

II. PROCESOS DE TRATAMIENTO NORMALMENTE APLICABLES AL DE AGUAS DE EMBALSE PARA DEDICARLAS AL ABASTECIMIENTO DE POBLACIONES

AEREACION, ESTERILIZACION Y CORRECCION DE OLORES Y SABORES

Por JUAN M. COMPTE GUINOVART
y ALBERTO VILALTA GONZALEZ
Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Con este último artículo se completa el interesante trabajo de los autores sobre el importante tema epigrafiado, que hemos venido publicando en nuestros números 2966, 2970, 2971, y que, reunido en separatas, ha de constituir un resumen muy valioso y puesto al día de las distintas técnicas empleadas para la correcta utilización de las aguas de embalse en el abastecimiento de poblaciones.

2.12. Aereación.

Cuando un agua, a una temperatura dada, está en contacto con un gas a cierta presión, parte de dicho gas atraviesa la superficie de contacto líquido-gas y se disuelve en el agua. El movimiento es reversible, dependiendo de la temperatura y de la presión. La cantidad de gas en solución en el agua a cero grados centígrados y a la presión atmosférica, es lo que se llama solubilidad del gas en el agua. La solubilidad es inversamente proporcional a la temperatura y directamente proporcional a la presión.

La velocidad de penetración del gas a través de la superficie líquido-gas en un tiempo t , depende principalmente de cuatro factores:

C = concentración del gas en el líquido al cabo del tiempo t .

C_e = concentración del gas en el líquido en equilibrio.

A = área de la superficie de contacto.

K_i = coeficiente de intercambio.

Estos factores están ligados por la ecuación:

$$\frac{dC}{dt} = K_i A (C_e - C);$$

que, integrada, resulta:

$$\frac{C_e - C_t}{C_e - C_0} = 1 - K_i A t.$$

El término aereación se usa para describir el proceso por el que el aire entre en íntima mezcla con el agua para intercambiar productos volátiles o gaseosos entre las dos fases gaseosa y líquida. Dicho proceso se efectúa normalmente, en la Naturaleza, en la absorción por el agua del oxígeno atmos-

férico, en las fermentaciones aerobias, en la respiración de microorganismos, en oxidaciones químicas y en la eliminación de productos volátiles disueltos en el agua. En la técnica de tratamiento de aguas para abastecimiento, la aereación tiene por objeto provocar o acelerar alguno de los procesos antes citados para obtener una mejor calidad del agua y, especialmente, para introducir oxígeno y eliminar anhídrico carbónico, sulfhídrico, metano y gases de origen orgánico que producen malos olores y sabores.

Normalmente, a 20° C. y presión atmosférica, el agua en equilibrio con el aire contiene 9,2 p.p.m. de O_2 y 0,2 y 0,5 p.p.m. de CO_2 .

Para acelerar el proceso de aereación se tienen en cuenta, según la teoría general anterior, que la velocidad de penetración del oxígeno en el agua es directamente proporcional a la concentración de dicho oxígeno en el agua en equilibrio y al área a través de la cual tiene lugar la difusión. A su vez, dicha concentración de equilibrio es proporcional a la presión parcial del oxígeno en contacto con el agua. Por tanto, si añadimos oxígeno a presión o si aumentamos la superficie de contacto entre el agua y el aire, obtendremos una aceleración del proceso de aereación.

Los sistemas que se utilizan para activar el proceso de aereación podrán dividirse, pues, en dos grupos:

A) Los aereadores que aumentan la superficie de contacto, como son las cascadas, los lechos filtrantes de coque, arena, etc., y los pulverizadores, bien sea de agua o de aire.

B) Los aereadores que inyectan aire a presión, como son los difusores de aire a presión, sea en un depósito, sea en un venturi.

En el caso de que apliquemos el vacío a una agua por efecto de la reversibilidad del fenómeno, podemos lograr la degasificación de dicha agua eliminando los gases disueltos. Dicho proceso no es normal en abastecimiento de agua, aunque ha sido

usado en Dinamarca para la eliminación del meta-no en un abastecimiento en que la aereación hubie-ra provocado procesos biológicos en la conducción. Este mismo proceso de degasificación al vacío es el que puede tener lugar en las capas intermedias de filtros muy colmatados.

Es posible hacer un cálculo teórico de la altura de la unidad de intercambio (H. T. U.) para cada tipo de aereación y deducir las características de los aereadores. Sin embargo, en la práctica actúan factores modificativos que no pueden incluirse en el cálculo.

Entre los aereadores del grupo A señalaremos varios tipos.

