

estoy sembrando; mañana recogeré». ¡Indudablemente había nacido para héroe, para mártir de la Ciencia!

¡Pobre Alberto!—decimos hoy los que en la intimidad le conocíamos y tratábamos—¡Con tu muerte gloriosa, por ser en el cumplimiento del deber, hemos perdido un entrañable amigo y el más leal de los compañeros!

Dediquemos también un piadoso recuerdo a la memoria del ilustre ingeniero D. Ramón Cortázar, inmolado, a la vez que Varela, en aras de la barbarie.

ANDRÉS ARRILLAGA,
ingeniero de Caminos.

Madrid, 7 mayo 1926.

*
**

Interpretando el sentir de todos los ingenieros de Caminos, íbamos a encabezar este número expresando nuestro más vivo dolor por crimen tan salvaje y nuestra amarga queja de que no se haya evitado; dos queridos compañeros nuestros, que lo fueron suyos de promoción, han escrito con el alma las anteriores vibrantes líneas, y ellas reflejan lo que hoy está en el ánimo de todos. Por una parte depúrense los hechos ocurridos para saber si han sido evitables; por otra, recábase del Gobierno que exprese en forma debida cuanto pueda servir para mitigar la pena de sus familias y para enaltecer el nombre de los que, como avanzadas del progreso, llevaban en sí la representación del mundo civilizado y eran depositarios de sus elevados ideales; les empujaba el recuerdo de su Patria, y en aras de ella y de su profesión exponían su vida; vida plétórica de esperanzas fundadas de porvenir brillante, de energías para vencer contrariedades, de conocimientos para contribuir al bien de la humanidad dentro del sector que nos está confiado; y, en círculo más reducido, pero de intensos afectos, el propio de nuestro Cuerpo, en nuestra Casa solariega, en la Escuela especial de Ingenieros de Caminos, colóquese una sentida lápida en que quede grabado con caracteres indelebles el nombre de **Varela**, que si indeleble ha de ser su recuerdo entre los compañeros actuales, sea conocido también de las futuras generaciones de ingenieros, al colocar la cuál vayamos a depositar silenciosa y gravemente una corona que sea emblema de nuestro dolor; una lágrima por el compañero asesinado y una plegaria por su alma, que lágrimas del alma son que van muy altas.

¡Descansen en paz ambos ingenieros!

EL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN RELACIÓN CON EL SANEAMIENTO DE LAS URBES

POR

D. FRANCISCO RICART Y GUALDO

(CONTINUACIÓN) (1)

FILTRACIÓN.—Si bien todos los autores clasifican entre los físicos el procedimiento depurador por filtración, opino que esta clasificación es errónea, porque la disminución de gérmenes en el agua filtrada no es debida solamente a su retención por la materia filtrante, por adherencia a ella, sino también por un proceso biológico más o menos completo, análogo al descrito para la filtración natural por el terreno; por consiguiente, este procedimiento mejor debería llamarse *físico-biológico*.

(1) Véase el número anterior.

Desde que en 1829 el ingeniero inglés Simpson construyó el primer filtro de arena, de los llamados *lentos* o *ingleses*, para la depuración del agua de abastecimiento de Londres, las variaciones para perfeccionarlos no han cambiado su esencial modo de ser. Una capa de arena de mayor o menor espesor, de granos más o menos finos, provista en su parte inferior de ingeniosos y variados drenes para recoger el agua filtrada, e aquí los elementos de un filtro de los llamados lentos. El agua que ha de ser tratada por el filtro lo cubre en una cierta altura, dejando sumergida la masa filtrante, por cuya razón estos aparatos se llaman también *sumergidas*; los granos de arena podrán ser de composición química variable como también son variables sus dimensiones y la altura de la masa filtrante. La eficacia y la velocidad de filtración depende de las dimensiones de estos distintos elementos.

Las materias en suspensión del agua, sus materias orgánicas mineralizadas de un modo más o menos completo por el proceso biológico, los gérmenes de todas clases y los organismos animales y vegetales que constituyen la fauna y la flora del líquido, al verificarse la filtración, pasarán unos a través de la masa filtrante y persistirán en el agua depurada; otros quedarán retenidos en el cuerpo del filtro, disminuyendo su poder filtrante en igualdad de las demás circunstancias, como presión, temperatura, etc., y, finalmente, otra parte quedará adherida a la superficie de la arena formando al cabo de cierto tiempo, variable con la calidad del agua, una membrana o capa de composición heterogénea, llamada *membrana biológica*, la cual, por su poca permeabilidad, será otra de las causas de la disminución del rendimiento del aparato, aunque también parece lógico suponer que la filtración será tanto más perfecta cuanto menor sea aquel rendimiento, a causa de que el embebido o teñido se verifica de un modo más completo, dando más tiempo a la depuración biológica, permitiendo la acción más completa de los gérmenes nitrificadores. Esta es la razón de que hasta época muy reciente se consideraba de importancia suma la conservación de la membrana biológica. Actualmente se ha comprobado, bien por los resultados de los filtros rápidos o americanos, en los que la precipitación de las materias en suspensión se obtiene por medio de los coagulantes, bien por la eficacia de los filtros no sumergidos de los doctores Miquel y Mouchet, que dicha membrana no ejerce acción biológica alguna sino solamente una acción física, presentando, en cambio, en opinión mía, graves inconvenientes.

