

# FLUORURACIÓN DEL AGUA POTABLE

FRANZ J. MAIER



ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD  
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la  
ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD  
Washington, D. C.

 LIMUSA  
WILEY

## EL AUTOR

FRANZ J. MAIER, es ingeniero sanitario que ha trabajado con el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos de América durante más de 30 años. Después del establecimiento de la fluoruración en 1945, se hizo cargo de las investigaciones de laboratorio sobre este asunto. En los últimos años ha actuado como consultor en fluoruración, desfluoruración, y análisis de fluoruros para la Organización Panamericana de la Salud, la Organización Mundial de la Salud, y en varios países de América Latina, Asia, África y Europa. Es autor de numerosos artículos sobre problemas relacionados con la fluoruración y otros aspectos del tratamiento del agua.

El Ing. Maier es Miembro de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles; Socio y Miembro Vitalicio de la Asociación Americana de Salud Pública; Miembro de la Asociación Americana de Abastecimiento de Agua; Diplomado de la Academia Americana de Ingenieros Sanitarios; Miembro de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria, e Ingeniero Profesional Titulado del Distrito de Columbia.

Instituto Argentino de Investigaciones de Ciencias Exactas  
Laboratorio de Física

## *Fluoruración del agua potable*

C



25582

*Pan American Sanitary Bureau  
Scientific publications*

# Fluoruración

RA  
10  
AG  
54  
no. 203-7

# del agua potable

**FRANZ J. MAIER**

*Ex-Director, Laboratorio de Fluoruración,  
Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos de  
América; Consultor, Organización Panamericana  
de la Salud.*



Publicación Científica No. 203

**ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD**  
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la  
**ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD**  
Washington, D. C.

1971

Esta edición en español se hizo con la cooperación de la  
Fundación W. K. Kellogg

Título de la obra en inglés:

*Manual of Water Fluoridation Practice*

© 1963, MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC., Nueva York, E.U.A.

Versión española:

**HORTENSIA CORONA RODRIGUEZ**

Ingeniero Químico de la Universidad  
de California, Berkeley, E.U.A.

Revisión:

**Ing. PEDRO MARTINEZ PEREDA,**

Investigador y Profesor Titular de

Ingeniería Sanitaria,

Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional  
Autónoma de México

© 1971, EDITORIAL LIMUSA-WILEY, S. A.  
Arcos de Belem núm. 75. México 1, D. F.  
Miembro de la Cámara Nacional de la  
Industria Editorial. Reg. núm. 121.

*Impreso en México*

Primera edición: 1971

[420]

## *Prólogo a la edición en español:*

La fluoruración ha sido aceptada como un método eficaz, práctico y económico para reducir la incidencia de las caries dentales y mejorar la higiene de la cavidad bucal. Mediante el análisis de los resultados obtenidos en comunidades de diversos países del mundo, particularmente en los Estados Unidos, la Organización Panamericana de la Salud, (OPS) en 1964, resolvió patrocinar la política de fluoruración de los abastecimientos de agua. Con base en ella y con el aporte financiero de la Fundación W. K. Kellogg, se inició un programa de colaboración con los Gobiernos para llevarla a la práctica en los países de América.

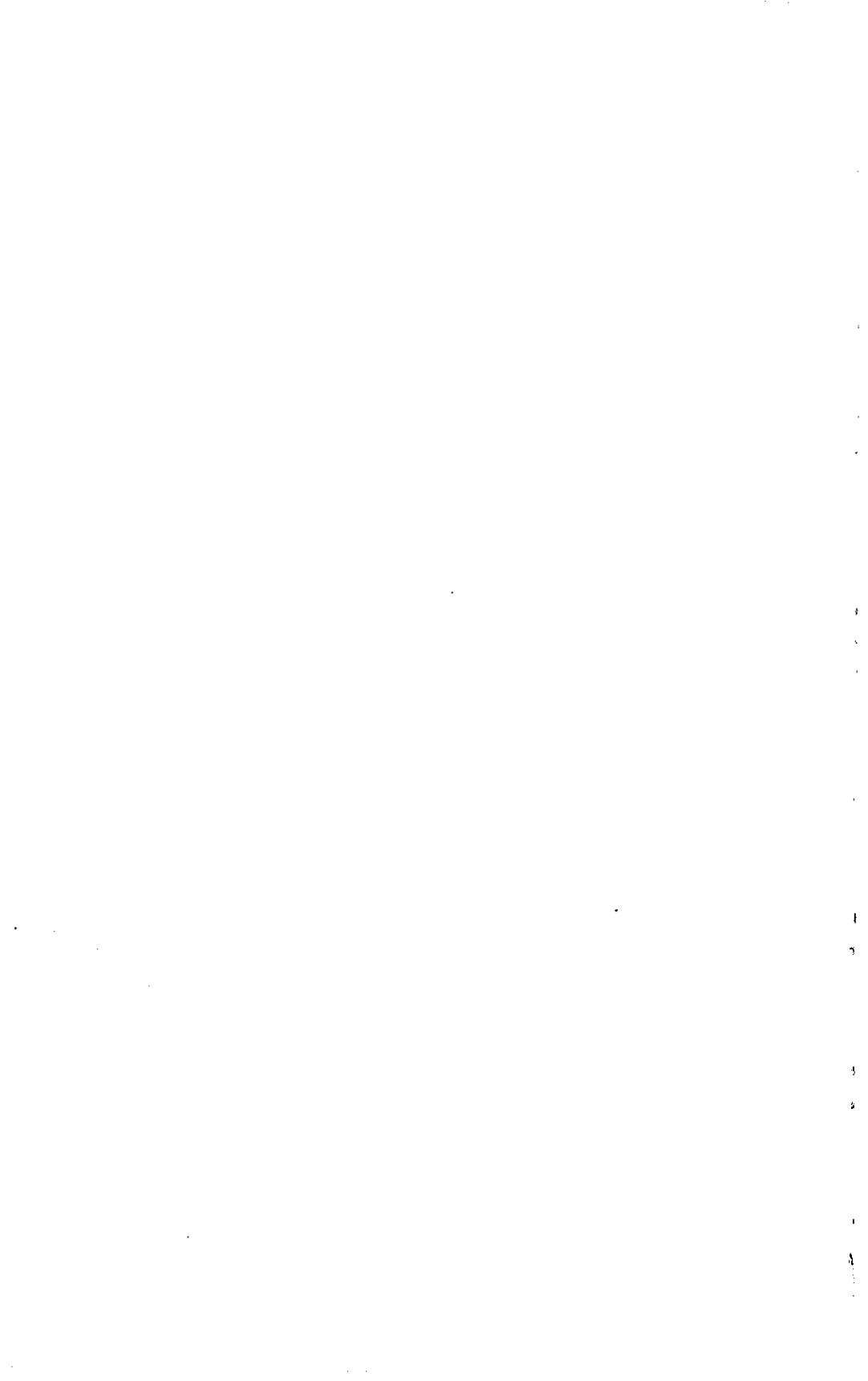
Uno de los factores indispensables para el éxito de este programa es la capacitación técnica de los ingenieros, particularmente los que se dedican al tratamiento de los abastecimientos de agua así como a la docencia. También es de mucha importancia el interés de todos los especialistas en la salud por este problema.

El Ing. Franz J. Maier, ex-funcionario del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos y, en la actualidad consultor de nuestra Organización, ha accedido gustosamente a que su libro se traduzca al español con objeto de ponerlo a disposición del programa citado, tal como se hizo con la versión inglesa.

Esperamos que ha de contribuir a dichos propósitos, como obra de consulta y de enseñanza.

La Organización desea expresar al autor su más sincero agradecimiento por su gesto y destacar la generosa contribución de la Fundación W. K. Kellogg para la publicación de esta obra.

ABRAHAM HORWITZ  
*Director*  
*Organización Panamericana de*  
*la Salud*



## *Prefacio*

El interés mutuo en la fluoruración del agua ha unido a un creciente número de grupos de personas de muy diversos conocimientos e intereses, quienes tienen en común el deseo de conocer la razón por la cual más de ochenta millones de personas en los Estados Unidos, han adoptado la fluoruración. Estos grupos tan diferentes incluyen a miembros de consejos municipales y oficinas del presidente municipal de la ciudad; a organizaciones médicas y dentales; a ingenieros de los departamentos de sanidad, obras de abastecimiento de agua y obras públicas de todos los niveles gubernamentales; a ingenieros consultores, miembros de asociaciones civiles de servicios públicos que han auspiciado la fluoruración; a estudiantes de ingeniería, odontología y disciplinas afines, así como a individuos interesados en la salud y el bienestar de sus conciudadanos.

Este libro no sólo les explica por qué razones la fluoruración es conveniente, sino también sugiere métodos para establecerla, a base de contestar preguntas específicas tales como:

¿Cuál sería el costo probable no sólo del equipo de fluoruración, sino de los productos químicos y el de mantenimiento?

¿Qué beneficios pueden esperarse, cuándo y dónde se les puede buscar?

¿Qué argumentos pueden presentarse en contra de la adopción de la fluoruración y cómo se pueden contrarrestar?

¿Cuáles problemas de ingeniería han surgido en otros lugares y cómo se han resuelto?

¿Qué medidas deben tomarse para determinar la instalación más apropiada y económica?

¿Qué tipo de ayuda se puede necesitar y dónde es posible encontrarla?

Por tanto, el propósito de este libro es enseñar a cualquier miembro de una comunidad, los beneficios que puede esperar al adoptar la fluoruración, cómo lograrla y lo que le costará.

Para ayudar a calcular los costos, se describen los diversos métodos usados para agregar fluoruros a los abastecimientos de agua, así como el equipo



adicional necesario o conveniente. Se incluye un capítulo referente a la determinación de la concentración de fluoruros en el agua, tanto antes como después de tratarla.

Para las personas que viven en comunidades cuyos abastecimientos de agua contienen demasiados fluoruros naturales, se incluye también un capítulo que describe la manera de tratar estas aguas. Otro capítulo explica la forma en que las familias y escuelas que poseen abastecimientos particulares, pueden fluorurar el agua a fin de obtener resultados óptimos.

Por supuesto, agradecemos a los numerosos científicos, especialmente a los asociados al Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos, que han proporcionado gran parte de la información básica que aparece en este libro.

FRANZ J. MAIER.

## Sumario de materias

- Prólogo a la edición en español* — 5  
*Prefacio* — 7
1. *Historia y desarrollo* — 11  
Observaciones e investigación de la fluorosis. Descubrimiento de la función de los fluoruros. Determinación de las concentraciones óptimas de fluoruros. Inicio de los primeros proyectos de fluoruración.
  2. *Beneficios de la fluoruración* — 25
  3. *Procedimientos de adopción* — 37
  4. *Objeciones técnicas (de ingeniería, químicas, industriales y económicas)* — 43
  5. *Concentración de fluoruros deseada en el abastecimiento de agua tratada* — 53
  6. *Compuestos de flúor (características, fuentes y costos)* — 67
  7. *Tipos y capacidades de los dosificadores* — 99
  8. *Equipo auxiliar de los dosificadores* — 135
  9. *Puntos de aplicación* — 165
  10. *Control de la concentración de fluoruro (procedimientos de laboratorio)* — 169
  11. *Seguridad de los operadores de las plantas de tratamiento de agua* — 201
  12. *Efectos de los fluoruros en el sistema de distribución* — 209
  13. *Estado actual de la fluoruración* — 215
  14. *Fluoruración de abastecimiento de agua en casas y escuelas* — 221
  15. *Viabilidad de la defluoruración parcial* — 227
- APÉNDICE: *Objeciones sanitarias* — 233
- Índice* — 243



## *Historia y desarrollo*

Hace más de cuarenta años, en varios lugares sumamente dispersos del mundo, se observó que grupos relativamente pequeños de personas, tenían una susceptibilidad notablemente inferior a cierta enfermedad que era muy común en otras partes. Este fenómeno era algo extraordinario y muchos investigadores trataron de descubrir la causa. Más tarde se descubrió que la razón de esto era que el agua que se consumía en dichos lugares, contenía un ingrediente peculiar. La efectividad del ingrediente dependía de su concentración; un exceso producía resultados indeseables y una cantidad muy pequeña era ineficaz. Muchas personas se preguntaron, inmediatamente, si el hecho de agregar el ingrediente en la proporción correcta al agua que tomaban, tendría como resultado una reducción similar de esta enfermedad. Esto se puso a prueba en varios lugares y, efectivamente, se encontró que se tenían iguales resultados que cuando el ingrediente formaba parte de ella por naturaleza. Como consecuencia, en muchos sitios comenzaron a agregar este compuesto a sus abastecimientos de agua. Esta es, en pocas palabras, la historia de la fluoruración y su relación con el control de la caries dental.

No obstante, la reducción de la caries dental no fue el primer indicio de los efectos de los fluoruros contenidos en el agua. El doctor J. M. Eager, médico del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos destacado en Nápoles, había observado que ciertos emigrantes italianos que provenían de una región cercana, tenían dientes con unas marcas peculiares. En 1901, escribió que existía la creencia popular de que los dientes negros (*denti di Chiaie*) que había observado, se producían cuando se usaba agua "cargada de humos volcánicos bajo presión" o por los mismos humos. También observó que "entre los jóvenes italianos parecía existir una tendencia a tener dientes fuertes y bien formados, no propensos a la caries, cuando

durante su infancia no habían estado sometidos a la influencia de las causas de la «enfermedad de Chiaie»<sup>1</sup>.

Esta enfermedad, en su forma más benigna, está caracterizada por puntos pequeños, opacos y blancuzcos que aparecen en algunos de los dientes posteriores. Conforme el defecto se hace más severo, el moteado se extiende y cambia de color que va desde el gris hasta el negro. Además, en los casos más severos se registran defectos de calcificación grave, que tiene como resultado el desgaste del esmalte. En algunos de los últimos casos, los dientes se deterioran pronto a grado tal, que se desgastan hasta el nivel de las encías y las personas deben obtener dentaduras artificiales completas.

Algunos otros observadores informaron sobre defectos semejantes entre niños del estado de Colorado, y en Italia e Inglaterra. En 1916, el doctor Frederick S. McKay, odontólogo, informó que muchos de sus pacientes de Colorado Springs, Colorado, tenían este defecto. Más tarde, estudiando los diversos grados de severidad del moteado, llegó a la conclusión de que debía ser causado por una sustancia desconocida en el agua que bebían. Estaba tan convencido de esto, que recomendó que el abastecimiento de agua de Oakley, Idaho, fuera cambiado, ya que entre los niños de ese lugar se registraban varios casos de moteado grave. El abastecimiento se cambió en 1925, por un manantial cercano que había sido usado por otros niños que no padecían este mal. En Bauxite, Arkansas, un estudio similar tuvo como resultado que se cambiara su abastecimiento de agua en 1928. Este estudio reveló el papel probable que tenía el agua potable, al indicar la existencia de las manchas entre personas que se habían criado con agua que se había estado usando desde 1909, fecha en que se cambió la fuente de abastecimiento del agua; antes de ese año, no habían aparecido casos de este mal. Además, personas que se habían cambiado a Bauxite, pero cuyas dentaduras se habían formado en otras partes, no presentaban ese fenómeno.

Un dato interesante sobre la convicción del doctor McKay con relación a la importancia de la procedencia del agua, fue su súplica a los expertos en agua potable para que ayudaran a interpretar los análisis de aguas.<sup>1</sup> En 1926, volvió a revisar la evidencia acumulada y que llevaba a la implicación de los abastecimientos de agua potable, y rechazó cualquier relación entre el contenido de calcio y hierro del agua, con la incidencia de manchas.

Las respuestas solicitadas a expertos prominentes en el tratamiento de agua, fueron semejantes a las opiniones de la mayoría de los observadores con relación a las causas probables del moteado; es decir, teorías en cuanto al ingrediente del agua que podría contribuir a esa causa, se fundaron en él,

<sup>1</sup> McKay, Frederick S., Water Supplies Charged with Disfiguring Teeth, *Water Works Eng.*, 79 (2): 71 (1926).

señalando al manganeso, la acidez, el pH, la dureza, la materia orgánica y, además, dietas desbalanceadas y el efecto de la dieta de la madre sobre la salud dental del niño. La respuesta con mayor significado fue la de Frank Hannan,<sup>2</sup> químico de la planta de filtración de Toronto, Ontario. Entre otras cosas, el señor Hannan dijo:

Puesto que el esmalte es esencialmente mineral en su composición y el agua está ciertamente involucrada, su contenido mineral es el que parece ser la causa probable del problema. De los elementos minerales que actualmente se sabe que son comunes tanto al agua como al esmalte, los principales son el calcio, el fósforo y el flúor. Respecto a nuestro consumo de fósforo, no dependemos de la pequeña proporción que se encuentra en el agua y lo mismo puede decirse del calcio, aunque quizá con menos certeza, ya que no es raro encontrar deficiencias dietéticas en este elemento. Pero cuando se tiene en cuenta el flúor, encontramos que a este respecto reina una gran obscuridad hoy en día. La detección y el cálculo de pequeños rastros de flúor son tediosos y difíciles y quedan fuera del alcance del químico ordinario de los abastecimientos de agua potable, ya que tiene que manejar muchos miles de muestras al año. El químico francés Gautier, encontró que el flúor se encuentra prácticamente en todas las aguas del universo. El hecho de que no puede existir en cantidades superiores a sólo trazas, nos es asegurado, afortunadamente, por el bajo producto de solubilidad del fluoruro de calcio, ya que el flúor, en cantidades apreciables, constituye un veneno bastante fuerte. El Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos, parece ser el indicado para llevar a cabo una investigación compleja y prolongada de esta naturaleza. Si las aguas incriminadas resultan todas carentes de flúor, se evidenciará más aún el caso de deficiencia de este elemento.

Desafortunadamente, el doctor McKay desechó la sugerencia del señor Hannan con la idea de que "ninguno de los elementos mencionados por el señor Hannan parecen tener ninguna posibilidad de producir una descalcificación".<sup>3</sup>

En 1928, colaborando con otros investigadores, el doctor McKay afirmó:

Mi testimonio ha sido complementado por el de otros, quienes han informado que estos casos de esmaltes moteados, en los diferentes distritos, carecen de caries en forma singular... La gran mayoría de las cavidades consistía en pequeñas lesiones de hoyos y fisuras en las molares, y las caries raramente proseguían más allá de esa etapa. A este respecto, el comportamiento de la caries dental de estos niños es claramente distinto al que generalmente se produce.

Transcurrieron varios años antes de que se descubriera la causa del esmalte moteado, casi simultáneamente, por tres grupos diferentes de científicos que trabajaban en forma independiente, y con instrumentos y métodos totalmente diferentes y en sitios tan alejados como Pittsburgh, Pensilvania, Arizona y Africa del Norte.

<sup>2</sup> Hannan, Frank, Do Certain Water Supplies Disfigure the Teeth? *Water Works Eng.*, 79 (14): 934 (1926).

<sup>3</sup> McKay, Frederick S., Do Water Supplies Cause Defects in Teeth Enamel? *Water Works Eng.*, 79 (20): 1332 (1926).

A. W. Petrey, químico de la Aluminum Company of America, observó la banda de fluoruro de calcio en un examen espectroscópico del aluminio, de una muestra de agua proveniente de Bauxite, Arkansas. El químico en jefe, doctor H. V. Churchill, informó más tarde, en 1931, que exámenes similares de muestras de agua de lugares en los que el esmalte moteado era endémico, indicaban invariablemente, la presencia de fluoruros.

Casi al mismo tiempo, los doctores H. V. Smith, M. C. Smith y E. M. Lantz, informaron sobre la causa del moteado, al duplicar la lesión en ratas por medio de la concentración de agua naturalmente fluorurada y comparando los resultados con las lesiones observadas cuando se utilizaba una dieta con gran contenido de fluoruros. Igualmente, durante 1931, H. Velu demostró, en Africa del Norte, que el moteado podía producirse en animales si se utilizaba agua saturada de fosfatos naturales de Argelia y Marruecos, y que las lesiones eran idénticas a las producidas cuando alimentaba a ratas con una dieta con un alto contenido de fluoruros.

El doctor Churchill concluyó que las regiones endémicas tenían aguas que contenían 2 mg/l (partes por millón) o más de fluoruros, mientras que aguas de las regiones donde no se producía el moteado tenían menos de 1.0 mg/l. Esta división de aguas con fluoruros fue confirmada por los Smith en Arizona, quienes informaron que las fuentes de agua de las regiones no endémicas, contenían menos de 0.72 mg/l de fluoruros.

El término mg/l (ó ppm) es una medida de la concentración de un mineral u otro ingrediente en un líquido, un gas o cualquier sólido. Por ejemplo, 1 mg/l de fluoruro en agua significa que en cada litro de agua hay un miligramo de fluoruro. El peso de un litro de agua pura es 1 kg. Una parte por millón es un equivalente de un miligramo por litro.

El elemento químico conocido como flúor, es un gas que se combina activamente con otros elementos para formar compuestos de fluoruros. El flúor elemental es prácticamente desconocido en la naturaleza; pero los compuestos que contienen fluoruros se encuentran casi en todas partes. El flúor constituye aproximadamente el 0.077 por ciento de la corteza terrestre y, como tal, se clasifica como el decimotercero entre los elementos, por orden de abundancia. El agua del mar contiene aproximadamente 1.4 mg/l, lo cual hace que el flúor sea el duodécimo elemento por orden de concentración. En el cuerpo humano existen sólo trazas; pero, no obstante, en este caso sigue teniendo el lugar número trece en lo que respecta a abundancia. Los minerales de fluoruros que más comúnmente se encuentran son el espato flúor (que contiene fluorita o fluoruro de calcio), criolita (que contiene la sal doble de sodio y aluminio) y la apatita (que es un complejo compuesto de calcio, de fluoruros, carbonatos y sulfatos). Cuando el agua pasa sobre o a través de depósitos de estos u otros compuestos similares que contienen fluoruros, parte de ellos se disuelve y el agua lleva entonces una cantidad (medida en mg/l) de fluoruros y otros iones.

Cuando los ácidos, las bases o las sales se disuelven en agua, se dividen o disocian en partículas minúsculas denominadas iones, que consisten en átomos o grupos de átomos. Los iones están cargados eléctricamente, haya o no pasado una corriente eléctrica a través de la solución.

Sin embargo, si se hace pasar una corriente eléctrica por una solución que contiene la substancia disuelta, las partículas cargadas serán llevadas por la corriente que las descargará en los electrodos. Las partículas que tienen carga negativa, o aniones, son llevadas al polo con carga positiva, o ánodo; las partículas cargadas positivamente, o cationes, son llevadas al polo con carga negativa o cátodo. Al descargar los iones en los electrodos, sus cargas se neutralizan eléctricamente. De esta manera, las partículas dejan de ser iones que poseen una carga eléctrica y se convierten en átomos o grupos de átomos que carecen de toda carga.

Si una substancia, como el ácido clorhídrico (HCl), se disuelve en agua, su disociación puede representarse mediante la ecuación:



En otras palabras, cada una de las moléculas de ácido clorhídrico que se disocia, forma un ion hidrógeno con carga positiva y un ion cloruro con carga negativa. La doble flecha indica que esta reacción es reversible, o sea, capaz de proceder en ambas direcciones. Si se disuelve ácido clorhídrico en agua, parte de él se disocia o se efectúa la reacción de izquierda a derecha. Por otra parte, si los iones hidrógeno y los iones cloruro se juntan en una solución, una cierta proporción de ellos se combinará para formar ácido clorhídrico.

De la misma manera, si se ponen en contacto iones hidrógeno con iones oxígeno, se formarán moléculas de agua. Los iones de hidrógeno son idénticos en ambos casos y pueden formar muchos cientos de compuestos diferentes en combinación con otros elementos. Esto mismo sucede con otros iones; es decir, son idénticos con relación a cualquier otro del mismo nombre. Es por esta razón, que los iones de fluoruro, cualquiera que sea su procedencia, son idénticos sin importar el compuesto del cual hayan sido tomados. Por ejemplo, los iones que se usan para formar fluoruro de sodio, son exactamente los mismos que los del fluoruro de calcio, silicofluoruro de amonio, fluoruro de potasio, ácido hidroflosilícico y muchos cientos de otros compuestos que contienen fluoruros.

Puesto que los minerales que contienen fluoruros están ampliamente distribuidos en toda la tierra, es de esperar que el agua que contiene fluoruros se encuentre también casi en todas partes. Después de que se descubrió el papel de los fluoruros en el agua en la producción de dientes moteados, aumentó notablemente el interés por los análisis de fluoruros. Conforme se acumulaban estos análisis, se encontró, en efecto, que las aguas fluoruradas se encontraban por doquier, desde Pikes Peak hasta el Valle



de la Muerte y de Alaska a Africa del Sur. Las aguas de todos los océanos contienen entre 1 y 1.5 mg/l de fluoruros.

Es casi imposible, para cualquiera, identificar con certeza el compuesto que constituye la fuente de iones de fluoruro en el agua con fluoruros. Esto se debe a las enormes cantidades y variedades infinitas de minerales de fluoruro que están diseminadas debajo y sobre la tierra. El análisis del agua revela sólo los elementos químicos que contiene una muestra, nunca los compuestos mismos. Siempre que un analista intenta juntar en compuestos los elementos que ha determinado, aplica el término "hipotético" a los compuestos que sugiere. Por ejemplo, si encuentra dos elementos diferentes positivos y otros dos negativos, puede decir que posiblemente había dos compuestos en un principio, ya que puede formar dos combinaciones hipotéticas de los cuatro elementos encontrados. Por lo general, un análisis de agua indica que pueden hacerse innumerables combinaciones hipotéticas.

La mayoría de los minerales que contienen fluoruros son formas de espatoflúor, apatita o criolita. Puede suponerse, entonces, que casi todas las aguas que contienen fluoruro proceden de su infiltración sobre y a través de dichos minerales, que se disuelven en ellas a su paso.

Conforme se fueron reuniendo más datos sobre el gran número de abastecimientos de agua con contenido de fluoruros, se hizo evidente que un gran número de personas habían estado tomando agua fluorurada y que la severidad del moteado variaba con el nivel de fluoruros en el agua.

En este momento, el doctor McKay<sup>4</sup> pudo establecer lo siguiente:

1. El esmalte moteado puede producirse sólo durante el período de calcificación de los dientes y no más tarde. En otras palabras, después de cierta edad (aproximadamente a los 12 años), no pueden producirse dentaduras moteadas, sin importar cuál fuera el nivel de fluoruros en el agua.

2. Una vez que se forman esas lesiones, no pueden corregirse ni durante el período de calcificación, ni después. No existe ningún tratamiento médico o dietético que pueda aminorar esos deterioros.

3. Parece ser que el flúor es el único agente, que ordinariamente forma parte de la dieta, que tiene influencia sobre la formación del esmalte.

4. Una vez que se concluye la calcificación, la estructura del esmalte permanece inalterada a pesar de los cambios que se efectúen en la dieta.

Fue al perfeccionar esta relación, que el doctor H. Trendley Dean,<sup>5</sup> del

<sup>4</sup> McKay, Frederick S., Mottled Enamel: Early History and Its Unique Features, tomado de "Fluorine and Dental Health", American Association for the Advancement of Science (Asociación estadounidense para el progreso de la ciencia), Washington, (1942).

<sup>5</sup> Dean, H. Trendley, The Investigation of Physiological Effects by the Epidemiological Method, tomado de "Fluorine and Dental Health", American Association for the Advancement of Science (Asociación estadounidense para el progreso de la ciencia), Washington, (1942).

Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos, principió sus investigaciones epidemiológicas tan minuciosamente preparadas y ejecutadas. Su primera tarea fue determinar lo extendido del esmalte moteado (el término fue cambiado por el de "fluorosis" cuando se conoció su causa) y establecer la relación directa entre ella y las concentraciones de fluoruros en el agua potable consumida. Confirmó que muchas localidades tenían abastecimientos de agua que contenían fluoruros (Fig. 1.1). Las regiones que tenían un mayor número de dichos abastecimientos y que contenían los niveles

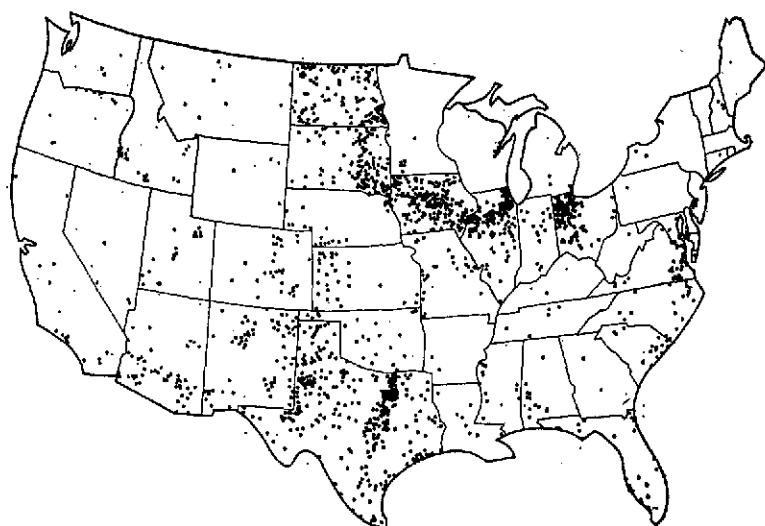


Fig. 1.1 Comunidades que utilizan agua naturalmente fluorurada, que contiene 0.7 mg/l o más de fluoruros. (USPHS.)

más altos de fluoruros, incluyen a los estados que van de Dakota del Norte a Texas, los que bordean a la frontera con México e Illinois, Indiana, Ohio y Virginia. De otras fuentes, el doctor Dean descubrió que en las Indias Occidentales de la Gran Bretaña, China, Holanda, Italia, México, Africa del Norte, América del Sur, España e India, existían abastecimientos similares. En la actualidad, las regiones de los Estados Unidos que se sabe tienen abastecimiento con un contenido de fluoruros superior a 0.7 mg/l. aparecen indicadas en el mapa. Hay más de 1,200 comunidades conocidas, que comprenden 4.1 millones de personas en dicho país, que utilizan agua que contiene un gran exceso de fluoruros (es decir, un exceso del nivel óptimo que se explica en el capítulo 5). A fin de evitar la perjudicial fluorosis, que tiene probabilidades de producirse, estos lugares podrían, ya sea cambiar sus abastecimientos de agua potable, o bien obtener una

TABLA 1.1 DATOS SOBRE EL ESMALTE MOTEADO

Ciudad	Fluoruros mg/l	Número de exami- nados	Cuest. Norm.	Muy leve	Leve	Mode- rado	Mode- radamente severo	Severo	Inci- dencia	Refe- rencia
Ankeny, Iowa	8.0	21	0	0	2	10	7	2	100.0	3
Britton, S. Dak.	6.6	63	6	11	10	26	-10	-	90.0	4
Lake Preston, S. Dak.	5.9	50	2	5	18	19	-6	-	96.0	4
Post, Tex.	5.7	38	0	0	4	19	13	2	100.0	3
Hecla, S. Dak.	5.0	14	1	2	3	8	-0	-	93.0	4
Pierpont, S. Dak.	4.7	26	3	7	9	7	-0	-	88.0	4
Lubbock, Tex.	4.4	176	2	11	54	77	31	1	98.8	2
Conway, S. C.	4.0	59	7	12	19	14	7	0	88.2	3
Amarillo, Tex.	3.9	168	6	30	58	60	12	2	96.4	2
Platte, S. Dak.	3.0	55	19	12	12	10	-2	-	65.0	4
Plainview, Tex.	2.9	78	2	24	24	26	2	0	87.6	2
St. Lawrence, S. Dak.	2.9	28	7	6	6	9	-0	-	75.0	4
Doland, S. Dak.	2.9	25	9	2	10	4	-0	-	64.0	4
Ipswich, S. Dak.	2.8	53	20	15	12	5	-1	-	63.0	4
Redfield, S. Dak.	2.7	48	19	14	5	9	-1	-	60.0	4
Carthage, S. Dak.	2.6	34	16	8	8	2	-0	-	52.0	4
Onida, S. Dak.	2.6	31	20	6	5	0	-0	-	35.0	4
Colorado Springs, Colo.	2.5	54	18	14	10	11	1	0	66.6	1
Wolsey, S. Dak.	2.4	16	4	2	6	4	-0	-	75.0	4
Gettysburg, S. Dak.	2.4	53	24	16	8	3	-2	-	55.0	4
Leola, S. Dak.	2.3	31	15	10	6	0	-0	-	51.0	4
Clovis, N. Mex.	2.2	138	40	33	49	15	1	0	71.0	3
Miller, S. Dak.	2.2	51	26	15	7	3	-0	-	49.0	4
Iroquois, S. Dak.	2.1	28	10	8	5	4	-1	-	64.0	4

Galesburg, Ill. (primer estudio) .....	1.9	39	24	11	3	1	0	0	38.5	1
Galesburg, Ill. (segundo estudio) .....	1.9	243	129	82	29	-3	-	0	46.9	5
Elmhurst, Ill. ....	1.8	170	102	51	15	2	-	0	40.0	6
Monmouth, Ill. (primer estudio) .....	1.7	29	15	12	2	0	0	0	48.3	1
Monmouth, Ill. (segundo estudio) .....	1.7	99	32	47	20	-0	-	0	67.7	5
Aberdeen, S. Dak. ....	1.7	166	129	24	10	3	-	0	22.0	4
Webster City, Iowa .....	1.6	47	31	13	3	0	0	0	34.0	3
East Moline, Ill. ....	1.5	94	70	18	5	1	0	0	25.5	3
Howard, S. Dak. ....	1.4	48	39	6	3	6	-	0	18.0	4
Joliet, Ill. ....	1.3	447	334	99	14	0	-	0	25.3	6
Maywood, Ill. ....	1.2	171	114	50	7	0	-	0	33.3	6
Aurora, Ill. ....	1.2	633	538	88	7	0	-	0	15.0	6
Mullins, S. C. ....	0.9	47	42	4	1	0	0	0	10.6	3
Big Spring, Tex. ....	0.7	68	66	2	2	0	0	0	2.9	2
Junction City, Kans. ....	0.7	93	91	2	0	0	0	0	2.1	3
Pueblo, Colo. ....	0.6	49	47	2	0	0	0	0	4.0	1
Elgin, Ill. ....	0.5	403	386	14	3	0	0	0	4.2	6
Macomb, Ill. ....	0.2	63	62	1	0	0	0	0	1.6	5
Quincy, Ill. ....	0.2	291	291	0	0	0	0	0	0.0	5
Lake Michigan—Evanston, Oak Park, Waukegan, Ill. ....	0.0-0.1	1,008	1,001	0	0	0	0	0	0.2-1.6	6

"La concentración más elevada de fluoruros incapaz de producir un grado definido de esmalte moteado hasta el 10% del grupo examinado."  
 "Existen pruebas de que las cantidades de fluoruros (F-) que no exceden de 1 mg/l (1 ppm) no tienen importancia para la salud pública."

- Referencias: 1. *Public Health Repts.* (U.S.) 50: 49: 1719-1729, 6 de dic. de 1935. Reimpresión núm. 1721.  
 2. *Public Health Repts.* (U.S.) 50: 13: 424-442, 29 de mar. de 1935. Reimpresión núm. 1678 y revista periódica APHA, junio de 1936.  
 3. *Public Health Repts.* (U.S.) 52: 37: 1249-1264, 10 de sept. de 1937. Reimpresión núm. 1857.  
 4. *Public Health Repts.* (U.S.) 54: 6: 212-228, 10 de feb. de 1939. Reimpresión núm. 2032.  
 5. *Public Health Repts.* (U.S.) 54: 21: 862-888, 26 de mayo de 1939. Reimpresión núm. 2073.  
 6. *Public Health Repts.* (U.S.) 56: 15: 761-792, 11 de abril de 1941. Reimpresión núm. 2260.

planta de agua diseñada para la supresión del exceso de fluoruros. Se han construido ya plantas de este tipo y en el capítulo 15 se hace una descripción de ellas.

Mediante la observación de muchos miles de niños criados en comunidades en diferentes partes del país, y que consumían agua con diversos niveles de fluoruros, el doctor Dean formuló el "índice de esmalte moteado" —un método numérico para medir la severidad de la fluorosis. Con este índice pudo determinar el nivel de fluoruros por debajo del cual el uso

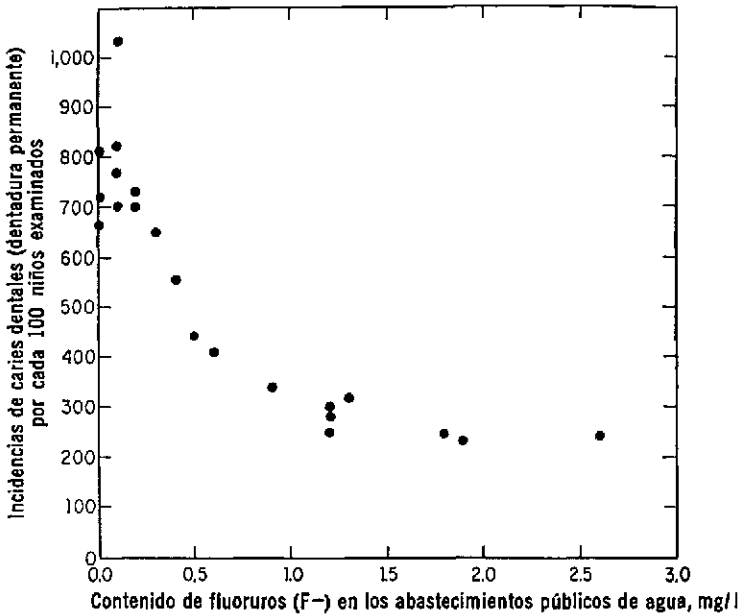


FIG. 1.2 Relación entre la cantidad de caries dental (dientes permanentes) observada en 7,257 niños blancos, de edad escolar, escogidos entre los 12 y 14 años de edad, de 21 ciudades de 4 estados y el contenido de fluoruros (F-) en los abastecimientos públicos de agua.

de dicha agua no contribuía a la fluorosis en forma notable. Este nivel era de aproximadamente 1.0 mg/l en la latitud de Chicago.

Muchos investigadores, incluyendo al doctor McKay, habían observado durante la década de los veintes, que posiblemente existían menos caries entre los niños cuya dentadura tenía fluorosis. Por lo tanto, el siguiente paso lógico del doctor Dean, fue verificar esta observación. Usando los datos ya recabados y agregando a sus listas muchos niños más, estableció la segunda base para la estructura de la fluoruración. El examen de varios miles de niños en 44 ciudades de los Estados Unidos, permitió el arreglo de sus datos en forma algo parecida al cuadro 1.1. Una gráfica preparada

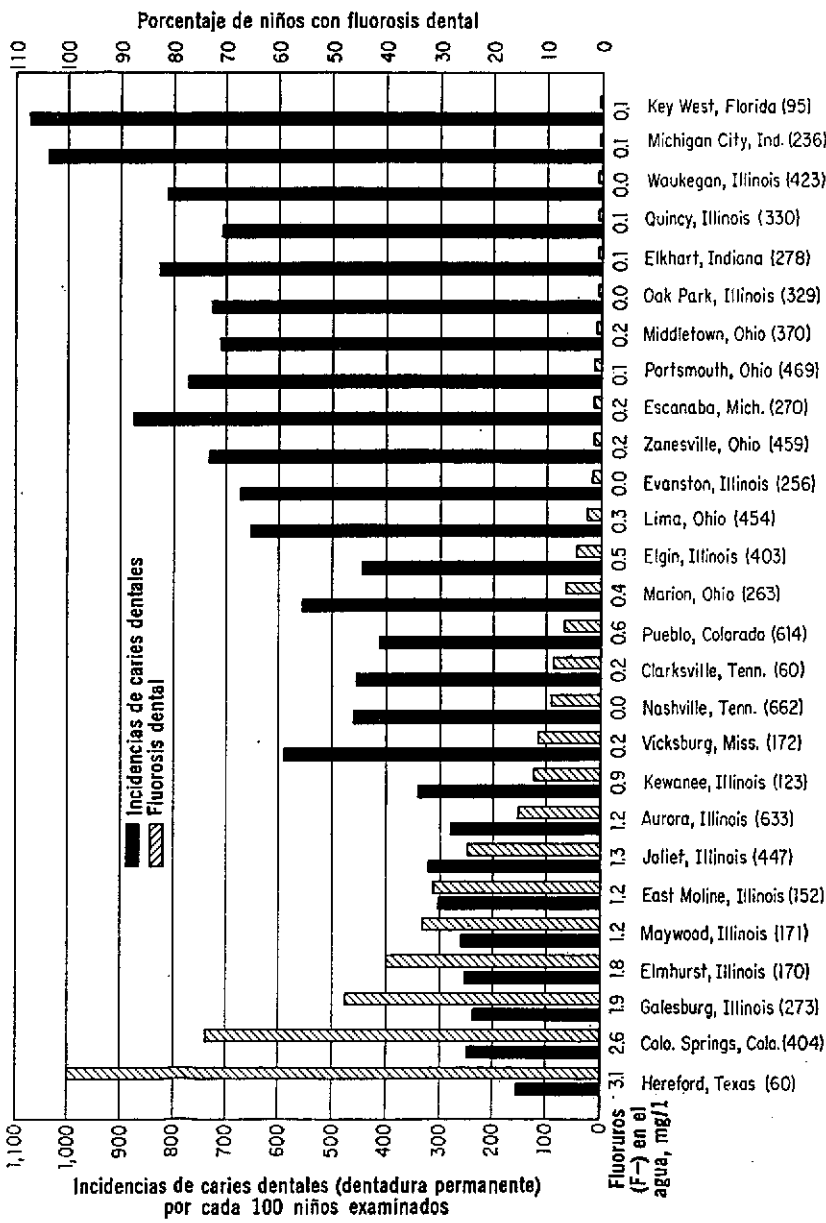


Fig. 1.3 Relación entre la fluorosis dental, las caries dentales y los fluoruros del agua.