Los pulverizadores de aire actúan por difusión de burbujas de aire a través de un depósito donde fluye el agua. Cuanto menores sean las burbujas mayores serán las superficies de contacto, mejor la aereación y menor la profundidad de agua en el depósito. Sin embargo, burbujas pequeñas, de 0,06 cm. de diámetro, por ejemplo, obligan a pérdidas de presión grandes en el elemento de distribución, que puede colmatarse rápidamente por precipitación de sustancias contenidas en el agua. Por ello, aun obteniendo una difusión menor, se utilizan comúnmente diámetro de las burbujas del orden de 0,2 centímetros y profundidades de unos 2 m. de agua. El sistema es muy eficaz, tanto para la incorporación del oxígeno como para la eliminación de CO_2 . La cantidad de aire necesaria es muy grande y el consumo de energía del orden de cinco veces mayor que el necesario para pulverización del agua.

La pulverización de agua tiene por objeto el aumento de la superficie de contacto por la formación de diminutas gotas de agua que son lanzadas al aire a cierta altura por pulverizadores o, si funcionan con contracorriente de aire, lanzadas en el interior de una torre. Para su cálculo teórico, sería necesario conocer la relación área-volumen, la velocidad de la gota y el coeficiente de intercambio. Parece que dicho coeficiente es una vez y media mayor que en el caso de burbujas de aire del mismo diámetro. La pulverización se hace por medio de boquillas y, según sean las boquillas, se obtienen distintas pulverizaciones del agua. Se pueden alcanzar contenidos de 9 p.p.m. de O_2 y 70 por 100 de reducción de CO_2 . La presión suele variar de 5 a 10 m. de columna de agua, aunque pueda ser mayor, obteniéndose una mejor aereación cuanto mayor sea la altura alcanzada por las gotas.

El estudio teórico de la aereación por cascada es mucho más complicado que en los casos anteriores, aunque puede ser asimilado a ellos. Los resultados teóricos indican una efectividad menor con relación a los otros sistemas para alturas de cascadas económicas. La aereación por cascada participa, en cierto modo, de los dos sistemas de aereación

descritos anteriormente, y en la práctica se han encontrado rendimientos tan buenos como en el caso de pulverización de agua en cuanto al poder de aumento de O_2 , aunque inferiores en cuanto al poder de reducción de CO_2 . Una cascada para aereación debe constar de varios saltos, con altura de agua en los vertederos pequeña, y caída del agua en una zona de más profundidad, para obtener una buena mezcla de agua y aire por turbulencia. Normalmente tienen disposiciones circulares concéntricas.

La aereación por torres con capas de materiales granulares (coque, arena virutas de madera, de hierro, etc.), se efectúa distribuyendo el agua por la parte superior y descendiendo ésta a través de las múltiples capas, existiendo a veces aire en contracorriente. El coeficiente de intercambio es, en este método, muy alto debido a que el agua adquiere una superficie grande en forma de película finísima sobre los materiales de las capas que atraviesa. Dicho método es el más eficaz para la eliminación del CO_2 . Sin embargo, tiene algunas desventajas, como la variación del contenido de CO_2 , según las épocas del año, la colmatación por depósito de materias contenidas en el agua, gastos de limpieza con gran caudal de agua, etc. Hoy día se ha mecanizado y simplificado en gran manera la limpieza de las bandejas de coque, llegando a instalaciones económicas. Los diámetros de las torres son de 1,5 m., aproximadamente, y las velocidades de paso de agua de 50 m./h. e incluso mayores.

Entre los sistemas de aereación utilizando la inyección del aire a presión es de notar el que utiliza el estrechamiento y consiguiente turbulencia de un venturi para la inyección del aire, consiguiendo una especie de emulsión. Cuanto mayor sea la velocidad (6 a 12 m./seg.) mejor será el contacto de aire y agua. Tienen la ventaja de poder regular la intensidad de la aereación y evitar la humedad de la atmósfera. Sin embargo, el consumo de energía es mayor que con el sistema de pulverización de agua y la acción sobre el contenido de CO_2 es prácticamente nula.

Existe, finalmente, un sistema consistente en agitar el agua en un depósito por medio de palas rotativas sumergidas bajo el nivel del agua. Parece que se obtienen rendimientos análogos a los de pulverización del agua. La velocidad que parece más favorable es de unas 150 r.p.m. y la profundidad de inmersión de las palas unos 10 cm. bajo la superficie.

La aereación en el tratamiento de agua potable se utiliza por tres razones distintas: 1) aumento del contenido de O_2 ; 2) liberación de productos volátiles disueltos en el agua; 3) activación de la oxidación química de productos disueltos.