La membrana biológica está formada, en general, por partículas arcillosas, y aun de otro compuesto inorgánico que pueda llevar en suspensión el agua, pero principalmente su constitución es debida a seres organizados animales y vegetales y a gérmenes de todas clases, variables con la procedencia del agua. Así, la membrana de los filtros de Hamburgo, en los que se trata el agua del Elba, contiene más de 160 especies de algas; los innumerables organismos que forman la de los filtros de Amberes varían con las estaciones. A la existencia de algas, especialmente de las que están dotadas de clorofila, algunos autores, entre ellos Kemmer (Boletín de la Sociedad Belga de Geología, 1900), atribuyen una acción depuradora notable, debido a la acción del oxígeno naciente desprendido por la acción de la luz sobre ellas; no negaré esta acción benéfica, pero haré notar también que en algunos periodos, especialmente en aquellos en que el calor produce fermentaciones pútridas en las algas muertas y demás materias orgánicas constituyentes de la membrana biológica, hay desprendimientos de gases mefíticos que se disuelven en el agua filtrada, se desarrollan las proliferaciones microbianas, y a la más pequeña grieta de la membrana, o por las juntas de ésta con las paredes del filtro, podrán pasar materias orgánicas sin vida, y, por consiguiente, putrescibles, y los gérmenes que en ellas viven, a la masa fil-

trante, y de aquí la posible contaminación del agua, es decir, que el efecto del filtro será opuesto del que se trata de obtener. El mismo M. Kemma, partidario de la membrana biológica, confiesa que por esta causa aumenta algunas veces bruscamente el número de gérmenes del agua filtrada, y que los vegetales y organismos muertos, en descomposición rápida, dan al agua un gusto desagradable, dejando pasar fuertes proporciones de amoníaco.

Otro peligro ofrece la membrana biológica: los pequeños crustáceos, especialmente las dafnias, las larvas, los insectos, los pequeños peces del género de los acantópteros, pueden producir accidentes parciales en ella, verdaderas soluciones de continuidad, que permitirán el paso a la masa filtrante de todos los elementos sépticos que contiene, tales como las toxinas que se forman simultáneamente al proceso de la putrefacción.

Aunque en menor escala, iguales inconvenientes ofrece la arena, si a consecuencia del servicio llega a su colmataje; en este caso el rendimiento del filtro será menor; adheridos a los granos habrá gérmenes de todas clases y materias organizadas o minerales, con vida o sin ella, que a la menor anormalidad, al menor asiento de la masa filtrante, a una imprevista y excesiva carga de agua, pueden abrirse canalículos de suficiente calibre, por los que el agua circulará con velocidad, arrastrando todas estas materias contaminantes. Esta es la razón de por qué es indispensable la limpieza periódica de esta clase de filtros, para lo cual, después de hacer cesar su funcionamiento, por procedimientos variables más o menos convenientes, se levanta una capa de 1 ó 2 centímetros de la superficie, o sea la membrana biológica. Al cabo de un cierto tiempo de servicio del aparato, cuando por la repetición de dicha operación se ha reducido notablemente la altura de la arena y ésta está ya inservible a consecuencia del colmataje, se impone su regeneración, o sea su extracción y limpieza, limpiando asimismo las paredes del filtro, operaciones que ofrecen algunas dificultades por lo fuertemente adheridas que están a los granos de arena las algas y demás materias orgánicas.

Los inconvenientes apuntados de la membrana biológica y del colmataje de la arena se han tratado de aminorar, sometiendo el agua que se ha de filtrar a una decantación previa, y aun a una prefiltración, con cuyas operaciones, no sólo se eliminan gran parte de las materias orgánicas en suspensión, sino que queda muy reducido el número de bacterias.

En los casos en que el agua sea excesivamente sucia o turbia, como acontece con la de río en las crecidas, después de la decantación y prefiltración, se la somete a dos filtraciones sucesivas; este es el procedimiento practicado en Filadelfia, en Viena, en Zurich y en Bremen, así como en algunos pueblos próximos y suburbios de París que se alimentan de agua del Sena; el estudio de los resultados de estas instalaciones merece la atención de los higienistas, pues sus variaciones pueden dar mucha luz para apreciar la eficacia de estos aparatos.

A principio de este siglo, MM. Miquel y Mouchet presentaron a la Academia de Ciencias de París un filtro no sumergido también de arena, cuya organización tiende a imitar lo que pasa en la Naturaleza al filtrarse las aguas de lluvia en terrenos permeables o de intersticios; lo forman los tubos de drenaje envueltos en grava gruesa o cantos rodados; sobre ésta, se coloca en un espesor de 1 a 1,30 metros de arena fina regular y homogénea, humedecida y debidamente apisonada por capas; sobre ella se coloca otra capa de gravilla, cuyo único objeto es que el agua que se hace caer en forma de lluvia sobre el filtro, llegue sin velocidad a la superficie de la arena, de modo que se infiltre en ella por la sola acción de la gravedad; el agua a filtrar se vierte, no de un modo continuo, sino con intermitencias que se pueden obtener con aparatos automáticos. Como es consiguiente, en este

filtro no se forma la membrana biológica y se obtiene el efecto filtrante por el paso del agua por los intersticios o finos canalículos de la arena, cuyo grueso de grano oscila entre 0,10 y 0,14 milímetros. Comparando los resultados de los análisis del agua tratada por estos filtros, con los de la depurada por medio de los sumergidos, resultan de mucha mayor eficacia que aquéllos, si bien su rendimiento, a causa de su falta de presión, es también menor, ya que en los filtros ingleses o sumergidos oscila entre 2,40 metros de altura de agua por metro cuadrado de superficie filtrante y por día, como ocurre con los filtros de París, a 5,60 metros para los de Filadelfia, con prefiltros, pasando por las velocidades medias de filtración por día y metro cuadrado de 3,50 para los de Hamburgo y 4, para los de Londres, mientras que en el Miquel no sumergido esta velocidad no es mayor de 1,50 metros, por cuya razón, a igualdad de caudal a filtrar, exige superficies filtrantes mucho mayores.

La eficacia de los filtros ingleses, desde el punto de vista de la reducción de bacterias, en las experiencias llevadas a cabo en Lawrence (Massachusetts), se ha querido establecer por medio de la fórmula:

$$\text{Fracción por 100 de bacterias que pasa a través del filtro} = \frac{1}{2} \left(\frac{(\text{Rendimiento del filtro} \times \text{tamaño efectivo del grano de arena en mm.})}{\sqrt{\text{espesor de la capa de arena en pulgadas}}} \right)$$

calculando el rendimiento del filtro en millones de galones por acre y día.