CUADRO 1.2 DATOS SOBRE CARIES DENTALES

Ciudad	Número de dientes permanentes cariados por 100 niños	Número de niños examinados	Concentración de fluoruros, mg/l	Referencia
Colorado Springs, Colo. . . . .	162	203	2.5	1
Galesburg, Ill. . . . .	194	243	1.9	2
Pueblo, Colo. . . . .	194	411	0.6	1
Monmouth, Ill. . . . .	208	99	1.7	2
Elmhurst, Ill. . . . .	252	170	1.8	3
Maywood, Ill. . . . .	258	171	1.2	3
Green Bay, Wis. . . . .	275	687	2.3	1
Aurora, Ill. . . . .	281	633	1.2	3
Fort Collins, Colo. . . . .	296	207	0.0	1
Joliet, Ill. . . . .	323	447	1.3	3
Denver, Colo. . . . .	342	637	0.5	1
Macomb, Ill. . . . .	368	63	0.2	2
Elgin, Ill. . . . .	444	402	0.5	3
Quincy, Ill. . . . .	628	291	0.2	2
Two Rivers, Wis. . . . .	646	382	0.3	1
Evanston, Ill. . . . .	673	256	0.0	3
Manitowoc, Wis. . . . .	682	661	0.35	1
Sheboygan, Wis. . . . .	710	244	0.5	1
Oak Parks, Ill. . . . .	722	329	0.0	3
La Crosse, Wis. . . . .	731	47	0.12	1
Baraboo, Wis. . . . .	733	119	0.2	1
Waukegan, Ill. . . . .	810	438	0.0	3
West Allis, Wis. . . . .	831	160	0.3	1
Milwaukee, Wis. . . . .	917	2645	0.3	1

Referencias: 1. *Public Health Reprint* (U.S.) 1973; 19 de agosto de 1938.

2. *Public Health Reprint* (U.S.) 2073; 26 de mayo de 1939.

3. *Public Health Reprint* (U.S.) 2260; 11 de abril de 1941.

con los datos (fig. 1.2) recogidos durante el examen de 7,257 de estos niños, que habitaban en 21 ciudades, indicó clara e inmediatamente la notable relación que existe entre fluoruros del agua y la fluorosis con las incidencias de caries. (En la fig. 1.3 se muestra una gráfica más demostrativa de un estudio similar). De los datos reunidos por el doctor Dean, eran evidentes tres verdades:

1. Cuando el nivel de fluoruros excede de aproximadamente 1.5 mg/l, cualquier incremento subsecuente no disminuye significativamente la incidencia de dientes cariados, faltantes y empastados (índice CPO (DMF) )

(véase la pág. 15, capítulo 2); pero sí incrementa la ocurrencia y severidad del moteado (cuadro 1.1).

2. A un nivel de fluoruros de aproximadamente 1.0 mg/l, se registra el punto óptimo —la reducción máxima de caries con prácticamente ningún moteado—. Descubrió que las incidencias CPO (DMF) se reducían en un 60% entre los niños de 12 a 14 años de edad (cuadro 1.2).

3. A niveles de fluoruros inferiores a 1.0 mg/l, se registran algunos beneficios; pero la reducción de la caries no es tan notable y decrece gradualmente conforme se reduce el nivel de fluoruros, hasta que al acercarse a cero no se registra ningún mejoramiento apreciable.

Con estos conocimientos, era indispensable agregar fluoruros a un abastecimiento de agua y medir sus efectos. Fue necesario determinar experimentalmente si se podían o no duplicar las condiciones observadas al utilizar agua naturalmente fluorurada, cuando los fluoruros se agregaban deliberadamente. Esta sugestión fue hecha por el doctor Dean en 1938, por el doctor Gerald J. Cox del Mellon Institute de Pittsburgh en 1939 y por el doctor David B. Ast del Departamento de Salubridad del estado de Nueva York, en 1942. El doctor W. L. Hutton fue el primero, en 1942, en sugerir que se agregaran fluoruros a un abastecimiento de agua específico —el de Brantford, Ontario—. La interrupción producida por la segunda guerra mundial retrasó la iniciación de dichas demostraciones, hasta 1945, cuando tres ciudades —Grand Rapids, Michigan; Newburgh, Nueva York, y Brantford, Ontario— iniciaron la fluoruración.





## *Beneficios de la fluoruración*

Para el año de 1939, se había establecido claramente que los fluoruros del agua potable producían un cambio en el esmalte de la dentadura permanente, en forma tal, que lo hacía más resistente a la caries dental. Aunque muchos estudios contribuyeron a este resultado, la base del descubrimiento se debió a la combinación de tres investigaciones diferentes:

1. Las observaciones del doctor G. L. Cox y sus colaboradores,<sup>1</sup> de que los dientes de las ratas formados durante la ingestión de fluoruros, tenían una mayor resistencia a la caries.

2. El análisis del doctor W. D. Armstrong y sus colaboradores,<sup>2</sup> que demostraba que los dientes cariados contenían menos fluoruros que los no cariados.

3. El informe del doctor Dean y sus colaboradores,<sup>3</sup> que indicaba que la incidencia de caries era inferior entre niños que habían consumido agua naturalmente fluorurada que entre los que habían usado agua con un bajo contenido de fluoruros.

Teniendo estos estudios como base, se propusieron varias demostraciones para fluorurar un abastecimiento público de agua y observar periódicamente los efectos en la dentadura de los niños. Con el fin de que los resultados fueran aceptables y concluyentes, fue necesario incorporar controles minuciosos y durante este período se hicieron planes para establecer dichas demostraciones.

<sup>1</sup> Fluorine and Its Relation to Dental Caries, *J. Dental Research*, **18**: 481 (1939).

<sup>2</sup> Fluorine Content of Enamel of Sound and Carious Teeth, *J. Dental Research*, **16**: 309 (1937).

<sup>3</sup> Domestic Water and Dental Caries, *Public Health Repts. (U.S.)*, **54**: 862 (1939).

En el celebrado estudio de las "21 ciudades" del doctor Dean, que se describió en el capítulo 1, fue necesario establecer un medio para comparar con precisión los efectos dentales de varias exposiciones a fluoruros. Esto se logró fijando ciertos criterios que se aplicaron en forma semejante en cada comunidad en la que se midieron estos efectos.

1. Todos los niños examinados debían haber nacido en esa comunidad, haber vivido continuamente en ella (se permitieron ausencias de hasta 30 días por año) y haber consumido durante ese tiempo agua de los abastecimientos públicos.

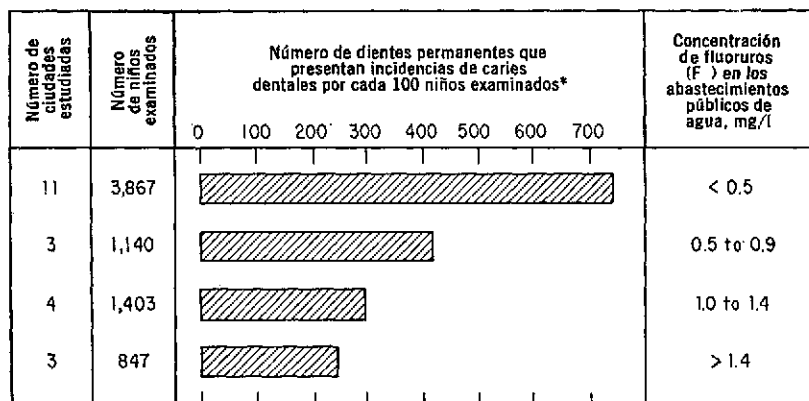
2. Se hicieron exámenes para determinar, para cada niño, el número de dientes empastados, el de cariados sin empastar, los faltantes (extraídos) y los que debían haber sido extraídos debido a caries avanzadas o a otras causas.

Estos dos principios de procedimiento se usaron para determinar la eficacia de la fluoruración controlada en todos los proyectos de estudio —no sólo el de Grand Rapids, Michigan, sino en casi todos los demás en todo el mundo—. Algunos investigadores informaron sobre la condición de la dentadura de los niños, para este propósito, en términos de la suma de dientes cariados, faltantes y empastados; otros lo hicieron en la forma de proporción —el número de dientes defectuosos por niño, por cada 100 niños o por cada 100 dientes examinados—; y un tercer grupo consideró el número de superficies de dientes afectados. En cualquier caso, y sin tomar en cuenta el método de informar sobre los resultados, estas determinaciones revelaron con bastante exactitud la cuantía de caries dentales de los niños examinados. Eventualmente, la mayoría de los estudios informaron sobre el mejoramiento en la sanidad dental, que era resultado de la fluoruración, como una reducción en "incidencias CPO (DMF)". Este término significa el número de dientes permanentes cariados, faltantes o empastados por niño (o por cada 100 niños o por 100 dientes permanentes brotados). Esta cantidad puede relacionarse a cualquier grupo que comprenda ya sea una sola edad (como por ejemplo, todos los niños de 12 años de una comunidad) o puede combinar varios grupos de edades, por ejemplo, los que tienen entre 6 y 12 años de edad.

Obviamente, uno de los primeros requisitos en este tipo de estudios fue decidir el método mediante el cual se podrían presentar y comparar los resultados. Los métodos utilizados por el doctor Dean en su estudio de las "21 ciudades" (fig. 2.1) podían aplicarse casi directamente en esos lugares en donde se controlaba la concentración de fluoruros en el agua. En consecuencia, las técnicas de examen, el análisis estadístico de los datos y la presentación de los resultados eran similares en todos los estudios.

Además de las incidencias CPO generalmente aceptadas, se utilizaron otros métodos para medir los efectos del uso de agua fluorurada. Estos

incluían las llamadas “incidencias ceo” y la “proporción de ausencia de caries”. La primera de ellas es el número de dientes cariados, extracciones indicadas y los empastados, todos éstos de la dentadura primaria (que también se denomina “decidua” o “de leche”). “La proporción de ausencias de caries” facilitaba una medición del incremento en el número de niños que carecían totalmente de caries, una vez iniciada la fluoruración.



\*Las incidencias de caries dentales se computan sumando el número de dientes empastados (después de la caries), el de dientes con caries no tratadas, el de piezas señaladas para extracción y el de dientes faltantes (que se supone, debido a la caries)

Fig. 2.1 Datos sobre caries dentales en niños de 21 ciudades

Estos métodos de medición se basaron en un método de examen más o menos común en todos los estudios anteriores de fluoruración. Aunque los examinadores dentales de Grand Rapids, Michigan, Newburgh, Nueva York y Brantford, Ontario eran personas diferentes, sus resultados fueron notablemente similares, como habremos de demostrarlo.

Todos estos estudios incluían un examen similar de los niños, en una ciudad de control que se había escogido por sus similitudes en todos los aspectos, excepto por el contenido de fluoruros en el abastecimiento público de agua. Estos lugares, con su contenido original de fluoruros (en mg/l), fueron:

1. Grand Rapids, Michigan (0.15 elevado a 1.0)  
Muskegon, Michigan (0.15)  
Aurora, Illinois (1.2)
2. Newburgh, Nueva York (0.1 elevado a 1.1)  
Kingston, Nueva York (0.1)
3. Brantford, Ontario (0.1 elevado a 1.0)  
Sarnia, Ontario (0.1)  
Stratford, Ontario (1.2)

otros estudios realizados en los Estados Unidos que compararon los resultados con las líneas de base establecidas dentro de las ciudades estudiadas (no se usó una ciudad de control) incluían a Marshall, Texas; Evanston, Illinois; Sheboygan, Wisconsin; Ottawa, Kansas; Lewiston, Idaho, y Southbury School, Southbury, Connecticut.

Los métodos por los que se llevaron a cabo estos estudios fueron muy similares; por ejemplo, en cada año se examinó un número importante (estadísticamente) de niños de cada uno de los grupos de edades designa-

CUADRO 2.1 DISTRIBUCIÓN DE NIÑOS DE RESIDENCIA CONTINUA, EXAMINADOS EN GRAND RAPIDS Y MUSKEGON, MICHIGAN Y EN AURORA, ILLINOIS, DE ACUERDO CON SU EDAD Y EL AÑO DE SU EXAMEN †

Edad	Aurora, Ill., 1945	Examen básico 1944-45	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952	1953	1954	1955
			Grand Rapids, Michigan										
4	30	323	540	300	168	137	75	117	168	116	101	77	
5	407	1,633	1,714	831	886	842	777	720	853	1,087	715	529	
6	473	1,789	1,186	628	663	736	697	748	750	826	1,010	561	
7	516	1,806	149	82	69	55	54	438	423	422	410	751	
8	469	1,647	15	216	135	138	155	501	470	444	390	567	
9	368	1,639	.....	525	465	484	519	520	582	720	623	477	
10	397	1,626	.....	109	108	111	125	131	141	512	499	515	
11	383	1,556	.....	17	18	22	140	130	151	246	291	499	27
12	401	1,685	174	85	38	60	130	200	176	211	316	260	168
13	401	1,668	953	547	625	600	574	530	497	497	557	224	254
14	433	1,690	273	173	196	152	153	130	128	119	111	250	254
15	467	1,511	80	53	80	64	64	58	53	80	99	240	307
16	371	1,107	4	3	233	245	209	177	198	191	197	198	212
Total...	5,116	19,680	5,088	3,569	3,684	3,646	3,672	4,400	4,590	5,471	5,319	5,148	1,222
Muskegon, Michigan ‡													
4	.....	20	.....	43	18	26	51	41	63	52	43	40	
5	.....	402	.....	321	348	422	340	359	351	487	370	381	55
6	.....	462	.....	339	312	305	303	310	294	353	397	386	72
7	.....	408	.....	36	42	36	30	274	223	246	209	292	78
8	.....	376	.....	18	13	10	12	190	275	205	212	244	75
9	.....	357	.....	213	215	199	197	227	277	348	258	275	65
10	.....	359	.....	62	57	52	52	51	62	287	311	226	63
11	.....	293	.....	12	10	14	146	141	139	133	175	208	54
12	.....	328	.....	21	19	11	28	43	48	46	163	183	93
13	.....	377	.....	197	207	208	214	173	225	178	228	243	58
14	.....	369	.....	77	50	79	66	63	59	54	51	121	
15	.....	292	.....	18	44	41	34	35	21	30	35	139	
16	.....	248	.....	1	199	205	132	146	155	132	161	185	
Total ...	.....	4,291	.....	1,358	1,534	1,608	1,695	2,053	2,192	2,551	2,613	2,923	613

† Arnold Francis A. Jr., Estudio sobre la fluoruración en Grand Rapids (Grand Rapids Fluoridation Study). Resultados correspondientes al décimo primer año de fluoruración, *Am. J. Public Health*, 47 (5): 539 (1957).

‡ Los exámenes básicos en Muskegon no se hicieron sino hasta fines de la primavera de 1945; por lo tanto, no se hicieron exámenes en el otoño de ese mismo año.

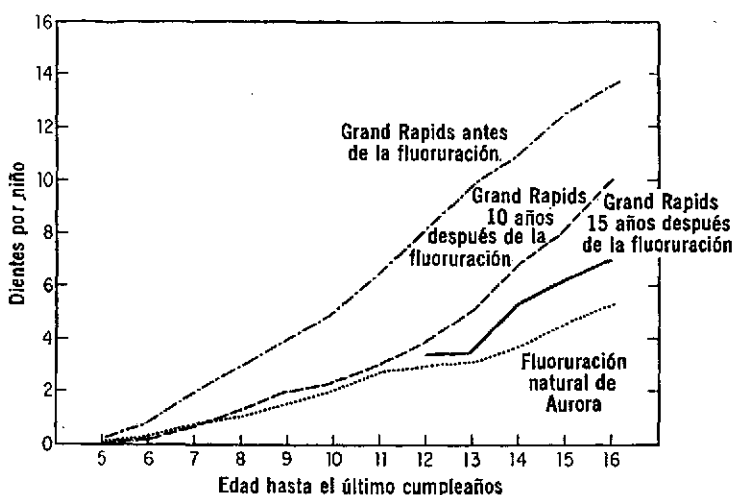


FIG. 2.2 Reducción de dientes CPO permanentes en Grand Rapids, después de diez y quince años de fluoruración. (USPHS.)

das, en una forma tan similar como fue posible. El número de niños examinados en Grand Rapids, cada año, aparece en el cuadro 2.1. Después de 1951, Muskegon no pudo seguir siendo una ciudad de control, porque se inició entonces la fluoruración de su abastecimiento público de agua.

Como resultado de estas técnicas, fue posible seguir muy de cerca el progreso de los resultados de la fluoruración. En la fig. 2.2 se muestra un informe típico de este progreso. Las líneas de base que indican las proporciones CPO iniciales en Grand Rapids, Muskegon y Aurora, aparecen ilustradas en la fig. 2.3.

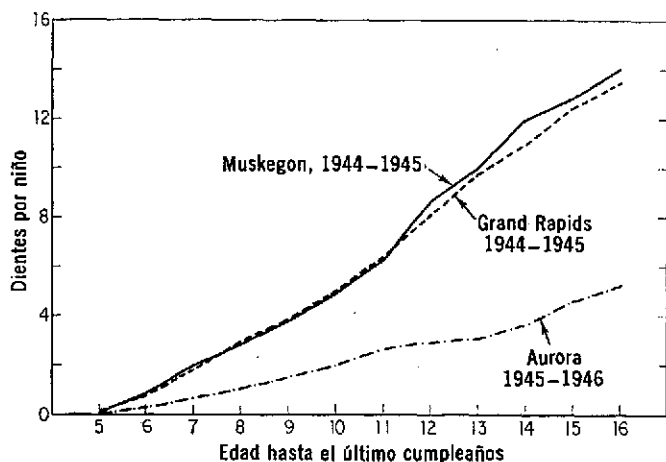


FIG. 2.3 Reducciones de CPO en Grand Rapids, en comparación con ciudades de control.

Los resultados de otros proyectos de estudio indicaron reducciones similares de CPO. En la Fig. 2.4 se presenta una comparación entre los resultados, de diez años, de Grand Rapids,<sup>4</sup> Newburgh<sup>5</sup> y Brantford.<sup>6</sup> A pesar de las diferencias de abastecimiento de agua, climas, dentistas que realizaron los exámenes y las diferencias naturales en los niños examinados, los resultados son, evidentemente, muy parecidos.

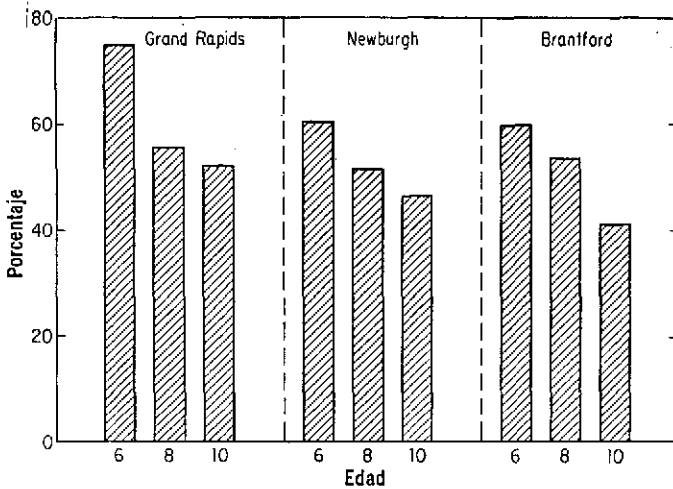


FIG. 2.4 Reducción de caries dentales en las ciudades pioneras

Salta a la vista que pueden sacarse varias conclusiones de estas curvas y gráficas:

1. Cada examen anual sucesivo reveló un mejoramiento progresivo en la reducción de dientes cariados, faltantes y empastados.

2. Los grupos de edades más pequeños indicaron el mejoramiento más rápido y, en cualquier tiempo dado, la mayor reducción de incidencias CPO (fig. 2.5).

3. Conforme la duración del procedimiento de fluoruración se acercaba a la edad de los niños, las incidencias CPO se acercaban a la proporción de Aurora (en donde el abastecimiento de agua contiene, por naturaleza, 1.2 mg/l de fluoruros), lo cual estaba considerado como uno de los obje-

<sup>4</sup> Arnold, Francis A., Jr., Dean, H. Trendley, Jay, Philip y Knutson, John W., Effects of Fluoridated Public Water Supplies and Dental Caries Prevalence, *Public Health Repts. (U.S.)*, **71**: (7): 652-658 (1956).

<sup>5</sup> Ast, David B., Smith, David J., Wachs, Barnett y Cantwell, Katherine T., Newburgh-Kingston Caries-Fluorine Study, XIV. Combined Clinical and Roentgenographic Dental Findings after Ten Years of Fluoride Experience, *J. Am. Dental Assoc.*, **52**: 314-325 (1956).

<sup>6</sup> Hutton, William L., Linscott Bradley W. y Williams, Donald B., Final Report of Local Studies on Water Fluoridation in Brantford, *Can J. Public Health*, págs. 89-91, (marzo de 1956).

tivos y lo máximo en la reducción de CPO con este procedimiento. En otras palabras, mientras de menor edad es el niño al iniciarse la fluoruración, mejores son los resultados.

4. Los niños que ya tenían la dentadura permanente al iniciarse la fluoruración, obtenían un beneficio mensurable. Por ejemplo, los jóvenes de 16 años de edad, que tenían 6 años al principiarse la fluoruración, tuvieron una reducción de CPO de un 26 por ciento en diez años.<sup>7</sup>

El grupo de 16 años de edad fue el de mayor edad que se examinó durante el estudio de Grand Rapids. Como se indica en la fig. 2.6, después

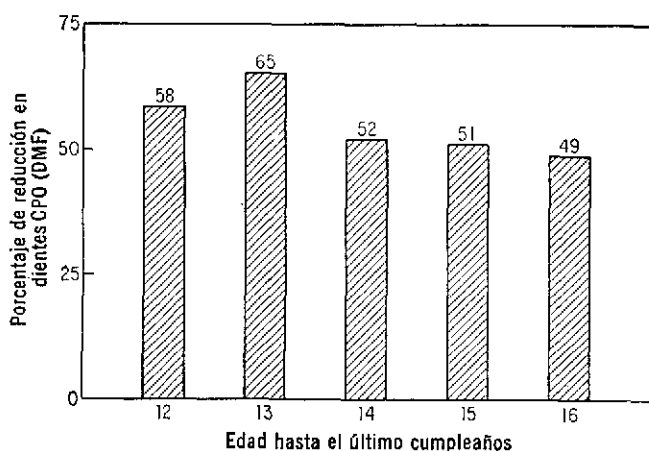


Fig. 2.5 Reducción de dientes cariados en grupos de edades específicas, 15 años después de iniciada la fluoruración en Grand Rapids, Michigan. (USPHS.)

de 12 años de fluoruración, este grupo evidenció una reducción en incidencias CPO, del 34 por ciento.

Esto parecería indicar que los jóvenes adultos derivaron algunos beneficios de la fluoruración, aun cuando ya tenían la mayoría de los dientes permanentes formados o habían brotado cuando se inició la fluoruración. Existen muchas razones para pensar que si se hubiera tenido la ocasión de examinar grupos de edades mayores, se habría encontrado un mejoramiento similar (aunque obviamente reducido) en la resistencia a las caries dentales.

Por ejemplo, no hay razón para pensar que la reducción de incidencias CPO, en el grupo de 17 ó 18 años de edad, podía descender abruptamente a cero por ciento, de la reducción de 34 por ciento que se encontró en el grupo de 16 años. De la misma manera, aun cuando se hubiera examinado a adultos jóvenes, probablemente habría habido una reducción determinada de dientes CPO que posiblemente se habría extendido a los grupos de

<sup>7</sup> Arnold, Dean, Jay y Knutson, *op. cit.*



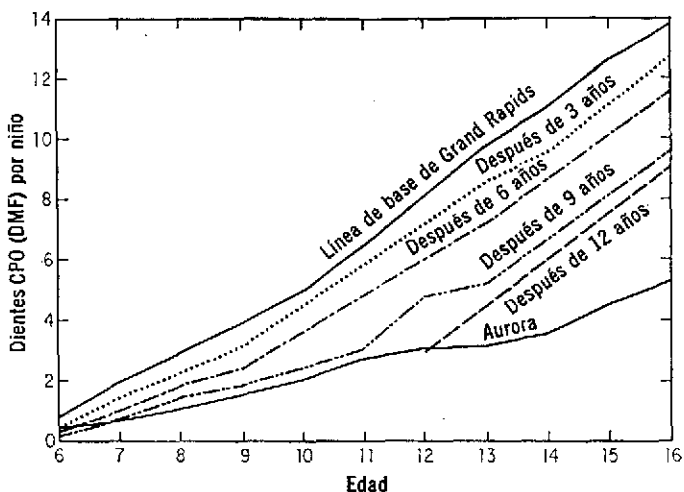


Fig. 2.6 Comparación de datos sobre dientes CPO en Grand Rapids y Aurora

más de 20 años de edad. Hasta la fecha no se han realizado estudios para comprobar este beneficio que se sospecha obtienen los adultos mayores.

Las dentaduras deciduas (denominadas también "primarias" o "de leche") mostraron una reducción decidida en las incidencias de caries. Como se ilustra en la fig. 2.7, la proporción de caries (incidencias ceo) correspondientes a Grand Rapids, después de diez años de fluoruración, se asemejó a las encontradas en las dentaduras de leche en Aurora (con 1.2 mg/l de fluoruros naturales) entre los niños más pequeños examinados y de ahí en adelante permaneció sin cambiar. La causa de este beneficio

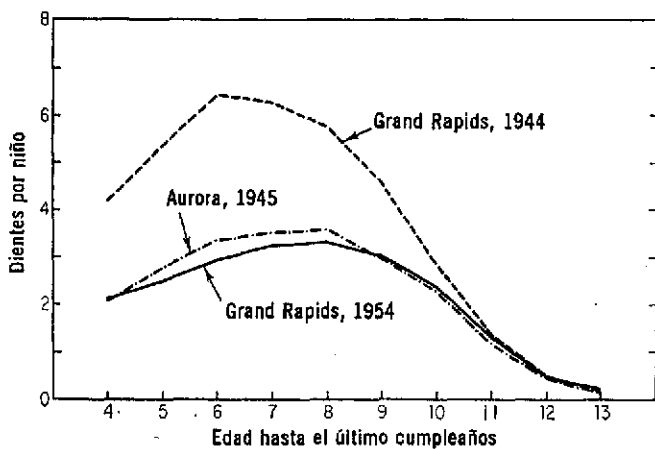


Fig. 2.7 Reducción de la caries dental en dentaduras de leche, en Grand Rapids y Aurora. (USPHS.)

CUADRO 2.2 ESTUDIO DE FLUORURACIÓN EN GRAND RAPIDS  
RESIDENTES CONTINUOS  
*Dentadura permanente*

Grand Rapids															
Edad	Número examinado		Porcentaje de reducción en dientes CPO		Número de dientes CPO por niño		Porcentaje con dientes CPO		Dientes faltantes por niño		Dientes empastados por niño		Dientes cariados por niño		
	1955, después de 11 años	1956, después de 12 años	1955, después de 11 años	1956, después de 12 años	1955, después de 11 años	1956, después de 12 años	1955, después de 11 años	1956, después de 12 años	1955, después de 11 años	1956, después de 12 años	1955, después de 11 años	1956, después de 12 años	1955, después de 11 años	1956, después de 12 años	
11	27	30	55.5	44.9	2.852	3.533	66.7	90.0	0.037	0.433	2.074	1.900	0.926	1.200	
12	168	160	58.3	63.9	3.363	2.913	81.0	78.8	0.101	0.131	2.554	1.994	0.851	0.900	
13	254	265	50.1	54.1	4.858	4.468	88.6	87.9	0.445	0.283	3.098	3.057	1.413	1.600	
14	307	330	37.1	39.8	6.130	6.021	93.7	92.1	0.598	0.579	4.031	4.133	1.650	1.473	
15	212	272	33.9	34.3	7.857	7.520	95.8	95.8	0.798	0.819	5.241	5.039	2.068	1.864	
16	131	129	....	....	8.929	8.871	97.6	97.8	0.929	0.879	6.316	6.562	1.901	1.787	
17	....	....	....	....	11.397	9.791	99.2	98.4	1.389	1.209	8.718	7.140	1.634	1.690	
18	....	....	....	....	....	10.074	....	100.0	....	2.111	....	7.037	....	1.148	
Total.....	1,353	1,544	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....

Muskegon															
Edad	Número examinado		Porcentaje de reducción en dientes CPO		Número de dientes CPO por niño		Porcentaje con dientes CPO		Dientes faltantes por niño		Dientes empastados por niño		Dientes cariados por niño		
	1955, después de 4 años	1956, después de 5 años	1955, después de 4 años	1956, después de 5 años	1955, después de 4 años	1956, después de 5 años	1955, después de 4 años	1956, después de 5 años	1955, después de 4 años	1956, después de 5 años	1955, después de 4 años	1956, después de 5 años	1955, después de 4 años	1956, después de 5 años	
5	55	81	100.0	81.5	0.000	0.012	0.0	1.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	
6	72	58	84.6	95.8	0.125	0.034	6.9	3.4	0.000	0.000	0.083	0.000	0.042	0.084	
7	78	77	57.4	65.4	0.846	0.688	38.5	29.9	0.026	0.000	0.551	0.429	0.269	0.234	
8	75	72	46.9	39.2	1.493	1.708	54.7	58.3	0.067	0.028	1.013	1.097	0.413	0.583	
9	65	69	26.1	45.6	2.815	2.072	76.9	73.9	0.200	0.130	2.046	1.493	0.646	0.464	
10	63	62	27.8	31.9	3.540	3.339	82.5	87.1	0.270	0.306	2.587	2.500	0.746	0.613	
11	54	51	40.5	32.3	3.759	3.275	90.7	94.1	0.241	0.588	2.481	3.059	1.130	0.765	
12	93	12	44.2	48.0	4.828	4.500	95.7	83.3	0.226	0.083	4.011	4.083	0.688	0.333	
13	58	....	33.2	....	6.672	....	96.6	....	0.638	....	5.017	....	1.121	....	
Total.....	613	482	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....



que, dicha sea la verdad, no se esperaba, no puede explicarse con base en la absorción de fluoruros por el esmalte del diente a través de la corriente sanguínea, ya que los dientes deciduos están esencial y totalmente formados al nacer. Este fenómeno de mejoramiento en las incidencias ceo podría explicarse como un mecanismo de absorción de los dientes de leche, una vez que han brotado, mediante el cual los fluoruros del agua se incorporan a la estructura del esmalte cuando hace contacto con los dientes al beberla. En otras palabras, la única fuente y entrada de los fluoruros que queda, es el agua potable fluorurada, ya que las otras dos entradas han sido eliminadas, esto es, la absorción de fluoruros a través del sistema durante el período de formación del esmalte de los dientes y la ausencia virtual de transferencia de fluoruros en la placenta (obtención de fluoruros de la madre, antes del nacimiento). Se ha demostrado que el hecho de que las mujeres embarazadas consuman agua fluorurada de un nivel óptimo, no presenta un efecto apreciable en las caries de las dentaduras de leche de sus niños.<sup>8</sup>

Exceptuando el efecto en los dientes, no se ha descubierto ningún otro cambio de ninguna especie, ya sea benéfico o adverso, que se deba al agua fluorurada consumida en las cantidades recomendadas. Por supuesto, esta conclusión se había observado muchos miles de veces entre individuos que usaban agua que tenía, por naturaleza, muchas veces el contenido de fluoruros que ahora se considera como óptimo. Sin embargo, para confirmar esto, en los casos en que se controlaron los niveles de fluoruros, algunos de los proyectos de fluoruración incluyeron observaciones médicas y dentales de complejidad variable, además de las que estaban relacionadas con la computación de las incidencias CPO o ceo. Estos exámenes incluyeron la prevalencia de fluorosis (el moteado de los dientes), exámenes de rayos X de varias articulaciones y partes de la espina dorsal, pruebas de laboratorio de sangre y de orina y exámenes clínicos minuciosos de los niños del grupo (como en Newburgh, Nueva York).

Las observaciones que se hicieron en las regiones que contaban con abastecimientos de agua potable con fluoruros naturales y que se relacionaban con la incidencia de fluorosis, se confirmaron en los proyectos de estudio sobre la fluoruración en donde se controlaban los niveles de fluoruros. Por ejemplo, en Grand Rapids se encontró que aproximadamente el 4 por ciento de los niños de 11 años de edad, tenían un grado muy leve de moteado, fuera éste o no causado por los fluoruros del agua.<sup>9</sup> Este

<sup>8</sup> Carlos, James P., Gittelsohn, Alan M. y Haddon, William, Jr., Caries in Deciduous Teeth in Relation to Maternal Ingestion of Fluoride, *Public Health Repts. (U.S.)*, **77**: 658 (1962).

<sup>9</sup> Arnold, Francis A., Jr., Grand Rapids Fluoridation Study—Results Pertaining to the Eleventh Year of Fluoridation, *Am. J. Public Health*, **47**: (5): 539 (1957).

grado de moteado es casi imperceptible y no tiene mucha importancia desde el punto de vista estético o de salud pública; de hecho, los dentistas especializados en tales exámenes, necesitan observar minuciosamente para encontrarlo, a pesar de conocer este tipo de moteado. Su aspecto es el de una mancha leve, blanca y opaca de una porción en no más de dos o tres dientes laterales y posteriores.

Esta ausencia total de cualquier fluorosis ordinaria apreciable, es la que proporciona la mejor indicación de la proporción constante del consumo de agua entre los niños. Si se hubieran registrado algunos casos aunque fuera de fluorosis leve en cualquiera de los estudios sobre fluoruración controlada, se habría supuesto que dichos niños habían consumido una cantidad excesiva de agua durante el período crítico de la formación del esmalte de los dientes. En realidad, hasta la fecha no se ha observado ni siquiera un solo caso semejante. En otras palabras, aunque indudablemente existe una diferencia en las cantidades de agua que los niños beben, las variaciones no son tan grandes como para producir una fluorosis notable con los fluoruros que contiene el agua que beben. Se cree que éste es uno de los argumentos más importantes en pro del uso del agua potable como el medio o vehículo de los fluoruros requeridos para una salud dental óptima. Se cree que no existen otros medios que tengan las mismas características de consumo constantes e invariables, como ha probado ser el agua. Además de la reducción de la caries, la fluoruración del agua ha sido también el instrumento para reducir la incidencia de oclusiones deficientes. En un estudio,<sup>10</sup> este fenómeno fue tres veces más prevalente entre los niños de una ciudad sin fluoruración, que en una cuyo abastecimiento de agua contenía fluoruros.

En relación con *todos* los otros exámenes y observaciones físicas en *todos* los estudios de que se tiene noticia hasta ahora, una conclusión típica es: "no se encontró ninguna diferencia de importancia médica, entre los dos grupos de niños".<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Ast, David B., Allaway, Norman y Draker, Harry L., The Problem of Malocclusion Related to Dental Caries and Lost First Permanent Molars in a Fluoridated City and a Fluoride Deficient City. *Amer. Jour. Orthodont.*, **48**: (2) 106-113 (feb. de 1962).

<sup>11</sup> Schlesinger, Edward R., Overton, David E. y Chase, Helen C., Study of Children Drinking Fluoridated and Non-fluoridated, Water, *J. Am. Med. Assoc.*, **160**: 21-24 (1956).

## *Procedimientos de adopción*

Han transcurrido más de 24 años desde que se iniciaron los primeros proyectos de fluoruración en Grand Rapids, Michigan; Newburgh, Nueva York, y Brantford, Ontario. Los datos incluidos en el capítulo 2 confirman la efectividad de estos programas y demuestran que el procedimiento es seguro. Como resultado, muchas otras comunidades han adoptado esta medida, de tal manera que en la actualidad hay más de 4,400 comunidades que agregan fluoruros a sus abastecimientos de agua, en cantidades controladas. Como se demostrará en el capítulo 13, la mayoría de las comunidades que han adoptado este sistema son las que tienen las poblaciones más elevadas; el gran número de lugares que carecen de la fluoruración y que cuentan con menos de 4,400 habitantes indica que, por diversas razones, muchas personas no han considerado que vale la pena adoptar dicho sistema.

En vista de la notable economía y otras ventajas que pueden obtener las comunidades al adoptar la fluoruración, es posible que, eventualmente, la tarea de explicar las ventajas de esta medida a sus asociados y constituyentes, recaiga en todas las autoridades de sanidad pública y funcionarios municipales.

El sistema debe examinarse cuidadosamente en cada comunidad en la que exista una deficiencia de fluoruros en el abastecimiento de agua, porque en los Estados Unidos se presentan los siguientes hechos:

Más del 90 por ciento de los niños de 7 años de edad tienen uno o más dientes cariados;

Entre todos los niños de 16 años de edad, un promedio de siete dientes han estado cariados;

El adulto medio ha perdido la mitad de su dentadura cuando llega a la edad de 40 años, y más de 21 millones de personas han perdido todos los dientes.

Existen tres factores que agravan este problema y lo hacen difícil de resolver:

1. Hay una indiferencia sumamente generalizada hacia los problemas de salud oral.

2. Se cuenta sólo con de un décimo a un medio (dependiendo del país y de la región dentro de dicho país) del número de dentistas que se considera adecuado para proporcionar un cuidado dental apropiado.

3. El costo de una atención dental adecuada está más allá del alcance de muchas familias.

Se ha probado que una de las mejores formas de aliviar estos padecimientos dentales, es poner al alcance de todos el agua fluorurada.

Con el fin de que esta medida pueda adoptarse en una comunidad, es prudente estudiar las causas de fracaso en otras partes y estar preparado para resolverlas. Más aún, es más aconsejable todavía conocer qué tipo de organización y procedimientos se aplicaron con todo éxito en los lugares en que se inició la fluoruración. En la fig. 3.1 se delinea un procedimiento bastante típico, que se ha usado con muchas modificaciones en un gran número de diferentes comunidades.

En este procedimiento, la idea de fluorurar el abastecimiento de agua de la comunidad atrae primero la atención de dentistas o médicos a través de revistas técnicas, convenciones u otros medios. Estos consultan las sociedades dentales o médicas de la localidad, quienes respaldan la medida para el lugar con poco o ningún retraso. Desde el punto de vista científico, la fluoruración es la medida de sanidad pública de menos controversia que hayamos tenido. Los que han estudiado los resultados y el fondo que lleva a ellos y están adiestrados para interpretarlos, han aprendido que la fluoruración reduce substancialmente la caries dental con seguridad y eficacia. Como resultado, el sistema es respaldado por todas las organizaciones profesionales y científicas relacionadas, todos los departamentos estatales de sanidad y una legión de organizaciones particulares que están interesadas en el mejoramiento de la comunidad. Al final de este capítulo se incluye una lista parcial de grupos semejantes.

La sociedad dental o médica nombra, entonces, a un grupo consejero sobre sanidad, que represente las agrupaciones profesionales de salubridad, las sociedades dentales y médicas y las agencias voluntarias de salud. Su función es proporcionar dirección y reglas y organizar conferencias para las reuniones públicas. De este grupo se nombra un coordinador o presidente.

La dirección de toda la campaña está a cargo de esta persona, que debe seleccionarse con sumo cuidado. La evaluación de sus cualidades debe

incluir factores tales como: 1) la situación que ha alcanzado dentro de la comunidad; 2) su ocupación o profesión; 3) el tiempo durante el cual ha vivido en la comunidad; 4) el historial de otras funciones directivas que haya desempeñado con éxito en la localidad, y 5) su interés en el mejoramiento de su comunidad.

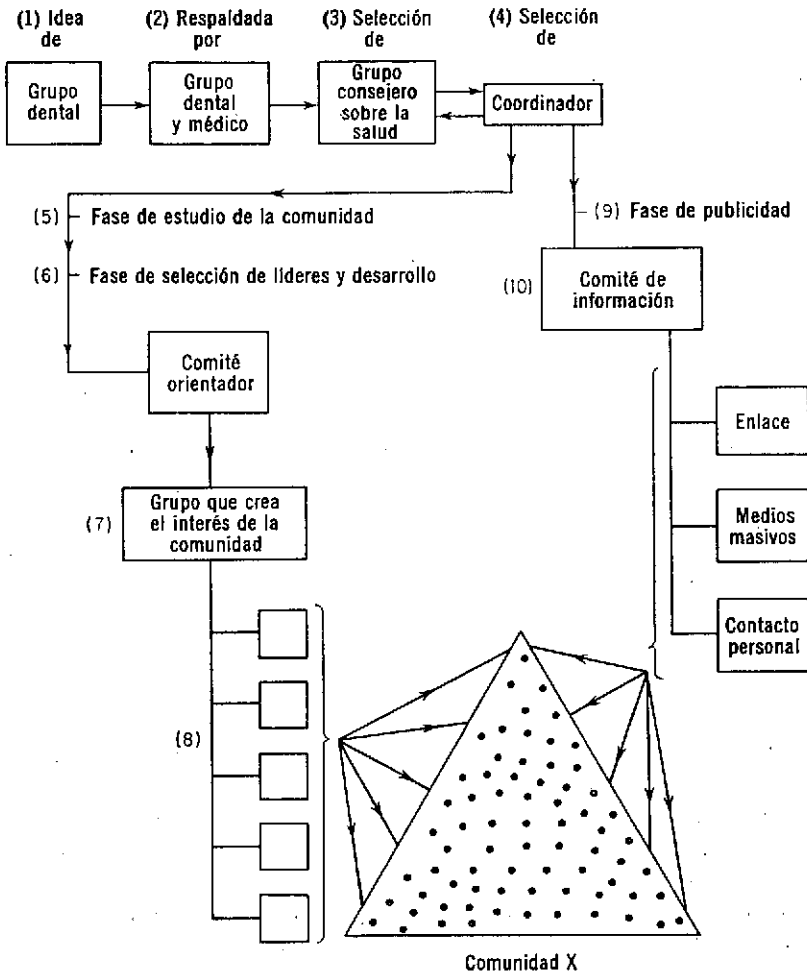


FIG. 3.1 Esquema de la organización de la comunidad. (USPHS.)

Bajo una dirección de este tipo, el grupo de consejo sobre sanidad realizará un estudio de la comunidad desde el punto de vista de: 1) la posibilidad y el costo de fluorurar su abastecimiento público de agua (la información a este respecto puede pedirse al ingeniero municipal o al superintendente de la planta de agua potable, quien puede obtener ayuda para pedir dicha



información de los ingenieros de los departamentos de salubridad o trabajos públicos de cada país, o de organizaciones mundiales de sanidad); 2) los factores políticos que se relacionen con el sistema, por ejemplo, la opinión local sobre la operación de la planta de agua potable, el abastecimiento local con otros servicios públicos; 3) las características de la comunidad, por ejemplo, la proporción de personas mayores de 45 años, el número de familias con niños pequeños, la actitud de las personas ante medidas nuevas y progresistas, la unanimidad de objetivos de los miembros del consejo municipal, y 4) la historia de medidas similares que se hayan realizado con éxito, por ejemplo, escuelas, trabajos de tratamiento, parques, calles y carreteras y empresas semejantes.