Al primer grupo corresponde la oxidación del agua pobre en O_2 .

Al segundo grupo corresponden principalmente:

Eliminación de CO_2 .

Eliminación del tricloruro de nitrógeno y amoníaco.

Declaración.

Eliminación de SH_2 .

Eliminación de CH_4 .

Al tercer grupo corresponden:

Desferrización y desmanganización.

Oxidación de la materia orgánica.

El alto contenido de oxígeno en el agua potable es necesario para evitar el desarrollo de procesos anaerobios y para hacerla agradable al paladar.

Los procesos correspondientes al grupo segundo se basan en la disminución de la presión parcial del gas disuelto por aumento de la presión parcial del oxígeno, disminuyendo la solubilidad del gas disuelto y liberándose éste. Como se deduce de la fórmula general, la efectividad depende de la naturaleza del gas, de la superficie de contacto y del tiempo de contacto.

La eliminación del CO_2 agresivo del agua es precisa para evitar corrosiones. No hay dificultades en eliminar dicho CO_2 con tal que se encuentre en forma molecular, ya que en forma de carbonato y bicarbonato siempre se encuentra en el agua CO_2 libre y combinado, pero se equilibran y no producen efecto alguno de corrosión. Puede llegarse, con una buena aereación, hasta una reducción del 75 por 100 del CO_2 contenido en un agua.

El tricloruro es un producto formado por la reacción del cloro con algunas materias orgánicas, especialmente algas. Su eliminación es necesaria porque comunica malos sabores al agua. También el amoníaco debe ser eliminado. El coeficiente de intercambio del amoníaco es del orden de 0,03, muy pequeño comparado con el del oxígeno y necesita tiempos largos para su completa eliminación. El sistema óptimo para la eliminación del amoníaco parece ser el de las torres de materiales filtrantes con aire a contracorriente.

Se puede utilizar la aereación también como sistema para declaración de una agua clorada en exceso.

En cuanto al SH_2 , confiere al agua propiedades corrosivas y mal sabor y puede llegar a ser venenoso. Su coeficiente de intercambio está comprendido entre 0,5 y 1,00, y puesto que no es muy soluble en el agua es fácil de eliminar siempre que se encuentre en forma molecular. Cuanto mayor es el valor del pH menor la cantidad de SH_2 en forma molecular y más difícil su eliminación.

La eliminación del metano se presenta en aguas de terrenos petrolíferos o aguas ferruginosas. Tiene una solubilidad similar a la del O_2 , es inerte en agua y su coeficiente de intercambio es también igual al de O_2 . En el caso de que el agua contenga hierro, la aereación produce dificultades como consecuencia de procesos bacterianos activados por la

oxidación parcial del metano, siendo entonces conveniente la eliminación al vacío.

La desferrización y desmanganización es una técnica que merece capítulo aparte y en la que no entraremos en esta nota. Por medio de la aereación se consigue la eliminación del hierro y manganeso, ya que, normalmente, el hierro, en forma de bicarbonato ferroso, reacciona con el oxígeno del agua dando hidróxido férrico y CO_2 . El hidróxido férrico puede ser generalmente retenido por un filtro pero, en ocasiones, se presenta en forma coloidal y es necesaria la floculación y sedimentación para su eliminación. El proceso a utilizar para la eliminación del hierro depende de la naturaleza del agua, ya que existen muchas sustancias interferentes. Se considera que son necesarias 0,14 p.p.m. de O_2 disuelto para la eliminación de 1 p.p.m. de hierro o manganeso. Para valores bajos del pH las reacciones son más lentas. El manganeso es más difícilmente eliminado del agua que el hierro en igualdad de condiciones, y si la cantidad de Mn presente es grande, es necesaria algunas veces doble filtración. Para la aereación puede utilizarse cualquier sistema, menos el de las torres de coque que se colmatan rápidamente si el agua lleva muchas materias en suspensión.

La aereación juega, finalmente, un cierto papel en la oxidación de la materia orgánica contenida en el agua. Dicha oxidación es, con todo, muy débil a no ser que se produzca en óptimas condiciones de pH.

2.13. Esterilización.

Siempre que el agua contenga gérmenes patógenos o pueda existir la posibilidad de que los adquiera, es necesario efectuar una esterilización de la misma.

Las condiciones que debe reunir un buen método de esterilización, son las siguientes:

1. Eliminación de gérmenes patógenos.
2. Inocuidad, con las características de empleo para la salud pública.
3. No producir olores, sabores ni colores desagradables.
4. Posibilidad de permanencia del efecto esterilizante para actuar sobre los gérmenes que puedan incorporarse al agua después de la esterilización.
5. Facilidad de acomodación a las características variables del agua.
6. Economía de primer establecimiento y economía de explotación.
7. Facilidad de utilización y explotación.