Entiendo que esta fórmula es simplemente un alarde de originalidad, pues no merece otro calificativo el plantear por medio de una ecuación un problema en que entran tantos factores variables y sólo hipotéticamente existentes, como la clase de bacterias, su resistencia, la cantidad de oxígeno disuelto y el existente en la masa filtrante, que tan importante acción ejerce sobre las materias a mineralizar, etc., y no dudo que la mayor parte de los higienistas, para aceptar como buena una instalación de filtros, no echarán mano de tal fórmula para conocer su eficacia, sino que procederán al análisis del agua filtrada en diversas estaciones, con temperaturas ambientes distintas, en diversos estados de colmataje de la masa filtrante, etc., con lo cual se obtendrán datos ciertos e irrecusables que definirán perfectamente la eficacia de la estación filtrante; este es el único procedimiento lógico y seguro; sólo como curiosidad he presentado la anterior fórmula.

De un modo general se puede afirmar que los filtros ingleses o sumergidos reducen notablemente las materias orgánicas y el número de gérmenes del agua; pero también es cierto que *no la aseptizan*, es decir, que no retienen o destruyen todos los gérmenes, siendo tanto mayor el número de los no destruidos cuanto más se fuerza el rendimiento y cuanto menor sea el colmataje.

Se dice que un filtro sumergido de arena funciona bien cuando sólo deja pasar el 1 por 100 de las bacterias que contiene el agua, y es lógico suponer que entre ellas pueden subsistir las patógenas.

Por consiguiente, es innegable que estos aparatos mejoran notablemente la calidad bacteriológica del agua, mejora que influirá en la salubridad de las poblaciones que los usen; pero también es cierto que el agua tratada, por el mero hecho de contener algún germen patógeno, constituirá una de las varias causas de persistencia de ciertas endemias.

De las experiencias efectuadas por MM. Miquel y Mouchet con el agua de Ourq, sometida a la acción de los filtros no sumergidos, se deduce que la riqueza en materias orgánicas del agua filtrada se reduce en un 10 a un 20 por 100, y que el número de bacterias se reduce también notablemente, pues cuando el agua impura contenía 200.000 por centímetro cúbico, al salir del filtro quedaban reducidas a cifras comprendidas entre 50 y 80.

De todos sus estudios y análisis, estos higienistas deducen las tres consecuencias siguientes:

1.^a Que la depuración mecánica de las aguas de manantial no obtenidas hasta hoy se hará posible por medio de los filtros de arena no sumergidos.

2.^a Que la depuración de agua de río, actualmente tratada en filtros sumergidos, se hará de un modo más seguro y más perfecto con los filtros de arena no sumergidos.

3.^a Que los filtros de arena no sumergidos deberán siempre funcionar en local cubierto, no sólo para ponerlos al abrigo de las heladas, sino también para que las algas no adquieran gran desarrollo e impermeabilicen en su superficie.

Estas afirmaciones las fundamentan sus autores por la eliminación del *bacilo coli* del agua filtrada, bastándoles esta circunstancia para dar como cierta la ausencia del bacilo tífico, a cuya afirmación oponen MM. Ogier y Bongean, como resultado de sus investigaciones, que el bacilo tífico y el bacilo colérico y otras especies patógenas pueden atravesar un filtro que retenga el bacilo coli.

Se ha visto ya la influencia que la membrana biológica ejerce en la eficacia de la filtración, siendo, en cambio, causa de lentitud; su formación será tanto más rápida cuanto mayor sea la cantidad de materias en suspensión que lleve el agua, y de aquí que para la depuración de grandes masas procedentes de ríos turbios sean necesarias enormes superficies filtrantes.

De aquí nació la idea de acelerar la depuración, o sea de obtener mayor rendimiento por unidad de superficie, dando lugar a la construcción de los filtros rápidos o americanos.

El principio fundamental de estos aparatos es el de obtener una rápida precipitación de las materias en suspensión y, por consiguiente, de los gérmenes a ellas adheridos, por el tratamiento previo del agua por un coagulante que, en general, es el sulfato de alúmina, siendo sales férricas las empleadas en el procedimiento Anderson.

Debidamente mezclada el agua con el sulfato de alúmina en un depósito especial, se vierte al filtro que está constituido por un recipiente de dimensiones variables, siempre menores que las de los filtros ingleses, de cemento armado, madera o hierro, provisto en su parte inferior de pequeñas aberturas que vierten el líquido a las canales o tubos receptores; la materia filtrante es la arena, cuyos granos tienen un diámetro que varía entre 3 y 5 décimas de milímetro, colocada en un espesor o altura que oscila entre 0,60 y 1,50 metros, según los aparatos cuya variedad es grande.

Se han construido filtros de esta clase con el recipiente abierto, de manera que el agua se filtra solamente por la acción de la gravedad; el otro tipo es el de recipiente cubierto, en el que el agua está sometida a presión. Estos aparatos, en general de reducidas dimensiones, deberán acoplarse en batería para el abastecimiento de las grandes urbes.

La membrana biológica de los filtros ingleses viene sustituida en éstos por depósito gelatinoso de la superficie de la arena, producido por el coagulante que arrastra las materias en suspensión y las bacterias en cantidad considerable, y que periódicamente se hace desaparecer por medio de un bien entendido sistema de tubos y llaves que permite la inversión de la corriente de agua, que al llegar de abajo arriba con alguna presión arrastra la capa gelatinosa.

Ingeniosos sistemas de aparatos de paletas revuelven la arena que constituye la masa filtrante, cuando sumergiéndola en agua pura se quiere proceder a su limpieza; un regulador automático encargado de asegurar la constancia de la salida del agua filtrada completa los aparatos de esta clase.

El rendimiento de los filtros americanos es mucho mayor que el de los filtros ingleses, en una proporción variable que se puede apreciar en 50 a 100 veces mayor, según el modelo, y que viene también positivamente influido en los de presión.

La retención de las bacterias es debida en gran parte a la acción del coagulante, siendo tanto mayor cuanto mayor es la cantidad de éste y, aproximadamente, proporcional a ella; con una velocidad de filtración de 52 metros cúbicos por día y por metro cuadrado de superficie de filtro, y la adición de 0,0079 gramos de sulfato de alúmina por litro, según datos que supongo ciertos, se obtiene una reducción de bacterias de un 93 por 100; con la misma velocidad y una dosis de 0,019 gramos de coagulante por litro, la reducción alcanza a un 99 por 100.