Esta investigación da cierta idea de los problemas que deben resolverse. El grupo asesor estará ya listo para designar directores que trabajen en diversas partes de la ciudad o con grupos especializados. Se les informará de las objeciones posibles. Se hará toda clase de esfuerzos para obtener informes sobre las ventajas de la fluoruración para cada una de las personas de la comunidad.

La tarea de presentar las ventajas que pueden obtenerse en la comunidad, mediante la fluoruración, será relativamente fácil si se basan en las experiencias de otras ciudades. El problema más difícil será la tarea de responder a preguntas y alegatos presentados por los que se oponen al sistema.

Una vez que se ha decidido adoptar la medida y que se han obtenido las autorizaciones legales necesarias, los planos para fluorurar el abastecimiento de agua se obtienen ya sea de las propias autoridades de ingeniería de la ciudad o de un ingeniero consultor de fuera. Estos planos, junto con los cálculos del costo y las resoluciones de las sociedades dental y médica de la localidad, se envían al departamento estatal de sanidad, que autorizará a la ciudad a proseguir una vez que los haya revisado. A continuación se reúne el dinero y se compra e instala el equipo. De esta manera se añade otra comunidad a la lista siempre creciente de las que han decidido preservar, en la medida que en la actualidad es posible, la dentadura de sus hijos.

En los Estados Unidos, la fluoruración ha sido aprobada por las principales organizaciones científicas y profesionales que tienen alguna relación con este campo. Entre las que han aprobado o respaldado formalmente la medida están:

American Academy of Pediatrics  
American Association for the Advancement of Science  
American Association of Public Health Dentists  
American College of Dentists  
American Dental Association

American Dental Hygienists Association  
American Federation of Labor and Congress of Industrial Organizations  
American Hospital Association  
American Legion  
American Medical Association  
American Nurses Association  
American Pharmaceutical Association  
American Public Health Association  
American Public Welfare Association  
American School Health Association  
American Society of Clinical Pathologists  
American Society of Dentistry for Children  
American Veterinary Medical Association  
American Water Works Association  
Association of Casualty and Surety Companies  
Association of State and Territorial Dental Directors  
Child Study Association of America  
College of American Pathologists  
Commission on Chronic Illness  
Conference of State Sanitary Engineers  
Federal Civil Defense Administration  
Industrial Medicine Association  
Joint Committee on Health Problems of the American Medical Association and the National Education Association  
National Congress of Parents and Teachers  
National Research Council  
State and Territorial Health Officers Association  
U. S. Department of Defense  
U. S. Department of Health, Education and Welfare: U. S. Public Health Service  
U. S. Junior Chamber of Commerce  
Pan American Health Organization (Regional Office of the World Health Organization).

Además, el Departamento de la Defensa de los Estados Unidos, ha emitido un número de declaraciones de normas que cubren el tema de los fluoruros en los abastecimientos de agua que sirven a varios puestos y bases militares. Un ejemplo típico en esta declaración del Departamento del Ejército (ACAC-C (M) 671.1-MEDCA, 7/1/54) es el siguiente: "El uso de este procedimiento se recomienda en los puestos en donde el contenido natural de fluoruros en sus abastecimientos de agua es muy bajo y en donde haya una población infantil de importancia."

Las declaraciones oficiales de estas organizaciones han sido, en lo general, positivas e inequívocas. Por ejemplo, el Servicio de Salubridad Pública de los Estados Unidos afirmó desde 1951, que: "durante el año pasado, nuestros estudios progresaron al punto en que pudimos anunciar el respaldo incondicional a la fluoruración de los abastecimientos públicos de agua, como un procedimiento masivo para reducir, en dos tercios, la caries dental." Además, el consejo directivo de la Pan American Health Organization (Organización Panamericana de la Salud que está compuesta por un representante de cada nación de Latinoamérica) aprobó unánimemente la resolución (núm. 23 del 7 de septiembre de 1964) — "Teniendo en cuenta que la fluoruración de los abastecimientos públicos de agua potable, es un medio eficaz para prevenir la caries dental; — Decide, — sugerir a las autoridades nacionales que tienen la responsabilidad de proporcionar los abastecimientos públicos de agua potable, que tomen medidas inmediatas para iniciar la fluoruración de sus abastecimientos de agua a través de sus sistemas."<sup>1</sup> La Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria (AIDIS) recomendó (en el noveno congreso de dicha organización, en Bogotá, Colombia, en julio de 1964), que la fluoruración sea considerada como un proceso normal del tratamiento de aguas y que, consecuentemente, deberá usarse en todos los lugares en donde la composición química del agua tratada lo requiera.

Además de los procedimientos señalados hasta ahora en este capítulo, existe un número creciente de países en donde se han adoptado leyes y reglas que hacen obligatoria la fluoruración de los depósitos públicos de agua potable. Irlanda fue el primer país que lo hizo. Chile y el estado de Río Grande del Sur, en Brasil, así como los estados de Connecticut, Illinois, Michigan y Kentucky, en los Estados Unidos de América, tienen ahora dichas leyes o reglamentos.

<sup>1</sup> Documentos, XV Reunión del Consejo Directivo de la OPS, 1964.

## *Objeciones técnicas (de ingeniería, químicas, industriales y económicas)*

El gran número de argumentos presentados por los oponentes a la fluoruración, que está relacionado con los aspectos de ingeniería, químicos e industriales, pueden agruparse bajo estos encabezados:

1. Compuestos químicos y teorías.
2. Problemas que se presentan en la planta de tratamiento de agua debidos a la fluoruración.
3. Usos comerciales e industriales del agua fluorurada
4. Otros métodos para administrar fluoruros.

### COMPUESTOS QUIMICOS Y TEORIAS

Aunque muchos de los oponentes a la fluoruración han admitido la validez de los resultados que indican el mejoramiento de la salud dental, entre las personas que habitan en regiones en las que los fluoruros forman parte del agua por naturaleza, dudan que puedan obtenerse los mismos resultados en comunidades que cuentan con fluoruración controlada. Sus dudas se basan en la creencia de que hay una diferencia fundamental entre los fluoruros "naturales" y los "artificiales". Muchos químicos sobresalientes han negado que pueda existir tal diferencia. Un grupo de ellos afirmó:

El elemento *flúor* está constituido de átomos que tienen una estructura definida. Cuando el flúor se combina con otros elementos o grupo de elementos, cada átomo gana un electrón y la nueva substancia se denomina *fluoruro*. En una solución de agua, estas partículas de fluoruro tienden a disociarse como

partículas cargadas separadas que se llaman iones. Los iones de fluoruro tienen propiedades diferentes a las del elemento *flúor*, de la misma manera que el gas de *cloro* tiene diferentes propiedades que los cloruros tales como la sal de mesa. A veces se utilizan los términos "artificial" o "químico" con un sentido que puede engañar y crea confusión en lo que respecta al uso de fluoruros refinados o preparados para regular la composición de los abastecimientos de agua. Puesto que el ion de fluoruro disuelto en agua, ya sea sobre o debajo de la tierra, es el mismo que el ion de fluoruro del agua cuando éstos se añaden bajo el control de buenos ingenieros o químicos, para prevenir la caries dental, no habrá ninguna diferencia en sus efectos en el cuerpo humano.<sup>1</sup>

La forma intensa en que el flúor reacciona con otros elementos, a menudo se cita como razón para evitar el consumo de compuestos de fluoruros. En este caso, el flúor elemental [que nunca se utiliza para fluorurar (véase el capítulo 6)], se confunde con los compuestos de flúor, que reaccionan con mucha menor fuerza. Una situación semejante ocurre en la unión de elementos muy reactivos, entre los cuales está la sal de mesa común —sodio y cloro—. Sin embargo, el que la introducción de compuestos de fluoruros en el agua no sea dañino, queda confirmado por gran número de informes que indican que son similares los beneficios obtenidos de las aguas fluoruradas, tanto artificial como naturalmente.

Se dice que los compuestos usados para la fluoruración, no son puros, no son "orgánicos" y, por ende, no son naturales o benéficos. Todos los compuestos que se usan en la actualidad, se describen en el capítulo 6. Muchos tienen una pureza superior al 99 por ciento, otros contienen cantidades variables de impurezas predominantemente inofensivas (por ejemplo, el ácido fluosilícico contiene más del 70 por ciento de agua). Algunas personas alegan que los fluoruros son un producto de desecho de la industria del aluminio. En realidad, esta industria utiliza grandes cantidades de compuestos de fluoruros y evita deshacerse de ellos porque los utiliza como materia prima para la elaboración del aluminio. Ciertamente, los fluoruros no son un subproducto de la industria del aluminio.

Se ha dicho que la fluoruración es un procedimiento inútil, ya que es sólo para el beneficio de los niños. Es cierto que los fluoruros en el agua sólo benefician a niños dentro de ciertas edades (de 0 a aproximadamente 16 años de edad). Sin embargo, los beneficios derivados se extienden a lo largo de toda su vida y, por lo general, los niños se convierten en adultos. De la misma manera, el costo de la fluoruración municipal es tan extremadamente bajo que cualquier otro medio para asegurarles a los niños agua fluorurada, con la exclusión de otras edades, sería mucho más costoso.

Con frecuencia se ha afirmado que los fluoruros son sustancias tóxicas y, en consecuencia, pueden facilitar a nuestros enemigos oportunidades para

<sup>1</sup> Química del flúor, de "Our Children's Teeth: A Digest of Expert Opinion Based on Studies of the Use of Fluorides in Public Water Supplies", Committee to Protect Our Children's Teeth, Inc., Nueva York, 6 de marzo de (1957).

sabotajes. Es cierto que los fluoruros son tóxicos en grandes concentraciones, pero lo mismo puede decirse de casi todas las demás sustancias. Por ejemplo, el cloro, un gas tóxico que se utilizó durante la primera guerra mundial, se usa hoy en día casi universalmente, para purificar el agua potable. El agua misma, tomada en cantidades excesivas puede ser dañina. La pequeña cantidad de fluoruros que se utiliza en el agua está muy lejos de ser tóxica. Se ha calculado que sería necesario consumir aproximadamente 2,500 litros de agua, fluorurada con 1.0 mg/1, de una sola vez, para poder ingerir una dosis letal de fluoruros. Las propiedades tóxicas de los fluoruros en cantidades masivas, han inducido a la idea de que, por accidente o sabotaje, podrían introducirse niveles peligrosos de fluoruros en la planta de tratamiento del agua. No obstante, para agregar una dosis letal, sería necesario proporcionar aproximadamente 8 toneladas métricas de fluoruro de sodio por cada 1,000 metros cúbicos de agua. Esto es prácticamente imposible, ya que el dispositivo dosificador de la sustancia estaría diseñado para proporcionar sólo aproximadamente 2.2 kg de fluoruro por 1,000 metros cúbicos de agua y su alcance de alimentación probablemente no sería mayor que diez a uno.

#### PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEBIDOS A LA FLUORURACION

Una de las objeciones a la fluoruración, que más a menudo se escuchan, es la que se funda en la idea de que los fluoruros no pueden dosificarse con exactitud en el agua. Aunque es cierto que, en unos cuantos casos, el nivel de fluoruros ha variado grandemente, no quiere decir que no pueda hacerse un buen trabajo o que la mayoría de las comunidades y sus obras de agua potable no mantienen el nivel de fluoruros dentro de límites reducidos. Un resumen de varios años de muestreo del agua fluorurada de Grand Rapids, Michigan y Newburgh, Nueva York (figs. 7.19 y 7.20), indica que la gran mayoría de las muestras pueden mantenerse dentro del límite de 0.1 mg/1 de la cantidad deseada. Las experiencias que se han tenido en otros lugares,<sup>2</sup> han sido similares. Como se indica en el capítulo 7, los dosificadores que se usan para los compuestos de fluoruros, son muy exactos y los operadores de plantas de tratamiento de agua potable están adiestrados para mantenerlos en tal forma, que se conserve esta exactitud.

Se han mencionado tres causas posibles, que son indeseables, de las variaciones de fluoruros en el agua una vez que ésta sale de la planta de tratamiento. Una involucra el descubrimiento de un nivel de fluoruros en el

<sup>2</sup> "Water Fluoridation Practices in Major Cities of the United States", New York University College of Engineering, (1959).

sistema de distribución, que es inferior al de la planta. Se ha encontrado que esto sucede sólo durante las primeras etapas de la fluoruración. Su causa puede ser, ya sea la dilución del agua fluorurada con la no fluorurada en las tuberías principales y en los depósitos de almacenamiento o bien, por la absorción de compuestos en el recubrimiento de aquéllas. Por ejemplo, desde hace muchos años se sabe que los tubérculos que se forman en la superficie interior de las tuberías principales, acumulan diferentes cantidades de iones negativos del agua, entre los que se encuentran sulfatos, fluoruros y cloruros. No obstante, contrariamente a lo que piensan algunos críticos de la fluoruración, éstos no se disuelven o se sueltan repentinamente incrementando con ello el nivel de fluoruros del agua. Como se ha observado en incontables ocasiones, "los tubérculos se adhieren fuertemente a la tubería de hierro colado y era necesario raspar fuertemente la tubería con una herramienta de hierro, a fin de recoger una muestra para su análisis. Por lo tanto, se cree que las costras no serían removidas por un flujo turbulento de agua."<sup>3</sup>

#### *Peligros para los operadores*

Los peligros posibles del manejo de los compuestos de fluoruros y las precauciones y técnicas practicadas, aparecen descritos en el capítulo 11. Posiblemente es importante mencionar que sólo un empleado de obras de abastecimiento de agua se ha lastimado al manejar fluoruros y esto se debió a que no observó las precauciones normales de seguridad. En todas las investigaciones detalladas que se emprendieron para descubrir cualquier efecto perjudicial, se encontró que el grado de exposición es muchas veces menor que el nivel de seguridad aceptado.<sup>4</sup>

#### *Efectos producidos por la corrosión*

Muchas personas afirman que la fluoruración hace que el agua sea corrosiva, quizá porque confunden el tratamiento del agua con cloro (que es muy corrosivo) con su tratamiento con fluoruros. La American Water Works Association<sup>5</sup> ha declarado: "Puede afirmarse categóricamente, que la modificación de las características químicas de los abastecimientos públicos de agua potable, tratado con 1 a 1.25 mg/1 de compuestos que contienen fluoruros, no aumenta o disminuye la corrosividad del agua."

<sup>3</sup> Experiences in Applying Fluorides, *J. Am. Water Works Assoc.*, 49 (10): 1239 (1957).

<sup>4</sup> *Idem.*

<sup>5</sup> Jordan, Harry E., "Commercial and Industrial Use of Fluoridated Water", letter to AWWA Membership, Feb. 9, (1956).

## USOS COMERCIALES E INDUSTRIALES DEL AGUA FLUORURADA

Existen muy pocas referencias relacionadas con los efectos del agua fluorurada en procesos industriales, debido a que son muy pocos los problemas de este tipo que se han producido. Una declaración publicada por la Asociación de Comercio de Baltimore, Maryland, explica la razón de esto:

Hemos discutido esta cuestión con un grupo representativo de industrias, que utilizan el agua de la ciudad en sus procesos. Se seleccionaron dieciséis compañías importantes con productos diversificados en las industrias de productos químicos, esmalte de porcelana, drogas, jabón, aisladores de porcelana, alimentos, bebidas gaseosas, y de electrodeposición, incluyendo un gran número de usuarios del agua para la generación de vapor. A estas compañías se les preguntó si los fluoruros que pensaban añadir al agua, crearían dificultades en sus procesos, productos o equipo. Todas ellas han informado ya que la adición de fluoruros al agua de la ciudad no tendría efectos adversos en sus operaciones.

Esto es algo típico de las muchas declaraciones relacionadas con la experiencia que numerosas industrias distintas han tenido al usar el agua fluorurada.

En realidad, se han registrado sólo dos efectos adversos en cualquier proceso industrial. Un fabricante de Charlotte, Carolina del Norte, descubrió un incremento de bloques de hielo despedazados; pero esto se corrigió agregando una pequeña cantidad de cloruro de amonio al agua, antes de congelarla. No se ha producido nunca, un caso auténtico de corrosión en un sistema de distribución, que haya sido causado por la presencia de fluoruros. Los otros efectos están relacionados con el incremento de fluoruros, que podría producirse si los alimentos elaborados para bebés se prepararan mediante procesos que tuvieran como resultado la concentración de agua fluorurada por medio de la evaporación. Se ha evitado la posibilidad de cualquier crítica de los productos elaborados por las compañías de alimentos para bebés, que utilizan este proceso, usando agua previamente defluorurada. Con relación a esto, la Administración Federal de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos, ha establecido la siguiente regla:

...alimentos comercialmente preparados bajo la jurisdicción de esta ley, en los que se haya usado agua fluorurada en el proceso de elaboración, no se les considerará como capaces de ser penados bajo la ley federal, a causa del contenido de flúor del agua empleada para ello, a menos que el proceso involucre una concentración importante de flúor en el agua. En este último caso, los hechos relacionados al caso en particular, serán los que ejerzan control (17 de julio de 1952).

A continuación se mencionan algunas referencias relacionadas con industrias o productos específicos:



Panadería (pan) — Boletín especial (Special Bulletin) núm. 66, 6 de julio de 1950, American Institute of Baking, Chicago, Illinois.

La adición de iones de fluoruro en concentraciones de hasta 10.0 mg/l, en agua para pastas y masas, no tiene ningún efecto en la calidad del pan. Los panaderos que habitan en una comunidad que planea respaldar la fluoruración del abastecimiento de agua potable de la ciudad, como parte de un programa para reducir la incidencia de caries dentales, no deben temer que se presenten dificultades al utilizar dicha agua en la elaboración del pan.

Cerveza (fábricas de cerveza, actividad de levaduras, fermentación) — R. S. Slater, La influencia del flúor en la fermentación (The Influence of Fluorine upon Fermentation), *Proc. Am. Soc. Brewing Chemists*, abril de 1951.

Cuando la levadura entra por primera vez en contacto con el mosto de cerveza (malta no fermentada) que contiene 1 mg/l de F, su metabolismo se estimula ligeramente. Un efecto similar ocurre cuando el contenido es de 5 mg/l de F. Dependiendo de la fuente del flúor, 10 mg/l pueden tener una acción ligeramente estimulante o depresiva. A concentraciones de 25 mg/l o más de flúor, los fluoruros se convierten en inhibidores decididos de la actividad de la levadura.

Los temores expresados por la industria de la cerveza, en Milwaukee y San Luis, de que el agua fluorurada afectara sus productos, resultaron infundados.

Productos enlatados (alimentos en conserva) — Boletín de investigación (Research Bulletin) núm. 6,051., American Institute of Canning, Washington, D. C.

Los efectos de los que los elaboradores de productos enlatados podrían preocuparse, además de las consideraciones fisiológicas, serían los del sabor, color o textura del producto y la corrosión del recipiente. Las propiedades conocidas de los fluoruros no son tales que sugieran la posibilidad de ninguno de esos efectos por las cantidades involucradas en este caso, y la falta de casos conocidos que puedan atribuirse a tales efectos, indican que serían muy difíciles, si no imposibles, de demostrar en forma experimental.

Tratamiento de aguas negras — Efectos de la concentración de fluoruros en la digestión de cienos (Effects of Fluoride Concentration on Sludge Digestion), *Sewage and Ind. Wastes*, enero de 1955.

Parece poco posible, de estos resultados, que la presencia de una concentración normal de fluoruros produzca efectos perjudiciales en la digestión de sólidos de las aguas negras.

Desde que estas declaraciones fueron publicadas, no se ha informado de ningún efecto adverso en éstas o cualquier otra industria o proceso comercial.

## OTROS METODOS PARA ADMINISTRAR FLUORUROS

Se ha demostrado que la ingestión de fluoruros a un nivel óptimo, es eficaz en la reducción de caries dentales y, que en ningún caso, es perjudicial. Muchas personas que están convencidas de estas conclusiones, creen, no obstante, que deben usarse otros medios y no el agua potable, para proporcionar los fluoruros. Si pudieran encontrarse otros medios, sólo la porción de población que los recibiera se beneficiará. Las siguientes alternativas son las que más a menudo se han sugerido y se indican también algunas de las razones de lo impráctico que son en la actualidad, en comparación con el agua fluorurada.

*Aplicaciones locales*

Se han llevado a cabo muchos estudios sobre los efectos de la aplicación de fuertes soluciones de fluoruro directamente a la dentadura de niños y adultos. Se ha informado de una reducción de aproximadamente el 40 por ciento de incidencias CPO entre los niños. Las principales objeciones a las aplicaciones locales son:

1. No es tan eficaz como la fluoruración del agua (40 por ciento en comparación con la reducción de 60 a 70 por ciento).
2. Requiere mucho tiempo. Deben completarse cuatro aplicaciones hechas por un dentista o asistente competente, a intervalos de aproximadamente una semana en cuatro períodos de edad (3, 7, 10 y 13 años de edad)
3. El tiempo requerido para completar un tratamiento, hace que éste sea costoso.
4. En la actualidad, no hay suficientes dentistas disponibles para hacer este trabajo con todos los niños.
5. Fracasaría como medida de sanidad pública, debido principalmente al esfuerzo individual requerido de los padres, a fin de completar el tratamiento.

*Pastas dentífricas, enjuagues bucales y goma de mascar*

Se piensa que la acción de estos medios para proporcionar fluoruros, es similar a la de las aplicaciones locales; pero son autoadministrados. Las pastas de dientes que contienen fluoruros estanosos han demostrado ser eficaces; pero debe tenerse cuidado en su uso, debido a la posibilidad de un consumo excesivo de fluoruros, sobre todo en los niños que pueden comerlo por su sabor de golosina. Este peligro aumenta en las regiones que contienen un exceso de fluoruros naturales en sus abastecimientos de agua

potable. Los enjuagues bucales y las gomas de mascar que contienen fluoruros no han resultado ser muy eficaces. Estos medios para proporcionar fluoruros en cantidades óptimas fracasarían también debido al gran esfuerzo personal que se requiere, para que sean realmente eficaces.

### *Tabletas que contienen fluoruros*

Se han usado tabletas que contienen cantidades específicas de fluoruros (generalmente de 1.0 mg de ion fluoruro) en dos formas: tomadas diariamente como pastilla o disueltas en el agua que los niños beben. Hasta la fecha no se han publicado ningunos resultados que demuestren, en forma concluyente, que este método sea efectivo. Sin embargo, parecería que a fin de obtener resultados comparables con los observados en lugares que contienen naturalmente cantidades óptimas, debería tomarse en cuenta la variación de las cantidades de fluoruros administradas, dependiendo de la edad del niño. Esto se ilustra en el capítulo 5, al describirse las cantidades variables consumidas por los niños, al aumentar sus edades. En las escuelas se han iniciado muchos proyectos, sobre todo en Suiza, en donde hay relativamente pocos abastecimientos públicos de agua; pero a la edad escolar se ha llevado a cabo ya la mayor parte de la dentición permanente. Aparte de tener un costo excesivo, la objeción más fuerte a este método es la casi invencible dificultad de mantener una constancia diaria durante por lo menos ocho años, por parte de los padres, para proporcionar las tabletas. Además, "...el consumo diario de tabletas origina, igualmente, dudas sobre su efectividad o sobre si es práctico. Los niveles de fluoruros, en las manos de un personal adiestrado en la planta de tratamiento de agua, pueden controlarse con precisión. Pero las experiencias con remedios caseros —incluyendo las aspirinas— requieren precaución." <sup>6</sup> La filosofía de que "si una tableta es buena, dos son mejores" puede ser dañina. Si un niño ingiere accidentalmente una gran cantidad de tabletas, correrá un grave riesgo, como lo califican los que están familiarizados con los accidentes en el hogar.

### *Agua embotellada*

El uso de agua fluorurada embotellada es, posiblemente, el mejor sustituto de los abastecimientos públicos fluorurados, ya que, de todas las demás alternativas, el agua potable fluorurada ha demostrado ser la más eficaz, la menos peligrosa y la menos cara. Sin embargo, el costo de distri-

<sup>6</sup> Report to the Mayor on Fluoridation for New York City Board of Health, City of New York, Oct. 24, (1955).

bución del agua fluorurada embotellada sería prohibitivo, sobre todo si todos los niños tuvieran que consumir agua de esta manera. Para la ciudad de Nueva York se calculó un costo por persona de aproximadamente 18.00 dólares anuales, en comparación con 10 centavos para la fluoruración del abastecimiento de agua potable.<sup>7</sup> Además, el agua embotellada es inconveniente y para ser efectiva requiere, de parte de los padres, el mismo esfuerzo continuo y concienzudo que se describió para las tabletas.

### *Sal y pan*

Las objeciones a estos medios como vehículos de los fluoruros, para niños, son:

1. Existe una gran variedad en el consumo de pan y sal entre los niños.
2. No existen pruebas de que los fluoruros sean efectivos si se incorporan a la sal o el pan.
3. No hay datos disponibles sobre la cantidad de fluoruros que se deben emplear.
4. Se está llevando a cabo actualmente, en Columbia, un proyecto para proporcionar estos datos. Las incidencias de caries dental entre los niños de cuatro comunidades en donde se están usando tipos de sal y agua fluorurada, o agua sin fluorurar, están siendo comparadas. Este puede ser un método prometedor en lugares en donde la distribución de la sal sea un monopolio del gobierno y, en consecuencia, pueda controlarse fácilmente.

### *Leche*

En muy frecuentes ocasiones se ha pensado seriamente en la leche, como una posible alternativa, probablemente porque se trata de un alimento de uso tan universal para niños. Sin embargo, existen tan serias objeciones a su fluoruración para el consumo de los niños, que no puede ponerse en práctica con sólo los conocimientos que poseemos en la actualidad. Algunas de estas objeciones son:

1. No se sabe qué cantidad de fluoruros debe agregarse a la leche, ya que, obviamente, no puede ser la misma que para el agua. Si así fuera, los lactantes, que subsisten mayormente a base de leche, consumirían un exceso de fluoruros.
2. Las variaciones en el consumo que hacen los niños, de leche distribuida comercialmente, son demasiado grandes cuando se toman en consideración factores tales como otras fuentes de leche (por ejemplo, leche condensada o en polvo).
3. No hay pruebas de que los fluoruros en la leche sean eficaces.

<sup>7</sup> *Idem.* Nota 6.

4. El costo sería demasiado elevado. Para niños escolares, sólo en la ciudad de Nueva York, el costo de la leche fluorurada ascendería a 2.14 dólares por niño y por año, en comparación con el de 10 centavos para el agua fluorurada.<sup>8</sup>

Teniendo en cuenta todas las numerosas objeciones a cualquier alternativa del agua fluorurada, puede verse que la efectividad y seguridad de los fluoruros administrados en el agua potable, a los niveles recomendados, tienen una mejor base que cualquiera de los otros medios.

### FLUORURACION EN LAS ESCUELAS

En las regiones que normalmente se consideran rurales y en donde los alumnos que asisten a una escuela consolidada, con su propio abastecimiento de agua potable, no han tenido anteriormente contactos importantes con los fluoruros, la fluoruración de dicho abastecimiento ha sido efectiva en la reducción de la caries dental. Los resultados de estudios de este tipo, utilizando niveles de fluoruros de hasta cinco veces el óptimo (5.0 mg/l), han indicado una reducción de caries de hasta el 35 por ciento. Se encuentra poca o ninguna fluorosis, ya que la ingestión de fluoruros a estos niveles elevados se inició después de que el esmalte de la mayoría de los dientes permanentes se había formado. Este método es especialmente valioso en donde la fluoruración de los abastecimientos individuales de agua de los escolares, es difícil o imposible, en donde las aplicaciones locales de fluoruros son impracticables y en donde el abastecimiento de agua potable de la escuela sirve sólo a ella y no a otros consumidores en donde niños pequeños pueden tener acceso a esta agua fluorurada. Aunque este método constituye una gran promesa, deben tomarse en cuenta algunas objeciones:

1. Su costo es superior al de la fluoruración del abastecimiento público de agua potable; es decir, aproximadamente 20 dólares por 1,000 alumnos, por año escolar de nueve meses.

2. El procedimiento no es tan eficaz como el de fluorurar el abastecimiento público de agua potable (hasta la fecha, la máxima reducción de caries observada no excede al 35 por ciento), pero se considera bueno, en vista de la edad relativamente avanzada que tienen los niños antes de ser expuestos a los fluoruros.

3. Es esencial el adiestramiento de operadores para usar el equipo de fluoruración.

4. Debe tenerse cuidado de que ningún niño de edad menor a la de los que asisten a la escuela, beba esta agua fluorurada.

<sup>8</sup> *Idem.* Nota 6.

## *Concentración de fluoruros deseada en el abastecimiento de agua tratada*

La mayoría de las aguas crudas (no tratadas) contienen fluoruros. Las aguas superficiales —las fuentes que comprenden ríos, lagos, estanques, canales, riachuelos y cisternas— no contienen, por lo general, más allá de 0.3 mg/l de fluoruros, excepto cuando se contaminan con desechos industriales o aguas negras. Los primeros, sobre todo de las industrias del acero, aluminio y los fertilizantes, hacen que las corrientes receptoras varíen ampliamente en su contenido de fluoruros. Esta variación hace más difícil el mantener un nivel constante de fluoruros en aguas tratadas, que provienen de esas fuentes. Si las aguas negras de una comunidad que está fluorurando su abastecimiento de agua van a una corriente, ésta aumentará su contenido de fluoruros. Esas aguas negras tendrán la misma concentración de fluoruros que el abastecimiento de agua y su volumen puede constituir una proporción considerable de la corriente en la que se descarga. Los niveles de fluoruros en fuentes superficiales varían de acuerdo con la cantidad de fuentes de fluoruros y del caudal; mientras mayor sea éste, tanto menores serán los fluoruros.

Las aguas subterráneas (manantiales, pozos y galerías de infiltración) son las fuentes que más se usan como abastecimientos de agua potable en los Estados Unidos. Generalmente, son estas también las que contienen las concentraciones más elevadas de fluoruros (fig. 1.1).

Los fluoruros se encuentran en aguas de pozos, debido principalmente a la presencia de espato flúor, fosforita o criolita. Las aguas subterráneas, al pasar por depósitos de minerales que contienen fluoruros, como los mencionados, disuelven pequeñas cantidades y adquieren una concentración

natural de fluoruros, en proporción a la cantidad disuelta. Los depósitos de fluoruros pueden encontrarse a grandes distancias de los puntos en donde aparece el agua que los ha disuelto. Muchas aguas de pozos de alto contenido de fluoruros, que se extienden de las Dakotas hacia el sur, hasta Texas, probablemente han obtenido sus fluoruros de los depósitos de las Montañas Rocallosas.

El espato flúor, un mineral que contiene fluorita o fluoruro de calcio, se encuentra generalmente en venas subterráneas. Los depósitos más grandes en los Estados Unidos están en las fallas de piedra caliza, que se localizan al sur de Illinois y al oeste de Kentucky. Una de las explicaciones sugeridas sobre la existencia de estos depósitos, es que las aguas termales que contienen fluoruros ascendieron y se dispersaron por brechas y cavidades de piedra caliza. Al enfriarse, las sales de flúor permanecieron como un material sólido que llenó los vacíos. Estos depósitos se encuentran abundantemente y es muy probable que sean la fuente de fluoruros de casi todas las aguas de pozo.

En los depósitos de fosforita se encuentran cantidades gigantescas de fluoruros; pero están bastante concentrados en grandes depósitos y en relativamente pocas regiones aisladas. Generalmente aparecen como depósitos sedimentarios de origen marino. La presencia del flúor, como parte de compuestos fosfatados que forman partículas complejas de roca, es la causa de la poca solubilidad de las rocas. Esto explica, en parte, las grandes acumulaciones de dichos depósitos en varias regiones del mundo, sumamente espaciadas. Las aguas que se encuentran cerca de depósitos de fosfatos pueden contener fluoruros; pero los pozos bajo su influjo son sumamente escasos en dichas regiones.

La criolita se encuentra comercialmente sólo en Groenlandia. Existen otros depósitos pequeños —uno de los más grandes de los Estados Unidos se encuentra en Pikes Peak—. Esta puede ser la causa de la concentración de fluoruros en el abastecimiento de agua que sirve a Colorado Springs, Colorado, que contiene 2.4 mg/l.

Muchas aguas de pozo contienen un exceso de fluoruros (más de aproximadamente 1.5 mg/l) y, en estos casos, debe eliminarse dicho exceso (véase el capítulo 15). Sin embargo, muchos miles de dichos abastecimientos tienen deficiencias de fluoruros y la cantidad requerida puede agregarse fácil y económicamente. En la mayoría de los casos, los fluoruros naturales de estas fuentes varían muy poco; y por esta razón, puede mantenerse fácilmente el nivel óptimo de fluoruros, con un mínimo de equipo y supervisión.

En el cuadro 5.1 se indican algunos de los abastecimientos públicos de agua potable de los Estados Unidos, agrupados de acuerdo con el contenido promedio de fluoruros naturales que se ha encontrado en ellos. Es

obvio que la gran mayoría tiene deficiencia de fluoruros. El cuadro señala también, que aproximadamente quinientos abastecimientos deben defluorurarse o diluirse hasta el punto en que el nivel de fluoruros pueda mantenerse en el valor óptimo. En algunos casos, cuando la fuente principal de agua potable tiene deficiencia de fluoruros y está cerca de una fuente rica en fluoruros, la fuente principal se fluorura a la cantidad óptima, bombeándole cantidades medidas de agua con alto contenido de fluoruros. Esto es lo que se hace en Norfolk y Hampden, Virginia y en Temple, Texas, en los Estados Unidos. En la fig. 1.1 se indica la ubicación de comunidades cuya agua contiene, naturalmente, 0.7 mg/l o más de fluoruros. El gran número de abastecimientos que contienen algo, aunque no lo suficiente, presenta la interrogación de si es práctico complementar los fluoruros naturales con lo necesario para elevar la concentración al nivel óptimo. Por lo general se puede demostrar que aunque es poco lo que se requiere, es económicamente justificable el agregarlo.

CUADRO 5.1 COMUNIDADES DE LOS ESTADOS UNIDOS, AGRUPADAS DE ACUERDO CON LAS CONCENTRACIONES QUE TIENEN DE FLUORUROS

Contenido de fluoruros mg/l	Número de comunidades	Población 1967
0.0-0.6	18,800	145,200,000
0.7-1.1	902	6,640,000
1.2-1.4	273	995,000
1.5-2.9	455	1,746,000
3.0-4.9	131	633,000
Mayor que 5.0	32	35,000

Por ejemplo, si en una ciudad dada cuesta 5.50 dólares restaurar un diente CPO, los ahorros realizados en una comunidad de 35,000 personas (de las cuales 490 son niños de 13 años) ascenderían a 5,390 dólares sólo en este grupo de edad, si el nivel de fluoruros se elevara de 0.5 a 1.0 mg/l. En la fig. 5.1 basada en los resultados de 57 estudios de CPO realizados en varias ciudades, se indica que un incremento en el nivel de fluoruros de 0.5 a 1.0 mg/l, produce una disminución de aproximadamente dos dientes CPO; y un aumento de 0.7 a 1.0 mg/l produce una disminución de aproximadamente un diente CPO por persona.<sup>1</sup>

Generalmente se puede conseguir una cantidad para la concentración de fluoruros en aguas crudas no tratadas, con el fin de diseñar la instalación de fluoruros, pidiendo datos a los laboratorios de los departamentos de sanidad local o estatal. Mientras mayores sean los registros de dichos

<sup>1</sup> Striffler, David F., Criteria to Consider when Supplementing Fluoride-Bearing Water, *Am. J. Public Health*, 48: 29-37 (1958).



exámenes, tanto más segura será la cantidad. Sin embargo, en algunas regiones no se han hecho nunca determinaciones de fluoruros. En este caso, el muestreo debe iniciarse tan pronto como sea posible y deben seleccionarse condiciones (altura del río, estación, período de descarga de los desechos industriales, etc.) para asegurar el nivel mínimo de fluoruros. Entonces puede determinarse la proporción de dosificación máxima probable de fluoruros, restando el valor del nivel mínimo encontrado bajo estas condiciones, del valor del nivel óptimo de fluoruros.

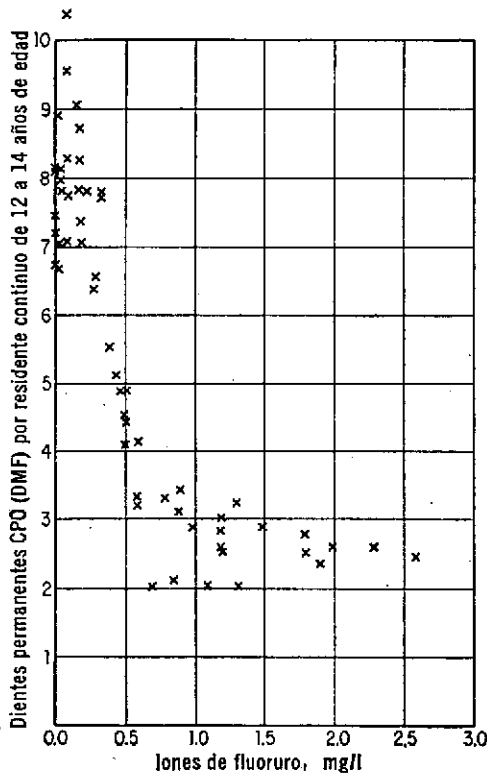


FIG. 5.1 Relación entre los niveles de fluoruros y la prevalencia de la caries dental.

El nivel óptimo de fluoruros en el agua (1.0 mg/l en los estados centrales de los Estados Unidos, a la latitud de Kansas City y Chicago) ha resultado ser el que asegura la mayor protección contra la caries, con el mínimo peligro de fluorosis.

En el capítulo 2 se demostró que la fluoruración es más benéfica cuando la ingestión de cantidades óptimas de fluoruros, comienza en el nacimiento y continúa prácticamente sin interrupciones. Se obtienen también beneficios substanciales, aun cuando el período de iniciación se retrase algo; pero

mientras mayores sean esos retrasos, tanto mayor será también el incremento subsecuente en caries dental. "Los mismos resultados deficientes se obtienen en poblaciones que obtienen el agua de abastecimientos, que sólo se fluoruran intermitente o parcialmente. Hasta la fecha no se ha demostrado que los adultos obtengan ningún beneficio (si anteriormente jamás habían consumido agua fluorurada). Sin embargo, se ha informado que los fluoruros de una dieta tienden a reducir la incidencia de la osteoporosis (vértebras caídas) y la calcificación de la aorta (endurecimiento de las arterias) entre los adultos." <sup>2</sup>

En el capítulo 2 se mencionó que parece ser que los niños que habitan en un mismo medio, ingieren una cantidad de fluoruros *notablemente* constante. Esto se concluyó al observar los efectos en la parte del cuerpo que es más sensible a los fluoruros, a saber, los dientes. Cuando se consume el agua con fluoruración óptima principiando desde el nacimiento, nunca se ha observado una fluorosis desfiguradora, a la vez que se logran las mejores reducciones de la caries dental. Sin embargo, esto no significa que los niños de todas las edades consumen las mismas cantidades de fluoruros cada día. Los niños más pequeñitos ingieren las cantidades más bajas, ya que su dieta es casi exclusivamente leche y cereal. No obstante, al hacerse mayores, aumenta la cantidad de agua consumida, junto con la cantidad de alimentos que contienen fluoruros.

La concentración de 1.0 mg/l se consideró como la óptima, después de hacer observaciones directas en las dentaduras de miles de niños. No se basó en ningún conocimiento directo o exacto respecto a la cantidad de agua que los niños consumen en diversos tiempos y en lugares distintos. Tampoco se estableció este nivel basándose en una cantidad medida específica de fluoruros en su dieta diaria. En lugar de ello, estos miles de niños obtuvieron casi una cantidad óptima de fluoruros sólo por medio de la selección natural de alimentos y agua potable. Como quiera que se haya demostrado que la cantidad de fluoruros en los alimentos consumidos por los niños, varía muy poco, las variaciones en los efectos dentales entre ellos fueron producidas, casi totalmente, por las diferencias en los fluoruros del agua potable que consumieron.

Según el estudio de las "21 ciudades" que se describió en el capítulo 1, cuando el agua potable contiene la cantidad óptima de fluoruros, los que se consumen se obtienen casi totalmente del agua y sólo una pequeña proporción se saca de los alimentos. Casi todos ellos contienen algunos fluoruros. Esto no es nada extraño, debido a las enormes cantidades y a la extendida presencia de los compuestos del flúor en la naturaleza. En el cuadro 5.2

<sup>2</sup> Bernstein, Daniel S., Sadowsky, Normal, Hegsted, D. Mark., Guri, Charles D. y Stare, Frederick J., Prevalence of Osteoporosis in High-and Low-Fluoride Areas in North Dakota, *Journ. A. M. A.* 198: 5: 499-504 (31 de octubre de 1966).

aparecen algunos de los alimentos y bebidas de mayor consumo, así como sus contenidos en fluoruros.

