depuración de aguas residuarias, han demostrado que se trata principalmente de una oxidación bacteriológica intensa, y que era necesario que el lodo tuviera este carácter bacteriológico.

MM. Courmont y Rochaix han estudiado la flora microbiana que se desarrolla en presencia de los lodos activos, y han demostrado que más del 99 por 100 de los gérmenes existentes en las aguas ne-

(1) Según Dienert y sus colaboradores, la activación de los lodos exige próximamente dos meses con las aguas negras de París, aparece bruscamente y puede obtenerse más rápidamente por la adición de carbonato de cal.

gras desaparecen durante la aireación; los gérmenes de la putrefacción, el colibacilo y las especies patógenas parecen destruirse. Los restantes se reducen a un pequeño número de especies de propiedades proteolíticas nulas, o muy reducidas; actúan sobre las peptonas, y de una manera muy variable sobre los hidratos de carbono.

La síntesis de los fenómenos producidos en las aguas negras durante el tratamiento puede presentarse (E. Rolanst) como una coagulación de las materias coloides, que se aglutinan con las partículas de los lodos, dando así la separación al estado insoluble de la materia orgánica compleja. Paralelamente, la constante aireación da a los gérmenes oxidantes, y particularmente a los nitrificantes, el oxígeno necesario.

Se distinguen dos maneras de aplicar este procedimiento en el tratamiento de las aguas residuales: el uno, por depósitos separados, llamado *full and draw*, es decir, llenado y vaciado alternativo, y el otro, por *circulación continua*.

En el primer sistema los depósitos de decantación sirven también para obtener la aireación necesaria por los alternativos llenados y vaciados.

Es el sistema continuo, más empleado que el anterior; el desagüe de las alcantarillas pasa a los depósitos de decantación, de sección rectangular en la parte superior y trapecial en la inferior, y de allí a los canales de aireación y tratamiento por los lodos previamente preparados.

En estos canales, de sección, pendiente y longitud determinada por las condiciones de caudal y tiempo necesario de tratamiento, puede conseguirse la aireación y el íntimo contacto de lodos y aguas negras, bien por la insuflación de aire o por agitación mecánica. Los ensayos e instalaciones iniciales se realizaron por el primer procedimiento, pero, últimamente, se ha adoptado en algunas instalaciones (Wakefield) el sistema de agitación mecánica, por su sencillez y economía.

Los lodos han de ser devueltos a un depósito de reaireación, pues en cuanto dejan de estar sometidos a la acción del aire son asiento de fenómenos de desnitrificación. El tiempo de permanencia en este depósito de reactivación es de unas dos horas aproximadamente.

Los factores que influyen en la depuración por este tratamiento son (Dienert):

- 1.º Calidad de las aguas.
- 2.º Temperatura.
- 3.º Tiempo de aireación.
- 4.º Cantidad de aire.
- 5.º Cantidad de lodos.
- 6.º Actividad de los lodos.
- 7.º Concentración del efluente.

La calidad de las aguas puede ser origen de escaso éxito, porque la actividad de los lodos puede ser extraordinariamente disminuida por algunas aguas industriales; tal es el caso de Worcester, donde se ensayó el procedimiento en 1916; pero como se trataba de aguas industriales en gran cantidad, de composición muy variable, el consumo de oxígeno debiera ser muy grande, y no dió el sistema tan buenos resultados como el procedimiento de los fosos Imhoff y lechos bacterianos percoladores. En algunas aguas muy cargadas de grasas (Chicago) se separan éstas anteriormente por el éter.

La temperatura más favorable a la nitrificación parece ser de 20° a 30° centígrados (Cambier).

El tiempo de aireación varía, naturalmente, según la composición de las aguas y el grado de depuración exigido, y se ha fijado por experimentaciones realizadas para cada caso particular. En Milwaukee es de dos a seis horas, y se juzgó podía ser disminuido por la previa retención de una parte de la materia en suspensión.