Si el filtro funciona sin la adición del coagulante sólo se obtiene una reducción aproximada de un 50 por 100. De estas cifras se deduce que la eficacia de los filtros rápidos, más que a otra cosa, es debida a la acción de la materia coagulante.

De la comparación de los tres tipos de filtros enumerados, los lentos sumergidos, los rápidos americanos y los no sumergidos de Miquel y Mouchet, se deduce, después de examinar las tablas de análisis, que la eficacia está en favor de los últimos y en rendimiento llevan la ventaja los americanos.

Este resultado a favor del filtro no sumergido es lógico, si se considera que en los americanos y en los ingleses la arena está toda ella embebida en agua, y además encima de su masa existe una gran cantidad de ella durante el funcionamiento; de aquí que el agente esterilizante, el oxígeno, no puede penetrar en la masa del filtro, y sólo la pequeña cantidad disuelta en el agua a filtrar, a todas luces insuficiente, puede ejercer la acción depuradora; de aquí que la depuración sea incompleta.

Además, ocupando el agua de un modo permanente una cierta altura sobre la superficie del filtro, se establece indefectiblemente una corriente, que no participa de la acción o poder filtrante de la arena, entre ésta y las paredes del depósito, y por muy ingeniosas que sean las disposiciones o medidas que se tomen para que esta agua impura no sea recogida por los drenes, no se podrá impedir que parte de ella, por canículos más o menos tortuosos, se mezcle con la filtrada. En los filtros no sumergidos estos dos efectos de carácter no permanente no existen, pues si un miligramo de agua deja de sufrir la filtración, estimulada y completada por la presencia del oxígeno, al que nada impide que penetre por todos los intersticios de la arena, facilitándose esta penetración por medio de las intermitencias en el vertido.

En el filtro de Miquel y Mouchet se imita en lo posible a la naturaleza, y opino que con él se podrá llegar a una depuración perfecta, con el establecimiento, durante su funcionamiento, de intermitencias de suficiente duración, para dar lugar a la regeneración automática, con la penetración del aire y el desarrollo de los gérmenes nitrificadores.

Ya se ha hecho notar que la eficacia relativa de los filtros lentos es aproximadamente la misma que la de los filtros americanos, eficacia que sólo persistirá mientras está intacta y sin solución de continuidad la membrana biológica en los primeros y el depósito gelatinoso en los segundos, y no se hayan producido grietas ni dislocaciones que alteren la homogeneidad de la masa filtrante; por estas consideraciones opino que siempre que se pueda disponer de procedimientos de mayor eficacia exijan un entretenimiento menos asiduo y que no estén sujetos a averías de tan frágiles elementos, no será conveniente elegir dichos filtros para obtener la depuración de las aguas de abastecimiento, y que siempre que su pequeño rendimiento lo permita serán aceptables para este fin los filtros no sumergidos, cuya eficacia se aumentará prolongando las intermitencias del vertido.

A reserva de tratar de la elección del procedimiento depurador cuando se hayan estudiado los demás, cerraré el estudio de la filtración artificial copiando las opiniones de autorizados higienistas sobre su valor higiénico.

Delhotel, en su *Tratado de depuración de agua*, dice: «Los filtros sólo consiguen obtener agua clara, pero sus condiciones higiénicas son deplorables».

Ch. Frankel y Píeffe dicen en sus *Estudios sobre los procedimientos esterilizadores*: «Los filtros no son aparatos impenetrables a los gérmenes, no retienen ni las bacterias inofensivas, ni las de la fiebre tifoidea, ni las del cólera. El principio y el fin de cada período de un filtro son momentos peligrosos, porque en el primer caso el filtro no ha adquirido toda su eficacia, y en el segundo, la presión ejercida sobre su superficie y la vegetación de las bacterias favorecen el desarrollo de los microorganismos a través de la materia filtrante».

Ch. Michel, en su Memoria presentada en la Sección XIV del Congreso Colonial de 1904, dice, al tratar de la eficacia de los filtros: «La inseguridad de los filtros de arena se ha demostrado en todas las epidemias de fiebre tifoidea, especialmente en la de Altona en 1893.

Aun con los aparatos más perfectos, con las bujías de porcelana, la esterilización en muchos casos será ilusoria. Generalmente no se verifica de un modo aceptable más que en los primeros días; pasados éstos, el agua que atraviesa la bujía no está exenta de bacterias. Llega un momento en que la pared filtrante se obstruye por acumulación de las materias que ha retenido; se cubre de una capa que constituye un medio de cultivo favorable al desarrollo de las bacterias, que acaban por invadir el interior del filtro, para aparecer, por último, en el agua filtrada.»

En un artículo publicado en el *Boletín del Laboratorio Municipal de Madrid*, correspondiente al 15 de diciembre de 1901, el doctor Chicote, jefe del mencionado Laboratorio, dice, al tratar de los diversos procedimientos de depuración del agua: «De estos sistemas más o menos perfectos, como la purificación por el reposo, la filtración simple y la compuesta con sus engañosas teorías, y, por último, la ebullición y la esterilización por el calor con aparatos adecuados, de antiguo se tienen noticias suficientes para mirarlos con la prevención que merecen sus dudosos éxitos, ensalzados por un mercantilismo censurable».

Todas estas opiniones, más o menos exageradas, indican que la esterilización por filtración no es perfecta en los filtros sumergidos.

Finalmente, el doctor Luis Combaud, en su obra *Sobre la depuración de las aguas de alimentación*, publicada en 1912, después de haber tratado con gran competencia de tan interesante tema, deduce las siguientes conclusiones relativas a la filtración:

I. De todos los sistemas de depuración de agua por la arena sumergida, más comúnmente empleados, como galerías filtrantes, pozos Lefort, filtros de Hamburgo y filtros americanos con coagulantes, ninguno da seguridad absoluta desde el punto de vista bacteriológico, a menos que se ejerza una escrupulosa vigilancia en todos los instantes.

II. El filtro de arena no sumergido, es decir, aquel en que jamás el agua cubre a la masa filtrante, sino que cae en forma de lluvia sobre su superficie, es un aparato sencillo, de fácil construcción y en el que la vigilancia y entretenimiento quedan reducidos al mínimo.

