

# EL ABASTECIMIENTO DE AGUAS DE WASHINGTON D. C. (ESTADOS UNIDOS)

Por JUAN LÁZARO URRÁ,  
Ingeniero de Caminos.

*Concluye en este artículo la interesante descripción del abastecimiento de aguas de Washington, iniciada en nuestro número anterior, y se trata especialmente de las importantes instalaciones de purificación del agua. Al final hace el autor muy atinadas consideraciones sobre la poca atención que se dedica a este tema en nuestro país, y recomienda a nuestros Ingenieros jóvenes que estudien por sí mismos estas instalaciones en las obras de abastecimiento de agua que dirijan.*

## II

### Estaciones de filtración.

#### INSTALACIÓN DE DALECARLIA.

La estación de purificación de Dalecarlia, aunque ya también antigua, puesto que se puso en servicio el año 1928, está siendo ampliada y completada con arreglo a la técnica moderna.

En el depósito de Dalecarlia, el agua del río está detenida durante un día en una sedimentación preliminar. De este depósito penetra, por gravedad, en la estación de depuración; pasa primero por una llave general de entrada, accionada a distancia, y que permite regular, de acuerdo con otra que existe a la salida del agua filtrada, el volumen que se trata de purificar cada día, según las necesidades del consumo; después de la citada llave existe un Venturi y a continuación se agrega el sulfato de aluminio y la primera aplicación del cloro, en dosis muy fuerte, para que permanezca durante todo el tratamiento. El agua pasa en seguida a dos depósitos de formación del coágulo, cubiertos, de 7,43 m.<sup>2</sup> y 5,50 m. de profundidad, con pantallas, para obtener un recorrido de vaivén, y sigue a dos grandes depósitos de sedimentación de 102 m. de largo por 46 m. de ancho y 3,65 a 5,20 m. de profundidad, que, por regla general, se limpian mediante arrastre del cieno por el agua una vez al mes (fig. 2.<sup>a</sup>) (1), y de éstos pasa ya el agua a los filtros.

La instalación, tal como se ha explicado, es la primitiva y ha sido completada y modificada; en primer lugar se ha visto que no es necesario el tanque de coagulación descrito, que ha quedado fuera de servicio y ha sido sustituido por dos tanques modernos de floculación por paletas y sedimentación en dos pisos; el agua penetra en el piso inferior (fig. 3.<sup>a</sup>), donde existen tres floculadores de paletas y que ocupan 38 × 32 m. de superficie; la cámara de sedimentación de la misma anchura de 38 m., tiene una longitud

total entre los dos pisos de 240 m. y una capacidad de 45 500 m.<sup>3</sup>.

Cuando el agua viene clara, se emplean solamente estos nuevos tanques, y cuando es más turbia, se ponen en paralelo con los antiguos y se hace una sedimentación nunca menor de cuatro horas. A la salida de la sedimentación, y antes de filtrar, se hace la segunda aplicación del cloro, no siempre necesaria.

Es preciso aplicar de un modo constante la coagulación para conseguir que sedimenten los légamos que lleva el río. El coagulante empleado en el sulfato de aluminio que se fabrica en la misma instalación, partiendo de bauxita y ácido sulfúrico. Existen para ello dos tanques de reacción y seis de dilución, con un revestimiento cerámico. La cantidad que se aplica varía con la turbiedad y con la composición química del agua.

Los filtros antiguos son en número de 20 y tienen 16 × 9,5 m. de superficie. Se calcularon para que filtrara cada uno 4 millones de galones en veinticuatro horas, o sea 15 120 m.<sup>3</sup>; lo que representa una velocidad de filtración de 99 m.<sup>3</sup>/m.<sup>2</sup> y día y una capacidad total de la instalación de 302 400 m.<sup>3</sup>. Generalmente no funcionan a tal velocidad; se han probado con éxito, a 6 millones de galones; es decir, a 149 m.<sup>3</sup>/m.<sup>2</sup> y día, y se ve, por consiguiente, que podría forzarse la capacidad de la instalación, a base, sin embargo, de limpiezas más frecuentes. Por el contrario, de ordinario trabajan incluso a menor velocidad que la que corresponde a los 4 millones de galones.