La mayoría de los vegetales y la carne contienen menos de 1.0 mg/l de fluoruros en estado seco. Las excepciones notables son el té, que puede contener hasta aproximadamente 60 mg/l y los pescados y mariscos, que contienen hasta aproximadamente 30 mg/l. Ninguno de ellos, no obstante, puede constituir una parte importante de la dieta de los niños. Una excepción notable de esto es la dieta casi exclusivamente de pescado que utilizan los habitantes de Tristan da Cunha, una isla solitaria que se encuentra hacia la mitad del Océano Atlántico Sur, un poco al oeste de Ciudad del

CUADRO 5.2 CONTENIDO DE FLUORUROS DE ALGUNOS ALIMENTOS, SEGÚN INFORMES DE VARIAS PUBLICACIONES †

Alimento	Fluoruros mg/l	Alimento	Fluoruros mg/l
Fluoruros determinados en los alimentos al ser consumidos			
Leche .....	0.07-0.22	Chuleta de puerco .....	1.00
Clara de huevo .....	0.00-0.60	Salchichas .....	1.70
Yema de huevo .....	0.40-2.00	Bistec .....	1.30
Mantequilla .....	1.50	Ostras .....	1.50
Queso .....	1.60	Arenque (ahumado) ....	3.50
Carne de res .....	0.20	Camarones enlatados ....	4.40
Hígado .....	1.50-1.60	Sardinas enlatadas .....	7.30-12.50
Ternera .....	0.20	Salmón enlatado .....	8.50- 9.00
Carnero .....	0.20	Pescado fresco .....	1.60- 7.00
Pollo .....	1.40	Caballa enlatada .....	26.89
Puerco .....	0.20		
Fluoruros determinados en sustancias secas de los alimentos			
Arroz .....	1.00	Miel .....	1.00
Maíz .....	1.00	Cocoa .....	0.50- 2.00
Maíz (enlatado) .....	0.20	Chocolate en polvo .....	0.50- 2.00
Avena .....	1.30	Chocolate (común) .....	0.50
Avena en hojuelas .....	0.20	Té (varios tipos) .....	30.00-60.00
Frijol .....	0.20	Repollo .....	0.31- 0.50
Trigo sarraceno .....	1.70	Lechuga .....	0.60- 0.80
Salvado de trigo .....	1.00	Espinacas .....	1.00
Harina de trigo .....	1.30	Tomates .....	0.60- 0.90
Harina preparada .....	0.00	Nabos .....	0.20
Harina .....	1.10-1.20	Zanahorias .....	0.20
Pan blanco .....	1.00	Patatas .....	0.20
Pan de jengibre .....	2.00	Camotes .....	0.20
Pan de centeno .....	5.30	Manzanas .....	0.80
Gelatina .....	0.00	Piña (enlatada) .....	0.00
Dextrosa .....	0.50	Naranjas .....	0.22

† McClure, F. J., Ingestion of Fluoride and Dental Caries. Quantitative Relations Based on Food and Water Requirements of Children One to Twelve Years Old, *Am. J. Diseases Children*, 66(4): 362-369 (1943).

Cabo. Se ha descubierto que su dieta de pescado contribuyó con tantos fluoruros (con la consiguiente ausencia de caries dental), como si el agua potable contuviera hasta 1.0 mg/l.<sup>3</sup> En realidad, el agua potable tenía menos de 0.2 mg/l de fluoruros.<sup>3</sup>

En los Estados Unidos se han realizado muchos estudios para establecer la importancia de los alimentos, como aportadores de fluoruros. Se ha demostrado que la dieta media rara vez contiene más de aproximadamente 0.3 mg/l de dichas sales. Esta cantidad es sorprendentemente constante; alimentos que provienen de distintas partes del país, indican muy pocas variaciones en los niveles de fluoruros. El contenido de estas sales en las plantas parece depender de la especie y no especialmente del tipo de suelo; un exceso de fluoruros en el suelo en el que crecen las plantas, no aumenta su contenido. Se hizo la misma observación con relación al contenido de fluoruros en la leche de vaca. Se ha encontrado que, por lo general, la leche contiene menos de aproximadamente 0.2 mg/l. Cuando las vacas consumen agua que contiene hasta 8.0 mg/l de fluoruros, su leche nunca excede de 0.3 mg/l.

CUADRO 5.3 SUMARIO DEL CONSUMO DIARIO ESTIMADO DE FLUORUROS, DE LOS ALIMENTOS Y EL AGUA POTABLE (EL AGUA CONTIENE 1 mg/l Y LA SUBSTANCIA SECA DEL ALIMENTO, DE 0.1 A 1.0 mg/l DE FLUORUROS)

Edad, años	Peso, kg	Consumo diario de fluoruros			
		Del agua potable, mg	De alimentos, mg	Total del agua potable y alimento, mg	Total como mg/kg de peso
1-3	8-16	0.390-0.560	0.027-0.265	0.417-0.825	0.026-0.103
4-6	13-24	0.520-0.745	0.036-0.360	0.556-1.105	0.023-0.085
7-9	16-35	0.650-0.930	0.045-0.450	0.695-1.380	0.020-0.068
10-12	25-54	0.810-1.165	0.056-0.560	0.866-1.725	0.016-0.069

Los niños de hasta 12 años de edad, consumen de 1,200 a 2,500 mililitros de agua por día, dependiendo la variación de su edad (de 1 a 3 años: 1,200 ml; de 10 a 12 años: 2,500 ml) y del medio ambiente.<sup>4</sup> Si esta agua contuviera 1.0 mg/l de fluoruros, entonces, de sólo esta fuente se obtendría entre 0.4 y 1.1 miligramos. En el cuadro 5.3 se indica la variación máxima de fluoruros, en alimentos y agua, correspondiente a este grupo de edad.

<sup>3</sup> Sognnaes, Reidar F., Relative Merits of Various Fluoridation Vehicles, in James H. Shaw (ed.), "Fluoridation as a Public Health Measure", American Association for the Advancement of Science, Washington, pp. 179-192. (1954.)

<sup>4</sup> Optimum Fluoride Intake for the Prevention of Dental Caries, National Academy of Sciences, National Research Council, Publication 294, November, p. 7. (1953).

Cuando se estableció la contribución relativamente insignificante, de los alimentos como fuente de fluoruros para los niños, se concluyó que las variaciones en los efectos dentales de los fluoruros, eran causadas totalmente por las diferencias en las concentraciones de fluoruros de los abastecimientos públicos de agua potable.

Como resultado de los estudios del doctor Dean sobre este tema, durante la década de 1930, el doctor F. A. Arnold, colega suyo, estuvo en posibilidad de concluir, en 1943:<sup>5</sup>

Los resultados de estudios, tanto epidemiológicos y químicos, como experimentales, sugirieron que la adición de cantidades pequeñas de fluoruros, que no excedieran de 1 mg por litro, a los abastecimientos públicos de agua potable, que carecieran de ellos, puede constituir un método práctico y eficiente para inhibir notablemente la caries dental en grupos grandes de población.

También observó que:<sup>6</sup>

el uso continuo a lo largo del período de formación de los dientes, de agua que contiene aproximadamente 1 mg/l de fluoruro, tendrá como resultado una incidencia de aproximadamente un 10 por ciento de la forma más leve de fluorosis dental.

Inclusive, desde 1939, el doctor Gerald J. Cox,<sup>7</sup> quien estaba en ese entonces con el Mellon Institute, escribió:

La regulación del flúor debe dirigirse a una ingestión óptima del elemento. Sobre todo, el contenido de flúor de los abastecimientos de agua potable puede hacerse variar por estaciones, para compensar el consumo variable del agua. Las diferencias climáticas harán que cada localidad encuentre sus propias normas de adición de fluoruros al abastecimiento de agua potable.

Explicando esta conclusión, el doctor F. A. Arnold<sup>8</sup> afirmó en 1943:

Nunca se insistirá excesivamente sobre el hecho de que la teoría flúor-caries dental descansa básicamente en la cuestión de la cantidad de fluoruros que ingiere la población. Por ejemplo, un agua que contiene de 0.5 a 0.7 mg/l en el suroeste de los Estados Unidos, puede tener un efecto igual al de otra que contenga de 1.0 a 1.5 mg/l en la sección central del norte del país. Por esta razón, puede ser conveniente basar los cálculos precisos en la medición biológica más aceptable del consumo de fluoruros de una población, el índice de la fluorosis dental.

En efecto, más tarde se utilizaron las mediciones biológicas en algunas ocasiones, para determinar los niveles óptimos de fluoruro para regiones

<sup>5</sup> Arnold, F. A., Role of Fluorides in Preventive Dentistry, *J. Am. Dental Assoc.*, 30: 499-508 (1943).

<sup>6</sup> Dean, Trendley y Arnold, F. A., Endemic Dental Fluorosis or Mottled Enamel, 30: 1278 (1943).

<sup>7</sup> Cox, Gerald J., New Knowledge of Fluorine in Relation to Dental Caries, *J. Am. Water Works Assoc.*, 31: 1926 (1939).

<sup>8</sup> *Op. cit.*

en las que el consumo de agua, debido a los factores climáticos, variaba de la región central al norte del país. Es probable que el doctor Dean hiciera el primer trabajo de este tipo, cuando intentó determinar los niveles óptimos de fluoruro para Georgia y Florida. Sus resultados, aunque esparcidos, se publicaron durante 1950.<sup>9</sup> Encontró que en lugares en donde la temperatura media anual es de aproximadamente 20°C, la fluorosis dental ligera puede ser tan prevalente en regiones que utilizan agua que contiene 0.7 mg/l de fluoruros, como en las más frescas (temperatura media anual de 9.4°C), en donde se usan aguas con 1.0 mg/l.

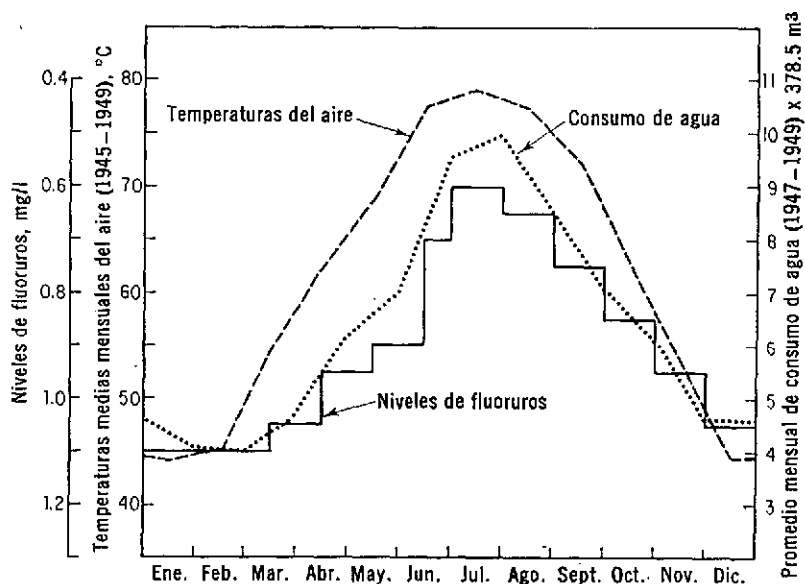


FIG. 5.2 Variaciones en los niveles de fluoruros con la temperatura, en Charlotte, Carolina del Norte.

Basándose en estas observaciones, el proyecto de fluoruración de Charlotte, Carolina del Norte, se diseñó para que proporcionara un consumo de fluoruros más constante, haciendo variar dichos niveles por estaciones. El doctor Zachary Stadt (junto con el señor Robert S. Phillips, el superintendente de la planta de tratamiento de agua, quien diseñó el sistema) calculó las variaciones por estación en la ingestión de fluidos, determinando la cantidad de bebidas carbonatadas que se vendieron en ese lugar. Usando estas cantidades, se construyó una gráfica (fig. 5.2). Los niveles de fluoruros que se mantuvieron, dieron un promedio de peso de 0.9 mg/l durante el año.

<sup>9</sup> Maier, F. J., Fluoridation of Public Water Supplies, *J. Am. Water Works Assoc.*, 42:(12): 1120-1132 (1950).

El objetivo de este procedimiento es asegurar una ingestión más uniforme de fluoruros a lo largo del año, sin tener en cuenta la temperatura y el consumo de agua. Cuando este consumo baja a un mínimo (en el invierno), el nivel de fluoruros en el agua alcanza su máximo; en el verano, cuando se eleva el consumo, la concentración del elemento se disminuye. Este método para fluorurar el agua puede permitir que se sostenga un nivel más elevado de fluoruros (con la mayor reducción correspondiente de incidencias CPO) sin registrar un incremento en la fluorosis. Parece ser que esta idea tiene grandes méritos, aunque el procedimiento ya no está en práctica en Charlotte.

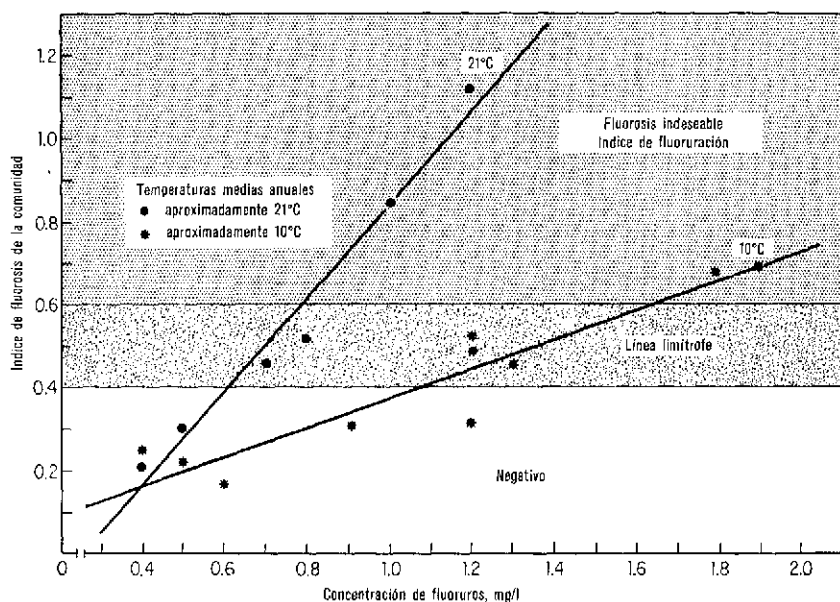


FIG. 5.3 Relación entre los niveles de fluoruro y la temperatura. (USPHS)

Estudios posteriores, realizados en California y Arizona, en donde las temperaturas son superiores al promedio de otras partes de los Estados Unidos, indicaron un nivel óptimo decididamente inferior. Esto se demostró observando la prevalencia de fluorosis dental, en lugares que cuentan con diferentes niveles de fluoruros naturales en sus abastecimientos públicos de agua potable y también calculando las cantidades reales de agua ingerida por los niños de diferentes grupos de edad y peso. En sitios en donde las temperaturas medias son mayores que 21.10°C, la concentración óptima de estas sales no debe exceder del 0.8 mg/l. Esta relación, comparada con los datos del doctor Dean, de regiones con temperaturas medias anuales de

10.0°C, son los datos que aparecen ilustrados en la fig. 5.3.<sup>10</sup> Más tarde se derivó una fórmula para determinar los niveles de fluoruros en cualquier temperatura:<sup>11</sup>

$$\text{mg/l de fluoruros} = 22.2/E \quad (5.1)$$

en donde  $E$  es el promedio del consumo diario de agua calculado, por niños hasta los 10 años de edad, en términos de gramos de agua por kilogramo de peso del cuerpo.  $E$  se obtiene mediante la fórmula:

$$E = 10.3 + 0.725 \times \text{el promedio de la temperatura máxima en grados centígrados.} \quad (5.2)$$

Por ejemplo, se desea determinar el nivel óptimo de fluoruros que debe sostenerse en un lugar que tiene un promedio de temperatura máxima (la media de todas las lecturas diarias de la temperatura máxima, observadas durante el período considerado, basándose, si es posible, en observaciones obtenidas durante los cinco años precedentes) de 12.8°. Entonces:

$$E = 10.3 + 0.725 \times 12.8 = 10.3 + 9.3$$

$$E = 19.6 \text{ ó } \text{mg/l} = 22.2/19.6 = 1.13$$

En el cuadro 5.4 se indican los niveles óptimos de fluoruros que sugieren los autores del artículo<sup>12</sup> en donde aparece esta fórmula.

CUADRO 5.4 TEMPERATURAS MÁXIMAS MEDIAS Y CONCENTRACIONES ÓPTIMAS DE FLUORUROS CORRESPONDIENTES QUE SE RECOMIENDAN

Temperaturas máximas medias, °C	Concentración óptima de fluoruros que se recomienda, mg/l
10.0-12.1	1.2
12.2-14.6	1.1
14.7-17.7	1.0
17.8-21.4	0.9
21.5-26.3	0.8
26.4-32.5	0.7
32.6-37.5	0.6

Aunque estas fórmulas y tablas facilitan un cálculo razonable del contenido óptimo de fluoruros que debe mantenerse, la computación final debe corroborarse con el departamento estatal de sanidad que tiene jurisdicción en el lugar. Muchos departamentos de sanidad han llevado a cabo estudios cuidadosos de los niveles óptimos dentro de sus estados, y puede ser que

<sup>10</sup> Gallagan, Donald J., Climate and Controlled Fluoridation, *J. Am. Dental Assoc.*, 47: 159-170 (1953).

<sup>11</sup> Gallagan, Donald J. y Vermillion, Jack R., Determining Optimum Fluoride Concentration, *Public Health Repts. (U.S.)*, 72(6): 491-493 (1957).

<sup>12</sup> *Idem.*



ellos tengan cálculos más exactos, basados en la forma en que las condiciones locales (dieta, hábitos, etc.) puedan afectar los cálculos derivados en la forma anteriormente descrita.

Los niveles de fluoruros que se calculan en esta forma, se destinan para ser usados en donde no se espera hacer variaciones en la concentración, de acuerdo con las estaciones. Este cálculo se basa en las observaciones bioló-

CUADRO 5.5 CONCENTRACIONES DE FLUORUROS EN AGUAS TRATADAS

Estado	Nivel en invierno, mg/l	Nivel en verano, mg/l
West Virginia .....	0.8-1.3	0.6-1.1
Rhode Island .....	1.2	1.0
Alabama .....	1.0	0.7
Oklahoma .....	1.0	0.8
Tenesí .....	1.0	0.8
Washington .....	1.5	0.6-0.7

gicas, en regiones en donde los fluoruros existen naturalmente en los abastecimientos públicos de agua potable y se experimentan poca o ninguna variación, de acuerdo con la estación, en los niveles de fluoruros. Sabemos que en donde dichos niveles son constantes, se registra una cierta reducción en la caries dental y no aparecen fluorosis estéticamente perceptibles. Sin embargo, como en Charlotte, se pensó que se podría lograr una mayor protección contra la caries si los niveles de fluoruros se cambiaban conforme variaba el consumo de agua debido a la temperatura o cualquier otro factor ambiental.

Algunos estados sugieren que el nivel de fluoruros se disminuya durante los meses más cálidos y se incremente en el invierno. En el cuadro 5.5 aparece un resumen de algunas de estas recomendaciones.

CUADRO 5.6 LÍMITES RECOMENDADOS PARA LA CONCENTRACIÓN DE FLUORUROS SEGÚN LAS NORMAS DE AGUA POTABLE DEL SERVICIO DE SANIDAD PÚBLICA DE LOS ESTADOS UNIDOS

Promedio anual de las temperaturas máximas diarias del aire, °C	Límites de control recomendados Concentración de fluoruros en mg/l		
	Inferior	Óptimo	Superior
10.0-12.1	0.9	1.2	1.7
12.2-14.6	0.8	1.1	1.5
14.7-17.7	0.8	1.0	1.3
17.8-21.4	0.7	0.9	1.2
21.5-26.3	0.7	0.8	1.0
26.4-32.5	0.6	0.7	0.8

“Las normas de agua potable, del Servicio de Sanidad Pública de los Estados Unidos, contienen límites recomendados para la concentración de fluoruros, que aparecen en el cuadro 5.6.” Las normas internacionales sobre el agua potable, de la Organización Mundial de Sanidad (OMS) recomiendan un límite máximo permisible para los fluoruros, de 1.5 mg/l.



## *Compuestos del flúor*

### *(características, fuentes y costos)*

En el capítulo 1 se explicó que los minerales que contienen fluoruros más abundantes en la naturaleza, son el espato flúor (que contiene fluoruro de calcio, la criolita (que contiene fluoruros combinados con aluminio y sodio) y la apatita (que generalmente es un compuesto de calcio, fluoruros, carbonatos y sulfatos). El flúor, como elemento químico (sin estar combinado con ningún otro elemento para formar un compuesto químico), no existe libre en la naturaleza. En la actualidad, el flúor elemental se elabora y puede conseguirse en grandes cantidades en la forma de gas; pero su costo y los peligros extremos asociados a su manejo, hacen que, por ahora, sea inapropiado como agente para fluorurar el agua.

Como se considera que los compuestos del flúor constituyen aproximadamente el 0.08 por ciento de la corteza terrestre (el agua del mar contiene, por lo general, aproximadamente 1.0 mg/l de fluoruros), el flúor se clasifica en el décimotercer lugar entre los elementos, por orden de abundancia. Muchos de los fluoruros que se encuentran en estado natural en el agua, se derivan probablemente en forma principal de los tres minerales mencionados anteriormente.

Después de la lluvia, el agua se infiltra hacia abajo por el suelo y se convierte en lo que se llama "agua subterránea". Parte de esta agua reaparece más tarde en la forma de manantiales o de pozos y galerías. Al pasar a través de la tierra, el agua subterránea disuelve cantidades variables de los minerales con los que entra en contacto. Es por esto que se encuentran aguas de muy variadas cualidades, que, por ejemplo, reciben el nombre de "duras" o "sulfurosas" o "ácidas" o "amargas". Estos términos describen el tipo de minerales disueltos o gases que el agua porta. También se encuen-

tran fluoruros formando parte natural de muchas aguas. Estos se disuelven de minerales que los contienen, que se encuentran al paso del agua cuando ésta fluye a través del suelo. En casi todos los abastecimientos de agua se encuentran fluoruros; algunas fuentes contienen un exceso, otras demasiado poco y unas cuantas tienen justamente la cantidad correcta. El mapa (fig. 1.1), indica la forma en que están distribuidos estos abastecimientos en los Estados Unidos.

## ESPATO FLÚOR

Este mineral es la principal fuente de los compuestos comerciales de flúor con que se cuenta en la actualidad, aunque los depósitos de fosforita (apatitas) que se conocen, puedan contener más fluoruros. Quedan todavía problemas técnicos y económicos por resolver, si es que los fluoruros que se obtienen de la apatita van a competir ventajosamente con los formados del espato flúor. Las criolitas tienen un contenido todavía mayor; pero los depósitos son relativamente muy pequeños.

El espato flúor es un mineral que contiene cantidades variables de fluoruro de calcio. El fluoruro de calcio puro contiene 51.1 por ciento de calcio y 48.9 por ciento de fluoruro. El espato flúor, tal como se obtiene, puede contener hasta sólo el 30 por ciento de fluoruro de calcio; pero, esta calidad tan reducida no puede utilizarse comercialmente sin una purificación o mejoramiento. Los grados comerciales del espato flúor contienen, por lo general, del 85 a más del 98 por ciento de fluoruro de calcio.

El espato flúor puro es un material lustroso, semejante al vidrio, que casi siempre es translúcido o transparente. Puede ser incoloro o variar en color, del azul al violeta, amatista, morado, verde, rojo y amarillo. Los depósitos se encuentran, a menudo, en masas de material cristalino muy puro, mezclado con trozos de galena, cuarzo, calcita, barita, esfalerita y muchos otros contaminantes. Los depósitos pueden encontrarse en todas las partes del mundo y en una producción comercial de importancia, en: Argentina, Canadá, Australia, China, Corea, Inglaterra, Francia, Alemania, Italia, México, Terranova, Rusia, España, Túnez, Unión Sudafricana y los Estados Unidos. Los depósitos más grandes descubiertos hasta ahora, están en este último país; en el sur de Illinois y al oeste de Kentucky, en superficies que comprenden 1,813 kilómetros cuadrados, se encuentra una reserva de espato flúor que se calcula suficiente para satisfacer las necesidades de este país durante los próximos veinte años, conservando el ritmo actual de consumo. En algunos de los estados del oeste, Colorado, Nevada, Montana y Nuevo México, se encuentran depósitos más pequeños, siendo

en estos estados en donde se producen las cantidades más elevadas actualmente.

Los descubrimientos de espato flúor en los Estados Unidos, se registraron en Nueva Jersey y otros estados del este, durante el período de 1814 a 1816; los depósitos de Illinois se descubrieron unos cuantos años más tarde. El primer uso del espato flúor de que se tiene memoria en los Estados Unidos, ocurrió en 1823 cuando se mezclaron 57 gramos de Shawmeeton, Illinois, con 120 ml de ácido sulfúrico para producir ácido fluorhídrico. El valor del espato flúor, como fundente, se conoció en 1529; pero no fue sino hasta 1837 que un espato flúor obtenido de cerca de Trumbull, Connecticut, se usó con este fin, en los Estados Unidos, para la fundición de los minerales de cobre. Hasta aproximadamente 1887, el uso principal del espato flúor fue aplicado a la fabricación de vidrio, esmaltes y ácido fluorhídrico, con cantidades relativamente menores utilizadas en las fundiciones de hierro y de varios otros minerales. Una vez establecido su valor como fundente (para hacer más fluidas las escorias y como auxiliar para quitar impurezas) en la producción de acero Siemens-Martin o de horno eléctrico, se incrementó rápidamente su consumo. Las importaciones y la producción doméstica se elevaron a más de 300,000 toneladas por año, antes de la segunda guerra mundial. El consumo normal promedio es sobre 500,000 toneladas por año desde entonces. Por ejemplo, durante 1961, los envíos de las minas domésticas sumaron más de 205,000 toneladas, en tanto que las importaciones fueron de más de 505,000 toneladas.

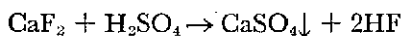
El mineral del espato flúor está casi siempre mezclado con muchas otras rocas que deben separarse, antes de que sea comercialmente aceptable. Los métodos de tratamiento dependen de la calidad de mineral, del tipo de impurezas que deben quitarse y del uso a que va a destinarse el espato flúor purificado. Existen unos cuantos depósitos que contienen un mineral tan puro, que con el simple hecho de quitar las impurezas con la mano, se obtiene un material satisfactorio. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el mineral debe someterse a complicadas técnicas de separación que incluyen lavado, cribado, separación por gravedad mediante vibración y mesas y flotación. Además de las impurezas normales, tales como la calcita (carbonato de calcio), cuarzo (dióxido de silicio) y arcilla y arena (que no son perjudiciales, excepto que diluyen el mineral), existen también impurezas comerciables que incluyen a la barita (sulfato de bario), galena (sulfuro de plomo), esfalerita (sulfuro de cinc), pirita (sulfuro de hierro) y muchos otros compuestos de plomo, cinc y hierro. En muchos casos, los sulfuros se encuentran en tales cantidades, que pueden recuperarse económicamente.

El espato flúor debe tener poco sílice y cualquiera de las otras impurezas, si va a utilizarse para la elaboración de ácido fluorhídrico y otros compuestos de fluoruros. Este grado de pureza puede obtenerse sólo mediante

un proceso especial de purificación, que generalmente incluye la flotación. Un proceso común sería:

El mineral, tal y como sale de las minas, se conduce a través de un sistema de trituración, para reducirlo a tamaños de 1 a 3.8 cm. Después, un molino de bolas lo reduce todavía más a un polvo que tiene dimensiones del orden de malla 35 a 200. La mayoría de los minerales de los Estados Unidos requieren que se supriman los sulfuros de cinc y plomo, lo cual se hace por medio del proceso de flotación. Este proceso requiere la flotación de las impurezas del espato flúor, por medio de sustancias químicas que se añaden a la lechada del mineral. Se le agregan cenizas de soda (carbonato sódico anhidro, para mantener el pH entre 8.5 y 10. Otros reactivos incluyen, generalmente, un espumante, ácido olcico (con fines de colección) y quebracho, con el fin de reducir la calcita. La mezcla se pasa de tres a siete veces a través de los tanques de flotación, hasta que se alcanza la pureza deseada en el espato flúor. El concentrado final de flotación se bombea a un espesador, desde el cual se pasa la pulpa (que contiene de 50 a 60 por ciento de sólidos) a un filtro de tambor. La masa del filtro se dirige a un secador rotativo, que reduce la humedad a aproximadamente 1 por ciento. El material queda, entonces, listo para empacarse y enviarse.

En la actualidad, hay dos formas en que se utiliza el espato flúor para la fluoruración del agua: el mineral se disuelve en la planta de tratamiento de agua y se agrega en forma de líquido al agua o proporciona la materia prima principal en la elaboración de diferentes compuestos que contienen fluoruros, que pueden adquirirse comercialmente y dosificarse, ya sea como líquidos o sólidos, en forma directa, al agua que va a tratarse. El compuesto principal que se elabora a partir del espato flúor, es el ácido fluorhídrico, que se usa en la preparación de la mayoría de las sales que contienen flúor. Este ácido se obtiene mediante la acidulación del espato flúor, utilizando ácido sulfúrico:



El ácido fluorhídrico podría usarse (y se utilizó en una planta de tratamiento municipal) directamente para la fluoruración del agua; pero, por lo general, es demasiado difícil de manejar en dichas plantas. En lugar de ello, el ácido se emplea para elaborar una gran variedad de compuestos que pueden usarse para la fluoruración. Estos incluyen al fluoruro de sodio.

Sin embargo, el primer proceso (la disolución del espato flúor en la planta de tratamiento de agua) es con mucho, el más económico, debido a que este mineral es menos costoso que cualquier otro compuesto de flúor ruro de que pueda disponerse. La ventaja del espato flúor en este respecto, puede comprenderse si se compara el costo de sus iones de fluoruro disponibles con los de los compuestos que comúnmente se usan en la fluoruración y que aparecen en el cuadro 6.3. El silicofluoruro de sodio es tres veces más

caro; el silicofluoruro de amonio lo es tres y media veces; el fluoruro de sodio, seis y media veces; el silicofluoruro de magnesio, siete veces, y el ácido hidrofusilícico, nueve veces más caro.

Es por esta razón que el proceso de disolución del espato flúor debe utilizarse siempre que otros factores en una planta de tratamiento de agua, permitan el uso de este material poco costoso. El proceso que utiliza el espato flúor involucra un medio para disolver el fluoruro de calcio, que es casi insoluble en agua. No obstante, se sabe, desde hace mucho tiempo, que el fluoruro de calcio es soluble en ácidos fuertes o en soluciones de compuestos de aluminio. Si se usaran ácidos fuertes para disolver el espato flúor, la mezcla resultante sería más costosa para preparar que cualquiera de los otros compuestos utilizados en la fluoruración. El uso de soluciones que contienen compuestos de aluminio es considerablemente más práctico, ya que uno de los compuestos químicos que más comúnmente se usan en forma rutinaria en las plantas de tratamiento de agua como coagulante de impurezas, es el alumbre para filtros (sulfato de aluminio).

Basándose en este fenómeno químico, se encontró<sup>1</sup> que haciendo variar la concentración del alumbre en solución, podía obtenerse cualquier cantidad deseada de fluoruro del espato flúor. Una solución saturada de fluoruro contiene aproximadamente un décimo de la concentración del alumbre. Por ejemplo, una solución de alumbre al 10 por ciento, contiene 1 por ciento de fluoruro, otra al 30 por ciento produce una solución saturada de fluoruro que contiene 3 por ciento de esta sal (30,000 mg/l de ion de fluoruro). Cualquier otra concentración de fluoruro que quede dentro de estos extremos, puede obtenerse cambiando la concentración de la solución de alumbre.

Antes de que pueda obtenerse una solución saturada de espato flúor en alumbre, deben satisfacerse las siguientes condiciones:

1. Debe proporcionarse el tiempo suficiente para la disolución — generalmente dos horas a temperatura ambiente ordinaria (un poco más de aproximadamente 15.6°C).
2. Debe haber siempre presente, un exceso de espato flúor en la solución de alumbre.
3. Debe agitarse vigorosa y continuamente durante el tiempo de disolución.

Todas estas condiciones pueden satisfacerse mediante un diseño apropiado del tanque de disolución. Un tanque de este tipo se ha instalado en la planta de tratamiento de aguas de Guaiba, en el estado de Río Grande do Sul, Brasil. Como se indica en la Fig. 6.1, la solución de alumbre se bombea hacia el tanque en forma tal, que al elevarse disuelva una porción

<sup>1</sup> Maier, F. J. y Bellack, E., Fluorspar for Fluoridation, *J. Am. Water Works Assoc.*, 49(1): 34 (1957).



del lecho de espato flúor y se descargue sobre un vertedero que está cerca de la parte superior del tanque. En la mitad del tanque debe fijarse un tubo central de acero inoxidable, para sostener el mezclador y en su base debe fijarse un cono.

El dispositivo se coloca cerca de la fuente de la solución de alumbre, tal y como se indica en la fig. 6.2. El pequeño dosificador de solución que se

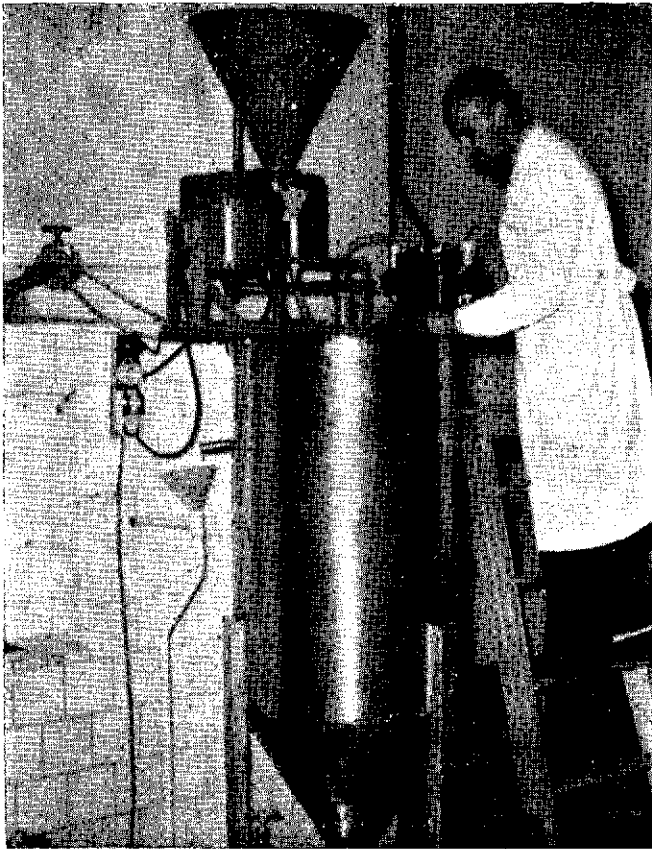


FIG. 6.1 Cámara de disolución del espato flúor. (USPHS)

usó anteriormente para dosificar la solución de alumbre al agua cruda, debe arreglarse en forma tal que descargue en el tubo central del aparato de disolución. Este se carga con aproximadamente 135 kg de espato flúor y la solución de alumbre se hace disolviendo más o menos 25 kg de alumbre en 190 litros de agua (formando una solución de alumbre cuya concentra-

ción es de aproximadamente el 11 por ciento). Ajustando la proporción de dosificación del alumbre, puede alimentarse 1.0 mg/l de fluoruro al agua cruda, junto con 10 mg/l de alumbre. Con estas proporciones, este aparato de disolución puede fluorurar hasta 22,700 metros cúbicos de agua por cada 45 kg de espato flúor. Después de que se haya tratado esa cantidad de agua, se agregan al tanque 45 kg adicionales del mismo mineral,

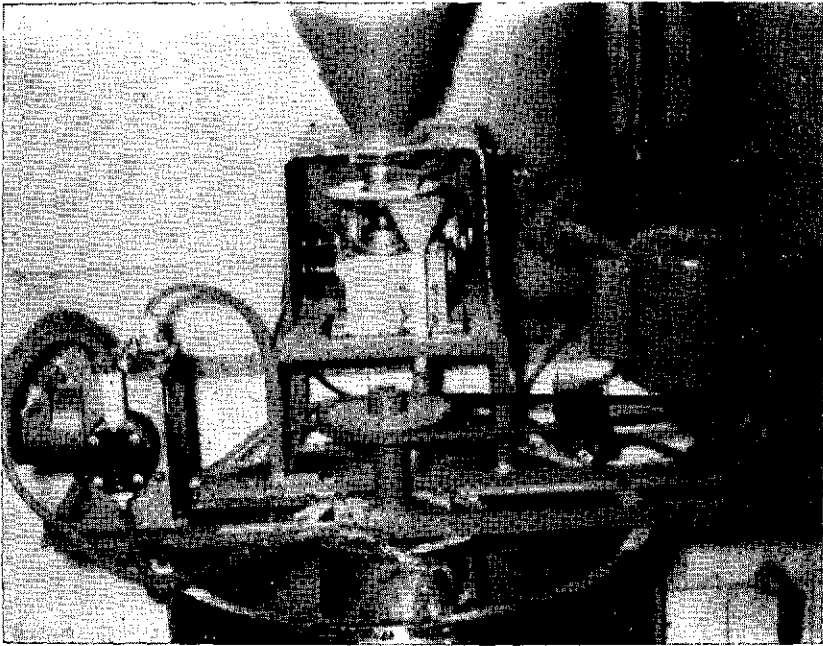


FIG. 6.2 Dosificadores químicos y mezcladora de solución de espato flúor, Guaíba, Brasil.

para asegurar un nivel constante de fluoruros y proporcionar un exceso. Un efluente claro de un aparato de disolución de este tamaño, puede obtenerse a velocidades de flujo ascendente de 555 ml por min. Esto equivale a tratar 8,700 metros cúbicos (6,056 lpm) de agua por día, con 1.0 mg/l de fluoruro. Esta velocidad puede incrementarse a 666 ml por min, que basta para tratar 10,500 metros cúbicos (7,344 lpm) de agua por día, a 1.0 mg/l de fluoruros; pero el efluente del tanque sale ligeramente turbio. La turbidez de la solución es provocada por las partículas de sulfato de calcio (yeso) formadas por la reacción del fluoruro de calcio y el sulfato de aluminio. A la velocidad inferior (menos de 555 ml por min), no se observa la suspensión de partículas de yeso visibles.

El sulfato de calcio se produce en la proporción de 0.77 kg por kilogramo de espato flúor disuelto. Esto debe quitarse del tanque siempre que se añada más espato flúor, porque de otra manera el tanque se llenaría de sólidos. En Bel Air, esta supresión se logra sifonando una lechada de yeso hasta que se obtenga el suficiente espacio en el depósito para 45 kg de espato flúor. Un diseño más reciente (para la ciudad de Rosiclare, Illinois), proporciona la supresión automática del yeso, controlando la proporción del alumbre que se agrega. El flujo de la solución de alumbre hacia la cámara de disolución se regula en forma tal, que el yeso sea llevado

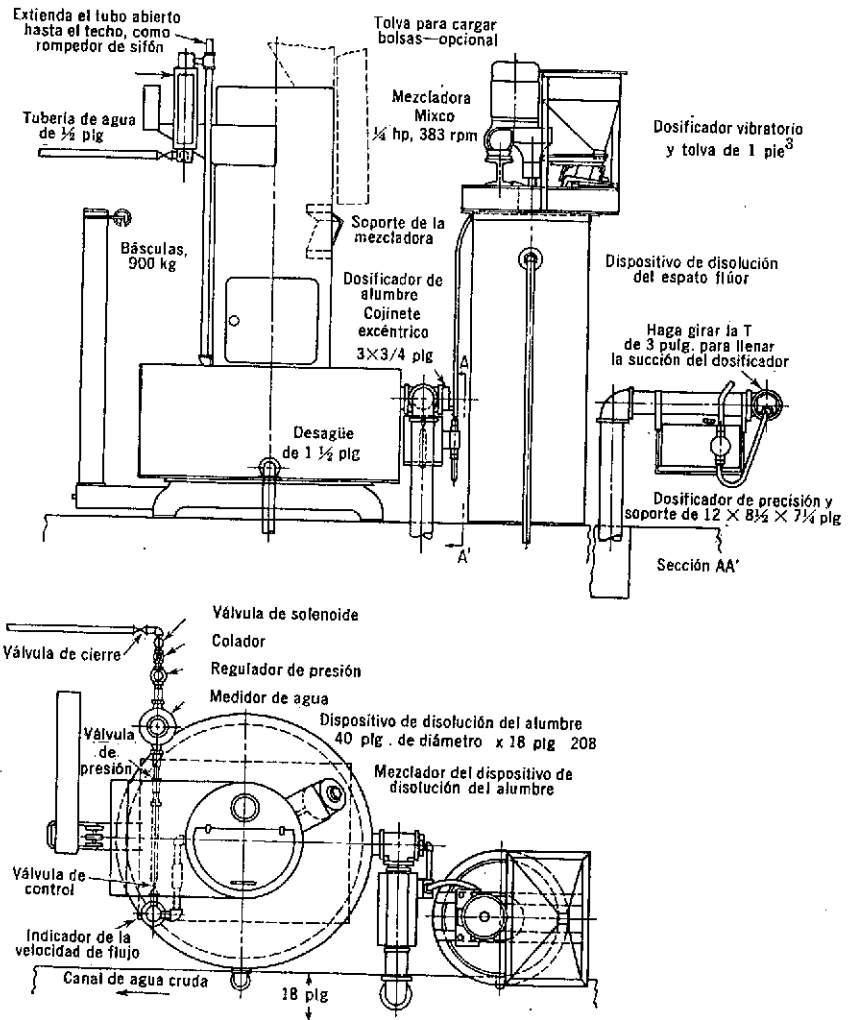


Fig. 6.3 Sistemas de alumbre y el fluoruro en Rosiclare, Illinois, E.U.A. (USPHS)

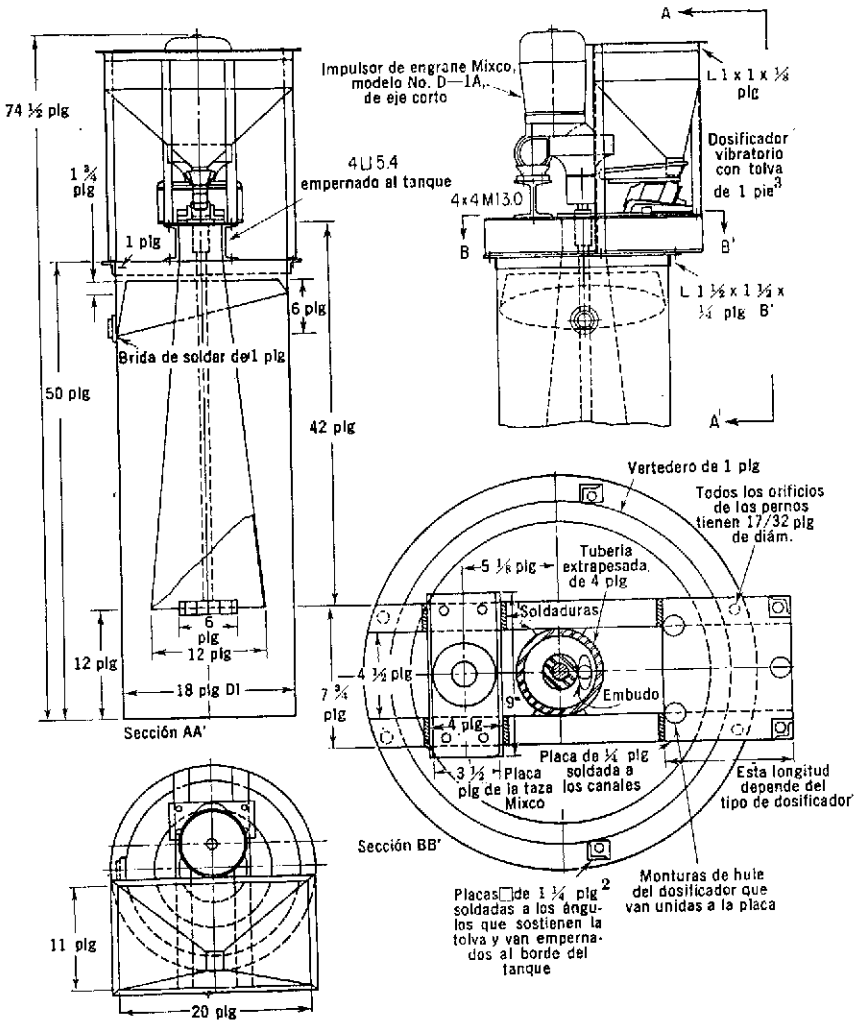


FIG. 6.4 Dispositivo de disolución de espato flúor en Rosiclare, Illinois. (USPHS)

hacia arriba con la mezcla de alumbre y fluoruro y se descargue en el agua cruda. La presencia del yeso en este punto no es, en ninguna forma, peligrosa. En realidad, las partículas de yeso proporcionan los núcleos convenientes para la formación de flóculos, cuando el agua cruda es relativamente clara. Los dibujos de la instalación de Rosiclare (figs. 6.3 y 6.4) muestran el equipo utilizado para cambiar independientemente, con el equipo apropiado, las dosis de fluoruro y alumbre y para abastecer continuamente el espato flúor en el tanque de disolución. Se facilita una razón constante de adición de la solución de alumbre, al aparato de disolución,

para suspender la cantidad correcta de yeso. La dosis de fluoruros se cambia haciendo variar la concentración del alumbre que va al aparato de disolución (el cambio de concentración del alumbre se logra haciendo variar la proporción entre el alumbre y el agua de la cámara de disolución del dosificador de alumbre). La dosis del alumbre se cambia haciendo variar los ajustes en el dosificador de alumbre. La concentración de la solución de alumbre se controla proporcionando la cantidad correcta de agua en la cámara de disolución del alumbre.