III. En las múltiples investigaciones de laboratorio llevadas a cabo por MM. Miquel y Mouchet desde hace cinco años, la depuración ha sido perfecta, cualquiera que haya sido la contaminación de las aguas, a pesar de la imperfección de los aparatos empleados.

IV. Las aplicaciones industriales recientes hechas en Cha-teaudum y en Rouen, con todos los datos de que se podía disponer sobre este problema, han dado mejores resultados que las investigaciones de laboratorio y se ha obtenido agua bacteriológicamente estéril.

V. En el filtro construido por mí y modificado el modo de distribución del agua en la superficie de la arena, he completado las experiencias hechas y comprobado que ningún microbio saprofito ni patógeno, tales como el Eberth, Coli y vibrión cólico, susceptibles de vivir en el agua, han resistido a la filtración de los filtros no sumergidos. Desde el punto de vista químico, he notado el constante aumento de oxígeno disuelto; y en las aguas muy contaminadas, la disminución en proporción muy considerable de materia orgánica y de cloruros y la desaparición de nitratos y del amoníaco.

VI. La depuración en el sistema de filtros no sumergidos es superior a la de los sumergidos, gracias a la supresión de la nociva influencia de la pared y de la ausencia de presión en la superficie de la arena; y, por último, a la intensa oxigenación debida al aire renovado y arrastrado sin cesar por el agua a través de la masa filtrante.

VII. Desde el punto de vista económico, el gasto de construcción, entretenimiento y funcionamiento, son menores que los de todos los sistemas de depuración empleados hasta ahora.»

PROCEDIMIENTOS QUÍMICOS.—Innumerables son los antisépticos que con gran eficacia pueden emplearse para obtener un agua estéril, pero pocos los que pueden servir de un modo práctico y permanente para esterilizar el agua de abastecimiento de las poblaciones, y puede afirmarse que hasta hoy no se ha hecho aplicación alguna en las grandes urbes. Estos procedimientos son de práctica aplicación para esterilizar eventualmente el agua de bebida en las viviendas cuando una epidemia hídrica invade una población, o para obtener agua higiénica en las habitaciones colectivas, como hospitales, cuarteles, asilos, etc., en una palabra, su uso será aplicable de un modo accidental y a cantidades de agua no muy grandes; por esta razón no me detendré en este estudio.

Al aplicar los procedimientos químicos de depuración deberá ponerse especial cuidado en la exactitud de las dosis de los antisépticos y en que sea completa su mezcla con el agua. Si la dosis es excesiva quedará parte del antiséptico sin reducir, mejor dicho, sin transformarse, y su ingestión podrá producir trastornos más o menos graves en el organismo. Las dosis insuficientes no obtendrán la esterilización completa; la defectuosa mezcla con el agua será causa de que la esterilización no tenga efecto en toda la masa.

El antiséptico preferible será aquel que mezclado con el agua no le proporcione propiedades tóxicas o nocivas, ni olor y gusto desagradables, sin que deje de ser incolora.

Entre los múltiples procedimientos propuestos, y aun ensayados con éxito desde el punto de vista de su eficacia, hay algunos que no han pasado de la categoría de experimentos de laboratorio, y otros sólo aplicables a muy reducidas cantidades de agua, tales como los de D'Almen, de Kirchner y de Manget, empleando el percloruro de hierro, el de Krohnke, con el carburo de cobre, los innumerables que emplean el alumbre, entre ellos el de Werner y Babis, los procedimientos de Hattunga-Tom y Althoefer, con agua oxigenada, el de superóxido de hierro, de Blatz y otros muchos.

Como procedimientos sancionados por la práctica, por su eficacia, por no adicionar al agua compuestos nocivos, merecen citarse los siguientes:

El de permanganato de cal o de potasa, el de tratamiento por

el bromo y sus compuestos, tales como el bromuro potásico y el amónico, para neutralizar el exceso del bromo; el procedimiento de Vaillard, Simonin y Georges, que utilizan el yodo en estado nascente como oxidante. El de Traube, que emplea el cloruro de cal, o el de Bergé, en que el antiséptico es el peróxido de cloro obtenido tratando el clorato de potasa por el ácido sulfúrico o calentando al baño de maría hasta 70 grados una mezcla de clorato de potasa pulverizado y de ácido oxálico; el procedimiento Duyk-Howwaston, denominado del ferroclore, que consiste en someter el agua al producto de la reacción de dos soluciones, una de hipoclorito de cal o de sodio, y otra de sal férrea o aluminica. El de Parker y Rideal, cuyo antiséptico es el bisulfito de sodio, etc.

PROCEDIMIENTOS FÍSICO-QUÍMICOS.—Desde el año 1888, en el que el doctor Leeds dió a conocer un procedimiento, que no llegó a tener aplicación, para destruir las materias orgánicas del agua sometiendo a la acción de los gases procedentes de su descomposición electrolítica, que se viene estudiando un procedimiento de eficacia suficiente y de fácil aplicación para obtener, por medio de la electricidad, el agua aséptica. A este efecto Woolf, en la última decena del siglo pasado, ensayó en Nueva York un procedimiento que consistía en descomponer por medio de la electrolisis débiles soluciones de sal marina, en cuya operación se obtenía un líquido que contenía hipoclorito sódico, el cual se mezclaba en una proporción de 1 por 6.000 al agua a esterilizar. Como se ve, este procedimiento es uno de tantos en los que se utilizan los compuestos oxigenados del cloro como antiséptico, obtenido por una acción física.

La eficacia de este procedimiento era solamente aceptable; y al tratarse en 1899 de aplicarlo a la esterilización del agua de la Habana, se vió que el coste por metro cúbico resultaba a unos 60 céntimos de peseta, siendo ésta una de las causas de que no se haya hecho de él ninguna aplicación importante.

Análogo al que acabo de mencionar es el procedimiento de Hermite, en el que el agua de mar es la que sufre la descomposición electrolítica, habiéndose hecho ensayos de él para la depuración de las aguas de alcantarilla del Havre, de Brest, de Niza y de otras poblaciones; los resultados no fueron favorables, y, como los anteriores, ha quedado sin aplicación.