Los filtros antiguos son del tipo más frecuente en los Estados Unidos. El drenaje, formado de tubos de fundición con orificios, sin boquillas ni coladores, y sobre el drenaje la capa de grava de tamaño decreciente, y encima, la arena con un espesor de unos 55 centímetros.

En 7 de estos filtros se sustituyó desde hace unos diez años la arena por antrafit, es decir, por antracita preparada adecuadamente para los filtros. La antracita necesita una menor expansión del elemento filtrante en la limpieza, que es de un 30 % en la arena, y permite limpiar los filtros cada setenta y dos horas, en vez de hacerlo cada treinta y seis, como ocurre

(1) Véase el número anterior.

en los últimos. En estas condiciones no se alcanza, por lo general, la pérdida de carga de 75 cm. que se considera como límite.

La disposición del filtro es la normal; los drenes desaguan por el centro a un colector (fig. 4.<sup>a</sup>), por donde también se inyecta el agua de limpieza a contracorriente. El agua del lavado se recoge en las canaletas que desaguan en un colector situado a un lado del filtro (fig. 4.<sup>a</sup>). Hace algún tiempo se ha instalado en los filtros el lavado superficial mediante dispositivos de tubos que giran alrededor de ejes verticales por la reacción producida al salir horizontalmente el agua. El lavado superficial se aplica primero para romper la costra superior, y se emplea unos tres minutos; después se deja en reposo dos minutos y a continuación se abre el lavado a contracorriente otros tres minutos.

En la actualidad se está ampliando la estación, agregándola 6 nuevos filtros, que emplearán la antracita como material filtrante. En dos de éstos se conserva el mismo tipo de drenaje que en los antiguos, sin más diferencia que la de utilizar tubos de fibrocemento en vez de fundición; de los otros cuatro hay dos con drenaje de placas porosas y los otros dos de piezas de gres, que vamos a describir.

Es sabido que desde hace algunos años se utiliza en los Estados Unidos el drenaje a base de placas porosas, que aparecen en la figura 5.<sup>a</sup>. Estas placas se montan sobre una cámara inferior y tienen la ventaja de que sobre ellas se puede colocar la arena, suprimiendo la capa de grava. En la instalación que consideramos no han llegado a tanto, y conservan una capa de gravilla fina, prescindiendo de la gruesa.

Los otros dos filtros se han equipado con piezas de gres, que para este objeto construye la casa F.B. Leopold Co., de Pittsburg (fig. 6.<sup>a</sup>). Cada una de ellas tiene unos 50 cm. de longitud y se colocan una al lado de otra, sobre una solera de hormigón. Cada elemento tiene dos cámaras: la superior es cerrada por los lados, con agujeros gruesos que comunican con la inferior y orificios muy finos en la superior. La inferior, abierta por dos lados opuestos, se enchufa con el elemento de al lado y forma, en realidad, un tubo por el que se introduce el agua del lavado que llena la cámara superior y se reparte por los orificios de la superficie; permite, por tanto, como las placas porosas, suprimir la gravilla o, por lo menos, dejarla reducida a una capa pequeña de material fino.

Como es práctica corriente en América, cada filtro tiene un púlpito de maniobra (figs. 7.<sup>a</sup> y 8.<sup>a</sup>); en el mismo existen los siguientes elementos: cinco manivelas que mandan las llaves de entrada del agua coagulada, salida del agua filtrada, desagüe a la alcantarilla, agua de lavado a contracorriente y lavado superficial. Cada manivela tiene al lado un sector donde se aprecia la posición de la válvula correspondiente mediante una transmisión por cables; todas estas válvulas se maniobran con presión hidráulica.

En la parte superior existen los indicadores de pérdida de carga, graduado de 1 a 12 pies y de caudal filtrado, con escala en millones de galones por día, entre 0 y 6. La disposición de la galería de tubos entre las dos filas de filtros, es bien conocida en todas las instalaciones americanas.

A la salida del agua filtrada, cada filtro tiene un regulador de tipo Venturi, también normal, en casi todas las instalaciones americanas. Aquí lo tienen prácticamente fuera de servicio. Mediante el uso de la llave de entrada a la instalación y la salida del agua filtrada, mantienen el caudal que en cada momento necesitan, sin necesidad de actuar sobre los reguladores. Las indicadas llaves tienen, como se ha dicho, mando a distancia, y su uso simplifica notablemente la explotación.