El costo de los disolventes del espato flúor varía ampliamente, dependiendo en gran parte del tamaño y variedad de los accesorios. Tales costos, en todos los casos, se han amortizado dentro del primero o segundo años siguientes, debido a los ahorros notables realizados mediante el uso de espato flúor que es menos caro.

El espato flúor se encuentra comercialmente: 1) en varios grados de pureza, 2) varios grados de flotación y 3) diferentes tamaños de partículas. Cualquier grado o tipo puede utilizarse en las cámaras de disolución que se describen aquí. Sin embargo, las condiciones locales pueden indicar la conveniencia de un grado en particular.

En general, existen tres grados de pureza. El grado metalúrgico se utiliza principalmente para la fabricación del acero y contribuye con el 55 por ciento de la demanda total del espato flúor. Debe contener aproximadamente 85 por ciento de fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) y menos del 5 por ciento de sílice. Este es el grado más barato y cuesta más o menos 43 dólares por tonelada. Un material importado similar, cuesta 23 dólares por tonelada.

El grado cerámico se utiliza en la fabricación de artículos de vidrio, productos de arcilla y esmaltes para recubrimientos de metales. Generalmente es por lo menos 95 por ciento de fluorita y contiene menos de 2.5 de sílice y menos de 1.5 por ciento de carbonato de calcio. Su precio es alrededor de 48 dólares por tonelada.

El espato flúor de grado ácido es el mejor material que puede conseguirse en las plantas de elaboración y constituye, aproximadamente, un tercio de la cantidad total de espato flúor consumido, este grado se utiliza para la elaboración del ácido fluorhídrico (y con éste se elaboran muchas sales de flúor) como el ingrediente principal de la criolita sintética. (El uso de la criolita se describe en la página 94). Y debe tener, por lo menos, un 97 por ciento de fluorita y entre 1.0 y 1.5 por ciento de sílice. El costo de este grado es de aproximadamente 53 dólares por tonelada.

Por lo general, el espato flúor contiene reactivos de flotación cuando se ha procesado. En la planta de tratamiento de agua esto evita que el espato flúor se hunda inmediatamente en la solución de alumbre. En plantas de tratamiento más pequeñas, en donde se practican operaciones por etapas, esto puede hacer que el espato flúor flote en la superficie de la solución de

alumbre y sea llevado, sin haberse disuelto, en la espuma formada por los reactivos de flotación. Para evitar esto, algunos fabricantes pueden proporcionar material en el que se han suprimido los reactivos de flotación. Esto se logra elevando las temperaturas de secado (el último paso del proceso que se describe en la página 70) a aproximadamente 205°C. Puesto que esto no involucra una etapa más en el proceso, el costo adicional de este material procesado, si es que se produce, es nominal. Algunos depósitos de espato flúor que se encuentran en varios países y que están relativamente llenos, tienen la pureza suficiente para hacer que el proceso de flotación sea innecesario. El producto importado por los Estados Unidos, de tales depósitos, no contiene reactivos de flotación y, en consecuencia, no requiere del calentado u otro tratamiento para quitar o minimizar sus efectos.

El espato flúor puede encontrarse en muy diferentes tamaños, de acuerdo con la demanda del consumidor. Por ejemplo, los grados metalúrgicos pueden obtenerse como grava, en terrones, como gránulos artificiales o como concentrados de flotación de diversas dimensiones. Para la fluoruración, mientras más fino sea el material, más fácilmente se disuelve. No obstante, si se especifica uno demasiado fino (por ejemplo, si el 75 por ciento del material es más fino que de malla 325), el costo aumenta rápidamente, debido al manejo especial que se requiere para obtener la porción más fina. Por lo general, los concentrados de flotación, tal y como vienen de los hornos de secado, son satisfactorios si la finura es tan buena como la que se encuentra en la mayoría de los materiales de grado ácido.

A continuación se ilustran unos análisis de tamices típicos de dos grados comunes:

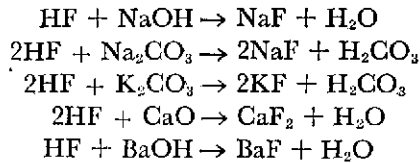
	Grado ácido, por ciento	Grado cerámico, por ciento
En malla 100 .....	17	6
malla 100-200 .....	30	8
malla 200-325 .....	31	28
a través de malla 325 .....	22	58

En Estados Unidos el espato flúor puede adquirirse en las siguientes compañías:

Ceramic Color & Chemical Company, New Brighton, Pensilvania  
 Continental Ore Corporation, Nueva York, Nueva York  
 Frazer Mining Company, Marion, Kentucky  
 Hickman, Williams & Company, Nueva York, Nueva York  
 Minerva Company, Eldorado, Illinois  
 Ozark-Mahoning Company, Tulsa, Oklahoma

## SALES DEL ACIDO FLUORHIDRICO

El espato flúor es la materia prima básica en la elaboración de todos los compuestos de flúor, excepto los silicofluoruros, que generalmente se obtienen de la industria de la fosforita (véase la página 83). Después de la acidulación del espato flúor (véase la página 70), el ácido fluorhídrico (HF) formado, puede usarse ya sea directamente como un producto químico para fluorurar, o bien puede emplearse como el compuesto inicial de muchas sales que contienen flúor. Por ejemplo, seleccionando el compuesto reactivo apropiado, puede obtenerse con este ácido, casi cualquier sal de flúor:



y muchas otras.

El ácido fluorhídrico, un líquido, teóricamente puede agregarse en forma directa al agua con bombas dosificadoras relativamente baratas. Sin embargo, debido a la extrema corrosividad de este ácido, es muy difícil manejarlo con seguridad y exactitud. En la única comunidad en que se ha utilizado para la fluoruración del agua (Madison, Wisconsin, E.U.A.), se usó ácido fluorhídrico de 70 por ciento, a fin de conservar espacio en una serie de pequeñas casetas de bombas de pozos. El ácido se agregaba en forma indirecta al agua mediante un dosificador de solución. En lugar de bombear el ácido, el dosificador forzaba un aceite mineral inerte hacia la parte superior del tanque de ácido. El aceite, al permanecer arriba del ácido, desplazaba un volumen de ácido igual a la cantidad de aceite bombeado y, por lo tanto, hacía que el ácido penetrara en el agua que se estaba tratando. Se informó que los problemas de corrosión en las tuberías y los accesorios se solucionaron utilizando metal monel o hule duro. Debido a su corrosividad y al peligro inherente en su manejo, el ácido fluorhídrico no debe utilizarse en plantas de tratamiento de agua, a menos que se cuente con una supervisión sumamente experta. Por estas razones, el ácido fluorhídrico no se verá en este libro como compuesto generalmente apropiado para la fluoruración del agua.

## FLUORURO DE SODIO

El fluoruro de sodio es el único compuesto que se utiliza actualmente, para la fluoruración de aguas municipales y pertenece al grupo de com-

puestos que se forman a partir del ácido fluorhídrico. Algunas instalaciones caseras de fluoruración, que involucran muy pequeños abastecimientos, están utilizando fluoruro de potasio cuando se practica en forma simultánea la cloración del agua.

Como se indica en el cuadro 6.3, el fluoruro de sodio es una fuente de fluoruros relativamente cara; pero, debido a sus características únicas de solubilidad, es muy conveniente en ciertas instalaciones para fluoruración. Es casi constantemente soluble a aproximadamente 4 por ciento por peso. En otras palabras, alrededor de 1.8 kg de fluoruro de sodio forman una solución saturada con 45 kg de agua. Esto significa que, sin importar cuál sea la temperatura del agua en la planta de tratamientos, puede formarse una solución saturada de aproximadamente 4 por ciento de concentración. Por lo general, la solubilidad de las sales varía mucho conforme cambia la temperatura del agua. La característica especial del fluoruro de sodio, en este aspecto, se utiliza en ciertos equipos (que se describen en el capítulo 7) que producen una solución saturada como ésta, en forma automática y continua. Por lo tanto, este dispositivo elimina la necesidad de pesar el compuesto o medir la cantidad de agua que se utiliza para formar una solución de concentración conocida.

El fluoruro de sodio se usó en todas las primeras instalaciones de fluoruración (Grand Rapids, Newburgh y Brantford). Este compuesto se escogió porque se habían concluido los estudios sobre su toxicidad y efectos fisiológicos, se encontraba comercialmente en grandes cantidades, era conveniente para usarse y tenía una solubilidad que era relativamente alta y constante a través de una gran variedad de temperaturas. Últimamente, algunos estudios adicionales han demostrado que la disponibilidad del ion fluoruro para la inhibición de la caries, es comparable en el silicofluoruro de sodio, el ácido fluosilícico y el monofluorofosfato de sodio.<sup>2</sup>

El fluoruro de sodio es un material blanco, inodoro y de flujo libre, que puede obtenerse ya sea como polvo o en la forma de cristales minúsculos. Su peso molecular es 42.00, la gravedad específica 2.79 y su solubilidad es prácticamente constante a 4.9 g por 100 ml de agua, a temperaturas que generalmente se encuentran en las prácticas de tratamiento de aguas. El pH (concentración de iones hidrógeno) de la solución varía con la fuente y tipo de impurezas. En la forma en que puede adquirirse hoy en día, el fluoruro de sodio produce soluciones con un pH cercano a la neutralidad. Puede encontrarse con purezas que varían del 90 al 98 por ciento, consistiendo las impurezas en agua, ácido libre (o álcali), silicofluoruro de sodio, sulfitos y hierro. Las normas para el fluoruro de sodio de la Asociación Americana

<sup>2</sup> Zipkin, I. y McClure, F. J., Complex Fluorides: Caries Reduction and Fluorine Retention in the Bones and Teeth of White Rats, *Public Health Repts. (U.S.)*, 66(47): 1523-1532 (1951).



de Obras de Abastecimiento de Agua (American Water Works Association), E.U.A., son:

- Contenido de fluoruro ( $F^-$ ), 42.9 por ciento como mínimo
- La materia insoluble no debe exceder de 0.60 por ciento
- La humedad no debe exceder de 0.50 por ciento
- El fluosilicato no debe exceder de 0.70 por ciento
- Los metales pesados no deben exceder de 0.04 por ciento
- El hierro no debe exceder de 0.15 por ciento
- Otros no deben exceder de 3.01 por ciento

Dependiendo de la fuente y otros factores, la densidad del fluoruro de sodio en polvo varía desde un grado ligero (menos de 1,040 kg por metro cúbico) a pesado (1,440 kg por metro cúbico). Los análisis de tamices de un material que pesa 1,040 kg por metro cúbico, es 99 por ciento a través de una malla 200 y, 97 por ciento por una de 325. Un grado cristalino que no contiene prácticamente ninguna partícula capaz de formar polvo y que es idealmente apropiado para el tanque saturador de fluoruro de sodio, descrito anteriormente, tiene un tamaño de malla de aproximadamente 100 por ciento a través de una malla 20 y sólo 2 por ciento por una malla 60. Este material puede usarse también en dosificadores secos (volumétricos o gravimétricos); pero generalmente se prefieren los grados en polvo (99 por ciento a través de una malla 200) cuando se requiere una disolución rápida y continua. Cualquier grado de fluoruro de sodio puede utilizarse para elaborar soluciones que tengan una fuerza saturada inferior (2 por ciento o algo semejante). En estos casos, la preparación de las soluciones requiere un pesado cuidadoso del fluoruro de sodio, así como la medición del agua junto con la agitación prolongadamente, para asegurarse de que todo el compuesto se disuelva. Algunos reglamentos estatales han requerido que el fluoruro de sodio se pinte de color azul, para distinguirlo de otros productos químicos que se usan en los tratamientos de aguas. Esto incrementó el costo del material en alrededor de 1 centavo por medio kilo. El material pintado se fabrica principalmente para satisfacer los requisitos federales, cuando se usa como ingrediente en insecticidas.

El fluoruro de sodio se emplea también como agente congelador en la fabricación de vidrio, como insecticida, rodenticida y fungicida, como preservativo de maderas y gomas y almidones adhesivos, así como ingrediente del esmalte vítreo, de los fundentes para soldadura común y de latón y en papeles recubiertos.

Para los envíos de fluoruro de sodio se utilizan bolsas de papel (de 45 kilogramos netos), tambores de fibra (55 kg netos) y tambores o barriles (170-195 kg netos). Las dimensiones reales de estos recipientes varían considerablemente, dependiendo del fabricante. Los envíos a granel se permiten ahora bajo la Consolidated Freight Classification, emitida el 26 de enero

de 1953. Se requiere que los recipientes lleven una etiqueta con advertencias generales de precaución, a fin de evitar un manejo peligroso.

Las siguientes compañías elaboran fluoruro de sodio en los Estados Unidos:

American Agricultural Chemical Company, Nueva York, Nueva York  
Blockson Chemical Company, Joliet, Illinois  
General Chemical Company, Nueva York, Nueva York  
Chemtech, St. Louis, Missouri

## FLUORURO DE POTASIO

En la actualidad no existen plantas de tratamiento de agua municipales que utilicen el fluoruro de potasio. Se usa sólo en unas cuantas instalaciones experimentales, en donde se fluoruran sistemas caseros particulares de agua potable. Este compuesto se seleccionó debido a que dichos sistemas de agua potable se estaban clorando al mismo tiempo y con el mismo equipo que se utiliza para agregar fluoruros. La solución de fluoruros contenía también cloro en la proporción conveniente para dar las concentraciones óptimas de fluoruro y de cloro residual. Las características de este compuesto aparecen en el cuadro 6.3. Puesto que sólo se ha utilizado fluoruro de potasio del grado más puro (reactivo), es considerablemente más costoso que los otros. Otros compuestos que contienen fluoruros podrían usarse también para estos fines (por ejemplo, fluoruro de litio y de magnesio).

## SILICOFLUORUROS

### *Fuente y preparación*

Prácticamente todos los silicofluoruros que pueden adquirirse comercialmente, se obtienen como un subproducto de la purificación de la fosforita. Los productos primarios son superfosfatos, ácido fosfórico, fósforo elemental y superfosfato triple. La mayor proporción de estos productos se usa en la preparación de fertilizantes químicos.

De las muchas fuentes de fosfatos (huesos, guano, escorias), las más importantes son las rocas que contienen fosfato (fosforitas) y que se encuentran en muy diversas partes del mundo. Generalmente se encuentran como depósitos sedimentarios que casi siempre tienen un origen marino. Tales depósitos contienen siempre fluoruros (variando de 2.9 a 6.3 por ciento por peso) y un óxido de fósforo en proporciones que se acercan a la composición de las apatitas  $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})_2]$ . La presencia del flúor como parte de la molécula del fosfato, es, probablemente, la

causa de la poca solubilidad de las rocas y explica la acumulación y preservación de las cantidades enormes que se encuentran en algunas regiones.

Los depósitos más importantes de este mineral se encuentran en los Estados Unidos e incluyen las extensas reservas de Florida, Tenesí y algunos estados del oeste, sobre todo Montana, Idaho, Utah, y Wyoming. Otras grandes regiones se encuentran en Africa del Norte, incluyendo a Argelia, Túnez, Marruecos, Egipto, la U.R.S.S. y varias islas de los océanos Indico y Pacífico. Pueden encontrarse depósitos más pequeños en Bélgica, Francia, Inglaterra, Australia, Japón, Nueva Zelandia, América del Sur y Sudáfrica. Un análisis bastante típico de una fosforita (Florida) antes del beneficio sería:

Oxido de calcio (CaO) .....	46.5%
Dióxido de carbono .....	3.5
Sílice (SiO <sub>2</sub> ) .....	9.5
Oxido fosfórico (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) .....	34.0
Hierro, aluminio y otros óxidos .....	3.0
Flúor .....	3.5
	100.0%

Las reservas domésticas de fosfato, en los Estados Unidos, que se conocían hasta 1950, sumaban más de 11.8 miles de millones de toneladas métricas que contenían 381 millones de toneladas métricas del flúor (promediando más del 3 por ciento de flúor). Por lo tanto, el flúor de esta fuente bastaría para suministrar la totalidad de las necesidades de todos los abastecimientos públicos de agua potable de este país, durante los próximos 27,000 años más o menos. La producción de fosfatos en 1961 consumió 15.9 millones de toneladas métricas de fosforita comercial (productos vendibles de las plantas de purificación de rocas), que contenían aproximadamente 470,000 toneladas métricas de flúor. Sólo aproximadamente el 3.0 por ciento (13,600 toneladas métricas) de esta cantidad de flúor, se requeriría para fluorurar todos los abastecimientos públicos de agua potable de los Estados Unidos.<sup>3</sup> Algunos de los productos de la industria de la fosforita y las cantidades involucradas durante el año de 1961, aparecen ilustradas en el cuadro de la página siguiente.

De este total de 15.4 millones de toneladas métricas de productos de fosfato elaborados, aproximadamente el 65 por ciento se originó en Florida.<sup>4</sup> La mayor parte del flúor que proviene de esta fuente, se obtiene de los procesos que involucran la producción de superfosfatos.

Desde el punto de vista agrícola, la producción de superfosfatos requiere la conversión de fosfato tricálcico insoluble, que generalmente está presente

<sup>3</sup> Hill, W. L. y Jacob, K. D., Phosphate Rock as an Economic Source of Fluorine, *Mining Eng.*, 6(10): 994 (1954).

<sup>4</sup> Lewis, R. W. y Tucker, G. E., Mineral Market Report No. 3347, December 1961, Division of Minerals, Bureau of Mines, Department of the Interior.

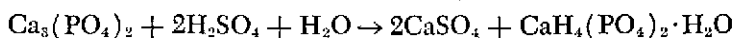
Usos	Millones de toneladas largas (1016.06 Kg)	Porcentaje del total
Agrícola:		
superfosfato .....	4.4	25
superfosfato triple .....	4.6	26
alimentos para ganado y otros .....	0.9	6
Total .....	9.9	57
Industrial:		
fósforo elemental, ácido fosfórico .....	3.7	21
exportaciones y otros usos .....	3.8	22
Total .....	7.5	43

como fluorapatita en los depósitos de fosforita, en una sal soluble de fosfato y sulfato de calcio. Esto se logra disolviendo la fosforita en ácido sulfúrico, una vez que las impurezas mayores se han suprimido. El proceso se realiza casi siempre en cuatro etapas:

1. Trituración de la fosforita para prepararla para el tratamiento ácido.
2. Mezcla y reacción de la fosforita finamente molida con ácido sulfúrico.
3. Curado y secado de la mezcla de fosforita y ácido
4. Molienda y empaclado del material acabado

La evolución del flúor se restringe, principalmente, a las operaciones de mezcla y reacción, en una cámara o "rincón" cerrado. Esa operación facilita una compenetración íntima del ácido y la fosforita, con varios medios para conservar el calor de la reacción y para controlar los gases desarrollados. La mayoría de las cámaras modernas funcionan en forma continua, ya que el ácido y la fosforita se conducen a ella automáticamente y de ahí la mezcla se saca por medio de transportadores que la llevan a las pilas de curado.

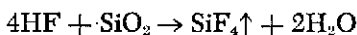
Cuando se agrega ácido a fosfato tricálcico finamente molido, se forma sulfato de calcio y fosfato monocálcico de acuerdo con la siguiente reacción:



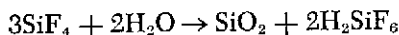
Las impurezas contenidas en el fosfato tricálcico consumen también ácido sulfúrico. El flúor, en la forma de fluoruro de calcio, reacciona en una forma algo similar a la siguiente:



El ácido fluorhídrico reacciona con las impurezas de sílice y le ayuda al ácido sulfúrico a disolver la fosforita:



El gas producido, tetrafluoruro de silicio, reacciona con el agua de la que se obtiene el ácido fluosilícico y el sílice insoluble:



Una gran porción del tetrafluoruro de silicio escapaba anteriormente sin combinarse con el agua y la planta la desechaba con los gases de combustión. Esto produjo grandes molestias en las inmediaciones de la planta, así como peligros para los empleados. Ahora se acostumbra absorber el gas en agua (para formar ácido fluosilícico) o a través de lechos de piedra caliza para formar fluoruro de calcio. En la actualidad sólo una pequeña porción de los fluoruros se convierten en ácido fluosilícico — sólo aproximadamente el 20 por ciento del flúor de la fosforita de Florida es el que se cambia, el resto sigue siendo superfosfatos. De este 29 por ciento, únicamente alrededor de un sexto se recupera para la producción de ácido fluosilícico y el resto se diluye y se desecha como desperdicio.<sup>5</sup> Esta proporción tan baja de recuperación se debe, principalmente, a la falta de incentivos económicos para producir silicofluoruros y a la facilidad con que, en la actualidad, se pueden deshacer de los desechos. Debido al reconocimiento cada vez mayor de los efectos perjudiciales de la polución de corrientes y del aire, es muy posible que en el futuro se recupere una proporción mucho mayor.

## ACIDO FLUOSILICICO

El ácido fluosilícico (ácido fluosilícico, ácido hexafluosilícico, ácido silicofluórico) es una solución acuosa de 20 a 30 por ciento de  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ , cuyo peso molecular es 144.08. No se conoce en forma anhidra (sin agua). Es un líquido incoloro, transparente, humeante y corrosivo, que tiene un olor picante y que irrita la piel al contacto. Una solución al 22 por ciento hierve a aproximadamente  $105^\circ\text{C}$  y se congela a alrededor de  $-15^\circ\text{C}$ . Una solución al 1.0 por ciento tiene un pH de 1.2. Las densidades a  $17.5^\circ\text{C}$  de varias concentraciones son:

$\text{H}_2\text{SiF}_6$ , por ciento	6	14	22	25	30	34
Densidades	1.0491	1.1190	1.1941	1.2235	1.2742	1.3126

<sup>5</sup> Haggaman, William H., "Phosphoric Acid, Phosphates, and Phosphatic Fertilizers", Reinhold Publishing Corporation, New York, (1952).

Cuando se vaporiza, el ácido se descompone en ácido fluorhídrico (2HF) y tetrafluoruro de silicio. Este equilibrio existe en la superficie de las soluciones fuertes de este ácido, y la concentración reducida del ácido fluorhídrico puede atacar lentamente el recipiente de vidrio, arriba del nivel de la solución. Por lo tanto, generalmente se usan recipientes con un recubrimiento de hule para almacenamientos y envíos.

Este ácido se origina de gases que se generan durante la acidulación de la fosforita, y que contiene bajas concentraciones de tetrafluoruro de silicio y vapor de agua. Estos vapores se conducen por medio de ventiladores, a una torre que está equipada con charolas. Ahí, los gases se absorben en ácido fluosilícico diluido, que se recircula a aproximadamente 70°C. Cuando el ácido recirculante alcanza la concentración deseada, el sistema se descarga en filtros, en donde se extrae parte del sílice libre. Los conductos, abanicos, la torre y los filtros deben estar recubiertos con neoprano. La bomba de ácido debe tener accesorios de monel. Los tanques para almacenar el ácido frío, deben estar recubiertos de hule. La concentración máxima que se obtiene por este método es del 30 por ciento. Para hacer concentraciones superiores de ese ácido, se disuelve silicio (arena) en ácido fluorhídrico. Sin embargo, el costo elevado de este ácido más concentrado, es desproporcionado desde el punto de vista del contenido de fluoruros, cuando se compara con el costo de un producto más débil. Generalmente, el ácido elaborado a partir del tetrafluoruro de silicio tiene una concentración satisfactoria para la fluoruración del agua.

Aunque este ácido es sólo ligeramente volátil, debe tenerse cuidado de evitar sus vapores. Si se inhala tetrafluoruro de silicio se sufrirán irritaciones en las vías respiratorias. El equipo expuesto a los humos se corroerá. Por estas razones, los tanques de almacenamiento deben estar cubiertos y, si están en lugares cerrados, debe asegurarse una ventilación adecuada. La volatilidad del ácido puede reducirse, manteniéndolo a una temperatura tan baja como sea posible.

Comparado con los ácidos fluorhídrico o sulfúrico, éste es relativamente seguro en su manejo. No obstante, tan pronto como sea posible, después de estar expuesto a él, debe uno lavarse las manos o cualquier otra parte del cuerpo, con grandes cantidades de agua. Siempre que se maneja este ácido, deben usarse ropas de protección (como se describe en el capítulo 11) así como gafas protectoras.

Debido a sus características de corrosión, debe cuidarse que se seleccionen materiales que puedan soportar el deterioro. Los materiales de construcción para tanques, tuberías, bombas, válvulas y otros accesorios, se clasifican de acuerdo con su relativa adaptabilidad, como se indica en el cuadro 6.1.

Las normas de especificación para el ácido fluosilícico de la American Water Works Association (AWWA Specification B703), limitan los metales pesados, expresados como plomo (Pb), a 0.020 por ciento. No se han

CUADRO 6.1 RESISTENCIA A LA CORROSIÓN DE ALGUNOS MATERIALES

Excelente	Regular	Inapropiada
Hastelloy C	Cobre	Madera
Carbono estructural	Latón	Acero dulce
Durimet 20	Monel	Acero inoxidable
Neopreno	Hule duro	Plomo
Caucho	Madera (recubierta con pez)	
Saran	Vidrio	
Teflón	Cerámica	
Polietileno		
Kel-F		

establecido límites para el silicio, aunque este elemento se encuentra presente a veces en cantidades apreciables. Si se encuentra un exceso de sílice libre, se formará un precipitado insoluble y visible, cuando la proporción de dilución sea inferior a 20:1. En otras palabras, no se registrarán precipitados visibles cuando se agreguen más de 20 partes de agua por una de ácido. La dilución del ácido con agua, es a veces necesaria en algunas pequeñas plantas de tratamiento debido a las limitaciones en la dosificación exacta de los alimentadores de soluciones químicas, cuando se ajustan a proporciones muy bajas. Este precipitado tapa bombas, válvulas, tuberías y otros equipos de alimentación de fluoruros. Se ha descubierto<sup>6</sup> que la adición de pequeñas cantidades de ácido fluorhídrico al fluosilícico, evitará la formación de este precipitado, que es sílice finamente dividido. La cantidad agregada varía entre 1 litro de ácido fluorhídrico (al 48 por ciento) a 50 litros de ácido fluosilícico (al 30 por ciento). La proporción óptima depende de la cantidad de sílice coloidal que deba disolverse. El fabricante es quien mejor puede determinar esto. En interés de la seguridad en la planta de tratamiento y para una efectividad máxima, los fabricantes deberían estabilizar el ácido en sus fábricas, añadiendo las cantidades óptimas de ácido fluorhídrico.

Sin embargo, generalmente no se aconseja que se escoja el ácido fluosilícico en los casos en que debe diluirse antes de alimentarlo. Si este paso es necesario, quiere decir que la planta de tratamiento de que se trata requiere cantidades relativamente pequeñas de sustancias químicas, con un costo consecuente más elevado de los fluoruros disponibles del ácido fluosilícico, en comparación con otras fuentes. Además, la dilución requiere una medición exacta, tanto del ácido como del agua de dilución. La necesidad de estas mediciones contribuye a errores posibles en la concentración de la mezcla resultante. De una manera general, cuando se trata de plantas

<sup>6</sup> Bellack, E. y Maier, F. J., Dilution of Fluosilicic Acid, *J. Am. Water Works Assoc.*, 48(2): 199 (1956).

pequeñas, es más económico y sencillo utilizar soluciones de fluoruro de sodio que se obtienen de un saturador.

En el cuadro 6.3, se indica que de todos los compuestos que actualmente se utilizan en los abastecimientos públicos de agua potable, este ácido es la fuente más cara de fluoruros. Sin embargo, en el cuadro 6.2 se señala que, excepción hecha del silicofluoruro de sodio, este ácido sirve a un mayor número de personas en la fluoruración, que cualquier otro compuesto. Esto se debe principalmente a que tres de las ciudades más grandes de los Estados Unidos (Chicago, Baltimore y Filadelfia) lo están usando. Ellas pueden obtenerlo a un precio muy favorable con los productores locales. Además, puesto que el ácido se añade invariablemente al agua, con dosificadores de solución relativamente baratos, el costo de las instalaciones de ácido fluosilícico se considera casi siempre inferior a cualquier otro.

Además de la fluoruración, este ácido se utiliza para elaborar sales de silicofluoruros y fluoruros; como agente para incrementar la dureza de la china, porcelana y loza; como ingrediente en desinfectantes y pinturas; como preservativo de la madera; como baño en el refinamiento electrolítico del plomo y la electrodeposición del cromo; para la limpieza superficial del aluminio y para tratamientos de superficies vítreas, con el fin de reducir la reflexión.

El costo del ácido fluosilícico se fija en base a una solución de  $H_2SiF_6$  al 30 por ciento, aunque en la actualidad pueden hacerse envíos de concentración menor (y generalmente así es). La Comisión de Comercio Interestatal (Interstate Commerce Commission) de los E.U.A., lo clasifica como un líquido corrosivo y se envía con una etiqueta blanca especial, que debe decir "ácido fluosilícico". No se permite enviar muestras por correo y cuando se hacen envíos por expreso, deben estar empacados de tal manera, que se facilite la absorción del ácido en el papel de envoltura en caso de que el recipiente gotee. Los envíos se hacen en barriles de madera de 75 ó 225 kg o bien, en tambores recubiertos de hule, de 55 kg (especificación 43A de la ICC). Se requiere un depósito sobre los tambores (aproximadamente 75 dólares por los de 225 kg). Algunos fabricantes cuentan también con carros cisterna recubiertos de hule, así como con camiones con capacidades de hasta 41,000 kg netos. Las siguientes compañías elaboran ácido fluosilícico:

American Agricultural Chemical Company, Nueva York, Nueva York,  
E.U.A.

Baugh & Sons Company, Filadelfia, Pensilvania, E.U.A.

Davison Chemical Company, Baltimore, Maryland, E.U.A.

E. I. Du Pont de Nemours & Company, Inc., Wilmington, Delaware,  
E.U.A.



Harshaw Chemical Company, Cleveland, Ohio, E.U.A.  
Tennessee Corporation, Atlanta, Georgia, E.U.A.

### SILICOFLUORURO DE SODIO

El ácido fluosilícico es la materia prima básica que se utiliza en la elaboración de las sales de silicofluoruro. Se elaboran muchas de ellas, pero, hasta ahora, sólo se han utilizado el silicofluoruro de sodio, el de magnesio y el de amonio para la fluoruración del agua.

De todos los compuestos que se emplean con este objetivo, el silicofluoruro de sodio es el de mayor demanda. Como se indica en el cuadro 6.2, los

CUADRO 6.2 POBLACIÓN ANUAL ACUMULATIVA QUE SE SIRVE DEL AGUA FLUORURADA, POR PRODUCTO QUÍMICO EMPLEADO, 1945-1965

Año	Población total	Compuesto químico					
		Fluoruro de sodio	Silicofluoruro de sodio	Acido fluosilícico	Fluosi-licato de amonio	Fluoruro de calcio	Otros, fluo-ros naturales ajustados y otros no especificados
1945	231,920	231,920					
1946	332,467	315,747	16,720				
1947	458,748	428,028	30,720				
1948	581,683	430,963	30,720	120,000			
1949	1,062,779	840,225	96,274	120,000			
1950	1,578,578	990,764	376,211	200,774			
1951	5,079,321	1,401,942	3,354,055	305,484	7,011		
1952	13,875,005	2,485,054	9,461,388	1,901,723	16,011		6,280
1953	17,666,339	2,991,190	12,505,418	1,957,697	17,066		10,829
1954	22,336,884	2,740,248	15,138,850	4,126,862	59,621		10,829
1955	26,278,820	3,608,006	17,252,295	5,001,934	60,636	2,700	271,303
1956	33,905,474	3,922,181	19,656,155	9,792,008	61,611	3,160	353,249
1957	36,215,208	4,302,768	21,265,391	9,882,735	62,626	3,620	470,364
1958	38,461,589	4,456,953	22,919,696	10,083,504	63,600	6,749	698,068
1959	39,628,377	4,626,851	23,851,411	10,146,814	64,696	7,190	931,087
1960	41,169,412	5,186,351	24,589,937	10,285,530	65,710	7,224	931,415
1961	42,201,115	5,360,543	25,092,573	10,626,715	66,637	7,296	1,035,660
1962	44,059,046	5,564,679	25,741,207	11,612,851	71,256	7,394	1,047,621
1963	46,678,380	5,788,524	26,749,206	12,932,516	108,254	7,505	1,061,659
1964	48,962,078	6,096,830	27,747,177	13,639,972	328,845	8,274	1,092,375
1965	59,855,024	6,439,416	29,944,853	22,463,405	392,527	7,813	1,140,980
							607,010

abastecimientos de agua potable tratada con silicofluoruro de sodio, sirven a más personas que las tratadas con todos los demás compuestos de fluoruros combinados. La razón primordial de esto es su costo reducido. Como se señala en la tabla 6.3, el silicofluoruro de sodio es la fuente de ion fluoruro más barata, excepción hecha del espato flúor. Aunque su solubilidad constituye un problema, puede resolverse seleccionando el aparato apropiado

CUADRO 6.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPUESTOS DE FLÚOR

Conceptos	Fluoruro de calcio (CaF <sub>2</sub> )	Silico-fluoruro de sodio (Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> )	Fluoruro de sodio (NaF)	Acido fluosilícico (H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> )	Silico-fluoruro de magnesio (MgSiF <sub>6</sub> ·6H <sub>2</sub> O)	Silico-fluoruro amonio ((NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> )	Fluoruro de potasio (K <sub>2</sub> FaH <sub>3</sub> O)
Forma .....	Polvo	Polvo	Polvo	Líquido	Cristal	Cristal	Cristal
Peso molecular .....	78.08	188.05	42.00	144.08	274.48	178.14	94.13
Pureza comercial, % .....	85-98	98.5	90-98	22-30	98	98	98
Ion fluoruro % de (100% material puro) .....	48.8	60.7	45.25	79.2	41.5	63.9	20.2
Peso (kg/m <sup>3</sup> ) .....	1618	881-1153	1041-1442	1.25 kg/l	1170	1298	929
Espacio de almacenamiento, m <sup>3</sup> por 1,000 kg de ion F- .....	1.3-1.5	1.4-1.9	1.4-2.1	3.4-4.6	2.1	1.3	5.4
Kg requeridos por millón de litros para 1.0 mg/l a la pureza indicada ..	2.14(97%)	1.68	2.25(98%)	4.21(30%)	2.46	1.60	5.05
Solubilidad (g por 100 g de H <sub>2</sub> O) a 25°C	0.0016	0.762	4.05	Infinita	64.8(17.5°C)	18.5(17.5°C)	100
Litros de solución saturada requeridos por millón de litros de agua a 25°C y 1 mg/l F- ...	52.500	219	55.6(98%)	3.35	3.5	8.0	5.0
pH de la solución saturada	6.7	3.5	7.6	1.2 (sol. 1%)	1.0	3.5	7.0
Costo, centavos de dólar por kg .....	5.0	17.0	31.9	17.6(30%)	44.0	26.4	88
Centavos de dólar por kg de F- disponible .....	10.0	29.0	72.0	74.0	1.08	42.0	4.45
Centavos de dólar por millón de litros para 1 mg por litro .....	10.0	29.0	72.0	74.0	1.08	42.0	445.00
Dólares por año a 1 millón de litros por día .	\$36.50	\$106.00	\$264.00	\$270.00	\$288.00	\$153.00	\$1620.00

de disolución. Existen algunas instalaciones que dosifican lechadas (solución de una sal de concentración tan excesiva, que no puede disolverse en su totalidad) de silicofluoruro de sodio, con el fin de ahorrar dinero en el equipo de disolución. Este procedimiento no se recomienda ordinariamente, ya que las partículas que no se disuelven del compuesto pueden pasar al sistema de distribución o hundirse en el tanque de almacenamiento y perderse.

El silicofluoruro de sodio (fluosilicato de sodio) es un polvo cristalino, fluido, no higroscópico, de color blanco e inodoro. Su peso molecular es 188.05, su densidad 2.679, la de una solución saturada 1.0054 y su pH de 3.5 a 4.0. La hidrólisis permite una determinación analítica directa, por

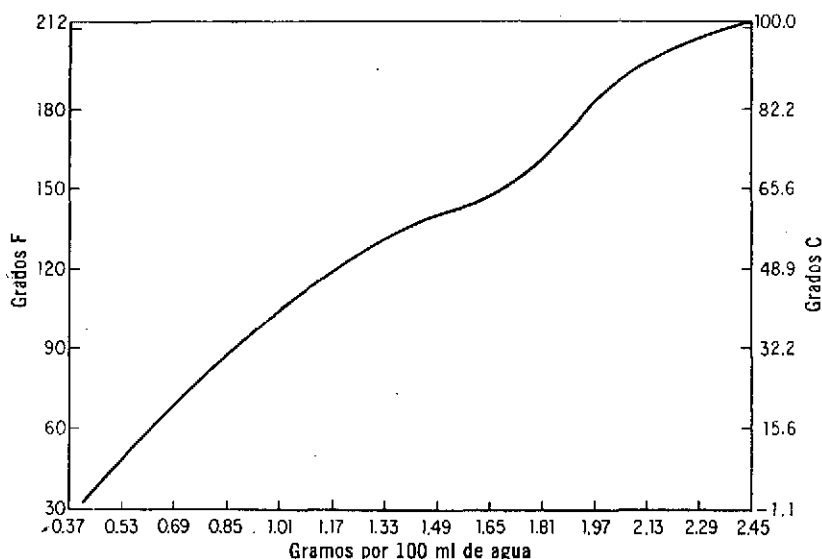
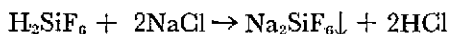


FIG. 6.5 Solubilidad del silicofluoruro de sodio. (USPHS)

medio de una titulación con una solución alcalina normalizada. En la fig. 6.5 se ilustra la solubilidad a diferentes temperaturas. Su solubilidad limitada lo hace ser valioso como un ácido en lavandería, ya que no existe el peligro de que la acidez sea lo suficientemente fuerte como para dañar las telas.

Los fluosilicatos escasamente solubles de bario, potasio y sodio se precipitan cuando una sal soluble de cualquiera de estos metales se añade al ácido fluosilícico:



En la práctica se agrega salmuera al ácido fluosilícico de 25%, en tanques recubiertos de hule y equipados con agitadores, se centrifuga la lechada y se seca el silicofluoruro de sodio sólido.

Comercialmente pueden encontrarse dos grados de finura — regular (1,150 kg por metro cúbico) y esponjoso (880 kg por metro cúbico). Un análisis de tamiz típico del grado regular, es 100 por ciento a través de una malla 40 y 95 por ciento por una malla 100; para el grado esponjoso, 99.5 por ciento a través de una malla 200 y 97.5 por ciento por una 325. El material que se destina al uso de insecticidas se tiñe de azul nilo. Un análisis químico de un grado satisfactorio sería:

Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> .....	98% +
Agua .....	0.5%
SiO <sub>2</sub> .....	0.1%
Cloruros .....	0.6%
Metales pesados .....	menos de 0.05%

Las especificaciones actuales de la American Water Works Association, limitan los metales pesados, expresados como plomo (Pb), a 0.050 por ciento. Tanto la materia insoluble como la humedad, se limitan al 0.5 por ciento.

El silicofluoruro de sodio se utiliza en rodenticidas, insecticidas, fungicidas y bactericidas y también como coagulante para el látex, como ácido en lavandería, en la elaboración de esmaltes y vidrios, en el pretratamiento de cueros y pieles y en la extracción de berilio. Hasta ahora, su única aplicación en la industria del agua potable ha sido como bactericida en compuestos con base de azufre para la unión de tuberías.