En el procedimiento de Webster se efectúa la electrólisis de agua con ánodos de hierro, produciéndose así óxido de hierro hidratado, que obra como precipitante o coagulante. También se han ensayado los ánodos de aluminio, siendo entonces el producto coagulante el hidrato de alumina. Sólo tengo noticia de una instalación de esta clase, hecha en Cleveland (Ohio). Tampoco este procedimiento es recomendable.

Más modernamente, en 1901, se ha ensayado el procedimiento manganoeléctrico, que consiste en tratar el agua, a la que se ha adicionado manganato de cal, por una corriente eléctrica que descompone el manganato, produciéndose el oxígeno, que es esterilizante. Tampoco ha tenido éxito.

Ozono.—Por el hecho de ser el ozono el oxidante por excelencia, desde el momento en que se hallaron medios prácticos de producirlo, se pensó en su aplicación como antiséptico. Aparte de algunos ensayos sin importancia para la depuración de las aguas de alcantarilla, tratamiento de ciertas enfermedades, como la coqueluche, administrando este gas por inhalación, etc., se estudió desde que se construyeron los primeros aparatos industriales para su producción, para aplicarlo a la esterilización de las aguas de alimentación, sin alterar sus cualidades físicas ni su composición química. En cuantas experiencias e investigaciones se llevaron a cabo en los laboratorios, se cumplían todas las condiciones para considerar al ozono como un perfecto esterilizante; pero la dificultad estribó en la producción de este gas en gran

cantidad y a bajo precio; los progresos de la electrotecnia resolvieron esta dificultad. A M. Meritens se atribuyen los primeros trabajos para la aplicación industrial del ozono para la esterilización del agua; fueron efectuados en 1886. Posteriormente, en 1890, el doctor Fröhlich presentó a la Sociedad Electrotécnica de Berlín los aparatos construídos por la Casa Siemens y Halske, por encargo del Laboratorio Sanitario Alemán. Se estudiaron, bajo la dirección del sabio bacteriólogo Ohlmüller, las propiedades germicidas del ozono producido por estos aparatos, obteniéndose resultados satisfactorios, por cuya razón, en 1894, se hizo la primera aplicación industrial en Martinikenfels para depurar 240 metros cúbicos al día de agua del Spreé, sometiendo preliminarmente a una clarificación y utilizando para poner en contacto el agua con el ozono, una alta torre llena de cantos rodados, en la que se establecía simultáneamente una corriente de agua de arriba abajo y otra de ozono de abajo arriba. En vista de los buenos resultados de esta instalación, se intentó establecer una en Wiesbaden y otra en Paderborn (Westfalia), que no tuvieron éxito por dificultades de órdenes diversos, pero no por su poca eficacia.

En 1893, el barón de Tindall fundó en Holanda una Compañía que instaló y explotó—con dictamen favorable de los higienistas—las estaciones depuradoras por el ozono de Oudshoorn, Blankenberghe y París, que antes de ser debidamente perfeccionadas y explotadas, fracasaron por la muerte de aquel higienista.

En igual fecha, MM. Marmier y Abraham, por una parte, y M. Otto, por otra, estudiaban en Francia la solución práctica de la ozonización; los primeros, al principio, operaron con aparatos de laboratorio, con los que trataron de investigar el grado de concentración mínima del aire ozonado para que tenga suficiente poder microbicida, tratando al mismo tiempo de hallar un medio que asegurase el contacto íntimo y prolongado del agua con el aire ozonado. Hechas las experiencias del aparato, en Lille, esterilizando de 1.000 a 2.500 metros cúbicos de agua al día, con una población bacteriana de 2.500 a 4.000 gérmenes por centímetro cúbico, fueron comprobados sus resultados por los eminentes bacteriólogos M. Roux y M. Calmette, cuyo informe, publicado por los *Annales del Instituto Pasteur*, fué sumamente favorable en todos conceptos, dando al procedimiento, por la autoridad de quienes lo comprobaron, patente de eficaz, práctico y económico.

En 1897 M. Marius Otto reasumió sus trabajos sobre la industria del ozono en una Memoria que escribió para la toma de título de doctor en Ciencias, trabajos que prosiguió con éxito hasta hallar un procedimiento eficaz y de bajo precio para esterilizar el agua, logrando organizar instalaciones para la esterilización de grandes cantidades, cuyo tipo o estación modelo es la de Bon Voyage, para las aguas de alimentación de Niza.

Las cuestiones fundamentales a resolver para alcanzar la eficacia de una instalación ozonizadora, son las siguientes:

- 1.^a Proporciones mínimas de agua y de ozono para obtener una completa esterilización.
- 2.^a Dosificación del ozono.
- 3.^a Procedimiento para alcanzar el contacto íntimo del agua y el aire ozonado.
- 4.^a Generadores de ozono.

No es posible en esta Memoria mencionar siquiera los resultados de los estudios llevados a cabo por diversos ingenieros, para resolver tan importantes problemas. Citaré solamente las conclusiones deducidas de las investigaciones efectuadas por MM. Ogier y Bonjean, delegados del Comité consultivo de Higiene pública de Francia, en las fábricas de Auteuil y Saint-

Maur. En la primera, los ensayos se hicieron con concentraciones hasta de 2 gramos, y en Saint-Maur variaron entre 0,98 y 1,60 gramos de ozono por metro cúbico de aire, habiéndose obtenido una esterilización completa; estas fábricas funcionan con aparatos De Frise, análogos a los del barón de Tindall, y el agua tratada procedía del Marne; de estos trabajos se dedujo: Que el agua puede esterilizarse con grandes concentraciones—pues en Auteuil alcanzó hasta la cifra de 31 gramos por metro cúbico de aire—y también se puede lograr buen resultado con débiles concentraciones, o sea menores de 3 gramos (Saint-Maur); en el primer caso, un volumen de ozono es suficiente para esterilizar 10 volúmenes de agua; en el segundo caso, con concentraciones que varíen entre 1 y 2 gramos, precisa emplear volúmenes iguales de aire ozonado y de agua.

Acerca de los procedimientos de dosificación del ozono, son variados los que se han ensayado, entre ellos el de Schoenbein, el de Bunsen, el de Thenard, etc.; pero el método que considero de más fácil aplicación es el de Otto, en el que se hace reaccionar el ozono sobre una solución acidulada de yoduro potásico, cuya práctica es sencilla y que he descrito en un trabajo más extenso sobre el problema que se estudia.