En Moscú se han hecho, de los años 1915 al 19, en el Laboratorio bioquímico dirigido por S. Stroganoff, estudios muy detallados sobre depuración de aguas negras, en una estación experimental que permite el tratamiento de 7 000 m³ diarios. Una de las conclusiones a que se llegó fué que existe una relación exacta entre la rapidez de la purificación n (cantidad de nitrógeno oxidado en una hora en miligramos por litro) y el aumento de aire empleado por volumen de agua negra por hora, v . Es decir, $\frac{n}{v} = \text{constante}$.

Esta constante es 2,58 en el caso de Moscú.

Hunted da una fórmula numérica, que halla empíricamente y hasta construye ábacos para aplicarla, y es

$$n = \frac{100 \cdot R \cdot (100 - m)}{S} + 1$$

en la que R representa el tanto por ciento de lodo añadidos a las aguas a tratar, en volumen; m , la mezcla de sólido y líquido en tanto por ciento de los lodos; S , número de partes por millón de materias sólidas en las aguas, y n , el número de ciclos de aireación necesarios para su depuración.

Los volúmenes de aire empleados en las instalaciones existentes oscilan entre 6,23 l por litro de agua en Withington, y 11,25 l en Milwaukee. Esto se refiere únicamente a las instalaciones con inyección de aire, pues en las de agitación mecánica no puede calcularse exactamente.

Respecto de la cantidad de lodos parece que no hay un interés grande en ser aumentada para el efecto de la depuración. La comisión anteriormente citada de Moscú llegó a la conclusión de que hay un límite definitivo para la cantidad de lodo necesaria al normal proceso de la purificación. La cantidad empleada es, aproximadamente, el 25 por 100 del volumen del efluente.

Tantas son las variables que influyen en el efecto de la aplicación del sistema y depende tanto el éxito de las circunstancias de localidad, que puede decirse, como Peck, que no hay sistema, sino sistemas de depuración de aguas por lodos activados. Todos tienen características semejantes e indudablemente constituyen un considerable progreso en la técnica de las aguas negras.

Este procedimiento posee elasticidad suficiente para ser aplicado en poblaciones de alcantarillado unitario, estableciendo los proyectos sobre la base de gasto en tiempo seco.

Arden ha demostrado que se puede depurar un volumen de agua mayor cuando sólo es debido a las lluvias. Este principio ha sido adoptado para el establecimiento del proyecto de Milwaukee.

Otras ventajas son: la ausencia de olores en la manipulación, lo que permite situar la instalación muy próxima a la población; la necesidad de superficies restringidas, y la economía de instalación relativa-

mente a otros sistemas, para idénticos resultados, sobre todo con aguas conteniendo escasos residuos industriales. La economía es más notable en los procedimientos de agitación mecánica, cuyo empleo se va generalizando. Es ventaja también muy de tenerse en cuenta la facilidad de seguir la marcha de los resultados en el laboratorio.

El mayor inconveniente del procedimiento es el ulterior tratamiento de los lodos por su fuerte proporción de agua (95 a 98 por 100), lo que hace el secado difícil y costoso. Los partidarios del sistema proclaman que este lodo posee un poder fertilizante muy grande, por contener organismos fijadores del nitrógeno (fermentos nitrosos y nítricos). Este aspecto del asunto podría ser muy interesante; por lo cual son de notar los estudios de Peck, ingeniero consultor de N. Y. City, que ha estudiado la fijación del nitrógeno atmosférico por estos lodos activados, llegando a las siguientes conclusiones:

Bajo ciertas condiciones es posible la fijación del

nitrógeno atmosférico por aireación en presencia de lodos activos.

La cantidad de nitrógeno fijado en algunos casos es el 65 por 100 del existente en las aguas negras.

La condición esencial para la fijación de este nitrógeno atmosférico parece ser la existencia de ciertos microorganismos (B. Crenothrix).