Terminada la filtración, el agua puede recibir nueva cloración si el residual que queda es pequeño, o por el contrario, anhídrido sulfuroso que retenga el exceso de cloro por la propiedad de aquél, actuando como radical divalente de formar el cloruro de sulfuro.

También se puede agregar peróxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ), hoy muy empleado por su comportamiento como oxidante muy enérgico para la corrección de los sabores y olores.

Este problema de los sabores y olores no es demasiado grave en Washington; sin embargo, se toman todas las precauciones para evitar reclamaciones del público por esta causa. A este fin, se emplea en los depósitos primarios el sulfato de cobre cuando se comprueba que tienen algas y se añade el peróxido de cloro, como se ha dicho, después de la filtración. Se tiene en estudio también la aplicación de carbón activo.

El tratamiento se termina agregando hidrato cálcico para corregir el pH, que se mantiene alrededor de  $\text{pH} = 8$  para evitar corrosiones en las cañerías.

En la figura 3.<sup>a</sup> se representa un esquema que comprende desde la captación en el río Potomac hasta la elevación del agua filtrada a los distintos pisos de la distribución. En él se ve de un modo bien claro y gráfico las distintas fases del tratamiento y los varios productos que se agregan al agua para llegar a obtener un líquido de excelentes condiciones.

En la actualidad se estudia en Washington la aplicación de fluoruros al agua. Se ha probado que una cantidad escasa de flúor en el agua es causa de que no salgan los dientes a los niños en buenas condiciones y se les estropeen rápidamente; también parece que influye en la formación de caries dentales en los mayores.

Por esta razón, hace tiempo que se inició la discusión de si debía o no aplicarse una medicación colectiva como la que supone la aplicación de fluoruros al agua, y hasta se dijo que esto violaba la libertad a los ciudadanos americanos, que eran libres de medicarse o no. Sin embargo, algunas poblaciones ini-

ciaron la fluorización, y en Kingston-Newburgh se ha empleado ya durante diez años con éxito completo. Actualmente lo aplican cerca de 130 ciudades, con la aprobación de la American Water Works Association, la National Research Council y la American Medical Association, y están a punto de aplicarlo Wáshington, San Francisco, Cincinnati y Baltimore, no sin grandes discusiones en la prensa local.

Se suele aplicar el silicofluoruro de sodio, de tal modo que la dosis resultante sea de 1 p. p. m. de flúor,

*Datos de la explotación.* — Los datos que utilizamos son los que corresponden al período desde julio de 1949 a julio de 1950.

*Turbiedad.* — La turbiedad media durante ese período fué de 98 p. p. m. en el agua del río, reducida 69 p. p. m. en la primera sedimentación y a 2,3 después de coagulada. Los máximos diarios respectivos, 2 300, 800 y 9,5 p. p. m. Después de la filtración se obtuvo siempre la turbiedad cero.

*Composición mineral del agua.* — La composición media del agua del Potomac es la siguiente:

|                                           |                |
|-------------------------------------------|----------------|
| Residuo fijo .....                        | 126,0 p. p. m. |
| Pérdida al fuego .....                    | 22,0 »         |
| Sílice .....                              | 5,8 »          |
| Hierro (Fe) .....                         | 0,05 »         |
| Calcio (Ca) .....                         | 26,9 »         |
| Magnesio (Mg) .....                       | 4,8 »          |
| Cloruros (Cl) .....                       | 3,1 »          |
| Sulfatos (SO <sub>4</sub> ) .....         | 26,0 »         |
| Acido carbónico (HCO <sub>3</sub> ) ..... | 78,0 »         |

*Otros datos de la composición química.* — Alkalinidad, en p. p. m. de carbonato cálcico:

Media: agua cruda, 61; filtrada, 50; en la población, 62.  
Máximos: agua cruda, 109; filtrada, 93; en la población, 99.  
pH: valores medios, 7,8; filtrada, 6,9; en la población, 7,8.  
pH: valores máximos, 8,9; filtrada, 7,6; en la población, 8,6.