Las dos primeras condiciones son absolutamente indispensables y las restantes se cumplen en mayor o menor grado por los distintos métodos en uso, dando lugar a la selección del método según las

que en cada caso se consideren de mayor importancia. Los métodos utilizados son:

- Esterilización por cloro o y sus derivados.
- Esterilización por ozono.
- Esterilización por exceso de cal.
- Esterilización por rayos ultravioleta.
- Esterilización por permanganato potásico.
- Esterilización por iones metálicos.
- Esterilización por yodo o bromo.
- Esterilización por vibraciones ultrasónicas.

En esencia, todos los métodos deben su poder bactericida a su mayor o menor acción oxidante sobre la materia orgánica y a la acción de radiaciones difundidas a través de la masa de agua. La esterilización por exceso de cal se utiliza en algunas instalaciones de ablandamiento. De los restantes métodos solamente son aplicables prácticamente, en la actualidad, en grandes instalaciones, la esterilización por cloro o y sus derivados y la esterilización por ozono. A estos métodos limitaremos la presente nota.

2.14. Esterilización por cloro.

El cloro, en cualquiera de sus formas y en la práctica de varios decenios de utilización, se ha manifestado excelente para la eliminación de gérmenes patógenos, con la consiguiente supresión de las llamadas enfermedades hídricas y no se ha apreciado efecto alguno nocivo para la salud pública con las dosis empleadas.

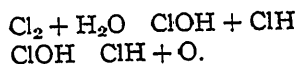
Puede utilizarse su efecto esterilizante en forma de cloro gaseoso o de múltiples derivados del cloro. Las formas más comúnmente usadas en grandes instalaciones son:

- Esterilización por cloro gaseoso.
- Esterilización por cloraminas.
- Esterilización por bióxido de cloro.

Normalmente la aplicación del esterilizante se lleva a cabo en el agua filtrada. Sin embargo, si se quiere luchar contra la materia orgánica del agua es corriente efectuar una precloración. Con cualquiera de los métodos de esterilización por cloro y derivados pueden presentarse problemas de sabores y olores, ya que no logran siempre eliminar toda la materia orgánica del agua.

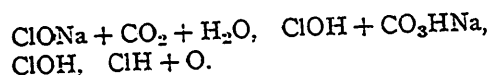
2.15. Esterilización por cloro gaseoso.

La reacción química que tiene lugar con la aplicación del cloro gaseoso al agua, es la siguiente:



La reacción es reversible y depende del pH. En medio ácido parece que actúa el cloro libre y en medio básico el ácido hipocloroso (ClOH).

La formación de oxígeno a partir del ácido hipocloroso es la base también del empleo de los hipocloritos como esterilizantes:



Sin embargo, no consideramos el método de esterilización por hipocloritos, ya que sólo es aplicable prácticamente para pequeñas instalaciones.

En cualquier caso, el ClH reacciona con los carbonatos formando cloruros, desprendiendo CO_2 y dejando oxígeno en estado naciente. La acción microbicida del cloro se debe, en parte, a su poder oxidante y, además, a la destrucción por el ClOH de las diastasas imprescindibles para el desarrollo vital de los microbios y gérmenes patógenos.

La acción del cloro sobre el agua es mayor con pH bajo y menor con temperaturas bajas, y es más completa cuanto más tiempo se establezca el contacto entre el cloro y el agua.

El efecto oxidante del cloro es causa, sin embargo, de que se fije en la materia orgánica y puede ocasionar problemas de malos olores y sabores por formación de compuestos con los fenoles, aceites, etcétera. Aun con cantidades ínfimas de fenol (0,0001 p.p.m.), se producen sabores desagradables. El cloro sólo en el agua no da sabor, pero da olor si queda un exceso como cloro libre. Este problema de sabores y olores comunicados al agua por los compuestos del cloro, es el más importante y único defecto de la esterilización por cloro.

Se ha intentado resolver el problema de olores y sabores producidos por los compuestos del cloro forzando la dosis para oxidar totalmente los productos orgánicos del agua y evitar así su combinación. Sin embargo, hay compuestos orgánicos de cadena cerrada o simplemente larga difícilmente oxidables, y los efectos conseguidos no son siempre buenos.