La presencia de óxido férrico parece esencial. El citado autor opina puede llegarse a producir 848 libras por 10 000 habitantes.

En Berlín existe un organismo destinado a centralizar todos los documentos sobre la cuestión, y en los Estados Unidos la división de tecnología química del Consejo Nacional de investigaciones tiene también nombrada una comisión para el estudio de tratamientos de aguas negras, que se ocupa del asunto; pero la mayor parte de los estudios han sido hechos por los ingenieros de las Municipalidades, a cuya iniciativa dedicamos estas notas, recogidas ya hace algún tiempo con fines puramente especulativos.

A. G. VEDOYA
Ingeniero de Caminos

Procedimiento para impermeabilizar las obras de hormigón

En muchas construcciones de hormigón es de fundamental importancia obtener masas, si bien no absolutamente impermeables, en el sentido riguroso de la palabra, por lo menos prácticamente lo suficiente para que no haya resudaciones o filtraciones aparentes. En este caso se encuentran las azoteas y cubiertas de edificaciones urbanas o rústicas, bóvedas de los puentes, depósitos de agua, canales y acueductos y un sin fin de obras, cuya enumeración sería enojoso citar.

Entre los métodos que pueden emplearse para conseguir la impermeabilidad de una masa de hormigón saltan a la vista dos, que, en su esencia y en su modo de aplicación, son radicalmente diferentes:

1.º Impermeabilización de la superficie expuesta al contacto del líquido, cuya filtración quiere evitarse.

2.º Impermeabilización de toda la masa que ha de encerrar el líquido.

El primer procedimiento, que es el más generalizado en la práctica, consiste, como todos sabemos, en recubrir la superficie de hormigón que ha de estar en contacto con el líquido de una chapa, generalmente de mortero rico de cemento o sustancias de otra naturaleza, así como en el empleo de pinturas, que también constituyen una capa protectora. Desde luego se comprende que la más leve fisura que se produzca en el enlucido es causa de que el líquido tenga paso a la masa porosa que detrás de él existe, y que no ofrece obstáculo a su franca filtración y salida al exterior. Esto nos demuestra que el empleo de enlucidos no solamente grava de un modo notable los gastos de primer establecimiento de la obra, sino que también es un factor de bastante trascendencia en los gastos de conservación o entretenimiento de

la misma. Sobre todo, en los enlucidos de cemento que han de ser ricos en dosificación para ser impermeables, bien sabido es que la formación de grietas es casi inevitable, pues son consecuencia lógica de la retracción de fraguado. Obras hay que no pueden ponerse en servicio una vez acabadas, o que exigen después frecuentes reparaciones y minuciosos cuidados por la causa que acabamos de apuntar.

Más racional que impermeabilizar la superficie de una obra, es, desde luego, conseguir la de toda la masa que la constituye, encaminándose a esto el procedimiento que hemos colocado en segundo lugar. Lo interesante es obtener lo que se desea de un modo sencillo de ejecutar en la práctica y además económico, produciendo, incluso, un ahorro en el presupuesto de la obra con relación al primer método enumerado o de los enlucidos, siendo, por otra parte, más beneficiosos los resultados obtenidos.

Desde luego, una elección juiciosa de la dosificación granulométrica del árido, decidida después de numerosos ensayos, mucho hace en favor de la compacidad, y como consecuencia de la impermeabilidad de los hormigones, que puede conseguirse en muy alto grado aun con cantidades de cemento no muy elevadas y propias de las dosificaciones corrientes en obras de hormigón. Ahora, que esto no basta, entre otras razones, porque la dosificación granulométrica del árido es muy difícil conservarla en obra rigurosamente constante, pues es frecuente entre constructores creer que la clasificación concienzuda de los materiales supone una pérdida de tiempo y de dinero, que tratan de esquivar, cuando, en verdad, no hay ni dinero mejor invertido, ni tiempo más aprovechado que los empleados en mejorar las condiciones mecánicas de una construcción. Pero pese a ésta y otras