Dureza total, en p. p. m., de carbonato cálcico:

Valores medios: agua cruda, 86; filtrada, 85; en la población, 97.  
Valores máximos: agua cruda, 136; filtrada, 136; en la población, 144.

Dureza no debida a los carbonatos:

Valores medios: agua cruda, 23; filtrada, 35; en la población, 35.  
Valores máximos: agua cruda, 42; filtrada, 58; en la población, 63.

*Bacteriología.* — Conteo de colonias en agar a 37°, durante veinticuatro horas.

Valores medios:

Agua del río, 2 443.  
Agua cruda (entrada instalación), 1 105.  
Sedimentada, 37.  
Filtrada, 1.  
En la población, 1.

Valores máximos:

Agua del río, 22 000.  
Agua cruda (entrada instalación), 15 000.  
Sedimentada, 2 300.  
Filtrada, 43.  
En la población, 46.

Valores mínimos:

Agua del río, 70.  
Agua cruda (entrada instalación), 30.  
Sedimentada, 0.  
Filtrada, 0.  
En la población, 0.

*Bacterias coliformes por 100 cm.<sup>3</sup>.*

Valores medios:

Río Potomac, 3 917.  
Entrada instalación, 1 696.  
Sedimentada, 1,7.  
Filtrada, 0,060.  
En la población, 0,008.

Valores máximos:

Río Potomac, 6 737.  
Entrada instalación, 4 202.

*Por ciento de valores positivos en las muestras.*

|                                | 10 cm. <sup>3</sup> | 1 cm. <sup>3</sup> | 0,1 cm. <sup>3</sup> |
|--------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| Río Potomac .....              | 91                  | 84                 | 60                   |
| Entrada en la instalación..... | 99                  | 74                 | 44                   |
| Agua sedimentada .....         | 4                   | 1                  | —                    |
| Filtrada .....                 | 0,18                | —                  | —                    |
| En la población .....          | 0,07                | —                  | —                    |

*Productos químicos empleados y sus cantidades.*

Sulfato de aluminio (17 % de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>):

Consumo medio diario ..... 5 200 Kg.  
» máximo diario ..... 13 300 »  
Dosificación media ..... 20,3 p. p. m.  
» máxima ..... 47,0 »

Hidrato cálcico (Ca(OH)<sub>2</sub>):

Consumo medio diario ..... 2 180 Kg.  
» máximo diario ..... 6 000 »  
Dosificación media ..... 8,6 p. p. m.  
» máxima ..... 24,4 »

## Cloro:

|                                |               |
|--------------------------------|---------------|
| Consumo medio diario .....     | 770 Kg.       |
| » máximo diario .....          | 1 450 »       |
| » mínimo diario .....          | 280 »         |
| Dosificación media .....       | 2,96 p. p. m. |
| » máxima .....                 | 5,00 »        |
| » mínima .....                 | 1,34 »        |
| Residual a las 3 horas: Medio. | 0,43 »        |
| » » Máx...                     | 0,95 »        |
| » » Min...                     | 0,10 »        |

## Anhidrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>):

|                          |               |
|--------------------------|---------------|
| Dosificación media ..... | 0,33 p. p. m. |
| » máxima .....           | 1,00 »        |
| » mínima .....           | 0 »           |

## Datos de la filtración.

### Cantidad de agua filtrada al día:

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| Valor medio ..... | 260 000 m. <sup>3</sup> |
| » máximo .....    | 400 000 »               |

Tanto por ciento de agua empleada en el lavado de filtros:

|                   |        |
|-------------------|--------|
| Valor medio ..... | 2,50 % |
| » máximo .....    | 5,05 % |
| » mínimo .....    | 0      |

Este valor corresponde al mes de marzo de 1950, en que no hubo que limpiar ningún filtro.

El número de limpiezas al año en los filtros de arena fué de 3 085, mientras que en los de antracita fué solamente de 779.

La carrera de los filtros de arena, es decir, el número de horas que funcionaron entre dos limpiezas fué, en los filtros de arena, de treinta y cinco horas por término medio, con máximo de 96 y mínimo de 9. En los de antracita, setenta y siete horas, valor medio, con máximo de 153 y mínimo de 13.