La técnica de cloración al "break-point" se basa en la aplicación al agua de dosis crecientes de cloro controlando el cloro residual. De la curva dosis-cloro residual se deduce que, al principio, el cloro residual está en forma de cloro combinado y es precisamente en esta zona donde los problemas de olores y sabores por compuestos del cloro se producen con más intensidad. Sin embargo, llega un momento en que la cantidad de cloro aplicada logra oxidar casi toda la materia orgánica susceptible de serlo y se destruyen los compuestos orgánicos de cloro, desapareciendo en este momento el cloro residual combinado y apareciendo el cloro residual libre. Este paso de cloro residual combinado a libre coincide teóricamente con un mínimo del valor del cloro residual y la dosis de cloro aplicada; para obtener dicho mínimo es lo que se ha llamado "break-point" y ha sido utilizado como método de dosificación del cloro. Con aguas normales la cloración al B. P. reduce malos gustos y olores, actúa sobre el color,

evita el desarrollo de algas, a veces llega a oxidar al manganeso y esteriliza el agua bacteriológicamente en algunos minutos. Prácticamente, no siempre es posible obtener un claro B. P. y otras veces, si el agua está muy polucionada, exige dosis muy altas de cloro para alcanzarlo.

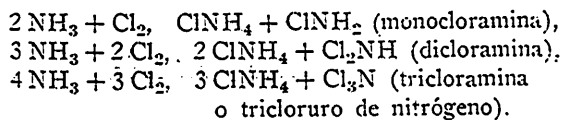
Se utiliza también la técnica de clorar masivamente con dosis más altas que la de B. P., y de clorar posteriormente eliminando el exceso de cloro con hiposulfito, amoníaco, sulfitos, gas sulfuroso, carbón activo, aereación, insolación, etc., hasta dejar en el agua un cloro libre residual suficiente, como coeficiente de seguridad, para poder eliminar los gérmenes nocivos que pudieran incorporarse a la red de distribución después del proceso de esterilización. Dicha dosis de cloro libre residual debe estar comprendida entre 0,1 y 0,3 p.p.m. Los resultados en cuanto a eliminación de malos gustos tampoco son siempre definitivos y el coste es elevado.

La esterilización con cloro tiene la ventaja de la facilidad de cambios en la dosificación, acomodándose a las condiciones variables de un agua. Los gastos de primera instalación y explotación son mínimos con dosis normales y la facilidad de utilización y manejo es también grande siempre que se adopten ciertas medidas de seguridad para evitar accidentes.

2.16. Esterilización por cloraminas.

Las cloraminas son compuestos de cloro y amoníaco en disolución diluida, y son muy estables.

Las reacciones que tienen lugar son:



Se utilizan las dos primeras. La tercera produce malos olores y sabores y es uno de los compuestos de la acción del cloro sobre algunas algas, que puede ser eliminado por aereación. La dosis de amoníaco a aplicar es de 1/2 a 1/4 de la del cloro.

La acción del cloro sobre el agua es más completa cuanto mayor es la duración del contacto. Sin embargo, si se aplica cloro solamente, al cabo de unas horas todo el cloro ha desaparecido, debiendo, por tanto, compensarse esta falta de contacto con una dosis mayor. La adición de amoníaco a la cloración hace más lenta la acción del cloro sobre el agua pudiendo disminuirse la dosis de cloro y garantizando, por otra parte, la prolongada permanencia en el agua de cloro residual y proveyendo así a la red del deseable coeficiente de seguridad.

Debe estudiarse la relación de dosis de cloro y amoníaco y el punto de aplicación más favorable. Normalmente se añade primero el amoníaco y des-

pués el cloro. Si se añade primero el cloro y luego el amoníaco se corre el riesgo de de clorar.

La adición de amoníaco tiene también la ventaja de ayudar a la localización del "break-point".

La adición del amoníaco antes del cloro ayuda a la supresión de los olores y sabores producidos por los clorofenoles. Parece que, aunque un agua tenga fenoles, la mayor avidez que por el cloro tiene el amoníaco hace que, al aplicar el cloro, todo él se combine con el amoníaco no produciéndose compuestos con el fenol y evitando así sus desagradables olores y sabores.

Desde el punto de vista económico puede considerarse que los costes son dobles que con la esterilización con dosis moderadas de cloro. La aplicación sigue siendo sencilla y también es fácil la acomodación a las características variables del agua. El efecto de permanencia de cloro libre residual es mucho mejor con las cloraminas.