El silicofluoruro de sodio rara vez se dosifica en el agua como solución, debido a la dificultad para disolverlo. Casi siempre se alimenta mediante dosificadores de polvo a la caja de solución o a la cámara de disolución, que constituye siempre una de sus secciones. Se ha encontrado que algunos grados de silicofluoruro de sodio, no pueden dosificarse con exactitud, ya que el material se abombaba en las tolvas de almacenamiento o los dosificadores, o bien, a través del mecanismo de alimentación no controlada (similar a la acción de un líquido). Se cree que la causa de esto es la distribución del tamaño de las partículas, o bien, un exceso de agua en el material. Basándose en los informes de las plantas de tratamiento, sobre la "capacidad de dosificación" de los diversos grados del material, actualmente se cree que el contenido de agua no debe exceder de aproximadamente 0.5 por ciento y que todos los tamaños deben estar dentro de los límites de malla 100 a la 325. Se ha sugerido un índice de "capacidad de dosificación" (datos no publicados, Division of Dental Public Health, U.S. Public Health Service) en la que se toman en cuenta, tanto la humedad como el tamaño. Si este índice sobrepasa a 80, se encuentra que el material es satisfactorio. La fórmula es  $F = 100 - (A + B + 10C)$ , en donde  $F$  es el índice de "capacidad de dosificación";  $A$  es el porcentaje retenido en un tamiz de malla 100;  $B$  el porcentaje que pasa a través de un tamiz de malla 325, y  $C$  el porcentaje de humedad. Por ejemplo, una muestra de silicofluoruro de

sodio que se señaló como satisfactoria, indicó un 3 por ciento en una malla 100, 9 por ciento al pasar por una malla 325 y 0.05 por ciento de humedad. Por tanto:

$$F = 100 - (3 + 9 + 0.5) = 87.5$$

Puesto que las soluciones de silicofluoruro de sodio son corrosivas, los materiales que se utilizan en bombas, válvulas, tuberías, etc., deben escogerse teniendo esto en cuenta. Los materiales que se indican para el ácido fluosilícico, en la página 86, dan los mismos buenos resultados con las soluciones de silicofluoruro de sodio.

La efectividad de esta sal, como agente de fluoruración, ha sido investigada<sup>7</sup> y ha demostrado ser similar a la del fluoruro de sodio. Su aplicación en distintas comunidades en los Estados Unidos, ha demostrado también que es un material muy práctico y eficaz para este propósito.

Para los envíos de silicofluoruro de sodio se utilizan bolsas de papel (de 45 kg netos), barriles con recubrimiento de papel (195 kg netos) y tambores de fibra de madera (55 kg netos). Actualmente los reglamentos de la Consolidated Freight en E.U.A., permiten los envíos a granel. Las dimensiones de los recipientes son: bolsas de papel: 42 × 33 × 13 cm; tambores: 33 × 56 cm; barriles: 58 × 76 cm. Todos ellos llevan una etiqueta con advertencias generales de precaución, con el fin de evitar un manejo peligroso.

Las siguientes compañías elaboran y venden silicofluoruro de sodio:

American Agricultural Chemical Company, Nueva York, Nueva York

Baugh Chemical Company, Baltimore, Maryland, E.U.A.

Blockson Chemical Company, Joliet, Illinois, E.U.A.

Davison Chemical Company, Baltimore, Maryland, E.U.A.

E. I. Du Pont de Nemours & Company, Inc., Wilmington, Delaware, E.U.A.

Henry Sudheimer Company, Nueva York, E.U.A.

Tennessee Corporation, Atlanta, Georgia, E.U.A.

U. S. Phosphoric Products, Inc., Tampa, Florida, E.U.A.

## SILICOFLUORURO DE AMONIO

Esta sal se produce neutralizando ácido fluosilícico con amonio acuoso o en la forma de gas. El producto de esta reacción se centrifuga para quitar la mayor parte del agua y después se seca al horno. Se vende como un material cristalino, fluido, blanco e inodoro, que contiene pocas partículas

<sup>7</sup> McClure, F. J., Availability of Fluorine in Sodium Fluoride vs. Sodium Silicofluoride, *Public Health Repts. (U.S.)*, 65(37): 1175 (1950).

capaces de producir polvo. Uno de los tamaños típicos de malla es 100 por ciento a través de una malla 20 y sólo 10 por ciento por una malla 100.

El silicofluoruro de amonio tiene un peso molecular de 178.14 y el material con una pureza del 98 por ciento, contiene 62.7 por ciento de fluoruro, 15.4 por ciento de sílice y 18.75 por ciento de amonio. Su solubilidad es elevada —hasta 55.5 por ciento a 100°C; pero desciende a 13 por ciento a 0°C. Su peso específico aparente es 2.1 y el pH de una solución saturada, 3.5. Como se indica en la tabla 6.3, su costo se compara favorablemente con el del fluoruro de sodio.

El empleo de este material es muy conveniente en los casos en que se usa el amonio para formar cloraminas, cuando se agrega cloro al agua con fines de desinfección. Se prefieren las cloraminas al cloro como desinfectante de agua, cuando el pH es lo suficientemente bajo y el período de contacto con el agua es bastante prolongado (por ejemplo, cuando se usa un depósito o una tubería principal de transmisión larga, entre el punto de tratamiento y su aplicación). Existe sólo un pequeño número de abastecimientos en donde privan estas condiciones. El uso del silicofluoruro de amonio bajo esas condiciones, proporciona parte o todo el amonio requerido. Teóricamente, para formar cloraminas, el cloro necesario es cuatro veces la cantidad del amonio dosificado. Puesto que se utilizan hasta 1.6 kg de silicofluoruro de amonio para producir 1.0 mg/1 de fluoruro en 1,000 metros cúbicos de agua, se proporcionará 0.28 kg de amonio. Entonces, sería necesario dosificar cuando menos 1.15 kg de cloro por 1,000 metros cúbicos de agua, con el fin de formar cloraminas con esa cantidad de amonio. Entonces, cualquier cantidad de cloro que sobrepase a 1.15 kg por 1,000 metros cúbicos, producirá un residuo de cloro libre.

El silicofluoruro de amonio se usa también para tratamiento de resistencia a las polillas en textiles, en el colado en moldes de arena del magnesio y como ácido en la lavandería. Como se indica en el cuadro 6.2, el silicofluoruro de amonio es utilizado por aproximadamente 390,000 personas que habitan en tres comunidades.

Este material puede adquirirse en tambores de 45 y 180 kg y, por supuesto, en paquetes de 0.45 kg si así se desea. También puede obtenerse en lotes de furgones o camiones. Esta sal es elaborada por Daniel H. Jones Laboratories, Camden, Nueva Jersey, y Davison Chemical Company, Baltimore, Maryland.

## SILICOFLUORURO DE MAGNESIO

Cuando se neutraliza el ácido fluosilícico, ya sea con carbonato o con hidróxido de magnesio, la sal resultante es el silicofluoruro de magnesio. En la actualidad, este compuesto se usa sólo para la demostración de instala-

ciones caseras para fluorurar, aunque podría fácilmente utilizarse en los abastecimientos municipales de agua potable. Como indica el cuadro 6.3, es más soluble (con excepción hecha del fluoruro de potasio) que cualquier otro compuesto de fluoruro, que se utilice con este fin. Su costo queda dentro de la misma clasificación que el fluoruro de sodio y en donde se usan dosificadores en polvo, podría emplearse quizá en lugar del fluoruro de sodio con un ahorro consecuente en el costo de los productos químicos. Puede adquirirse en cajas de 25 kg en la American Agricultural Chemical Company, Nueva York, Nueva York y la Harshaw Chemical Company, Cleveland, Ohio.

## CRIOLITA

De los tres minerales más comunes que contienen el mayor porcentaje de fluoruro (el espatofluor, la apatita y la criolita), sólo esta última no tiene importancia en la fluoruración del agua. La criolita,  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , tiene el contenido de flúor más elevado que cualquier otro mineral comercial conocido, 54 por ciento por peso. Sus minas sólo se trabajan en Ivigtut, Groenlandia; pero se ha informado de depósitos en Pikes Peak, E.U.A., y en los Montes Urales en Rusia. Debido a su costo, no se utiliza como materia prima en la industria química del flúor. Se emplea principalmente en la reducción de aluminio, aunque gran parte de la criolita que se utiliza con este fin, es sintética, y se fabrica a partir del espatofluor.

## SELECCIÓN DEL MEJOR COMPUESTO DE FLÚOR

El examen anterior de las características físicas y químicas de varios compuestos de flúor, se incluye para auxiliar a los futuros usuarios en la selección del mejor material para una instalación determinada. El costo, la facilidad de adquisición y la calidad, variarán de un lugar a otro, de manera que la selección final debe basarse en un estudio más o menos detallado de las ventajas y desventajas de cada compuesto de que se disponga en cada localidad. Las diferentes características que generalmente se toman en cuenta, son las que veremos en las siguientes secciones.

### *Costos de los compuestos químicos*

Basándose en el costo del ion fluoruro disponible, el espatofluor es la fuente más barata. Se cree que siempre que se usan coagulantes para el tratamiento de agua, pueden encontrarse medios para utilizar este material

para la fluoruración. Cuando no se puede utilizar el espato flúor, debe pensarse después en el silicofluoruro de sodio. A continuación, por orden de costo, debe tomarse en cuenta el silicofluoruro de amonio, el de magnesio, el fluoruro de sodio y el ácido fluosilícico.

### *Solubilidad*

Si se requiere un litro de ácido fluosilícico para fluorurar una cierta cantidad de agua, entonces se requerirán 17 litros de una solución saturada de fluoruro de sodio ó 65 litros de una de silicofluoruro de sodio, para la misma cantidad de agua. Esta ventaja inherente del ácido fluosilícico se refleja en el costo inferior de los dosificadores y tanques de solución, que pueden utilizarse con este ácido. No obstante, la ventaja de la gran solubilidad del ácido se pierde en las instalaciones grandes, en las que otros compuestos menos costosos pueden alimentarse directamente con dosificadores de material seco.

### *Espacio para almacenamiento de los compuestos químicos*

Para la misma cantidad de ion fluoruro, el silicofluoruro de sodio requiere un espacio más reducido de almacenamiento, y el ácido fluosilícico uno mayor. Sin embargo, el ácido se almacena en tanques que pueden colocarse en el exterior o en un subterráneo. Prácticamente hablando, los requisitos de almacenamiento que se deben tener en cuenta como factor para la selección de un compuesto dado, dependen principalmente de una comparación entre los costos para asegurar un espacio de almacenamiento adicional y el precio de los compuestos.

### *Limitaciones de espacio de los dosificadores*

En algunas comunidades se ha escogido el ácido fluosilícico, cuando el espacio disponible en las plantas pequeñas de tratamiento es limitado. Puesto que el ácido puede almacenarse en tanques, a cierta distancia del dosificador y no se requiere un equipo para la formación de la solución, el uso del ácido es ventajoso cuando sólo se cuenta con espacio para el dosificador de solución.

### *Corrosividad*

Aunque difiere la corrosividad relativa de los compuestos de flúor, los fabricantes de equipos proporcionan más o menos el mismo material



resistente a la corrosión en dosificadores de solución, tanques y accesorios, sin tener en cuenta el compuesto que va a usarse. Prácticamente la única excepción es la acción del ácido fluosilícico en los recipientes de cerámica o los tanques recubiertos de vidrio (como resultado de la vaporización y la formación de pequeñas cantidades de ácido fluorhídrico en la superficie del líquido). No obstante, el ácido fluosilícico rara vez se usará en estos recipientes, debido a que puede tomarse directamente de los tambores recubiertos de hule que se usan para su envío.

#### *Incrustaciones en el equipo dosificador*

Ocasionalmente se forman incrustaciones o escamas en los tanques, dosificadores y tuberías de solución. Casi siempre se trata de fluoruro o silicofluoruro de calcio y magnesio que se derivan de soluciones fuertes de fluoruro y los constituyentes de dureza del agua. Cuando se usa ácido fluosilícico no se forman incrustaciones, debido a que ordinariamente no se diluye con agua. Las incrustaciones que se forman cuando se usa silicofluoruro de sodio (silicofluoruro de calcio o de magnesio), son ligeramente más solubles que el fluoruro de calcio y el de magnesio. El problema puede minimizarse suavizando el agua de solución o aplicando cantidades pequeñas de hexametáfosfatos.

Ordinariamente no se justifica el uso de suavizadores para reducir la pérdida de fluoruros producida por la precipitación de esta sal. Los ahorros que se obtienen con relación al costo de la suavización, son de menos de 2.00 dólares por año en una ciudad de 10,000 habitantes, que utiliza agua con una dureza de 200 mg por litro.

El trabajo adicional involucrado en la supresión de los fluoruros precipitados en los tanques de solución o saturadores, es muy pequeño, ya que el fluoruro de sodio contiene material insoluble que también debe quitarse periódicamente.

#### *Manejo de productos químicos a granel*

En las plantas de tratamiento que utilizan el ácido fluosilícico, se requiere un trabajo manual relativamente pequeño, ya que este material puede bombearse con suma facilidad. En las plantas mayores, en donde pueden usarse envíos a granel por furgón, los materiales cristalino o en polvo pueden manejarse fácil y económicamente, con portadores mecánicos o neumáticos. Se requiere un esfuerzo considerable en las plantas de tamaño mediano, que reciben los compuestos químicos en barriles o bolsas. Estos deben moverse de un lado a otro en la planta y vaciarse en las tolvas de los dosificadores o en los tanques de solución, casi siempre a mano. En general, el ácido

fluosilícico requiere el menor manejo en una planta de cualquier tamaño, en tanto que el esfuerzo requerido para el manejo del material en polvo, depende del tamaño de la planta.

*Peligros para los operadores*

El polvo que se desprende al manejar fluoruros en polvo puede controlarse mediante un manejo cuidadoso y el uso de dispositivos de protección. Prácticamente no hay ningún peligro en el empleo del ácido, ya que casi siempre se alimenta directamente del recipiente de envío. En algunas de las plantas más pequeñas, en donde el ácido debe diluirse antes de ser dosificado, se requiere un cuidado considerablemente mayor en su manejo. Sin embargo, no se obtiene ninguna ventaja especial mediante ese procedimiento, ya que se requiere más o menos el mismo esfuerzo para diluir el ácido, que para elaborar las soluciones de los materiales secos menos costosos.



## *Tipos y capacidades de los dosificadores*

Una instalación para fluorurar debe considerarse como un proceso completo y, como tal, sus diversos componentes no pueden seleccionarse sin tener en cuenta sus efectos sobre las otras partes. Por ejemplo, cada una de las características de los compuestos de flúor descritas en el capítulo 6, tendrán, hasta cierto punto, una influencia directa en la selección del mejor dosificador que deba usarse, su ubicación, el punto de aplicación del fluoruro y el tipo de equipo auxiliar.

La mejor instalación es aquella que incorpora la combinación más apropiada de estos factores:

1. Un equipo dosificador sencillo y exacto
2. Un mínimo manejo de los compuestos químicos
3. En consistencia con los dos factores anteriores, el costo general más bajo en la amortización del equipo y el costo de los compuestos químicos.
4. Facilidad para la recabación de registros correctos
5. Un mantenimiento mínimo del dosificador, las tuberías y el equipo inyector.

Los dispositivos para la alimentación exacta de los fluoruros, se han adaptado casi siempre de las máquinas que originalmente habían sido diseñadas para dosificar una variedad de compuestos químicos, sólidos o líquidos, en las plantas industriales y de tratamiento de aguas.

Los fluoruros se alimentan al abastecimiento de agua, ya sea en la forma de líquidos o de sólidos. Los dosificadores químicos pueden, por tanto, dividirse en lo general en dos tipos: 1) los de solución, que en realidad son bombas pequeñas que se utilizan para alimentar una cantidad cuidadosamente medida de una solución de fluoruro (o de ácido fluosilícico), preparada con exactitud, durante un tiempo específico y 2) los dosificadores de materiales secos, que alimentan una cantidad predeterminada

de un material sólido, durante un intervalo dado de tiempo. Estos últimos se subdividen por tipos, dependiendo del método que se usa para controlar la razón de alimentación. Los dosificadores volumétricos de material seco alimentan un volumen medido de compuesto químico seco, dentro de un intervalo determinado de tiempo; los gravimétricos (pérdida de peso) alimentan un peso medido de un compuesto químico, dentro de un período determinado.

La selección del dosificador depende del compuesto de fluoruro que va a utilizarse y de la cantidad que debe dosificar. La razón de alimentación dependerá del contenido de fluoruro que se desea obtener en el agua tratada, la cantidad que va a tratarse pasando por un punto dado y el contenido de fluoruro en el agua no tratada. En general, los dosificadores de solución se utilizan para los abastecimientos pequeños y los de material seco, para los mayores. Por supuesto, existe un gran campo dentro del cual cualquier tipo puede proporcionar resultados igualmente buenos. Las capacidades de los diferentes dosificadores para introducir 1.0 mg/l de fluoruro en el agua, a diferentes razones de flujo, aparecen ilustrados en el cuadro 7.1.

CUADRO 7.1 ALCANCE NORMAL DE LOS DOSIFICADORES DE FLUORUROS

Tipo de dosificador	Compuesto químico usado	Alcance de la razón de alimentación		Lpm tratados con 1.0 mg/l F <sup>-</sup>	
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Gravimétrico de material seco	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> NaF	0.22 kg por h	2,268 kg por h	2,271.00	22,710,000
		0.22 kg por h	2,268 kg por h	1,665.40	16,654,000
Volumétrico de material seco	Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> NaF	28.35 g por h	2,268 kg por h	283.87	22,710,000
		28.35 g por h	2,268 kg por h	208.17	16,654,000
Bomba de pistón o centrífuga	Solución al 22% de Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	0.375 ml por min	Sin límite	68.13	Sin límite
	Solución al 4% de NaF	0.375 ml por min	Sin límite	7.57	Sin límite
Bomba de diafragma	Solución al 22% de H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	2.0 ml por min	3.79 lpm	416.35	794,850
	Solución al 10% de (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	2.0 ml por min	3.79 lpm	128.69	246,025
	Solución al 4% de NaF	2.0 ml por min	3.79 lpm	35.95	68,130

## DOSIFICADORES DE SOLUCION

Las soluciones de fluoruros pueden añadirse en los abastecimientos de agua, de las siguientes formas:

1. En un tanque saturador pueden producirse soluciones saturadas de fluoruro de sodio de concentración constante, de prácticamente el 4 por

ciento y casi a cualquier temperatura de agua que puede encontrarse en la planta de tratamiento común. En la fig. 7.1 se muestra un diagrama de este dispositivo. El tanque está hecho de acero inoxidable o fibra de vidrio y equipado con un cono interno, que va conectado a un tubo a través del cual pasa la línea de succión del dosificador. El cono está cubierto con un lecho de arena y grava graduada, sobre el que descansa el fluoruro de sodio cristalino. Se agregan aproximadamente 90 kg de fluoruro de sodio al tanque, junto con el agua. Una válvula de flotador mantiene, automáticamente, un nivel de agua constante sobre el lecho de fluoruro de sodio. El agua escurre lentamente y desciende a través del fluoruro de sodio, en el que se satura antes de llegar a la arena y la grava. Después se saca del saturador con un dosificador de solución. La razón de salida es tal, que pueden tratarse 11 metros cúbicos por minuto de agua, a 1.0 mg/l de fluoruro. En el dibujo (fig. 7.1) aparecen también dos tanques que, como se explica en el capítulo 8, se usan a veces para suavizar el agua.

Cierta cantidad pequeña de material insoluble se recogerá siempre en la parte superior del lecho, por lo que deben tomarse medidas para quitarla periódicamente, por lo general se hace una vez por año. Esto puede lograrse fácilmente, introduciendo agua bajo presión por el tubo que contiene la manguera de succión del dosificador. Las partículas insolubles que descansan sobre el lecho casi siempre se elevarán con el agua introducida a través de la grava, y saldrán por el tubo de sobreflujo que está cerca del borde del tanque.

2. Las soluciones no saturadas de silicofluoruro de sodio, fluoruro de sodio y silicofluoruro de magnesio o de amonio, se preparan pesando cantidades de los compuestos, midiendo volúmenes de agua y mezclándolos perfectamente. Por lo tanto, existen tres posibilidades de error: *a*) en el pesado del compuesto, *b*) en la medición de la cantidad de agua y *c*) en una mezcla insuficiente. Cualquiera de estos errores hará que una solución tenga una concentración diferente a la deseada, así como variaciones consecuentes en el contenido de fluoruro en el agua tratada.

3. Las soluciones de ácido fluosilícico se utilizan tal y como se reciben (22 a 30%) o, en caso de ser necesario, se diluyen con agua para obtener una concentración determinada. Nuevamente, como sucede en el método dos anteriormente citado, los intentos de diluir el ácido están sujetos a errores en la medición, tanto del ácido como del agua de dilución. Es mucho mejor utilizar el ácido no diluido, tal y como se obtiene en los recipientes de envío. Si el ácido está demasiado concentrado para que el dosificador de solución pueda manejarlo, generalmente se aconseja el uso de soluciones más débiles o compuestos menos costosos; por ejemplo, una solución saturada de fluoruro de sodio. Si el ácido requiere ser diluido, debe tenerse cuidado de evitar la formación de un precipitado de sílice, que se producirá a pesar de la calidad (dureza) del agua utilizada para diluir.

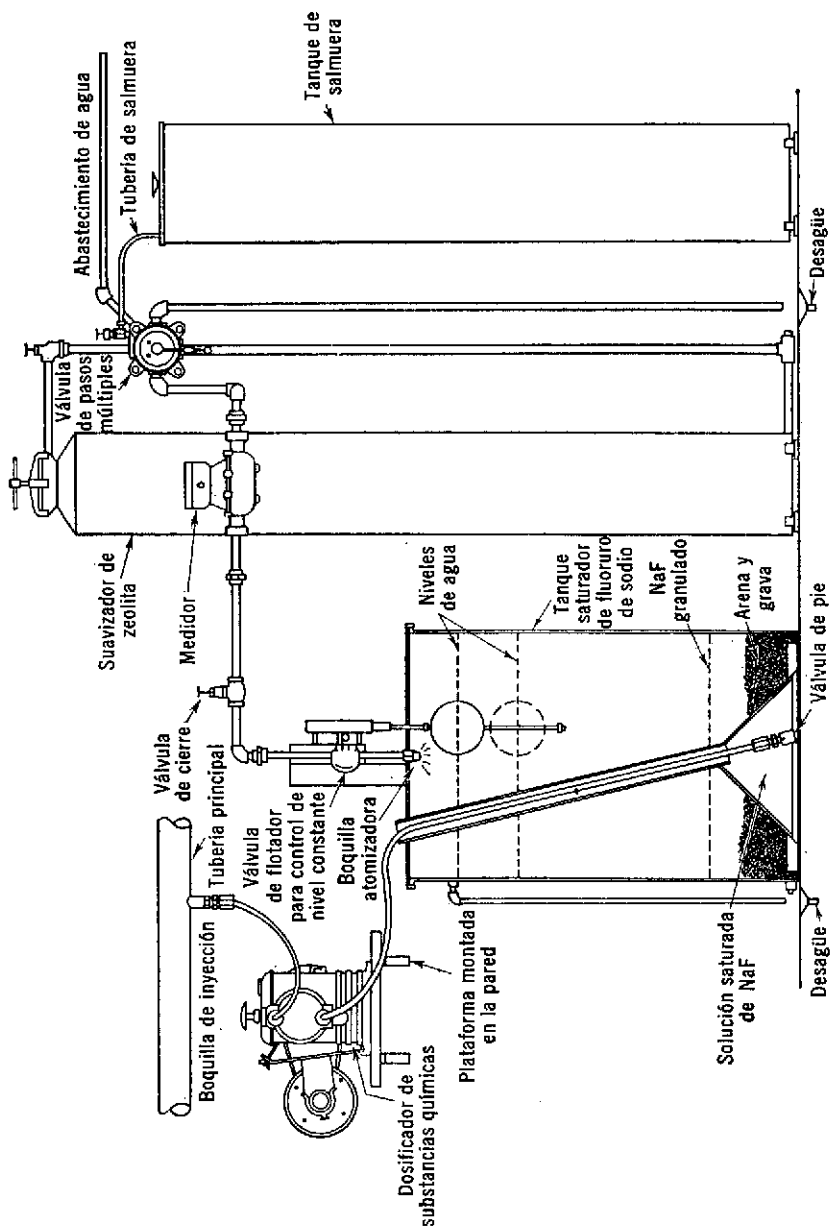


Fig. 7.1 Saturador de fluoruro de sodio. (B-I-F Industries, Inc.)

Esto puede evitarse invariablemente, especificando que el ácido debe fortificarse con ácido fluorhídrico a un grado que disuelva todo el sílice no combinado.

4. Aplicaciones misceláneas: los dosificadores de solución que tienen válvulas especiales de succión y de descarga, pueden utilizarse para dosificar lechadas de los compuestos de flúor. Estas son mezclas de compuestos de flúor (o cualquiera otro compuesto soluble o insoluble en un solvente como el agua) en concentraciones superiores a la de saturación. En otras palabras, la lechada contiene partículas insolubles del compuesto, debido a que el agua no puede disolver más que una determinada cantidad máxima, a una temperatura dada y durante un intervalo de tiempo. Por lo general, es más seguro y económico evitar la dosificación de lechadas para la fluoruración, debido a que las partículas no disueltas pueden llegar hasta los consumidores (si el punto de aplicación del fluoruro está muy cerca del primer cliente) y también porque si no se produce una mezcla después del punto de aplicación, algunas de las partículas no disueltas pueden asentarse en el agua y quedar sin disolver.

En dos sistemas adicionales de fluoruración que se han utilizado, las soluciones de fluoruro se han alimentado indirectamente con dosificadores de solución. Uno de ellos (que se describe en el capítulo 6) involucra el uso de ácido fluorhídrico, en Madison, Wisconsin. Debido a la extrema corrosividad de este ácido, el dosificador alimentaba un aceite mineral al tanque que contenía el ácido fluorhídrico. El aceite desplazaba un volumen igual de ácido, de tal manera que éste no entrara en contacto con el dosificador.

En el capítulo 6 también se describen dos sistemas para disolver y dosificar soluciones de espato flúor. Cada uno de éstos requiere, por medio de dosificadores de solución, la alimentación exacta de soluciones de alumbre en un tanque que contiene un lecho de espato flúor. La cantidad de la solución del alumbre alimentada por estos dosificadores, no sólo controlaba la cantidad de fluoruros disueltos del espato flúor, sino que también se usaban para suspender el yeso producido y separarlo del espato flúor en polvo.

Los dosificadores de solución son dispositivos que sirven para medir y alimentar un volumen específico de líquido, durante un intervalo de tiempo dado. La función de medición se realiza llenando automáticamente con el líquido, un espacio en la cabeza del dosificador para descargarlo en el siguiente ciclo. Ese espacio puede estar en un cilindro de bomba, colocarse detrás de un diafragma, ser una serie de cubos sujetos a una prueba rotatoria o ser una diferencia de nivel dentro de un tanque. La característica más importante de estos dispositivos es la cantidad invariable de solución descargada durante cada intervalo de tiempo. Muchos de los llamados dosificadores (como por ejemplo el flujo de un grifo restringido o a través



de una placa de orificio sujeta a un recipiente de líquidos, en donde la carga en el orificio varía) son totalmente inapropiados para la dosificación de fluoruros, debido a las grandes variaciones en el flujo.

Básicamente, existen cinco tipos diferentes de dosificadores de solución con que puede contarse y que han dado buenos resultados: de diafragma, de pistón, de cucharones rotatorios, de brazo de decantación y de tanque de carga. Los principios de operación de todos ellos aparecen ilustrados en las figs. 7.2 y 7.6.

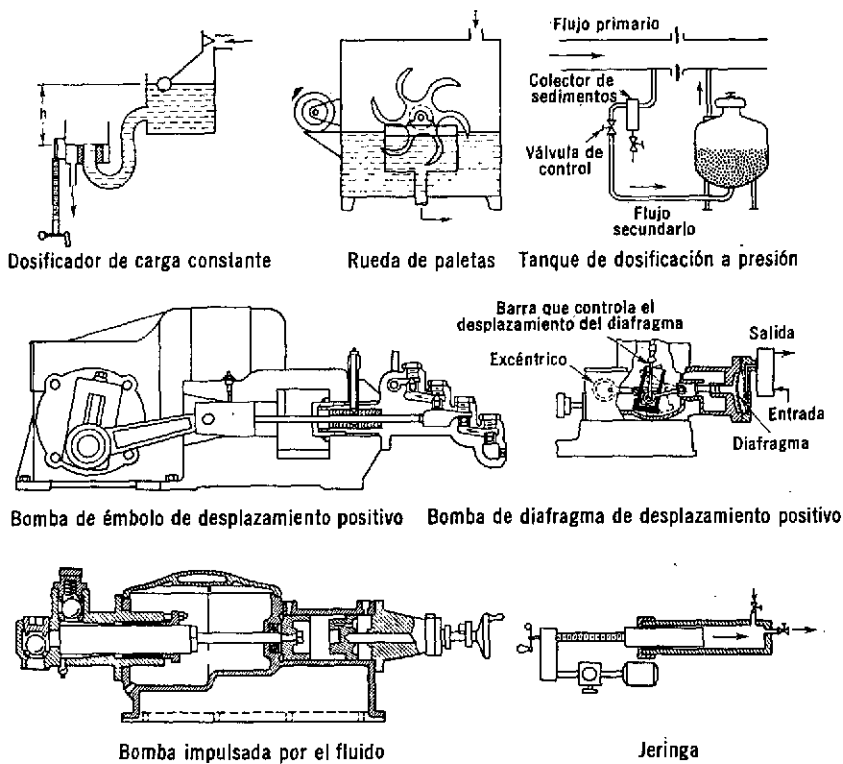


Fig. 7.2 Tipos de dosificadores de solución para fluoruro

Los dosificadores de solución que más comúnmente se usan en la industria del agua potable son los de tipo de diafragma. El diafragma, hecho de hule flexible, plástico o metales delgados, se activa (como se indica en la fig. 7.3) ya sea por un émbolo de movimiento alternativo, que va sujeto directamente al diafragma o indirectamente por medio de la variación periódica de la presión en un volumen confinado de fluido hidráulico. El movimiento alternativo del pistón se logra, ya sea con una leva de rotación lenta, una manivela o una placa osciladora.

La variación en la capacidad o la razón de alimentación de una solución, se obtiene haciendo variar la velocidad de la operación (dependiendo de la velocidad del motor, tamaño relativo de las poleas impulsada e impulsadora, la disposición de los reductores de engranaje, etc.) y haciendo variar la longitud de la carrera. Los diseños para la variación de la longitud de la carrera difieren ampliamente y, en muchos casos, son características específicas de un dosificador determinado.

Los dosificadores de diafragma son idealmente apropiados para un servicio de presión media—hasta aproximadamente  $8.75 \text{ kg/cm}^2$  (kilogramos por centímetro cuadrado). Sin embargo, no deben utilizarse contra presiones

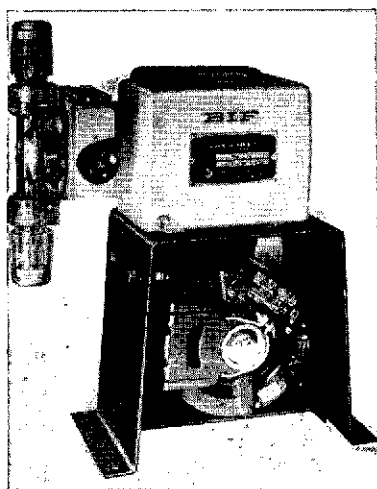


FIG. 7.3. Dosificador de solución de tipo diafragma. (B-I-F Industries, Inc.)

inferiores de alrededor de  $0.35 \text{ kg/cm}^2$  y, sobre, todo, nunca deben usarse contra un vacío como el que se obtiene en el lado de succión de una bomba. Una presión positiva constante en la descarga es una garantía de su exactitud continua. Algunos dosificadores están equipados con válvulas de descarga con carga de resorte o de hule, que aseguran el mantenimiento de esas presiones positivas. Las cargas de succión negativa no deben exceder, en general, de aproximadamente  $1.2 \text{ m}$  y deben mantenerse constantes.

Los dosificadores de tipo diafragma y de tipo pistón pueden impulsarse casi con cualquier fuente de energía que pueda impartir un movimiento de vaivén al pistón. Incluyen motores eléctricos de varias velocidades estándar, propulsión por bandas desde ejes para impulsar las bombas de agua y otras maquinarias rotatorias de una planta de tratamiento de agua, motores de gasolina, pistones hidráulicos y neumáticos que obtienen su energía, ya sea de una bomba de agua auxiliar, de un compresor de aire o de la presión de la línea que lleva el agua que va a tratarse; o por un

solenoides activados periódicamente por medio de un dispositivo de tiempo o un contacto automático por un medidor de agua o cualquier otro mecanismo de medición. La característica principal de esos impulsores es que desarrollan una velocidad constante para producir una descarga uniforme de solución, a una velocidad proporcional a la cantidad de agua que va a tratarse, o la velocidad requerida por un transductor de fluoruro (véase el capítulo 8).

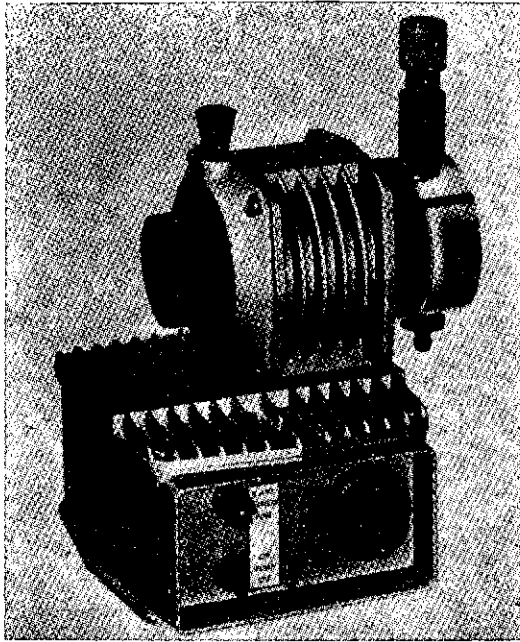


FIG. 7.4 Control electrónico de la frecuencia de pulsación en el dosificador líquido de diafragma. (*Precision Chemical Pump Corp.*)

La bomba de pistón o émbolo (fig. 7.5) es similar a la de tipo diafragma, excepto en que el pistón desplaza directamente la cantidad de solución que va a alimentarse. Reduciendo el diámetro del pistón o la longitud de la carrera, pueden dosificarse con exactitud cantidades muy pequeñas de solución. La longitud de la carrera se controla casi siempre mediante el ajuste del brazo del cigüeñal, o limitando la longitud de contacto con una leva rotatoria. Generalmente, estos ajustes pueden hacerse mientras el dosificador está funcionando. Como se indica en el cuadro 7.1, algunos dosificadores de émbolo pueden descargar con exactitud, cantidades tan pequeñas como 0.375 ml por min. Este tipo de dosificador se impulsa por los mismos medios que se señalaron para los de diafragma.

Una desventaja del tipo de pistón, es la presencia de una caja de estopa que debe diseñarse para resistir la presión de la solución que se está descargando, para que no se registren fugas alrededor del pistón. En un dosificador de diafragma no hay un empaquetamiento del compuesto químico ni la posibilidad de escapes a través de un prensaestopas. Por otro lado, la presión de operación permisible para los tipos de pistón, es considerablemente más elevada que la de los dosificadores de diafragma, mucho más allá del

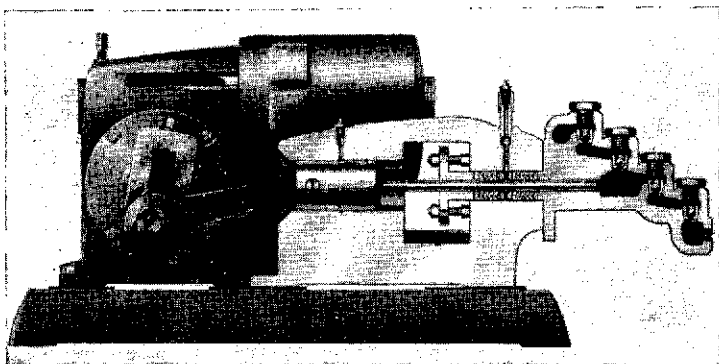


FIG. 7.5 Dosificador de solución de tipo pistón. (Milton Roy)

alcance de cualquier presión que se encuentra en la práctica en las plantas de tratamiento de agua potable. Algunos de estos dosificadores están diseñados para soportar presiones hasta de 700 kg por  $\text{cm}^2$ .

En ambos tipos de dosificadores se registrará un flujo pulsador, debido a la naturaleza alternante del mecanismo de operación. Ordinariamente, esto no representa un problema si las variaciones en los niveles de fluoruro no pueden detectarse en el sistema de distribución. Sin embargo, si el consumidor más cercano utiliza agua que presenta un nivel de fluoruro variable por más de 0.1 mg por litro, durante un ciclo de carrera del dosificador, entonces deben proporcionarse medios para suprimir esta variación. Esto puede hacerse de tres maneras: 1) puede insertarse un depósito de mezcla o un tanque de retención, en la línea después del punto de aplicación de la solución de fluoruros. Si dicho tanque es lo suficientemente grande, la solución de fluoruro debe mezclarse completamente con el agua. 2) La frecuencia de la carrera del dosificador puede incrementarse con un debilitamiento proporcional (dilución) de la solución de fluoruro. Esto requerirá también una reducción proporcional en la cantidad de solución descargada en cada carrera. 3) Pueden utilizarse dos dosificadores para que la carrera de descarga de uno, se registre durante la de succión del otro. Este plan requiere también una dilución de la solución de fluoruro.

La capacidad de descarga de un dosificador de pistón o de diafragma en particular, casi siempre está limitada entre una fracción de su descarga máxima hasta la descarga máxima a una velocidad máxima de rotación dada, estando el mínimo casi siempre entre un sexto y un sesentavo del máximo. En otras palabras, si al alcance máximo es del orden de 10 a 1 (1/10) y la descarga máxima es 100 ml por min, entonces la velocidad mínima no debe ser menor que aproximadamente 10 ml por min. Aunque la mayoría de los fabricantes de los dosificadores proporcionan medios para reducir la razón mínima de descarga por debajo de la recomendada, la exactitud disminuye notablemente en el alcance más bajo. Esta disminución en exactitud es producida por las válvulas de chequeo que, o no se abren o gotean a las velocidades más bajas. Por otro lado, las velocidades (de rotación) de operación extremadamente elevadas, tienen también un efecto marcado en la exactitud, debido a que se da un tiempo insuficiente al cilindro en el dosificador de tipo pistón o al espacio formado por el diafragma, para que se llenen completamente en la carrera de succión. En todas las instalaciones, ya sea que se use un tanque saturado (figura 7.1) o uno de solución, es imperativo que la manguera de succión que va al dosificador tenga una elevación constante y que no presente hundimientos intermedios, con el fin de que se supriman todas las burbujas de aire que producen una pérdida en la exactitud.

Para velocidades muy pequeñas de descarga, existe un dosificador modificado de tipo émbolo. El émbolo se saca y la solución fluye dentro de la cámara. Un movimiento espiral impulsa lentamente el pistón hacia adelante, descargando la solución en una forma similar a la acción de una jeringa hipodérmica. Pueden manejarse dos de estos dosificadores en tándem, uno se llenará mientras el otro descarga. Los dosificadores de solución tienen un precio que empieza en 350 dólares, dependiendo de su capacidad de descarga, presiones de operación, tipos de motor, tipos de material utilizados en su fabricación, etc. Pueden obtenerse en:

- American Instrument Co., Silver Spring, Maryland, E.U.A.
- B-I-F Industries, Providence, Rhode Island, E.U.A.
- Candy Filter Co., Ltd., Londres, Inglaterra
- Fisher & Porter Co., Hatboro, Pensilvania, E.U.A.
- Golobe, Inc., Sao Paulo, Brasil
- Hills McCanna Co., Chicago Illinois, E.U.A.
- Jaeco Pump Co., Costa Mesa, California, E.U.A.
- Lapp Insulator Co., Le Roy, Nueva York, E.U.A.
- Madden Corp, Chicago, Illinois, E.U.A.
- Manzel Div., Houdaille Industries, Buffalo, Nueva York, E.U.A.
- Mec-o-matic Inc., Miami, Florida, E.U.A.
- Milton-Roy Co., Filadelfia, Pensilvania, E.U.A.

Neptune Chemical Pump Co., Lansdale, Pensilvania, E.U.A.  
Precision Chemical Pump Co., Waltham, Massachusetts, E.U.A.  
Wallace & Tiernan Inc., Belleville, Nueva Jersey, E.U.A.

El dosificador de olla (que se ilustra en la fig. 7.2), no se utiliza en los Estados Unidos para la fluoruración, debido a su inexactitud, que es producida por la obstrucción de los orificios, las variaciones en la solubilidad del compuesto químico que va a dosificarse y el encanalamiento del agua a través del lecho del compuesto. Debido a su simplicidad, el tanque de carga se está utilizando para estos fines, en algunos otros países (Japón y Brasil), en donde puede contarse casi siempre con una atención constante.

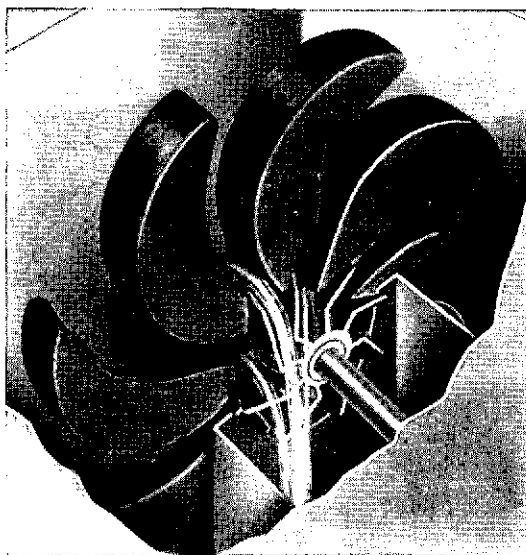


Fig. 7.6 Dosificador de solución de cucharones giratorios. (B-I-F Industries, Inc.)

La rueda de paletas (cucharones giratorios) (que también se ilustra en la fig. 7.6) tiene un uso muy generalizado para la dosificación exacta de soluciones. Un dispositivo de carga constante mantiene el nivel de la solución en un tanque, en el que una serie de cucharones sujetos a una rueda parcialmente sumergida, levantan y descargan un volumen constante de solución. Las variaciones en la razón de alimentación se obtienen 1) cambiando el tamaño de los cucharones o tazas, 2) quitando o agregando cucharones a la rueda giratoria, 3) cambiando la velocidad de rotación o 4) variando la proporción del contenido que se descarga de los cucharones llenos, haciendo que el resto regrese al tanque. (Puede ajustarse un dispositivo de corte en forma tal, que una porción o la totalidad de cada cucharón lleno se descargue del dosificador, después de que cada uno de ellos quede

vacío.) Este tipo de dosificador es apropiado para las instalaciones en las que la solución puede alimentarse a otro tanque o recipiente, o a un canal que está a un nivel más bajo que el dosificador. No se ha diseñado para dosificar contra ninguna presión. Estos aparatos son fabricados por:

Denver Equipment Company, Denver, Colorado, E.U.A.