*Coste del tratamiento químico.* — El coste de los productos químicos se fija como sigue, expresado en dólares por millón de galones:

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| Sulfato de aluminio ..... | 1,87 \$ |
| Cloro .....               | 0,80 »  |
| Peróxido de cloro .....   | 0,18 »  |
| Cal .....                 | 0,51 »  |
| Anhidrido sulfuroso ..... | 0,12 »  |
| Sulfato de cobre .....    | 0,01 »  |

*Total*..... 3,49 \$

Sobre la base del cambio a 39,50 pesetas por dólar, se tendría aproximadamente (las operaciones se han hecho con regla de cálculo):

|                           |                                   |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Sulfato de aluminio ..... | 19,50 ptas./1 000 m. <sup>3</sup> |
| Cloro .....               | 8,35 »                            |
| Peróxido de cloro .....   | 1,90 »                            |
| Cal .....                 | 5,30 »                            |
| Anhidrido sulfuroso ..... | 1,25 »                            |
| Sulfato de cobre .....    | 0,14 »                            |

*Total*..... 36,49 ptas./1 000 m.<sup>3</sup>

*Comentarios.* — Se ven las excelentes condiciones del agua natural en cuanto a composición química, que, como hemos dicho ya, hacen innecesaria la operación más cara y complicada, que es la corrección de la dureza.

Se nota, en cambio, la enorme contaminación que casi todo el año tiene el río, como corresponde a su gran recorrido y al clima cálido de su cuenca, lo que hace que se utilicen sus aguas para natación y otros deportes, pero al mismo tiempo se comprueba la perfecta eficacia de la instalación, que permite distribuir un agua prácticamente estéril.

El coste de productos químicos, por otra parte, no es muy elevado; claro es que, sobre la base de lo que cuestan éstos en aquel país, proporcionalmente mucho menos de lo que se paga en España.

*Instalación de filtración de McMillan.* — Esta instalación data del año 1905; está provista de filtros lentos de arena y se proyectó para filtrar 285 000 m.<sup>3</sup> por día. Está descrita en todos los libros de abastecimiento de aguas, un poco antiguos, porque en su época era una de las más importantes instalaciones mundiales (1). Recientemente se le han hecho varias mejoras, se ha utilizado el sulfato de aluminio para filtrar agua más clara y se ha conseguido aumentar su capacidad a 378 000 m.<sup>3</sup> diarios.

Consta de 29 filtros, cada uno de los cuales tiene de superficie un acre, es decir, 4 046 m.<sup>2</sup>, con solera en forma de bóveda invertida y cubiertos con una estructura de arcos y forjado. Al principio tenían un espesor de arena de 915 mm., colocada sobre 300 mm. de grava. Ahora se ha reducido a 700 mm. El drenaje es de tubos vidriados de cerámica.

La limpieza de los filtros lentos de tipo normal es casi prohibitiva en un país de mano de obra tan cara como es América del Norte. Por eso han empleado desde hace muchos años aparatos mecánicos que rascan y absorben la arena, la lavan y la conducen a unos depósitos de planta circular, de 7 m. de diámetro y 10 de altura, donde se almacena.

Para prolongar la carrera de los filtros y disminuir los gastos de limpieza, se alimenta con agua coagulada; el sulfato de aluminio se agrega en la conducción que une los depósitos de Dalecarlia y Georgetown, y durante el recorrido, de más de 3 Km., se produce la floculación y en el depósito la sedimentación; el agua llega a los filtros con turbiedad de 5 p. p. m.; es decir, completamente clara. Como en Dalecarlia, se agregan después al agua cloro, peróxido de cloro y cal, para ajustar el pH.

Los filtros de McMillan funcionan a razón de 4,1 millones de galones diarios por filtro, con máximo de 5,7 y mínimo de 2,4. Con la superficie de un acre,

(1) Por ejemplo, Sallovitz, *Ingeniería Sanitaria*. Buenos Aires, 1938.

ello equivale a una media de 3,83 m.<sup>3</sup>/m.<sup>2</sup>, con máximo de 5,32 y mínimo de 2,27.

Los resultados obtenidos en la filtración se resumen a continuación.

La turbiedad queda reducida a cero, lo mismo que en los filtros rápidos.