2.17. Esterilización por peróxido (bióxido) de cloro.

El peróxido de cloro es un oxidante muy enérgico, inestable y venenoso. La molécula de ClO_2 se disocia para dar un átomo de cloro y dos de oxígeno naciente, que producen un efecto de oxidación muy fuerte. La intensidad de esta oxidación se aprovecha para conseguir la formación de compuestos oxigenados con todos los productos orgánicos existentes en el agua, de modo que no se produzcan compuestos con el cloro y evitando de este modo los malos gustos.

El peróxido se obtiene a base del clorito sódico. La reacción que tiene lugar es: $2 \text{ClO}_2\text{Na} + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{ClO}_2 + 2 \text{ClNa}$.

Una dosis de 0,1 p.p.m. de cloro residual es suficiente para destruir todas las bacterias comunes del agua a una temperatura comprendida entre 5° y 20° y para cualquier valor del pH superior a 7, con sólo cinco minutos de contacto.

Las bacterias más resistentes necesitan dosis mayores. Para pH alto se produce mayor oxidación y para temperaturas bajas menor oxidación.

El bióxido de cloro se ha manifestado muy eficiente para la eliminación de los sabores producidos por los clorofenoles y otros compuestos orgánicos, aunque no se ha probado su completa eficiencia respecto al gusto proveniente de las algas.

Desde el punto de vista económico es caro, triple o cuádruple que el cloro. Normalmente se aplica tras una cloración primaria para gastar menos peróxido.

2.18. Esterilización por ozono.

La esterilización por ozono fué utilizada con anterioridad a la de cloro y se ha manifestado exce-

lente como método de eliminación de gérmenes patógenos y como desodorante e incluso decolorante del agua.

El ozono, agregación o concentración molecular del oxígeno O_2 , que transforma en O_3 normalmente bajo la acción de efluvios eléctricos a través de un aire deshidratado, es muy inestable y se descompone en una molécula de oxígeno y un átomo de oxígeno naciente. Sólo un 3 ó 4 por 100 del oxígeno del aire se transforma en ozono y sólo un 70 por 100 del ozono esteriliza el agua y el rendimiento disminuye con la temperatura.

La acción esterilizante del ozono se explica, por una parte, por la enérgica acción oxidante que posee y, por otra, por la acción de radiaciones de la gama ultravioleta producidas por la ionización del oxígeno naciente.

Debido a su inestabilidad no es posible almacenarlo, sino que ha de aplicarse directamente al agua en el punto de producción.

Debe ser aplicado a agua clara, normalmente filtrada, ya que las dosis necesarias para aplicarlo a aguas insuficientemente limpias harían el proceso económicamente impracticable, pudiendo, además, suceder que la avidez que las materias orgánicas tienen para oxidarse forzase al ozono a actuar sobre ellas, actuando pobremente sobre los gérmenes y dejando el agua sin esterilizar.

La esterilización por ozono es inocua para el consumidor porque el ozono residual desaparece rápidamente. Sin embargo, puede ser causa de trastornos para los operarios y habitantes cercanos a la planta por el efecto corrosivo pulmonar que tiene el ozono mezclado con el aire atmosférico. Para evitar esta dificultad en las plantas importantes es precisa una recuperación del ozono trabajando en ciclo cerrado.

Para su producción se utilizan los ozonizadores de placas y los ozonizadores tubulares. Son necesarias tensiones de hasta 20.000 voltios y frecuencias de 50 a 500 períodos. Actualmente se tiende a operar con la frecuencia normal y aumentar el voltaje. Se aplica al agua en torres o galerías de mezcla. La cantidad a aplicar no debe exceder prácticamente de 1 p.p.m. y el agua, automática y naturalmente, absorbe el ozono necesario para su esterilización y oxidación, desprendiéndose con el aire el ozono en exceso que, si se trabaja en circuito cerrado, pasa de nuevo con el aire a los ozonizadores después de un proceso de secado. De este modo no es necesaria dosificación alguna, ya que ésta se produce naturalmente.

El aire para la ozonización debe estar libre de polvo y completamente seco. Para el secado, ordinariamente se enfría el aire de $0^{\circ} C.$ de modo que toda la humedad se condense en forma de hielo. Si el aire no está completamente seco pueden producirse co-

rrosiones muy importantes en tuberías e instalaciones.

El agua ozonizada es muy agradable al paladar, y con este tratamiento se eliminan prácticamente todos los olores, sabores y colores del agua.

Tiene el inconveniente de que el efecto esterilizador desaparece rápidamente y no existe una seguridad permanente de esterilización en caso de eventuales contaminaciones de la red. Algunos consideran que el funcionamiento de las redes a presión es garantía suficiente para evitar contaminaciones si se explotan debidamente.