Los medios empleados para asegurar el contacto de agua con el aire ozonado son: el método inglés, de escaso éxito, que consiste en dejar caer el agua en forma de lluvia, que choca con una corriente en sentido inverso de aire ozonado.

La columna de Gay-Lussac, que es un filtro de gran altura, en el que sus elementos son de tamaño progresivo de abajo arriba; el agua se vierte en lluvia por la parte superior, y por la inferior se inyecta el aire ozonado; sus resultados son aceptables, pero no perfectos.

La columna de Tindall, ensayada en Saint-Maur, consiste en una columna de hierro fundido, dividida interiormente y en sentido horizontal, por una serie de diafragmas de celuloide provistos de un gran número de pequeños agujeros; las corrientes de aire ozonado y de agua se establecen en sentido contrario; no resultó de fácil aplicación.

El emulsor Otto, que caracteriza las instalaciones de este autor, consigue la mezcla íntima por su ingeniosa disposición, emulsionando los dos elementos cuya mezcla se desea; está constituido por un conjunto de trompas, formadas cada una por un par de conos verticales opuestos por el vértice y separados por un espacio de un milímetro; el agua llega a presión al cono superior y, saliendo por el pequeño orificio de su vértice, adquiere una gran velocidad, introduciéndose por el vértice correspondiente de la trompa inferior. El aire ozonado se conduce a la caja que contiene los dos tubos o trompas cónicas, y es arrastrado por el agua que, a gran velocidad, atraviesa el intervalo entre los vértices, puesto que se produce un vacío relativo, que sirve al mismo tiempo para aspirar el aire procedente de las baterías de ozonizadores, de manera que este aparato juega el doble papel de mezclador y de aspirador. Sometido el aire ozonado a una presión de 2 a 3 kilogramos, el autor ha obtenido rendimientos notables. En las grandes instalaciones de M. Otto para abastecimiento de poblaciones, se combinan los emulsores y las columnas de Gay-Lussac, con cuya disposición se obtienen resultados muy satisfactorios.

Desde que Schönbein, en 1840, descubrió el ozono, en su laboratorio, al efectuar la electrólisis del agua, se estudió la manera de obtener este gas en grandes cantidades, siendo W. Siemens quien lo consiguió por primera vez con un aparato que posteriormente ha sido perfeccionado y en que se fundamentan los múltiples que hoy tienen aplicación práctica, es decir, que se derivan de aquel doble tubo Siemens, cuya base es la acción sobre el aire

de los effluvis eléctricos, es decir, de las descargas oscuras (azul-violeta) obtenidas entre dos electrodos de potencial diferente y alternativo, y separados por una o dos placas aisladoras o dieléctricas; a cada inversión de la corriente, los effluvis obran sobre el aire para disociar las moléculas estables de oxígeno O_2 y combinar una cierta proporción de átomos, formando el cuerpo inestable ozono O^3 .

Interesante es el estudio de los productores de ozono contruidos y aplicados hasta hoy, por lo ingeniosos y prácticos; no siendo aquí posible su descripción, sólo enumeraré los principales, que son: el llamado sobresaturador de ozono, de Gastón Segay (1885), los más perfeccionados y prácticos de Marmier y Abraham (1898); el de Siemens y Halske (1899) y los modelos de M. Otto con enfriamiento de aire y de agua, los rotativos enteramente metálicos y los rotativos con dieléctricos planos y cilíndricos, de rendimientos variables, pero cada uno de ellos con condiciones aplicables a los distintos casos de concentración de ozono necesaria para la esterilización de aguas de contaminación distinta, en grandes o pequeñas estaciones depuradoras.

No siendo posible presentar aquí los cuadros de los análisis bacteriológicos de las aguas esterilizadas por medio de los aparatos más perfeccionados, que considero que son los de Marmier y Abraham y los de Otto, para formarse idea de la eficacia del procedimiento de esterilización de agua por medio del ozono, será suficiente copiar las conclusiones de la Comisión nombrada por el Comité consultivo de Higiene pública de Francia, según Decreto ministerial de 17 de enero de 1905, para informar acerca de la eficacia de la estación esterilizadora sistema Otto, de Bon Voyage, para el abastecimiento de la ciudad de Niza, que dicen:

1.^a El grado de concentración del ozono que se obtiene con los aparatos ozonizadores y la duración del contacto del aire ozonado con el agua en los emulsores, son suficientes para obtener una buena esterilización.

2.^a La acción del ozono, desde el punto de vista químico, se traduce en una reducción notable de materias orgánicas, y, por consiguiente, de los diversos productos de la vida microbiana.

3.^a Con el sistema empleado en la fábrica de Bon Voyage se pueden obtener actualmente 100 metros cúbicos de agua esterilizada por hora.

4.^a El agua de Santa Tecla, cargada de B. Coli, no ha producido, después de la esterilización por el ozono, ninguna colonia de ningún microbio parecido a él. Este microbio, considerado hoy como patógeno, es el más resistente entre todos los patógenos no esporulados conocidos. Sometiendo a pruebas una agua cargada de B. Coli, como la de Santa Tecla, nos hemos colocado en las mejores condiciones para apreciar el valor higiénico del procedimiento de esterilización de agua por medio de los aparatos Otto.

La misma Comisión reasume su informe diciendo:

«El procedimiento de esterilización de agua por medio del ozono con los aparatos Otto, en la aplicación práctica que se ha hecho en una fracción importante de la fábrica de Bon Voyage, da, en las condiciones indicadas en nuestro informe, un resultado muy satisfactorio.

En consecuencia, proponemos al Comité consultivo de Higiene pública de Francia que emita un informe definitivo favorable a la aplicación de este procedimiento a las aguas de alimentación de la ciudad de Niza.»

Rayos ultra-violeta. —La clasificación entre los procedimientos físico-químicos de esterilización de agua, del que aplica los rayos ultra-violeta del espectro para conseguirla, no es justa, desde el momento que el elemento germinicida no es ninguno de

los compuestos químicos como el ozono o el agua oxigenada que algunos han querido suponer, sino por la acción directa, por el poder que M. Maurice Lombard llama *abiótico*, de difícil interpretación e hipotético a la vez.