Los productos químicos empleados son en menor cantidad que en Dalecarlia. He aquí el coste de los mismos por millón de galones y en pesetas por 1 000 metros cúbicos:

|                        |                |                                         |
|------------------------|----------------|-----------------------------------------|
| Sulfato de aluminio... | 1,51 \$        | 15,75 ptas./1 000 m. <sup>3</sup>       |
| Cloro .....            | 0,41 »         | 4,28 »                                  |
| Peróxido de cloro..... | 0,04 »         | 0,42 »                                  |
| Cal .....              | 0,31 »         | 3,24 »                                  |
| Sulfato de cobre.....  | 0,03 »         | 0,32 »                                  |
| <i>Total.....</i>      | <i>2,30 \$</i> | <i>24,01 ptas./1 000 m.<sup>3</sup></i> |

*Bacteriología.* — Conteo de colonias en agar a 37°, durante veinticuatro horas.

Valores medios:

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| Salida del depósito de Georgetown.. | 214 |
| Entrada filtros .....               | 296 |
| En la población .....               | 2   |

Valores máximos:

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| Salida del depósito de Georgetown.. | 1 490 |
| Entrada filtros .....               | 4 500 |
| En la población .....               | 153   |

Valores mínimos:

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Salida del depósito de Georgetown.. | 0 |
| Entrada filtros .....               | 3 |
| En la población .....               | 0 |

*Bacterias coliformes en 100 cm.<sup>3</sup>.*

Valores medios:

|                                     |      |
|-------------------------------------|------|
| Salida del depósito de Georgetown.. | 271  |
| Entrada filtros .....               | 99   |
| En la población .....               | 0,12 |

Valores máximos:

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| Salida del depósito de Georgetown.. | 877 |
| Entrada filtros .....               | 327 |
| En la población .....               | 0,9 |

*Por ciento de valores positivos en las muestras.*

|                                 | 10 cm. <sup>3</sup> | 1 cm. <sup>3</sup> | 0,1 cm. <sup>3</sup> |
|---------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| Salida depósito Georgetown..... | 66                  | 39                 | 12                   |
| Entrada a los filtros.....      | 69                  | 28                 | —                    |
| En la población.....            | 0,2                 | —                  | —                    |

De la comparación entre los filtros de Dalecarlia y McMillan, aparte de los gastos de primer establecimiento que suponen construir y cubrir unos filtros de tan enorme superficie y de los de limpieza y acondicionamiento de la arena, se ve que los lentos son un poco más baratos en cuanto al gasto de productos químicos, pero más complicados de entretenimiento y mano de obra.

En cuanto a la calidad del agua filtrada, es casi la misma en las dos instalaciones, con ligera ventaja de Dalecarlia. Es interesante hacer notar que el agua se estropea un poco en el recorrido por el túnel bajo la población, ya que los resultados a la entrada de los filtros son peores que a la salida del depósito de Georgetown.

Son de notar las simplificaciones que se han introducido en la explotación. Ya se ha indicado que en Dalecarlia se han suprimido prácticamente los reguladores de los filtros y se sustituyen por el manejo eléctrico de las compuertas de entrada y salida de los mismos. Esto no puede hacerse más que teniendo un accionamiento eléctrico de ambas compuertas, con comprobaciones precisas para evitar que, por una maniobra indebida, los filtros desborden o se queden sin agua; pero indudablemente es una solución muy práctica; la instalación es así muy elástica y filtra en cada momento el agua que se necesita. Claro es que necesita una vigilancia constante, que allí existe; pero nada impediría disponer la apertura y cierre de las compuertas mediante dispositivos automáticos accionados por los contadores.

Se ha visto también que los floculadores modernos han simplificado la sección de coagulación.

En cuanto a la aplicación del cloro, han decidido echarlo en exceso para asegurar la esterilización, aunque luego haya que fijar el sobrante por el anhídrido sulfuroso.

Vamos a hacer algunas consideraciones sobre los análisis bacteriológicos, la forma en que los realizan en Dalecarlia, y al mismo tiempo a cumplir lo prometido a los lectores (1), de explicarles lo que se entiende por número más probable de bacterias coliformes en el agua.