La facilidad de acomodación a características variables del agua es relativa ya que, siempre que la demanda de ozono sea menor que la cantidad aplicada, se produce dicha acomodación automáticamente, pero no ocurre lo mismo si la demanda es mayor. Puede entonces disminuirse el caudal de agua, ya que no es posible aumentar el caudal de ozono fuera de los límites para los cuales la instalación ha sido proyectada.

Los gastos de primer establecimiento son muy grandes y los de explotación también, dependiendo, por otra parte, del suministro de energía eléctrica. Por razón de seguridad debe preverse siempre una esterilización por cloro complementaria o la pérdida del agua por aliviadero. Debe preverse también un grupo de recambio.

La esterilización por ozono cuesta aproximadamente igual que por bióxido de cloro, pero el ozono es de uso más complicado. Por el momento, sin embargo, de las pocas experiencias obtenidas con el bióxido de cloro se deduce una mayor efectividad de la esterilización por ozono.

2.19. Corrección de olores y sabores.

Existen estudios muy completos de las causas de la producción de malos olores y sabores en el agua de distribución, así como clasificaciones más o menos arbitrarias de los tipos de sabores y olores producidos.

Es difícil discernir entre sabor y olor, ya que los órganos de percepción de ambos en el hombre están íntimamente ligados. En esta nota hablaremos de malos gustos del agua sin especificar si son olores o sabores.

En principio, los malos gustos en un agua potable distribuida pueden provenir del agua en sí, de su tratamiento o de su conducción posterior.

El agua en sí puede poseer malos gustos debidos a sus características químicas propias, a poluciones exteriores industriales o de alcantarillado, o a causas naturales exteriores, como son algas, vegetación, etc.

Los gustos que provienen del tratamiento y conducción son debidos a los de los compuestos forma-

dos por los productos químicos adicionados al agua para su tratamiento o bien a los que contienen los revestimientos de las tuberías de distribución, la materia orgánica desarrollada en las mismas, etc.

El agua puede poseer unas características químicas propias que le comuniquen un gusto particular. Tal es el caso de las aguas con gran cantidad de cloruros, sulfatos o sales de hierro, manganeso, etc.

Los vertidos industriales y de alcantarillado son, junto con las algas y la vegetación, las causas más comunes de producción de malos gustos. En este grupo están los gustos fenólicos, químicos y aromáticos. La mayoría de ellos quedan patentes o se agudizan con la adición de cloro.

Las arcillas, limos, hojas y vegetación en descomposición, arrastrados por el agua, son también causa de desarrollo de hongos (*actinomicetos*), que comunican al agua sabores de enmohecimiento desagradables y difícilmente eliminables.

Las algas se desarrollan con la acción de la luz cuando el agua contiene nutrientes adecuados. Pueden clasificarse, en general, en diatomeas, clorofíceas y cianofíceas, dando lugar a gustos característicos cada una de ellas. Los gustos más frecuentes son los producidos por las diatomeas, pero los peores y más difícilmente eliminables son los producidos por las cianofíceas. Algunas veces los gustos originados por las algas son aumentados por la presencia de los *actinomicetos* ya citados.

La medición en una agua del tipo e intensidad de mal gusto es muy difícil. En primer lugar, un mal gusto es una característica subjetiva y, en segundo lugar, la capacidad de gustar en los hombres varía ampliamente. El hombre normal tiene una capacidad cuádruple que el hombre menos sensible y la cuarta parte del hombre más sensible.

Un sistema de medición de los malos gustos se basa en la degustación del agua por probadores de paladar muy sensible. Un agua de distribución no debe tener gustos perceptibles por el hombre más sensible. Esta técnica se ha venido usando en París y en Londres desde hace treinta años, probando el agua en todas las etapas de su purificación. No existe, sin embargo, completo acuerdo en la forma en que deben efectuarse dichas pruebas, especialmente en cuanto a la temperatura. Los gustos son puestos más fácilmente de manifiesto elevando la temperatura del agua y unas normas especifican temperaturas diferentes que otras para las pruebas.

Una prueba americana, mundialmente aceptada, es la de "Threshold" o umbral del gusto. En esencia consiste en diluir el agua problema en un agua patrón exenta de gusto, midiéndose la cantidad de agua necesaria para que el gusto deje de ser perceptible. Este umbral o paso de la percepción a la no percepción, medido por la relación de la disolución total al agua problema, es el valor de la cantidad de gusto. Existen inconvenientes para escoger el agua

patrón que, normalmente, acostumbra a ser semejante al agua problema tras sufrir una ozonización.