No pudiendo extenderme en el estudio de este procedimiento moderno de aseptización del agua, lo trataré de un modo esquemático, presentando las conclusiones relativas a su eficacia, deducidas de las investigaciones y análisis.

Los rayos de corta longitud de onda del espectro invisible, es decir, desde donde desaparece el espectro visible violado, han sido clasificados por Lyman y Schumann en

Rayos ultra-violeta ordinarios...	de $\lambda = 3920 \text{ A}$ a 3000 A (1)
— — — medios....	de $\lambda = 3000 \text{ A}$ a 2225 A
— — — extremos...	de $\lambda = 2225 \text{ A}$ a 1000 A

(Continuará.)

CONSERVACION DE CARRETERAS

REAL ORDEN

«S. M. el Rey (q. D. g.), ha tenido a bien disponer que los ingenieros-jefes de Caminos, Canales y Puertos, D. José Rodríguez Spiteri, D. José María Sáinz Ramírez, D. Félix Ramírez Dorreste, D. Francisco de Albacete y Gil y D. José Cabestany y Alegret, afectos, respectivamente, a las provincias de Málaga, Palencia, Sevilla, Madrid y Tarragona, se constituyan en Comisión bajo la presidencia del primero y actuando el último como secretario para formular una ponencia sobre cada uno de los siguientes temas:

I. Número y tipo de máquinas que debe constituir cada uno de los diversos tipos de trenes para reparación del firme de las carreteras; características más convenientes para cada una de las máquinas; condiciones más oportunas para el empleo de cada clase de tren y como consecuencia, clase y número de ellos que correspondería a cada Jefatura para una buena organización del servicio.

II. Conveniencia del establecimiento de talleres en cada Jefatura para pequeñas reparaciones de sus máquinas, y, como consecuencia, máquinas de que debe componerse cada taller, bien fijando un solo tipo para todas las Jefaturas o diversos tipos, expresando aquellas a que debe aplicarse cada tipo, y en todo caso, las características más convenientes para cada máquina.

III. Orden de prelación para adquisición de máquinas, expresando éstas y las Jefaturas a que cada una deba asignarse.

IV. Número máximo de cada clase y tipo de máquinas que debe asignarse a la industria nacional de las que ésta fabrica para suministrar dentro del presente ejercicio económico, teniendo en cuenta la capacidad de las escasas fábricas que las producen, a fin de poder encomendar sin dilaciones el resto del pedido a la fabricación extranjera, sin el menor perjuicio para la industria nacional.

V. Conveniencia de la adquisición de máquinas por concurso en grandes o pequeños grupos o por concesión de créditos a cada Jefatura para su adquisición por gestión directa de las que se les concedan para mayor rapidez en aquélla.

VI. Tipos más aceptables para cocheros y talleres de reparaciones pequeñas si éstos se estiman convenientes.

VII. Reglamento para organización del personal facultativo y obrero para el servicio de maquinaria a fin de evitar injustificados deterioros en tan costoso material y que no resulte sin la debida aplicación el capital gastado en su adquisición por no atender a la inmediata reparación de sus desperfectos para que estén siempre en disposición de prestar servicio.

VIII. Instrucción para los servicios de conservación de carreteras y reparación de su firme, teniendo en cuenta los casos de necesidad de fundaciones para el firme y clases más convenientes de éstas y la oportuna reglamentación al principio de cada año económico de las fechas en que cada contratista ha de utilizar la maquinaria dentro del mismo a fin de evitar retrasos en la terminación de las contratas, por pretender éstas la utilización de aquéllas al mismo tiempo. En esta ponencia se tendrá muy en cuenta las disposiciones de la ley de Contabilidad y estructura del Presupuesto del Estado para que sea viable la distribución que se proponga para ejecución de los servicios por contrata, concurso o administración.

IX. Formulario para la redacción de proyectos de acopios y empleo de piedra para reparación del firme, con inclusión de la parte referente a fundaciones para el firme a fin de su posible aplicación a los casos en que sea preciso.

X. Reglamentación del servicio para obtener una estadística de frecuentación de carreteras lo más aproximada posible, fijando el plazo en que ha de renovarse.

XI. Reglamentación de los museos de piedra para firme en cada Jefatura de Obras públicas, en los que además de las muestras figuren los croquis de su situación con relación a la kilometración de la carretera más próxima y los datos respecto a sus condiciones, fijando un orden de prelación para obtener los datos necesarios del Laboratorio de la Escuela de Ingenieros de Caminos.

XII. Conveniencia de adquirir el Estado canteras o yacimientos de piedra para el firme, condiciones que deben reunir para su adquisición y tramitación más conveniente para ello, teniendo en cuenta la legislación vigente.

XIII. Reglamentación para el servicio de peones capataces y peones camineros mientras subsistan a los fines que determinan el grupo h) del apartado B) de la disposición 7.ª de la ley de Presupuestos vigente; y

XIV. Nuevo reglamento de conservación y policía de carreteras, teniendo en cuenta la protección de los firmes, conforme a lo dispuesto en el grupo I) del apartado B) de la disposición 7.ª de la ley de Presupuestos vigente.

La Comisión se constituirá en la Jefatura de Obras públicas de Madrid, la que le facilitará el personal y material indispensable para el servicio de la misma, y podrá pedir a la Sección de carreteras de este Ministerio, a las Jefaturas de Obras públicas y a las fábricas nacionales, directamente o por conducto de dicha Sección, según estime más conveniente para la mayor rapidez del servicio, cuantos datos estime convenientes y unos y otros puedan facilitarles.

Si no se llegara a un acuerdo entre todos los individuos de la Comisión, podrán acompañarse a las ponencias los votos particulares que estimen necesarios; pero unos y otros deberán ser remitidos a la Dirección general de Obras públicas antes del 15 de junio de 1920 los referentes a los temas I, II, III, IV y V y antes del 31 de julio los referentes a los VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII y XIV.»

(1) λ = longitud de onda luminosa.
A = Angstrom = 0,0001 de μ .
 μ = micron = 0,000001 metros.