Infilco, Inc., Tucson, Arizona, E.U.A.

B-I-F Industries, Providence, Rhode Island, E.U.A.

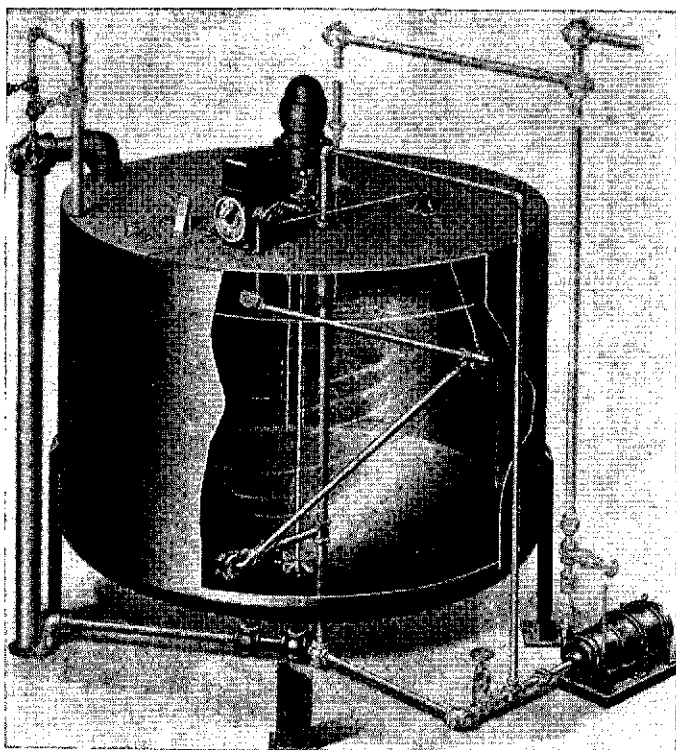


Fig. 7.7 Dosificador de solución de tipo decantación. (*Permutit*).

El alcance de dosificación de las diferentes marcas son: Denver Equipment Company, hasta 455 lts por h; Infilco, Inc., hasta 1,895 lts por h; B-I-F Industries, hasta 6,815 lts por h (proporción de 100 a 1).

En otro tipo de dosificadores de solución, la operación se basa en un principio de decantación en el que una capa delgada superior de la solución de un tanque, se quita constantemente (fig. 7.6). Esto se hace bajando gradualmente un tubo manguera de extremo abierto dentro de la solución que va a dosificarse. El otro extremo de la manguera o tubo giratorio se conecta a un accesorio que está en el lado inferior del tanque, que permite

que la solución salga de la manguera hasta el punto de aplicación que está fuera del tanque. El extremo abierto de la manguera o tubo giratorio se baja por medio de un mecanismo de reloj (ya sea eléctrico o de resorte). Se obtienen variaciones de descarga de hasta 100 a 1, cambiando la velocidad de salida del engranaje o el reductor de velocidad de matraca del reloj. Los tanques pueden tener diversos tamaños; pero el más común

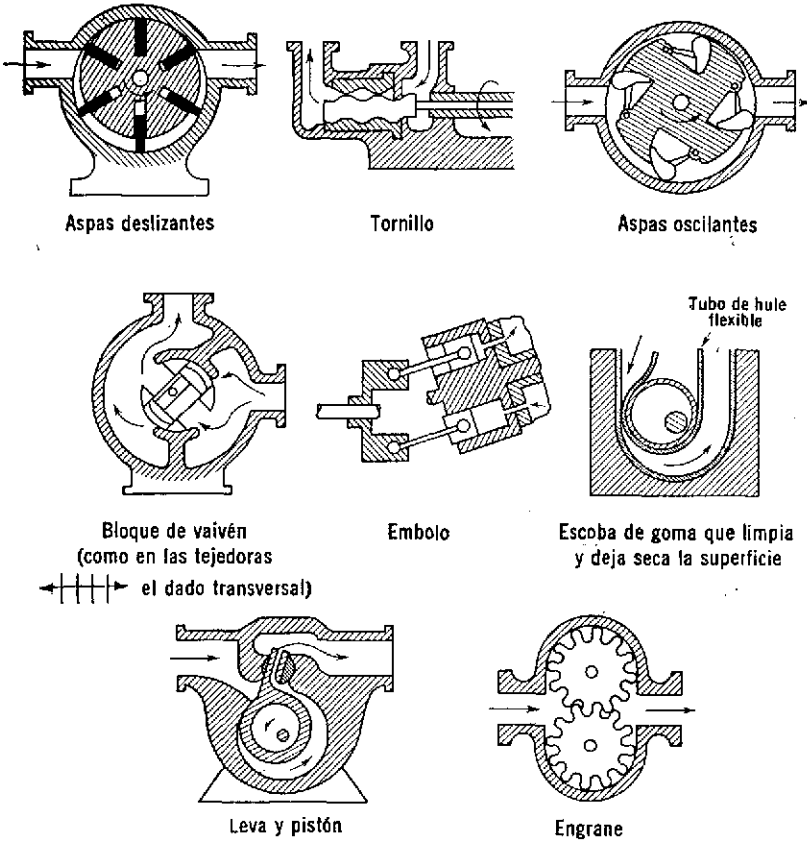


FIG. 7.8 Dosificadores del tipo de desplazamiento rotatorio. (USPHS).

contiene aproximadamente la cantidad de solución para un día. Las razones de descarga de los dosificadores estándar, varían de 2.5 ml por min hasta más de 2 litros por min, con una exactitud del 3 por ciento. Un modelo completo con un tanque de 68 litros, cuesta 500 dólares.

Como en el caso de los dosificadores de cucharones giratorios, el tipo de decantación no puede utilizarse para dosificar contra ninguna presión superior a la atmosférica. Sin embargo, puede hacerse que descargue dentro



de la caja de una bomba de succión, desde donde la solución puede bombearse a lugares con presiones más elevadas. En la fig. 9.1 se ilustra un montaje de este tipo.

Los dosificadores de decantación son fabricados por la Graver Water Conditioning Company, Nueva York, Nueva York, E.U.A., la Permutit Company, Inc., Nueva York, Nueva York, E.U.A., y la Roberts Filter Manufacturing Company, Darby, Pensilvania, E.U.A.

Los dibujos de la fig. 7.8 representan un grupo de dosificadores de solución, de tipo volumétrico rotatorio de desplazamiento positivo, que se usan principalmente en casos en que se requieran grandes capacidades. En realidad, el alcance de algunos es tan grande, que en la actualidad raramente se usan en la práctica de la fluoruración. En los casos en que pudieran usarse las capacidades de estos dosificadores, sería normalmente más económico utilizar un compuesto insoluble más barato y aplicarlo con uno de material seco. Además, estos aparatos son generalmente más complicados y difíciles de fabricar, con lo que, en consecuencia, son más costosos. Todos pueden ajustarse de acuerdo con el control de la razón de descarga, lo cual se hace cambiando la velocidad de rotación, ya sea por medio de la variación de la velocidad del motor o mediante reductores de velocidad, de engranaje o de banda.

La variación en el costo de los dosificadores de solución, que oscila entre 150 dólares y varios miles de dólares, se debe al tamaño (razón de descarga), capacidad de presión, facilidad y alcance de ajuste, accesorios (por ejemplo, un tanque saturador de acero inoxidable o de fibra de vidrio, para el fluoruro de sodio, cuesta aproximadamente 500 dólares) y el refinamiento en su fabricación. En general, los dosificadores de diafragma del tipo que ordinariamente se usan en las plantas de agua potable, cuestan entre 350 y 450 dólares, incluyendo el motor impulsor y la tubería de plástico para la solución. Teniendo las cabezas de reactivo de plástico y los diafragmas de hule que generalmente vienen con el aparato, no deben tenerse problemas en relación con la corrosividad de las soluciones de fluoruro, incluyendo el ácido fluorosilícico.

## DOSIFICADORES DE MATERIAL SECO

Estos aparatos son aquellos dispositivos que descargan una cantidad medida de un compuesto químico seco, durante un intervalo dado de tiempo. Existen dos tipos básicos: los volumétricos, que descargan un volumen específico (centímetros cúbicos, metros cúbicos, litros, hectolitros y otras designaciones volumétricas similares) de material químico, durante un tiempo designado; y los dosificadores gravimétricos, que descargan un cierto peso (kilogramos, gramos, etc.) durante un intervalo de tiempo señalado.

Generalmente, los dosificadores volumétricos pueden descargar cantidades más pequeñas que los gravimétricos; pero las diferencias primordiales en funcionamiento son: 1) los volumétricos tienen una exactitud del 3 al 5 por ciento, por peso, en comparación al 1 por ciento de los gravimétricos; 2) los volumétricos son más sencillos y su construcción es menos costosa; 3) los gravimétricos generalmente se adaptan con mayor facilidad para registrar las cantidades de compuestos dosificados y para un control automá-

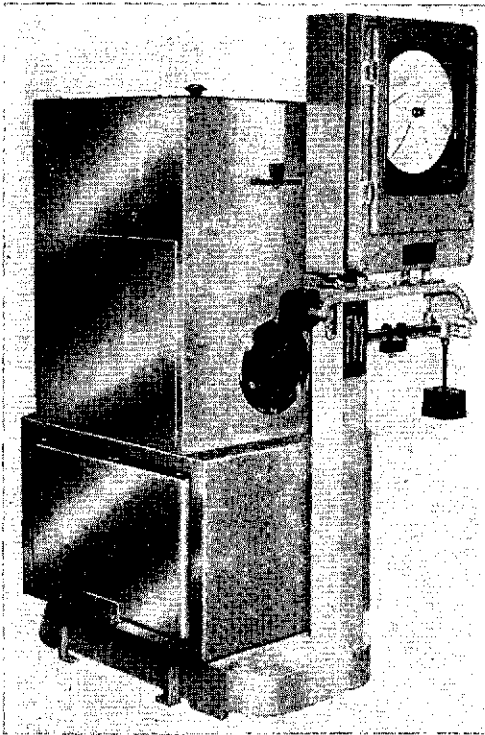


Fig. 7.9 Dosificador volumétrico convertido para realizar operaciones gravimétricas. (Wallace & Tiernan).

tico. Los dosificadores gravimétricos se usan casi invariablemente en las plantas más grandes.

Muchos tipos de dosificadores volumétricos pueden convertirse en gravimétricos, adaptando en el montaje un mecanismo para pesar. La descarga de un dosificador de este tipo se controla, automáticamente, mediante la pérdida de peso que resulta de la supresión de parte del peso del compuesto de la tolva. En la fig. 7.9 se ilustra un dosificador de este tipo.

Los dosificadores volumétricos son, básicamente, una combinación de un mecanismo impulsor, un medio para entregar un volumen constante de

compuesto seco, una tolva para contener el compuesto y una cámara para disolverlo antes de descargarlo dentro del abastecimiento de agua.

El mecanismo impulsor es, casi invariablemente, un motor eléctrico cuya velocidad se ha reducido por medio de engranajes o impulsos de banda; ocasionalmente, pueden usarse bandas de otro equipo rotatorio, como por ejemplo, el eje de una bomba, como mecanismo impulsor.

El mecanismo de descarga del compuesto, es un medio conveniente para distinguir un tipo de dosificador volumétrico de los demás. Casi cada fabricante tiene un diseño diferente para dosificar volumétricamente los compuestos químicos. Estos pueden clasificarse de acuerdo con varios tipos:

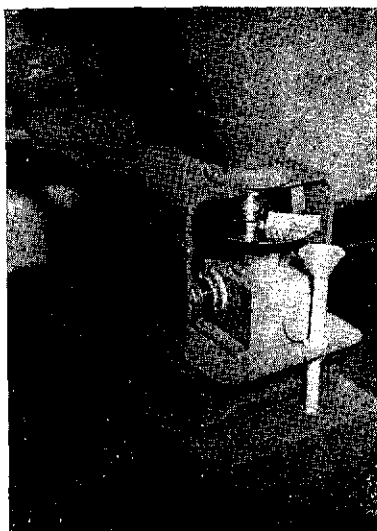


FIG. 7.10 Dosificador volumétrico de disco para material seco (*Hidrotécnica Ltda., Porto Alegre, Brasil.*)

de disco rotatorio, de trailla osciladora, de trailla vibratoria, de tornillo alternativo, de rodillo rotatorio, de rueda de estrella y algunas combinaciones de estos principios.

Damos aquí una descripción breve de algunos tipos, simplemente para indicar el aspecto general de sus principios de operación. Los detalles más completos pueden obtenerse fácilmente de los fabricantes.

Los dosificadores de disco rotatorio son, probablemente, los que más generalmente se utilizan, sobre todo en las plantas pequeñas. Tienen un disco plano de acero que gira horizontalmente. El compuesto químico que va a dosificarse fluye de la tolva hacia el centro del disco rotatorio y sobre él descansa. Una raedera u orificio quita una porción del material conforme el disco gira lentamente. Para razones muy bajas, se corta una ranura en la cara del disco y el material se saca de ella mediante una rae-

dora que tenga la forma apropiada. Las anchuras de las ranuras pueden variar para obtener diferentes razones de descarga. Estas razones pueden cambiarse también, controlando la notación del disco y ajustando la posición de la raedora, para controlar la cantidad de material que se va quitando. Las razones pueden descender hasta 28.35 g de fluoruro de sodio por h y ascender hasta 181.60 kg por h. Las siguientes compañías fabrican este tipo de dosificador:

Denver Equipment Company, Denver, Colorado, E.U.A.

Infilco, Inc., Tucson, Arizona, E.U.A.

Omega Machine Company, Providence, Rhode Island, E.U.A.

El dosificador de tipo de trailla osciladora (o tolva osciladora) consiste básicamente en una trailla o artesa angostada y plana en la que cae el

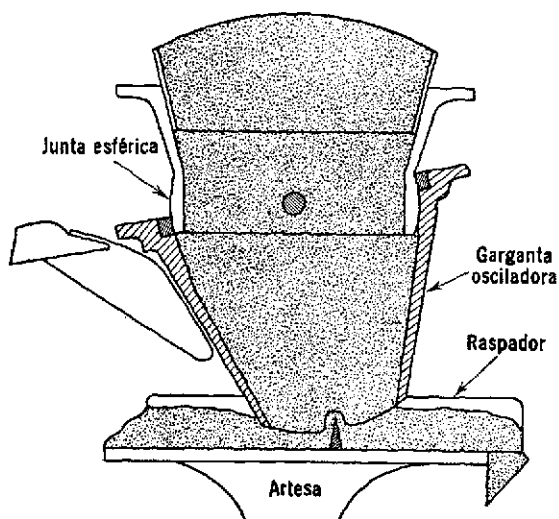


FIG. 7.11 Dosificador volumétrico de trailla osciladora. (B-I-F Industries, Inc.)

compuesto de fluoruro desde la tolva que está arriba. Ya sea la trailla o la parte inferior de la tolva, oscila lentamente a lo largo del eje de la primera, forzando con ese movimiento al compuesto para que caiga por los dos extremos abiertos de la artesa. En la fig. 7.11 aparece un corte transversal del mecanismo que utiliza la oscilación de la parte baja de la tolva. Las razones de descarga se controlan tanto con la velocidad de oscilación y la longitud de la carrera oscilatoria, como por el grosor del compuesto químico de la trailla. Los diferentes tamaños dependen de los alcances de descarga—desde 56.7 g por h, hasta 225 kg por h, de fluoruro de sodio (1,200 kg por

m<sup>3</sup>), con un alcance dentro de un dosificador dado, de 40 a 1. Este tipo de dosificador que tiene una tolva de 90 litros y una cámara de disolución de 38 litros, cuesta 1,040 dólares y es fabricado por:

F.B. Leopold Company, Inc., Pittsburgh, Pensilvania, E.U.A.

Infilco, Inc., Tucson, Arizona, E.U.A.

Omega Machine Company, Providence, Rhode Island, E.U.A.

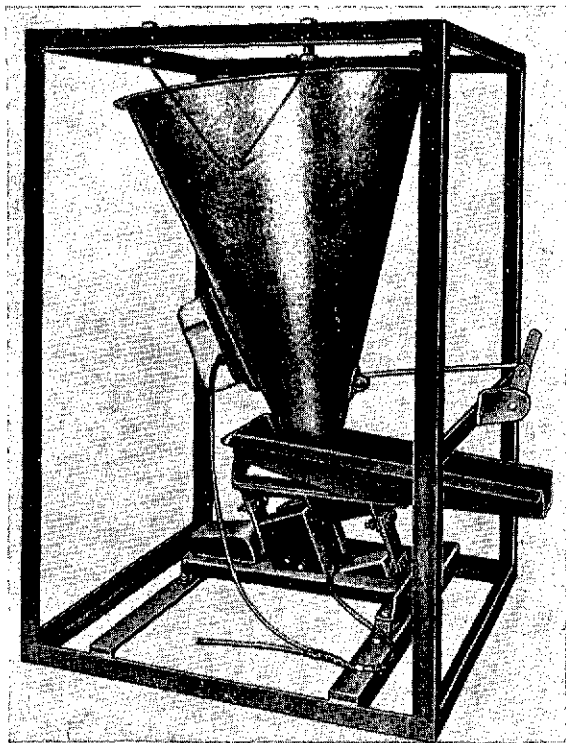


Fig. 7.12 Dosificador volumétrico con artesa vibratoria. (Syntron Co.)

El dosificador de trálla vibratoria es un dispositivo para descargar un volumen de compuesto químico, de una trálla, un canalón o una artesa que vibra eléctricamente. Un imán se activa por medio de una corriente pulsadora (ya sea con una corriente alterna o una directa pulsadora rectificada). La artesa se monta sobre resortes y se conecta directamente al imán, como se indica en la fig. 7.12. La acción de la artesa es descendente y de retroceso en la carrera de energía, y ascendente y de avance, en la siguiente carrera por la acción de los resortes. El material que está en la artesa se mueve ligeramente hacia adelante en cada carrera y parece fluir como agua, debido a la alta frecuencia de carrera (3,600 carreras por minuto con

una corriente de 60 ciclos). La razón de descarga se controla mediante un réostato que determina el voltaje y, en consecuencia, el grado de movimiento de la artesa. Existe una gran variedad de tamaños, variando la descarga desde 2 g por h, a 3,630 kg o más por h. Sin embargo, en las plantas de tratamiento de agua sólo pueden usarse las unidades más pequeñas para la fluoruración; las plantas mayores tienen una mayor exactitud con los dosificadores gravimétricos. La descarga de los dosificadores vibratorios puede utilizarse en aparatos de tipo gravimétrico de banda, que se verán más tarde. Los dosificadores más pequeños de este tipo, que son capaces de descargar hasta un máximo de 225 kg de material por hora, cuestan 80 dólares con los controles; pero sin una tolva o cualquier otro accesorio. El consumo de energía de este dosificador es de sólo 3 watts. Los aparatos de este tipo pueden encontrarse en:

Ericz Manufacturing Company, Eric, Pensilvania, E.U.A.

Jeffrey Manufacturing Company, Columbus, Ohio, E.U.A.

Syntron Company, Homer City, Pensilvania, E.U.A.

Puede conseguirse un dosificador que combina este principio de vibración con un transportador de tornillo de rotación continua. Las vibraciones son impartidas a todo el dosificador (con excepción de la tolva), que llena completamente cada acanaladura del transportador espiral. Los diferentes tamaños permiten descargas desde 28.4 g hasta 100 toneladas de fluoruro de sodio por h. El costo del dosificador más pequeño de este tipo completo, es de 645 dólares. Están fabricados por Vibra Screw, Belleville, Nueva Jersey, E.U.A.

Otro tipo de dosificador transportador de tornillo rotatorio, es el fabricado por B. F. Gump Company, Chicago, Illinois, E.U.A. Este aparato consiste en un transportador helicoidal de rotación lenta. El material que va a dosificarse inunda el transportador desde una tolva (aparece ilustrado en la fig. 7.13) y se descarga de una artesa que está al final del tornillo. El eje espiral gira ya sea mediante una tren de engranajes o por un mecanismo de matraca. La razón de descarga se controla mediante la longitud de recorrido de la matraca y también seleccionando la proporción de reducción de engranes del eje impulsor. Varía desde 5.7 litros por hora (7.71 kg de fluoruro de sodio por hora) a arriba. Este dosificador podría usarse, posiblemente, para administrar sólo compuestos químicos (fluoruro de sodio) de grado cristalino, en plantas pequeñas, debido a que otros compuestos más higroscópicos, tienden a atascarlo. El costo del modelo más pequeño es de 450 dólares.

Otra adaptación del dosificador de transportador de tornillo, es el que se ilustra en la fig. 7.9. En este modelo (fabricado por Wallace & Tierman, Inc., Belleville, Nueva Jersey, E.U.A.), el tornillo de rotación

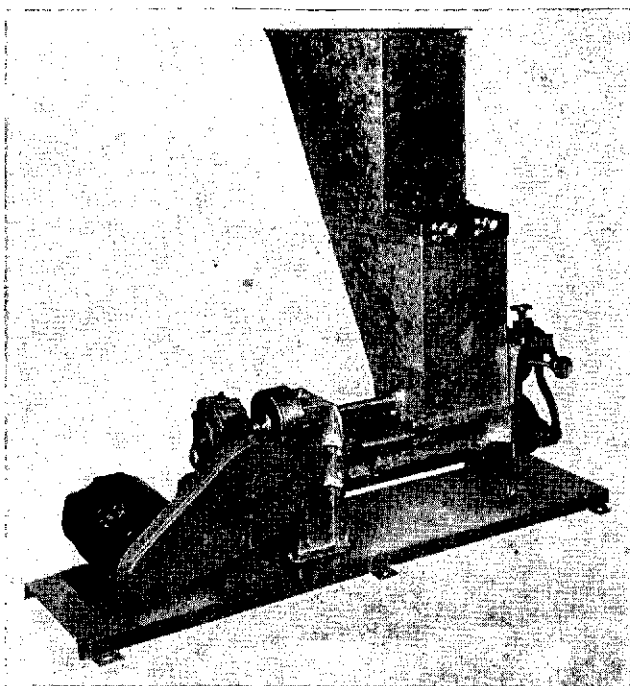


FIG. 7.13 Dosificador de material seco, de tornillo rotatorio. (B. F. Gump)

lenta tiene también un movimiento de avance y retroceso. Esta acción se registra dentro de un tubo de cuyo extremo se descarga el compuesto químico. El alcance de descarga dentro de un tamaño dado del dosificador, es alrededor de 120 a 1. Existen varios tamaños disponibles, que proporcionan una amplia selección de capacidad: desde menos de 0.5 kg por h hasta más de 80 kg por h. El ajuste de la razón de descarga se obtiene me-

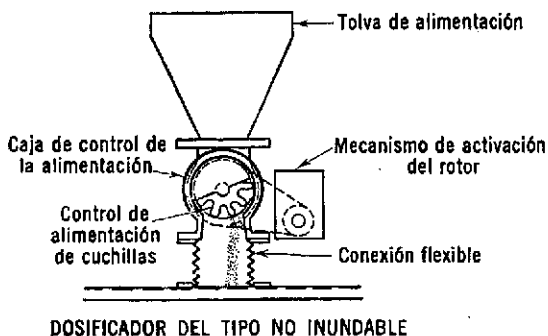


FIG. 7.14 Dosificador volumétrico de rueda de estrella. (B-I-F Industries, Inc.)

diante el control de la velocidad de operación del mecanismo impulsor, junto con la longitud de carrera del transportador de tornillo oscilador.

Puede usarse un dosificador rotatorio que se conoce como "rueda de estrella" o "rotolock", como alimentador volumétrico, aunque estos dispositivos generalmente se incorporan a los gravimétricos. En la fig. 7.14 se ilustra un diseño común, en el que una rueda dentada de rotación lenta, colocada con justeza dentro de una caja, descarga un volumen constante de material de cada rayo de la rueda. En la parte superior se ajusta una tolva y en la inferior, una cámara de disolución. Existe un gran número

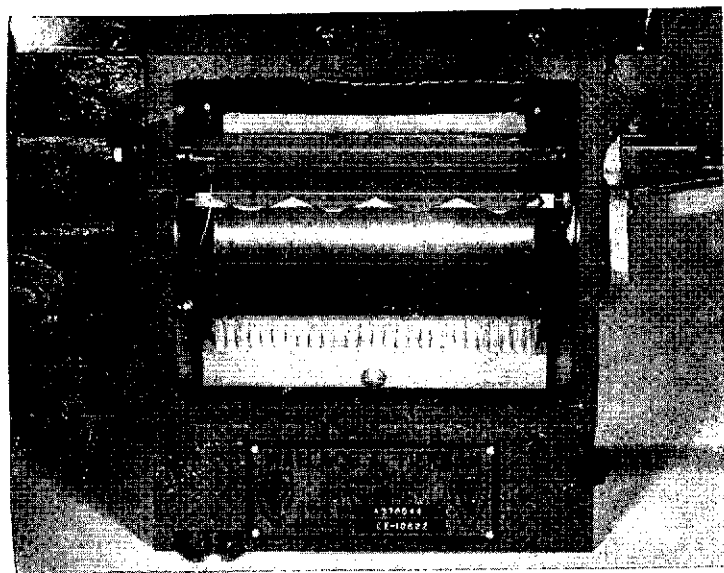


FIG. 7.15 Dosificador volumétrico de rodillo alimentador. (Wallace & Tiernan.)

de diseños de ruedas: el diámetro, el número de rayos, la longitud y la velocidad de rotación son unas cuantas de las características distintas, diseñadas de acuerdo con las diferentes cantidades y tipos de material que van a manejarse. Este tipo de dosificador es casi totalmente seguro contra inundaciones, es decir, la característica que tienen algunos de ellos, para permitir que el compuesto químico fluya como agua a través de los elementos medidores. Esto permite que una gran cantidad de compuesto químico fluya a través del mecanismo de dosificación, en un tiempo muy corto, con lo cual se tapa la cámara de disolución, provocando una gran sobredosis. En este tipo de aparatos se proporciona algún medio positivo para evitar este problema. Estos aparatos se usan casi siempre en instalaciones mayores, en donde la descarga se controla gravimétricamente. Las variaciones en la dosificación se logran mediante la selección del rotor y



su velocidad o frecuencia de operación. Estos dosificadores pueden fabricarse tan grandes como sea necesario y pueden dosificar hasta 10 toneladas por hora. Cuestan 1,700 dólares y están equipados con una tolva de  $0.13 \text{ m}^3$  y una cámara de disolución de 115 litros. Estos aparatos son fabricados por:

Allen-Sherman-Hoff Company, Wynnewood, Pensilvania, E.U.A.

Omega Machine Company, Providencia, Rhode Island, E.U.A.

Prater Pulverizer Company, Chicago, Illinois, E.U.A.

Pulverizing Machinery Division, Metals Disintegrating Company, Summit, Nueva Jersey, E.U.A.

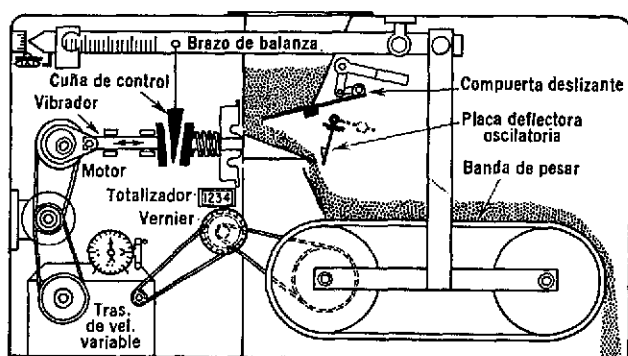


FIG. 7.16 Dosificador gravimétrico de banda móvil. (Permutit).

Otro tipo rotatorio de dosificador volumétrico para la fluoruración, se construyó a partir de un dispositivo usado para alimentar un compuesto blanqueador en la harina. En él, se prensa una cinta delgada de compuesto químico, entre dos rodillos que giran lentamente y que tienen una acción similar al exprimidor de ropa de una lavadora. Este tipo de dosificador aparece ilustrado en la fig. 7.15. La razón de alimentación puede alterarse cambiando ya sea la anchura de la cinta de compuesto (bloqueando el acceso a las porciones variables de los rodillos) o la velocidad de rotación de éstos. El alcance de la alimentación asciende a 9 kg por h y desciende a 59 g por h de silicofluoruro de sodio ( $1.06 \text{ kg por dm}^3$ ). El costo es de 1,025 dólares, incluyendo una tolva de  $0.17 \text{ m}^3$  y una cámara de disolución de 95 litros. Estos aparatos los fabrica solamente Wallace & Tiernan, Inc., Belleville, Nueva Jersey, E.U.A.

La principal característica de otro grupo de dosificadores volumétricos, es una banda móvil. Tal y como se muestra en la fig. 7.16, la banda se mueve lentamente más allá de la abertura inferior de la tolva, en donde

se carga a un nivel y anchura constantes de compuesto químico. Al final de la trayectoria de la banda, el compuesto se descarga dentro de la cámara de disolución. Las razones de descarga pueden cambiarse controlando la velocidad de la banda. La razón mínima es de aproximadamente 3 kg de fluoruro de sodio por h, llegando hasta 2 ton por hora en los modelos más grandes. La exactitud que tiene es del orden del 2 por ciento. El más pequeño de los dos modelos cuesta 1,500 dólares con una tolva de 0.13 m<sup>3</sup> y una cámara de disolución de 190 litros. Estos dosificadores son fabricados por la Permutit Company Inc., Nueva York, Nueva York, E.U.A.

## DOSIFICADORES GRAVIMETRICOS

Estos aparatos dosifican compuestos químicos a un peso y no a un volumen constante, durante un intervalo determinado. Debido a su gran exactitud, deben utilizarse para dosificar compuestos de flúor siempre que sea posible. Sólo cuando la demanda mínima de compuestos sea inferior a aproximadamente 5 kg por h, deberá pensarse en el uso de otro tipo de dosificador. Los gravimétricos, se adaptan también con bastante facilidad para registrar las cantidades de compuesto dosificadas y para el control automático. Otra ventaja es que se dosificará un peso constante, aun cuando la densidad de la mayor parte del compuesto haya cambiado.

El peso del compuesto químico debe tomarse continuamente, ya que el control de estos dosificadores se basa totalmente en él. Ese control se logra en dos formas básicas. En uno, el recipiente (depósito o tolva de almacenamiento) se pesa continuamente y se mantiene en forma automática la razón de la pérdida de peso del material, seleccionando previamente la razón de alimentación. La descarga se regula en forma tal, que el material que queda en la tolva sigue una reducción lineal en el peso. En el otro tipo, una sección de la banda móvil que lleva el compuesto se pesa también continuamente. El flujo del compuesto hacia la banda se controla mediante las desviaciones de una razón apropiada de descarga, previamente designada.

El primer tipo (pérdida de peso), que aparece en la fig. 7.17, consiste en una tolva suspendida de un sistema de báscula, un sistema eléctrico mecánico para mover la pesa en el brazo de la báscula, un medio mecánico para mover el compuesto de la tolva en una cantidad que depende de la posición del brazo de la báscula, así como una cámara de disolución. El impulso del tornillo de translación (un motor síncrono) mueve la pesa a lo largo del brazo, a una razón de velocidad predesignada. Si momentáneamente se descarga más material del indicado, por la posición de la pesa, el brazo descenderá. Esta acción mueve la cuña de control (que está cerca del oscilador), en dirección descendente, permitiendo una disminución en la amplitud de la carrera que impulsa a la rueda de estrella o el

mecanismo del dosificador vibratorio. Entonces se descargará menos material hasta que el peso del compuesto que queda en la tolva vuelva a equilibrarse por el peso del brazo de la báscula. El error de dosificación en este tipo de aparato es, generalmente, inferior a 1 por ciento. La descarga mínima es de 5 kg por h, con un alcance de alimentación del orden 100 a 1, en tanto que algunos modelos pueden descargar hasta 2 ton por h. El tamaño

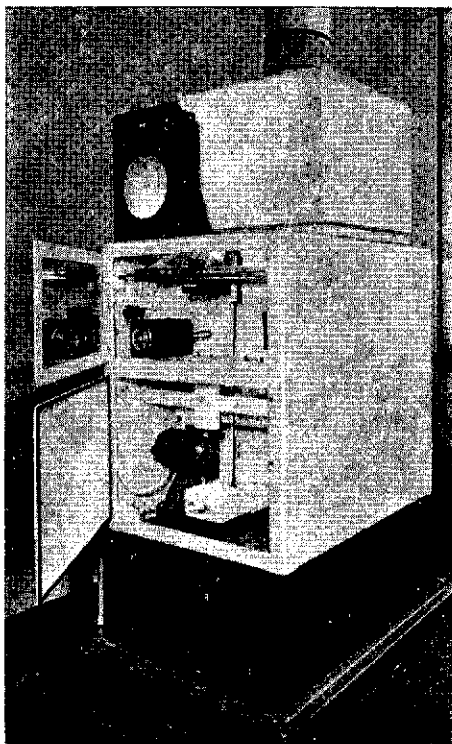


FIG. 7.17 Dosificador gravimétrico de material seco. (B-I-F Industries, Inc.)

más pequeño con una tolva de  $0.14\text{ m}^3$  y una cámara de disolución de 150 litros, cuesta 2,500 dólares.

El otro tipo de dosificador gravimétrico, en el que una sección de una banda cargada y móvil se pesa continuamente, aparece ilustrado en la fig. 7.16. El peso de la banda se equilibra mediante el brazo de una balanza, cuya posición controla la descarga del compuesto sobre la banda. Cualquier desviación de este peso en la banda, hace que caiga de la tolva una cantidad mayor o menor de material sobre aquélla. Aunque en el dibujo aparece un vibrador mecánico para mover el material de la tolva hacia la banda, pueden utilizarse otros métodos. En este modelo, las vibraciones impartidas al diafragma de la tolva, son generadas por un excéntrico y trans-

mitidas a través de una cuña que varía la amplitud de las vibraciones, dependiendo de la posición del brazo de la báscula. Otros medios para cargar la banda incluyen compuestos ajustables en la tolva, que pueden activarse mecánica, eléctrica o neumáticamente, vibraciones eléctricas en una artesa de dosificación o una rueda de estrella giratoria. La exactitud de estos dosificadores es también del orden del 1 por ciento o menos. El alcance de dosificación llega a ascender a 100 a 1 y pueden hacerse ajustes sencillos, moviendo simplemente el peso del brazo de la báscula. Un aparato de este tipo descarga hasta 90 kg por h y su costo, sin el equipo accesorio, es de 2,000 dólares.

Aparentemente, casi cualquier dosificador volumétrico (incluyendo los de tipo vibratorio) pueden adaptarse para funcionar como gravimétricos, ya sea colocando todo el aparato volumétrico en una balanza y controlando la descarga de acuerdo con una pérdida de peso predeterminada, o pesando la sección cargada de la banda y controlando la descarga de la tolva, mediante desviaciones de la razón predesignada. No obstante, en la actualidad, sólo se cuenta con los aparatos gravimétricos descritos. Las siguientes compañías fabrican dosificadores gravimétricos:

B-I-F Industries, Inc., Providence, Rhode Island, E.U.A.

Harding Co., York, Pensilvania, E.U.A.

Infilco Inc., Tucson, Arizona, E.U.A.

Jeffrey Manufacturing Co., Columbus, Ohio, E.U.A.

Shaffer Poidometer Co., Pittsburgh, Pensilvania, E.U.A.

Syntron Company, Homer City, Pensilvania, E.U.A.

Thayer Scale Co., Pembroke, Massachussets, E.U.A.

Vibra Screw Feeders, Inc., Clifton, Nueva Jersey, E.U.A.

Wallace & Tiernan, Inc., Belleville, Nueva Jersey, E.U.A.

### *Exactitud del dosificador*

Los fluoruros deben dosificarse más exactamente que cualquier otro material que se emplee en el tratamiento de aguas. La razón de esto es aparente cuando se toman en cuenta los resultados que se indican en el capítulo 2. Desde el punto de vista de la reducción óptima en la caries dental, una diferencia de sólo 0.3 mg/l de fluoruro por debajo del nivel óptimo, producirá, en promedio, aproximadamente un diente cariado adicional entre los niños de 13 años de edad. Por otro lado, como se señaló en el capítulo 1, el uso prolongado de agua que contiene fluoruros en exceso sobre el nivel óptimo, producirá el moteado (fluorosis dental). Una vez que se ha determinado el nivel óptimo (véase el capítulo 6), no deben tolerarse desviaciones superiores a 0.1 mg/l (el 10 por ciento cuando el

nivel óptimo sea diferente a 1.0mg/l). Una cantidad considerable de pruebas indican que, cuando se registran desviaciones prolongadas, el efecto en la salud dental de los niños se hace evidente. Por ejemplo, en lugares en donde las concentraciones de fluoruros se han mantenido en niveles variables y consistentemente inferiores al óptimo, las incidencias CPO han sido mucho más numerosas que en las comunidades similares, en donde el nivel se ha mantenido correctamente<sup>1</sup>

Una desviación normal de 0.1 mg/l en 1.0 mg/l, es, en efecto, relativamente fácil de lograr, una vez que los operadores de las plantas de tratamiento de agua adquieran ciertos conocimientos y experiencia y con el equipo dosificador descrito anteriormente. Una desviación de 0.1 mg/l a un nivel de 1.0 mg/l, es un error del 10 por ciento. Pocos dosificadores de los que actualmente están en uso, alcanzan un error tan grande; algunos, en efecto, tienen errores inferiores al 1 por ciento. No obstante, hasta los dosificadores de la exactitud más notable deben examinarse en todos los casos, no porque todos ellos tengan una cierta inexactitud, sino porque pueden registrarse desviaciones en la pureza del compuesto químico usado o bien el equipo de medición y control puede contribuir con errores o el ajuste manual de descarga del dosificador puede estar *errado* o retrasado.

La exactitud de un dosificador se designa generalmente, como el porcentaje de desviación de una razón establecida. De esta práctica nacen, cuando menos, dos inconsistencias. La primera se deriva de la definición de "la razón establecida". Esta puede significar la razón, tal y como se indica en un ajuste de la báscula del dosificador. Si un aparato se ajusta para descargar, digamos, 4.5 kg por h y las pruebas indican una descarga uniforme de 4.9 kg por h, el error es de 10 por ciento. Sin embargo, este error no es grave, puesto que probablemente ha sido producido por una desviación en la ubicación de la placa de la báscula y puede corregirse fácilmente, bajando el ajuste a la razón deseada de descarga. Por otro lado, una razón de alimentación puede ajustarse y las pruebas indicar que la razón de descarga es la escogida. Pruebas subsecuentes pueden indicar una desviación de esta razón. Este error es totalmente diferente al que acabamos de mencionar y es más grave. El último ejemplo es el que debe utilizarse para designar la exactitud del aparato.

Al designar la exactitud de un dosificador, deben describirse los límites de la razón o la razón de alimentación establecida, que corresponde al porcentaje de error de o la cantidad de "repetición" dada (más o menos). Los errores aumentan casi siempre en los límites extremos, tanto superior como inferior, de un dosificador. Además, el intervalo de tiempo aplicable a esta exactitud, debe darse también. Este intervalo está lejos de ser estándar

<sup>1</sup> Chrietberg, J. E. y Lewis, F. D., Jr., Effect of Inadequate Fluorides in Public Water Supply and Dental Caries, *J. Georgia Dental Assoc.*, 10-14 (1957).

entre los diferentes fabricantes; pero, por lo general, media hora debe bastar para reunir un volumen representativo. Un intervalo demasiado corto puede introducir un error que puede compensarse en una prueba más prolongada. Las pruebas prolongadas no proporcionan ningún dato adicional.

Los dosificadores de solución se prueban contra la presión que va a encontrarse, midiendo la descarga en un recipiente de medición graduado o apropiado. Los errores en los dosificadores de solución pueden ser producidos por deslizamiento de la banda, variaciones de voltaje, escape en las glándulas, desgaste en el diafragma o válvulas incorrectamente ajustadas. En la fig. 7.18 se ilustra un medio para comprobar la descarga de los

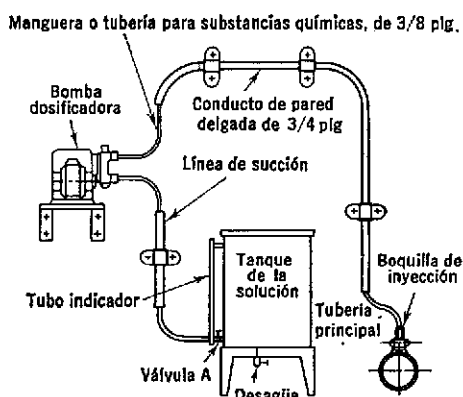


FIG. 7.18 Medio para comprobar la exactitud de los dosificadores de solución. (B-I-F Industries, Inc.)

dosificadores de solución, sin necesidad de quitar el tubo de succión o descarga.

Los dosificadores de material seco se prueban recogiendo el material descargado en una vasija poco profunda, que se coloca sobre la cámara de disolución, y se pesa dicho material. Los errores en los dosificadores volumétricos de material seco se producen, principalmente, debido a la compresibilidad o clasificación del material que se dosifica. Los grados esponjosos de fluoruros en polvo se comprimirán más fácilmente cuando la tolva esté llena, que cuando esté casi vacía. El material que contiene partículas de una variedad considerable de tamaños, puede ser clasificado en el manejo, el envío o por las vibraciones transmitidas a la tolva del dosificador. Los cambios resultantes en la densidad pueden producir errores que suman hasta un 10 por ciento. Tales errores se eliminan totalmente en los dosificadores de tipo gravimétrico, en los que las variaciones rara vez exceden de  $\pm 2$  por ciento.

CUADRO 7.2 ERRORES DE MEDICIÓN DE PASOS EN DOSIFICADORES PARA MATERIALES LÍQUIDOS Y SECOS, A UN FLUJO DE 100 POR CIENTO †

Concepto	Duración del impulso (porcentaje de pulsación)		Neumático (0.25-1.27 kg/cm <sup>2</sup> )	
	máximo, por ciento	Probable, por ciento	Máximo, por ciento	Probable, por ciento
Dosificador volumétrico de material seco .....	5.75	5.05	6.50	5.12
Dosificador gravimétrico de material seco .....	1.75	1.25	2.50	1.50
Bomba medidora .....	2.75	2.13	3.50	2.29
Control de razón de retroalimentación (líquidos) .....	....	....	2.00	1.41

*Exactitudes individuales, por ciento*

Duración del impulso .....	0.75	Dosificador de material seco (volumétrico) .....	5.0
Neumático .....	0.5	Dosificador de material seco (gravimétrico) .....	1.0
Vacío .....	1.0	Bomba medidora .....	2.0
		Clorador .....	4.0
		Anillos de retroalimentación .	1.0

*Error máximo*

$$= E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$$

*Error probable*

$$= \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + \dots + E_n^2}$$

† Datos proporcionados por la Foxboro Co.