Es sabido que los ingleses, y también antes los americanos, no sólo trataban de buscar el bacilo coli en las aguas, sino que procuraban separar las razas de tipo fecal de aquellas otras que se estima pueden tener otro origen; no convencidos de esto último, los americanos, y por otro lado comprobada la mejora sanitaria en las poblaciones que beben un agua bien desinfectada, han decidido considerar como peligrosa toda agua que presente indicios de bacterias coliformes; es decir, de la forma o familia del coli, sea cual-

(1) REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, núm. 2819, de 1950.

quiera, fecal o no, la raza, ya que todas ellas pueden aparecer en las heces y, por tanto, todas son potencialmente peligrosas. El laborioso procedimiento de la técnica inglesa de sembrar en el medio de enriquecimiento, pasar luego a las placas de Levine y de allí a los medios diferenciales, ha quedado simplificado con la siembra en el caldo lactosado (medio de enriquecimiento), dando como positivos los tubos que presenten fermentación, lo que se confirma luego en el medio de Endo o de bilis lactosa con verde brillante.

Los bacteriólogos de Dalecarlia hacen lo primero, de acuerdo con lo dispuesto en la última edición de los *Standards* (1), pero la confirmación la realizan en el agua filtrada sembrando los tubos de caldo lactosado en tubos con medio de Levin, formado, como es sabido, de agar con eosina y azul de metileno, que se dan como positivos cuando hay producción de gas, sin necesidad de mayor confirmación. Los resultados concuerdan con los de los *Standards* y estiman que este ensayo es más sencillo.

El agua, antes de la filtración, se limitan a sembrarla en un medio formado con Erizrosina Eosina y azul de metileno en cantidades de 10, 1, 0,1 y 0,01 centímetros cúbicos, y sin otra confirmación dan por positivos los tubos en que haya desprendimiento de gases.

La determinación del número más probable de gérmenes coliformes o del grupo coli en un agua, se basa en lo siguiente:

Consideremos un índice  $\lambda$  que equivale a la concentración media de gérmenes por unidad de volumen de agua; es decir, que si  $V$  es el volumen total del agua y  $N$  el número de gérmenes, se tiene por definición:

$$\lambda = \frac{N}{V},$$

Los ensayos permiten determinar si una muestra de volumen pequeño,  $v$ , tiene o no gérmenes (resultado positivo o negativo), pero en el primer caso no dan ninguna indicación acerca de los gérmenes contenidos. De aquí la necesidad de aplicar el cálculo de probabilidades a la determinación de  $\lambda$ .

La probabilidad de obtener un resultado negativo ensayando un volumen,  $v$ , de agua, cuyo índice de contaminación es  $\lambda$ , se determina inmediatamente. Si en el volumen total hubiera un solo germen, la probabilidad de incluirlo en el volumen,  $v$ , ensayado y obtener, por tanto, un resultado positivo sería  $\frac{v}{V}$ ,

y la de no incluirlo,  $1 - \frac{v}{V}$ ,

Puesto que existen  $N = \lambda V$  gérmenes, la probabilidad de no incluir ninguno sería (resultado negativo):

$$\left(1 - \frac{v}{V}\right)^N = \left(1 - \frac{v}{V}\right)^{\lambda V}.$$

Como  $\frac{v}{V}$  tiende a cero, cuando consideramos un volumen muy grande (el de un embalse o depósito) se tiene:

$$\lim_{\frac{v}{V} \rightarrow 0} \left(1 - \frac{v}{V}\right)^{\lambda V} = \lim_{\frac{v}{V} \rightarrow 0} \left[\left(1 - \frac{v}{V}\right)^{\frac{V}{v}}\right]^{\lambda v} = e^{-\lambda v}$$

como probabilidad de obtener un resultado negativo y la de obtener un resultado positivo es su complementaria  $1 - e^{-\lambda v}$ .

La probabilidad de obtener resultados siempre negativos en una serie de  $n$  ensayos, es la compuesta; es decir,  $e^{-\lambda n v}$  y la de obtenerlos positivos es una serie de  $p$  ensayos  $(1 - e^{-\lambda v})^p$ .