Otras formas de medida de los gustos presentes en el agua se basan en la medición de las causas de dicho gusto. Normalmente, las sustancias que dan mal gusto a un agua son sustancias orgánicas. Estos métodos consisten en determinar estas materias orgánicas por espectrofotometría y cromatografía. Estos métodos sólo son aconsejables en casos muy particulares de aguas fuertemente polucionadas.

El cloro en pequeñas dosis aumenta los malos gustos. La dosificación a "break-point" presenta alguna mejora, pero para algunos tipos de gusto la mejora es pequeña. Se ha usado la cloración masiva dejando cloro libre residual hasta 4 p.p.m. y de-clorando posteriormente. La mejora conseguida es así mayor, aunque si el agua contiene *actinomicetos* no logra eliminar los gustos, ya que no son susceptibles de oxidación por el cloro. La eliminación del cloro residual con la de-cloración causa, a veces, la reaparición del gusto. Por el contrario, la presencia de cloro libre residual es causa de su reacción con el nitrógeno albuminoideo, con producción de tricloruro de nitrógeno que puede ser eliminado por aereación o postamonización. El cloro parece que tiene una acción letal sobre las algas, aunque no logra oxidar toda la materia orgánica. La cloración masiva seguida de de-cloración ha tenido un resultado normalmente aceptable en la lucha contra los fenoles. En todo caso, el cloro debe actuar durante un tiempo suficientemente largo sobre el agua para producir los efectos deseados.

La cloraminación se ha manifestado mejor como lucha contra los malos gustos, especialmente los de fenol, aunque no parece que actúe sobre los gustos existentes en el agua antes del tratamiento.

El bióxido de cloro actúa por efecto de la fuerte oxidación. Parece excelente en la lucha contra los fenoles, pero para la lucha contra los gustos procedentes de algas son necesarias dosis mayores. Destruye las esporas resistentes al cloro. Usado en unión de carbón activo cuando la eliminación de los gustos se hace difícil, parece buena solución. Se tiene poca experiencia de la acción de este producto.

El ozono tiene costes muy altos. Es un sistema muy bueno aunque algunas veces no logra eliminar totalmente gustos procedentes de ciertas algas.

El permanganato se utilizaba con dosis de 0,05 a 0,08 p.p.m. Su acción parece nula sobre las algas descompuestas. En presencia de *actinomicetos* se intensifica el mal gusto. Deja gusto astringente. Precipita manganeso y es caro. Por todo ello, es un sistema que se ha abandonado.

La aereación tiene especiales ventajas para eliminar la insipidez de aguas desoxigenadas y para la eliminación de gases como SH_2 , CH_4 y CO_2 . En cambio, sobre los olores debidos a las algas parece que tiene un efecto pobre.

La coagulación y decantación no parece afectar en gran manera los gustos debidos a las algas. Sin embargo en los últimos meses y efectuando la coagulación con valores del PZ prácticamente nulos, parece que en la planta de Waterford N. Y., se han conseguido muy buenos resultados.

La filtración lenta, debido a la capa biológica que se forma en superficie, actúa muy favorablemente, de tal modo, que se han llegado a añadir a los filtros nitratos y fosfatos como nutrientes para activar los procesos biológicos.

Finalmente, el carbón activo es el elemento más interesante en la lucha contra malos gustos. Actúa por adsorción. En dosis pequeñas es aceptable, así como mayores dosis con tal que sólo sean necesarias en cortos tiempos. De otra forma es excesivamente caro. El punto de aplicación del carbón activo es variable según las plantas que lo utilizan. Puede aplicarse antes de la filtración, pero se corre el riesgo de disminuir la carrera de los filtros. Otras veces se aplica al agua filtrada pero origina problemas de

limpieza de los depósitos. Otras se aplica junto con el coagulante, existiendo productos comerciales que son compuestos de sulfato de alúmina y carbón activo. La adición junto al coagulante tiene un efecto esterilizador de los fangos, evitando malos olores de los mismos y su putrefacción. Si se aplica al agua bruta antes de todo otro tratamiento y con tiempo suficiente de contacto, tiene la ventaja de no interferir con la aplicación de los productos químicos posteriores. Aplicado noventa minutos antes de la cloración disminuye la demanda de cloro. Si se aplica después de la cloración o supercloración se corre el riesgo de dechlorar el agua antes de que haya sido completamente oxidada por el cloro. La efectividad del carbón activo depende de la dosis, del pH, de la duración del contacto, del cloro presente en el agua (mejor cloramina) y, naturalmente, de la causa de los sabores del agua.

Algunas veces se han utilizado arcillas adsorbentes en vez de carbón activo, pero los resultados han sido inferiores.