Siguiendo estas consideraciones se llega a una fórmula:

$$P_{\lambda} = \frac{1}{a} (1 - e^{-\lambda v_1})^{p_1} \times e^{-\lambda v_1 n_1} \times \dots$$

en que se tienen en cuenta los resultados positivos o negativos en varias porciones de una muestra de agua.

El valor máximo de la indicada función da el valor de  $\lambda$  más probable.

Como no es cómodo hacer aplicación de esta fórmula a cada momento, existen calculados en los *Standards* y en otros libros los valores más probables según los resultados positivos o negativos obtenidos en las aportaciones que se consideren.

La descripción de instalaciones como las que nos ocupan y en las que se aplican al agua todos los tratamientos precisos, nos hace reflexionar sobre la situación de nuestros abastecimientos de aguas. Estaciones tan completas como las citadas y algunas mucho más complicadas, existen en todas las ciudades de los Estados Unidos; aun en aquellas que utilizan aguas de manantiales o de pozos profundos, existen siempre, por lo menos, los aparatos de cloración, aunque no se usen durante todo el año, si no es necesario.

No puede menos de ser así en un país en que el fraude alimenticio se castiga casi tanto como el homicidio. Alimento tan esencial como el agua debe ser cuidado con la máxima atención, ya que, como es sabido, la contaminación del abastecimiento puede producir epidemias terribles que se difundan por todo el área de la población en muy pocos días; pero sin llegar a producir trastornos tan graves, ocasiona fá-

(1) "Standards Methods for the examination of waters and sewage". American Public Health Association, 1946.

cilmente un estado endémico, al cual nos hemos acostumbrado en España, sin decidírnos a tomar en serio la purificación de las aguas; en tal o cual población hay frecuentemente casos de tifoidea y nos limitamos a lamentarlo. Se consideran como cosa natural e inevitable los trastornos que frecuentemente se experimentan cuando se cambia de residencia; es el cambio de aguas, decimos. Miramos siempre instintivamente con prevención un vaso de agua, suponiendo, fundamentalmente, que hay gran número de probabilidades de que nos haga daño, con lo cual nos privamos frecuentemente del placer de beber agua fresca, que, además, es un elemento tan necesario para la vida; otras veces, resolvemos el problema de la purificación de las aguas por el expedito procedimiento de afirmar que como el agua de que disponemos es inmejorable, no hace falta hacer nada, digan lo que quieran las estadísticas sanitarias.

Pues bien: si el agua se cuida no debe producir trastorno ninguno, aunque se traslade uno de una población a otra; se debe poder tomar sin peligro en cualquier establecimiento, en el teatro, en la oficina, en el parque, en el vagón de ferrocarril, fría o caliente, antes o después de las comidas. De hecho, así ocurre en Norteamérica, donde, desde luego, no se admite que pueda darse al consumo un agua superficial sin tratamiento, y donde las aguas subterráneas se miran también con prevención; han desaparecido casi en absoluto las enfermedades hídricas, y si aparece al-

gún caso, se relaciona en seguida con alguna perturbación o avería inevitable en la estación de depuración.

Finalmente, debemos hacer una advertencia a nuestros Ingenieros jóvenes. La purificación de aguas potables está casi sin empezar en España. Sin embargo, se han hecho algunas instalaciones de ellas, poquísimas, por Ingenieros de Caminos. Los técnicos que están al frente de los abastecimientos de aguas se limitan, a lo sumo, a comprar los aparatos a casas que, por lo general, solamente cuentan con una organización comercial, sin técnicos verdaderamente especialistas; si algún Ingeniero tienen, desde luego no es de Caminos. Como resultado de todo ello, la especialidad hidráulica, explícitamente indicada en nuestro título, acabará pasando a otras ramas de la Ingeniería, como han pasado los asuntos eléctricos. No acabamos de comprender cómo nuestros compañeros han de dirigir personalmente el proyecto y la construcción de un puente o de una estructura de hormigón armado, o del canal, el depósito y la presa de un abastecimiento de aguas, y cuando se llega a la depuración se han de abandonar en manos de los que, en el caso más favorable, sólo buscan obtener un legítimo beneficio industrial, importándoles poco la duración, eficacia y economía de la instalación. Esperamos que esto no siga así y que en el porvenir se construyan muchas instalaciones de purificación de agua por nuestros Ingenieros jóvenes.