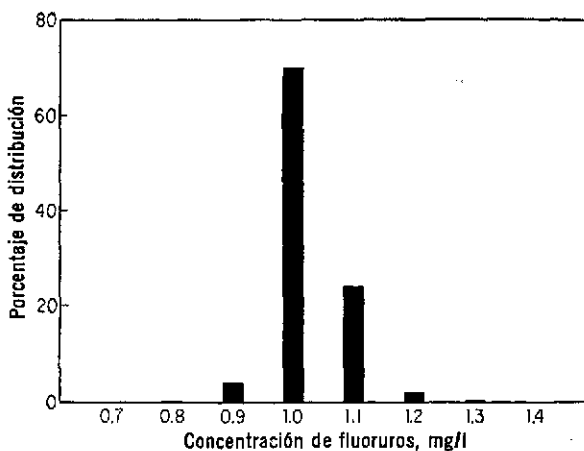


FIG. 7.19. Constancia de los niveles de fluoruro en Grand Rapids. [Spitz, G. C. S., Taylor, F. B. y Harris, W. L., *Experience in Maintaining Constant Fluoride Concentrations*, *Am. J. Public Health*, 48(12): 1651 (1958)]

Combinando los errores probables de los diferentes componentes de un sistema dosificador de fluoruro, puede computarse su error general. Por ejemplo, basándose en el cuadro 7.2, se puede calcular el error probable de un sistema compuesto por un dosificador gravimétrico de material seco (un error del 1 por ciento), controlado por medio de un sistema de duración de impulso (un error de 0.75 por ciento). El error probable sería entonces, la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de estos errores o, 1.25 por ciento.

A pesar de la gran exactitud de la mayoría de los sistemas de dosificación, los errores en el nivel de fluoruro se registrarán si el sistema se mantiene

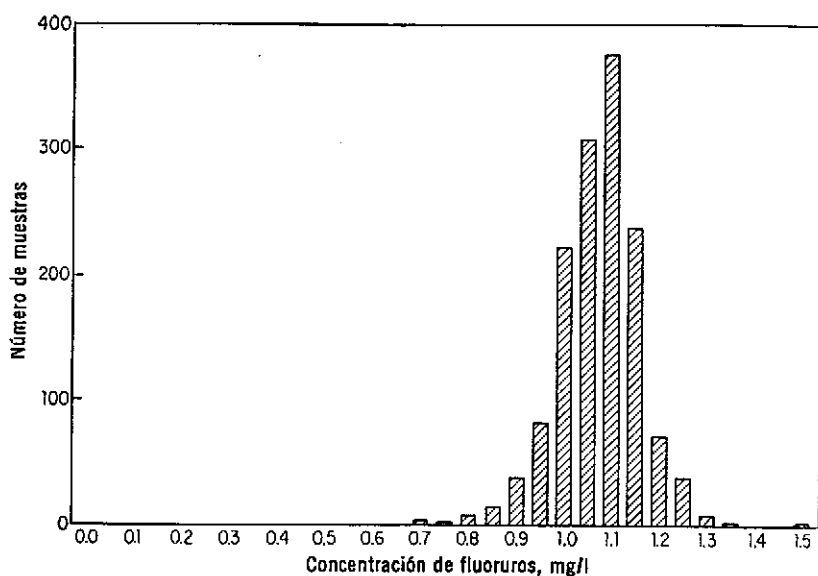


FIG. 7.20 Constancia en los niveles de fluoruro en Newburgh. (USPHS)

u opera en una forma que no contribuya a su funcionamiento óptimo. En efecto, esto ha sucedido en algunas plantas de tratamiento y, en sólo muy pocos lugares han sido esos errores considerables y constantes. Sin embargo, en la mayoría de ellos los errores han sido muy pequeños. En las figs. 7.19 y 7.20, se ilustra la exactitud con que pueden obtenerse las concentraciones de fluoruro, para conformarlas al nivel óptimo predeterminado. En el caso de Grand Rapids, el objetivo era mantener un nivel de fluoruro entre 1.0 y 1.1 mg/l; en Newburgh, entre 1.0 y 1.2 mg/l. En ambos casos, la gran mayoría de las muestras quedaron dentro de estos límites.



## CAMARAS DE DISOLUCION

Las cámaras de disolución forman parte de todos los dosificadores de material seco y, si se diseñan debidamente, deben disolver en forma continua todos los compuestos químicos que reciben, antes de descargarlos. Unas cuantas instalaciones han intentado descargar los compuestos directamente de los dosificadores de material seco a los depósitos de agua clarificada, tanques de mezcla y otros puntos de una planta de tratamiento de agua; pero generalmente se han obtenido resultados poco prometedores. En muchos casos, el compuesto químico cae directamente al fondo de dichos depósitos y permanece ahí sin disolverse, amontonándose hasta que se hace necesario el quitarlo. Casi en todos los casos debe incluirse una cámara de disolución en cada dosificador de material seco.

Si parte del compuesto abandona esta cámara sin haberse disuelto (descargado en la forma de lechada), indica que 1) la cámara de disolución es demasiado pequeña, 2) el tiempo de retención es demasiado corto, 3) se está proporcionando muy poca agua, 4) el mezclado ha sido insuficiente, ó 5) que se ha producido un cortocircuito y esto permite que parte del compuesto abandone la cámara de disolución casi inmediatamente después de que ha penetrado en ella.

Las tablas de solubilidad de los compuestos químicos pueden obtenerse bajo condiciones ideales de tiempo, temperatura y pureza del solvente (agua). Con el fin de obtener continuamente una solución de un compuesto disuelto de fluoruro, de una cámara de disolución, es conveniente, por lo general, limitar la concentración máxima de la solución a un cuarto de la de saturación, a las temperaturas de agua que ordinariamente se encuentran. Esto se basa en un tiempo de retención mínimo teórico de 5 min en la cámara de disolución. Sobre estas bases, el fluoruro de sodio, por ejemplo, se disuelve para formar soluciones de una concentración aproximada de 1 por ciento. Una solución al 1 por ciento se forma disolviendo 1 kg de compuesto en aproximadamente 45.6 lt. Si se supone que se dosifican 10 kg de fluoruro de sodio por hora, entonces será necesario utilizar 456 lt de agua cada hora ó 16.6 lpm. Con un tiempo de retención de 5 min, la cámara de disolución tendrá una capacidad de cuando menos 38.0 lt. Estas cantidades hacen evidente que por cada kg de fluoruro de sodio administrado en cada hora, se requieren 3.8 lt de capacidad en la cámara de disolución. Otros compuestos de fluoruro, que se mencionan en la tabla 6.3 y que pueden usarse en dosificadores de material seco, se computan en forma similar, como se indica en el cuadro 7.3.

En la práctica, las cámaras de disolución raramente se hacen con capacidades inferiores a 19 lt. Esto se debe a que 1) no es económico hacerlas más pequeñas, 2) se requieren cámaras de cuando menos ese tamaño para

CUADRO 7.3 CAPACIDADES DE LAS CÁMARAS DE DISOLUCIÓN REQUERIDAS PARA VARIOS COMPUESTOS DE FLÚOR

Compuesto de flúor	Concentración máxima práctica de la solución, %	Litros de agua requeridos por kg de compuesto químico dosificado, para obtener la concentración práctica en la solución	Capacidad de la cámara de disolución (lts) por kg por h, de compuesto dosificado, con una retención de 5 min
Fluoruro de sodio .....	1.0	45.6	1.0
Fluoruro de calcio .....	Es insoluble en agua, debe usarse como se describe en el capítulo 6		
Silicofluoruro de sodio .....	0.2	228.0	5.0
Silicofluoruro de magnesio ...	15	3.04	0.07
Silicofluoruro de amonio ....	5	9.12	0.2
Fluoruro de potasio .....	25	1.90	0.04

sostener los dosificadores más pequeños y 3) es más probable que se produzcan cortocircuitos en los tanques más pequeños.

El mezclado del compuesto químico y el agua se logra, ya sea con chorros de agua o con mezcladoras eléctricas. Los chorros funcionan mediante la presión del agua recibida y, en algunos dosificadores, esta presión se utiliza para hacer girar una mezcladora de paletas (Fig. 7.21). Las mezcladoras eléctricas son necesarias en ocasiones en las cámaras de disolución de un dosificador de fluoruro, debido principalmente a que no se han proporcionado tiempos de retención lo suficientemente amplios.

Las cámaras de disolución deben tener mamparas de tal manera que pueda reducirse a un mínimo la posibilidad de cortocircuitos (cuando la cantidad más pequeña de material no disuelto sea descargada por la cámara). Las mamparas deben diseñarse en forma tal, que la trayectoria del compuesto químico hacia la salida de la cámara, requiera el tiempo de retención teórico para lograrlo.

Una vez que se ha fijado el tamaño de la cámara de disolución, el tiempo de retención dependerá totalmente de la velocidad a la que se introduce el agua. Esta velocidad debe fijarse con tanta exactitud como sea posible; un exceso de agua reducirá el tiempo de retención acortando, por ende, la oportunidad para que el compuesto se disuelva; y demasiado poca agua aumentará la concentración de la solución y con ello, se reducirá la velocidad a la que el compuesto se disuelve. Conforme la concentración de la solución se acerca a la de saturación, puede requerir semanas y hasta meses para que los compuestos de flúor se disuelvan completamente.

Para lograr un control exacto del agua que penetra en la cámara de disolución, puede contarse con varios tipos de medidores. Un medidor de agua indica la cantidad total que se usó durante un cierto intervalo de

tiempo y servirá como guía en el uso general del agua. Los dispositivos indicadores del flujo, tales como los fabricados por Brookes Rotometer Co., Landsdale, Pennsylvania, Fischer & Porter Company, Hatboro, Pennsylvania y Schutte & Koerting Company, Cornwells Hights, Pennsylvania, E.U.A., son auxiliares valiosos para ajustar el flujo del agua. Puede incluirse también en las tuberías de agua, una válvula de solenoide (para abrir y cerrar automáticamente la corriente del agua cuando el dosificador se detiene o se pone en marcha), un regulador de presión (para asegurar un flujo constante del agua) y una válvula de aguja (para regular el flujo).

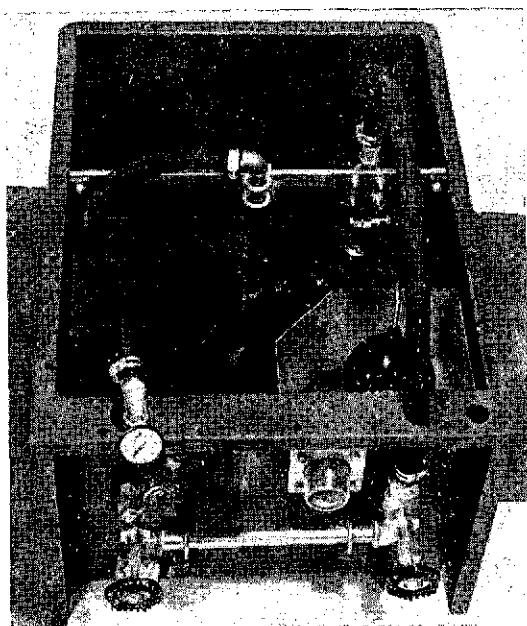


FIG. 7.21 Mezcladora rotatoria de paletas en una cámara de disolución. (Wallace & Tiernan)

Se ha pensado en la posibilidad de incrementar la solubilidad y el tiempo de disolución de varios compuestos químicos, aumentando la temperatura del agua. Esta es una buena posibilidad, debido a que muchos compuestos, incluyendo al silicofluoruro de sodio (véase la fig. 6.5), tienen una mayor solubilidad conforme aumenta la temperatura del solvente. Sin embargo, este método raramente se usa (excepto en Alaska, E.U.A.), debido a los vapores que se producen en la cámara de disolución y que humedecen el material que está en la tolva, haciendo que se formen grumos y se adhieran al mecanismo dosificador. Estos dos efectos perjudican gravemente la exactitud de dichos aparatos.

Hay muchos otros dispositivos de equipos auxiliares, que son convenientes o necesarios en ciertas instalaciones. Todos ellos se describirán en el capítulo 8.

## COMO PLANEAR EL MEJOR SISTEMA

Teniendo ciertos conocimientos sobre la facilidad de obtención y características de los compuestos de flúor (capítulo 6), y los muy diversos tipos de dosificadores de compuestos químicos, puede hacerse la selección del mejor sistema dosificador de fluoruro. El diseño de dicho sistema debe basarse en la consideración de tres principios: 1) un funcionamiento seguro, 2) la mayor seguridad y 3) el equipo más económico. El ingeniero debe escoger la combinación del compuesto químico más económico y el sistema de dosificación más apropiado, en relación con el tamaño e instalaciones (personal y tipo de planta) con que cuenta la comunidad.

Con el fin de calcular el tamaño y otras características de las diferentes piezas del equipo, debe determinarse primeramente la cantidad de fluoruros que deberá dosificarse en incrementos sucesivos, cada vez mayores, de tiempo. La cantidad de agua que va a tratarse debe medirse a diferentes intervalos, durante distintas horas del día, estaciones del año u otros períodos que afecten el consumo máximo de agua. Para determinar el tamaño del dosificador mismo, la consideración básica es conocer la cantidad de compuesto requerido por unidad de tiempo (siendo un minuto el más conveniente), que se agregará a una cantidad dada (con fines de cálculo, la cantidad máxima) de agua que va a tratarse. Las cantidades de agua descargadas durante intervalos mayores que un minuto (intervalos hasta de un año) se utilizan para determinar el tamaño de otras partes del sistema de fluoruración.

La cantidad de compuesto que se emplea es directamente proporcional a la cantidad de agua que va a tratarse. En consecuencia, debe determinarse la cantidad de agua que va a tratarse durante el período de máximo caudal. Esta proporción puede determinarse de diferentes maneras:

1. Por lecturas en los medidores de agua
2. Por las razones de descarga de una bomba
3. Por la medición del ascenso o descenso del nivel de agua en un depósito o tanque, durante un intervalo de tiempo
4. Mediante el uso de dispositivos de medición de la velocidad o del caudal —medidores de hélice, tubos de Pitot, diferenciales de presión o carga derivados de placas de orificio, canalones, vertederos y tubos de flujo.

Cualquiera que sea el medio empleado, debe tenerse el cuidado de asegurarse de que la lectura que eventualmente se use, sea, en realidad, la máxima que posiblemente se encuentre. Hay períodos cortos ocasionales,

durante los cuales la proporción del consumo de agua es desacostumbradamente elevado. Esto puede ser el resultado de incendios, rompimientos en las tuberías o cualquier otra circunstancia rara o anormal. Generalmente pueden ignorarse al diseñarse el equipo de fluoruración, debido a que estos intervalos tan poco frecuentes (por ejemplo, un día al año) de uso de agua con pocos fluoruros, no tendrá un efecto detectable en la reducción de la caries dental.

La razón máxima a la que debe tratarse el agua, durante el período de un día o algo semejante (mejor que durante un minuto), debe conocerse también con el fin de determinar las dimensiones de la tolva del dosificador para el compuesto químico. Por lo general, en las plantas, más pequeñas una tolva con capacidad para almacenar la cantidad de compuesto necesaria para un día, es lo suficientemente grande. De la misma manera, la razón máxima de flujo durante el período de una semana o dos, debe conocerse a fin de calcular el tamaño apropiado de los depósitos o lugares de almacenamiento. Por supuesto, el intervalo escogido con este propósito, dependerá de la rapidez con que el compuesto pueda llegar a la planta después de ordenarlo. Además, debe calcularse el consumo máximo de agua durante un año, con el propósito de que puedan establecerse presupuestos para la compra de los compuestos químicos. En muchos casos será más económico comprar anualmente cierta cantidad de compuesto, en una sola orden, aunque cuando no se pueda almacenar en la planta todo el material adquirido. En realidad, muchos vendedores prefieren hacer entregas de compuestos químicos a intervalos determinados y en cantidades más pequeñas, que entregar de una sola vez la cantidad requerida para un año.

Los siguientes cálculos se incluyen para ilustrar cómo podría seleccionarse un dosificador:

Supóngase que

- |   |   |
|---|---|
| 1. El caudal máximo de la conducción del agua al punto donde se aplica el fluoruro es | 2,176 lpm   |
| 2. La concentración óptima de fluoruro que se desea obtener es                        | 0.90 mg/l<br>(véase el capítulo 5)                  |
| 3. El contenido más bajo de fluoruro que se ha encontrado en el agua no tratada es    | 0.15 mg/l<br>(véase el capítulo 5)                  |
| 4. La cantidad máxima de fluoruro que va a dosificarse es                             | 0.75 mg/l<br>(la diferencia entre las líneas 2 y 3) |

Puesto que 1.0 mg/l es igual a 1 kg por millón de litros (véase el capítulo 1, página 4, para la definición y explicación de esta proporción), entonces:

5. 0.75 mg/l requieren 750 g de ion fluoruro, por millón de litros de agua

y:

6. A la razón de 2,176 l/min:  $2,176 \times 0.75 \text{ mg/l} = 1,630 \text{ mg}$

Se requieren 1.63 g/min de ion fluoruro.

Si, por ejemplo, esta cantidad de ion fluoruro fuera a obtener del fluoruro de sodio, tendríamos que proporcionar  $1.63 \times 2.21 = 3.6 \text{ g}$  de este compuesto, con una pureza de 100 por ciento, por cada minuto ó 216 g/h. La cifra 2.21 es la cantidad (en gramos) de fluoruro de sodio requerida para obtener cada gramo de ion fluoruro. Se calcula dividiendo el peso combinado del fluoruro de sodio (42) entre el peso equivalente del ion fluoruro (19) ó  $42/19 = 2.21$ .

Como se señala en el cuadro 7.1 (página 100), es probable que lo mejor sería dosificar esta cantidad de fluoruro con una solución de fluoruro de sodio al 4 por ciento (saturada), utilizando un dosificador de solución.

Para calcular la razón de descarga requerida de un dosificador, debemos computar el fluoruro disponible del saturador de este compuesto. Una solución al 4 por ciento contiene 4 g de fluoruro de sodio, con una pureza del 100 por ciento, en cada 100 ml de agua. Esto proporciona 1.8 g de ion fluoruro por 100 ml de agua ( $4.0/2.21 = 1.8$ ). Con los cálculos de la línea 2, anteriormente citados, se demostró que se requerían 1.63 g de ion fluoruro por minuto, para fluorurar 2,176 litros de agua por minuto, con el fin de obtener un nivel de 0.75 mg/l. Por lo tanto, necesitaremos  $1.63/1.8 \times 100 = 91 \text{ ml}$  de una solución de fluoruro de sodio al 4 por ciento, por minuto.

Otra forma de calcular esta razón sería considerar el problema como una proporción:

$$\frac{0.75 \text{ mg/l}}{18,000 \text{ mg/l}} = \frac{\text{ml de sol. al 4\% requeridos por min } (x)}{2,176 \text{ lpm} \times 1,000 \text{ ml/l}}$$

Entonces, resolviendo para la incógnita tenemos:

$$x = \frac{1,640,000}{18,000} = 91 \text{ ml/min}$$

Por las descripciones de los diferentes tipos de dosificadores de solución, puede verse que casi todos los fabricantes pueden producir un aparato de esta capacidad. Una vez que se han seleccionado el compuesto de flúor y el tipo del dosificador, es necesario seleccionar una marca en particular desde el punto de vista de exactitud, requisitos de presión, facilidad de ajuste, requisitos de mantenimiento y costo. Cuando esto se haya decidido, debe pensarse en las diferentes piezas de equipo auxiliar que se describen en el capítulo 8.



## *Equipo auxiliar de los dosificadores*

### *Control del dosificador*

Una vez que se ha determinado el tipo y tamaño del dosificador; pero antes de ordenarlo, debe decidirse sobre cómo se controlará dicho aparato. Puesto que los fluoruros deben dosificarse con mayor exactitud que cualquier otro compuesto químico utilizado en el tratamiento de aguas, debe pensarse bien en la forma de cómo lograr que dicha dosificación sea la más exacta y económica posible.

El control puede ser manual o automático. El manual puede ser muy exacto bajo condiciones ideales; pero requiere una vigilancia constante y un alto grado de habilidad para obtener un nivel de fluoruro que pueda mantenerse constante durante largos períodos. El control automático, por otro lado, resulta ser casi siempre la forma de dosificación más exacta. También permite que el personal que tiene que dirigir el funcionamiento del aparato, tenga tiempo libre para otros trabajos. Siendo un método que inherentemente es más exacto, el control automático constituye un sistema más seguro para dosificar fluoruros y tiende a ahorrar compuesto, evitando sobrealimentaciones. Sin embargo, la provisión del control automático es algo costosa y requiere un mantenimiento adicional.

Los métodos que se describen en este capítulo para el control automático, incluyen numerosos sistemas y principios diferentes que involucran la combinación de mecánica, hidráulica, electrónica y química. Posiblemente producirán asombro entre los legos, pero en las industrias química y de tratamiento de aguas, son las "herramientas de oficio".

El control manual se obtiene ajustando a mano el dosificador, para cada cambio en las condiciones que puedan afectar el nivel final de fluoruro. La más común y notable de esas condiciones es un cambio en el agua que va



a tratarse. Sin embargo, pueden presentarse muchas otras causas que producen cambios en los niveles de fluoruro. Estas incluyen cambios en la pureza del fluoruro, variaciones en sus características de disolución y cambios en el nivel de fluoruro del agua cruda. En todo caso, la concentración de fluoruro debe determinarse periódicamente y hacerse a mano el ajuste correspondiente, en el mismo dosificador. Este sistema se usa generalmente en las mayores plantas de tratamiento de agua, que continuamente pueden contar con servicios adecuados de laboratorios analíticos, en donde tienen técnicos expertos que constantemente atienden y ajustan los dosificadores y en las que pocos o ningún cambio impredecible puede registrarse en la cantidad y calidad del agua no tratada.

Existen dos sistemas de control automático. Puesto que la cantidad de agua es la variable que más comúnmente se encuentra y, generalmente, tiene el mayor efecto en el nivel de fluoruro, la mayoría de los sistemas de control se basan en un ajuste automático del dosificador, dependiendo de la cantidad de agua por tratarse. El otro sistema de control automático de los dosificadores de fluoruro, se basa totalmente en el nivel de fluoruro del agua tratada. Por supuesto, esto requiere el análisis automático continuo de los fluoruros del agua tratada, así como medios para ajustar el dosificador, con el fin de mantener constante el nivel de fluoruro preestablecido. En el capítulo 10 se describe el aparato requerido para realizar este trabajo.

En el primero de estos dos sistemas, conocido comúnmente como "de pasos", el dosificador se ve forzado en forma automática a ir al par con la cantidad de agua que va a tratarse: aumentando la cantidad de fluoruro dosificado cuando la cantidad de agua por tratarse aumenta, y reduciendo la cantidad dosificada cuando la proporción de agua descende.

Un sistema de pasos requiere la inclusión de tres piezas de equipo, además del dosificador: 1) un dispositivo sensorial para determinar la magnitud de cambio en la cantidad de agua que se está tratando, 2) un sistema de transmisión para conducir una señal que indica la necesidad de cambiar el ajuste del dosificador y 3) un medio para cambiar la descarga de dicho aparato.

*Dispositivos primarios (medidores).* Uno de los problemas difíciles es seleccionar el dispositivo primario más económico para medir la cantidad de agua que va a tratarse, con la mayor exactitud y conmensurada con el costo. Por lo general, existe un mejor dispositivo para ese fin, de acuerdo con cada instalación, por lo que el caso debe estudiarse con cuidado cuando vaya a hacerse esta selección. Los factores que afectan el tipo de dispositivo que va a seleccionarse, incluyen la cantidad de agua que va a medirse, la exactitud deseada, la calidad del agua, su presión en el punto de medición, las variaciones máximas en el flujo, el tamaño de las tuberías, la cantidad de pérdida de presión que puede tolerarse al pasar a través de un dispo-

sitivo de medición y el espacio de que se dispone para su instalación. Se darán descripciones someras de los dispositivos de uso más generalizado de que se dispone para medir diversas cantidades de agua; muchos otros se omiten debido a que se utilizan principalmente para medir líquidos que contienen suspensiones u otro tipo de impurezas o para medir aceite, aire, aguas negras u otros fluidos.

Los aparatos de medición que en la actualidad no se usan comúnmente en los sistemas de abastecimiento de agua, incluyen tubos Pitot, medidores de área variable, canales medidores como el Parshal u otros abiertos, y vertederos. La descripción de todos ellos se omite, no sólo porque tales dispositivos son demasiado inexactos para este fin, sino también porque muchos de ellos están destinados principalmente a medir otros líquidos que no sean agua. Los que se verán incluyen a medidores de desplazamiento, de corriente y de hélice, placas de orificio, tubos Venturi, tubos de Dall y Gentile, toberas y medidores de flujo magnético. Excepción hecha de los medidores de desplazamiento, de corriente, de hélice y de flujo magnético, el funcionamiento de todos se basa en el principio de la creación de un diferencial de carga entre los lados de aguas arriba y aguas abajo del dispositivo de medición.

El aparato que más comúnmente se usa para medir cantidades de agua, es el contador de desplazamiento (de pistón oscilador o de disco de inclinación). El principio de operación es el mismo para ambos tipos. En una cámara de medición se ajusta un pistón (fig. 8.1) o un disco (fig. 8.2), que gira dentro de ella (en el caso del disco, el movimiento es una combinación de rotación y oscilación, es decir, un movimiento de inclinación). Por cada revolución del pistón se desplaza una cantidad definida de agua. El movimiento de rotación del pistón se convierte a una unidad conveniente de medición (centímetros cúbicos, metros cúbicos, litros, etc.) en una carátula graduada, mediante los trenes de engranajes necesarios. Los medidores de este tipo pueden encontrarse en tamaños para tuberías de 1/2 pulgada (cuerpo de 5/8 de pulgada) hasta 6 pulgadas. Las razones correspondientes de descarga son de 3.0 a 2,650 lpm. Sin embargo, la gran mayoría de este tipo de medidores se hacen en tamaños de 1/2 ó 3/4 de pulgada, para medir las cantidades de agua que se usan en casas, apartamentos pequeños y hoteles. Se emplean principalmente en donde la variación en flujo va desde un valor muy pequeño hasta uno bastante grande. Su característica más notable es su capacidad de medir con exactitud hasta los flujos más pequeños. Su exactitud es del orden de 1/2 a 1 1/2 por ciento. Por esta razón, son idealmente apropiados para adaptarse a pequeños dosificadores de fluoruro, cuando se usan en los abastecimientos de agua caseros o en las plantas de tratamiento más pequeñas. Su costo varía de 30 dólares para el más pequeño, hasta 1,500 dólares para los de 6 pulgadas. La pérdida de carga del medidor de 6 pulgadas a 2,650 lpm, es 0.7 kg por cm<sup>2</sup>.

Los medidores de velocidad, turbina o corriente, son de dos tipos: los destinados principalmente para el consumo doméstico de agua y los que se usan en las plantas de agua o estaciones de bombeo. Pueden intercambiarse fácilmente, dependiendo de las cantidades de agua que van a medirse. Como sucede con los medidores de desplazamiento, las especificaciones normales para estos medidores han sido formuladas por la American Water Works Association. Los medidores actuales que se emplean en los casos en que se trata de pequeñas cantidades de agua (fig. 8.3), están descritos

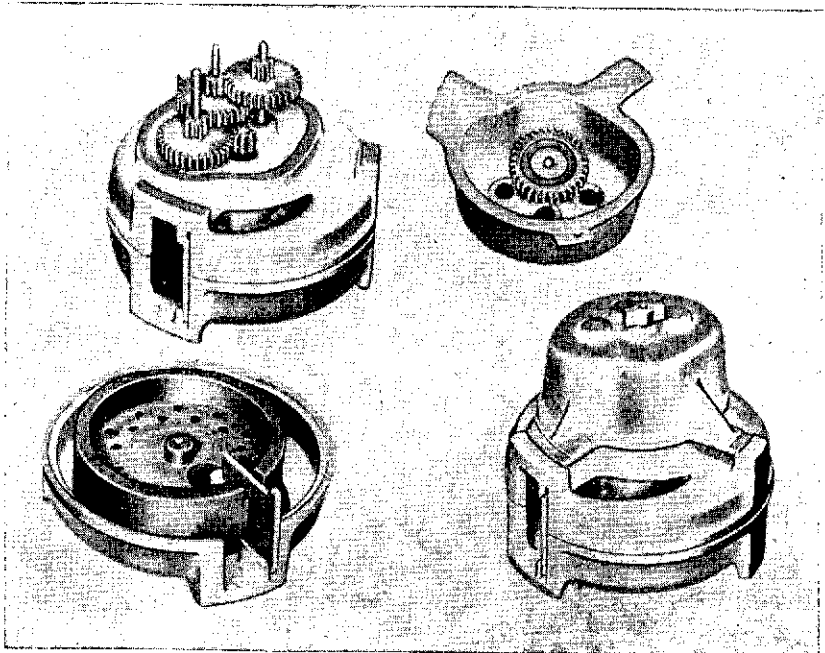


FIG. 8.1 Medidor de Pistón. (Rockwell)

en la Especificación C701 de la AWWA. Los medidores de este tipo se distinguen porque su cámara de medición es desmontable. También, la turbina gira casi siempre sobre un plano horizontal y el registrador de la parte superior está directamente conectado al eje de la turbina. El impacto del flujo del agua sobre las paletas de la turbina, hace que su eje gire a una velocidad proporcional a dicho flujo. El eje se conecta al registrador, por medio de un tren de engranajes y la cantidad indicada de agua es proporcional a las revoluciones de la turbina.

Los medidores de turbina se fabrican en tamaños de tubo de  $1\frac{1}{2}$  a 20 pulgadas. Los tamaños que más se utilizan quedan entre las 2 y 10 pulgadas y corresponden a flujos nominales de 950 a 21,000 lpm. Sin embargo, para los tamaños mayores de 6 pulgadas se ha encontrado que los medidores

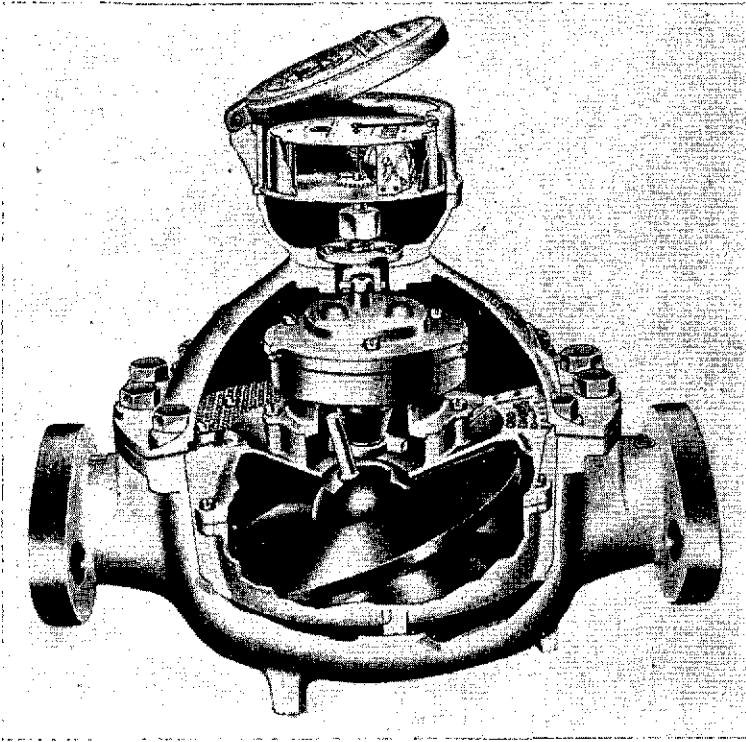


FIG. 8.2 Medidor de disco. (Rockwell)

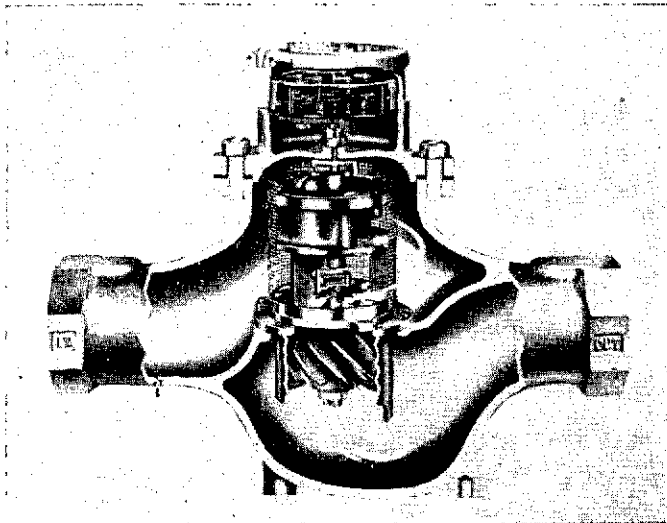


FIG. 8.3 Medidor de corriente. (Rockwell)

de hélice son más económicos no sólo en la inversión inicial, sino también en que tienen pérdidas de carga más bajas. Las ventajas de los medidores actuales son que pueden dejar pasar grandes cantidades de agua, con un menor daño a las partes móviles y con pérdidas de carga comparablemente inferiores. Por otro lado, esos medidores no son muy valiosos para la medición de flujos más reducidos. Por ejemplo, un medidor de corriente de 2 pulgadas no puede medir con exactitud flujos inferiores a 38 lpm y no registrará en absoluto flujos menores de 8 a 10 lpm. Son ideales para razones de flujo moderadas y relativamente constantes, como las que provienen de una bomba de pozo sin estrangulador. Su exactitud es del orden del 2 por ciento. Como sucede con otros medidores mecánicos, se requiere un mantenimiento cuidadoso con el fin de obtener la mayor exactitud posible. Un medidor de turbina con un registrador estándar para conexiones de tubería de 4 pulgadas (con una capacidad máxima de 3,400 lpm), cuesta aproximadamente 500 dólares. Al igual que los medidores de desplazamiento, el conteo se logra agregando un contador eléctrico o una varilla de impulso al eje del registrador.

Los medidores de turbina y de desplazamiento son fabricados por:

Badger Meter Manufacturing Company, Milwaukee, Wisconsin, E.U.A.

Buffalo Meter Company, Inc., Buffalo, Nueva York, E.U.A.

Hersey-Sparling Meter Company, Dedham, Massachusetts, E.U.A.

Kent Meters, Lt. Luton, Inglaterra

Neptune Meter Company, Nueva York, E.U.A.

Rockwell Manufacturing Company, Pittsburgh, Pensilvania, E.U.A.

Well Machinery & Supply Company, Fort Worth, Texas, E.U.A.

Worthington Corporation, Harrison, Nueva Jersey, E.U.A.

Los medidores compuestos, que combinan en el mismo receptáculo un medidor de desplazamiento y uno de corriente, se utilizan en los casos en que deben medirse grandes variaciones en flujo (fig. 8.4). Puesto que deben estar equipados con dos registradores (y, en consecuencia, con dos contactores eléctricos), no se utilizan ordinariamente para la medición por pasos de los dosificadores de fluoruro. La complejidad de los accesorios eléctricos necesarios para convertir los contactos eléctricos a períodos de la operación del motor del dosificador, tiene como resultado una instalación bastante costosa. Si dicha instalación no puede evitarse, posiblemente será más económico proporcionar un dosificador por separado para cada contactor eléctrico.

La especificación C704 de la AWWA describe el medidor de hélice, que es el otro tipo de medidor de corriente; generalmente se inserta directamente en la tubería (fig. 8.5). Está equipado con una hélice que gira en un plano vertical y en la corriente del agua. Se supone que la velocidad de rotación

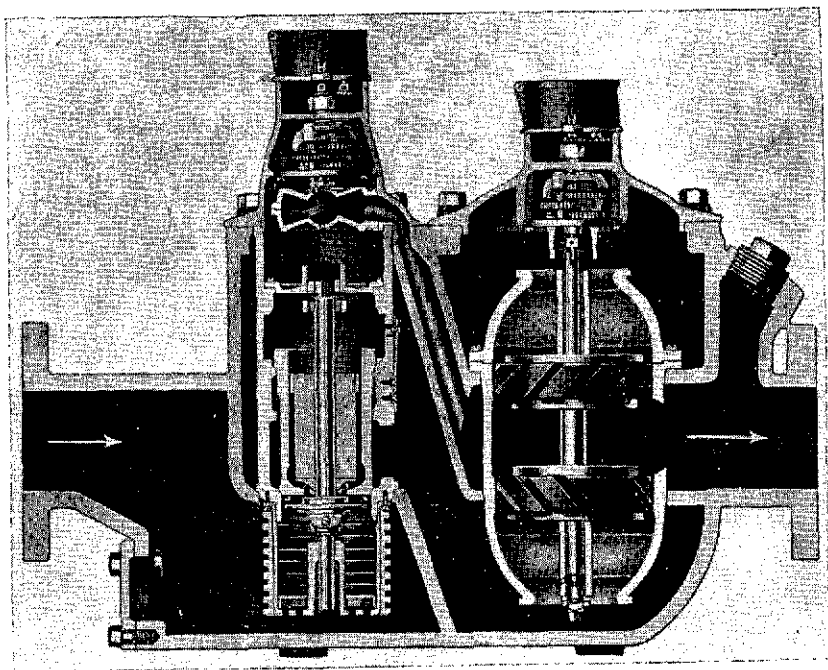


FIG. 8.4 Medidor de turbina. (Kent)

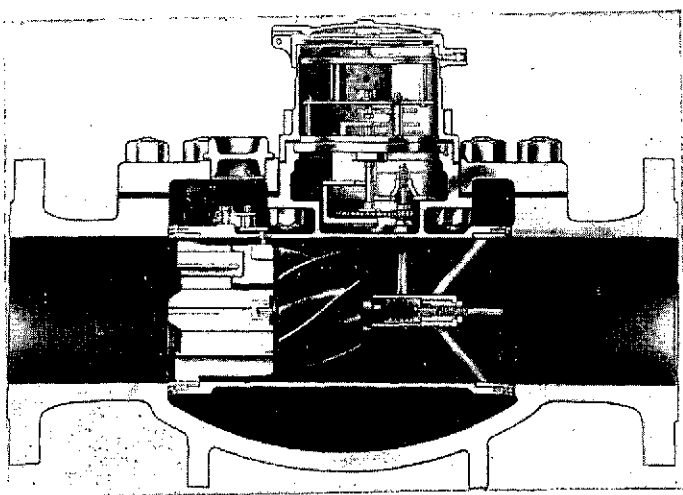


FIG. 8.5 Medidor de hélice. (Kent)

es proporcional a la velocidad de agua y el registrador, impulsado por medio de engranajes, está diseñado para indicar la cantidad de agua que pasa por la hélice. Los medidores de hélice pueden encontrarse en tamaños que van desde 2 hasta 72 pulgadas, con capacidades desde 300 hasta más de 227,000 lpm. Cada medidor de hélice tiene un flujo mínimo específico recomendado, debajo del cual disminuye su exactitud. Por ejemplo, un medidor de 6 pulgadas no debe utilizarse para flujos inferiores a 340 lpm. Por esta razón, este tipo no debe instalarse nunca en casos en que se desee registrar o indicar flujos que, aun ocasionalmente, son inferiores a los mínimos recomendados.

También es necesario diseñar la tubería que queda cerca de los medidores de hélice, para que el tubo que lo contiene tenga siempre un flujo completo de agua. La exactitud se ve afectada cuando el agua fluye por la tubería parcialmente llena. Teniendo una aplicación correcta y un mantenimiento cuidadoso, los errores no deben ser superiores al 2 por ciento. Este tipo de medidor es muy conveniente en los casos en que deben medirse grandes cantidades de agua y en donde se desea una exactitud relativamente alta. También es muy fácil de instalar, debido a que el cuerpo del medidor es, básicamente, una pequeña sección de tubería. Puede encontrarse para cualquier tipo de unión de tubería (de brida, de rosca, de macho y campana, soldada, etc.). Si no pueden utilizarse uniones de tuberías, los medidores pueden instalarse en tuberías ya existentes, insertando la hélice y su eje por un orificio cortado en el tubo y sujetando el conjunto sobre éste, con tuercas o soldadura. El costo es de aproximadamente 250 dólares para el tamaño de 2 pulgadas y 500 dólares para el de 6 pulgadas.

Como sucede con otros tipos de medidores, éste puede montarse con un medidor eléctrico o mecanismos de conteo hidráulico-mecánicos, conectados a los dosificadores de fluoruro, ya sea de solución o de material seco. Los detalles de estos aparatos se describen a continuación. Las siguientes compañías fabrican medidores de hélice:

B-I-F Industries, Providence, Rhode Island, E.U.A.

Measure-Rite Meter Company, Alhambra, California, E.U.A.

Sparling Meter Company, El Monte, California, E.U.A.

En todos los medidores antes descritos, se hace girar un eje vertical para impulsar una carátula indicadora (el registrador) utilizando un tren de engranajes. Este eje puede utilizarse también, para impulsar tres tipos de mecanismos para medir los pasos de los dosificadores del fluoruro. 1) Puede impulsarse un eje paralelo y vertical, mediante un conjunto de engranajes, sobre el que se monta una pequeña leva (fig. 8.6). Conforme gira esta leva, establece y rompe un circuito eléctrico moviendo el brazo de contacto de un microinterruptor o interruptor de mercurio. 2) Además,

puede utilizarse un eje vertical auxiliar impulsado por un tren de engranajes, para impulsar una pequeña manivela que hace que oscile una varilla de válvula. Esta válvula permite que el agua (aire comprimido o cualquier otro fluido que actúa) penetre en la cámara de impulsión de un dosificador de solución, ya sea de pistón alternativo o de diafragma. Los dosificadores de solución se utilizan generalmente en unión con este tipo de dispositivos primarios, debido a la cantidad relativamente pequeña de agua

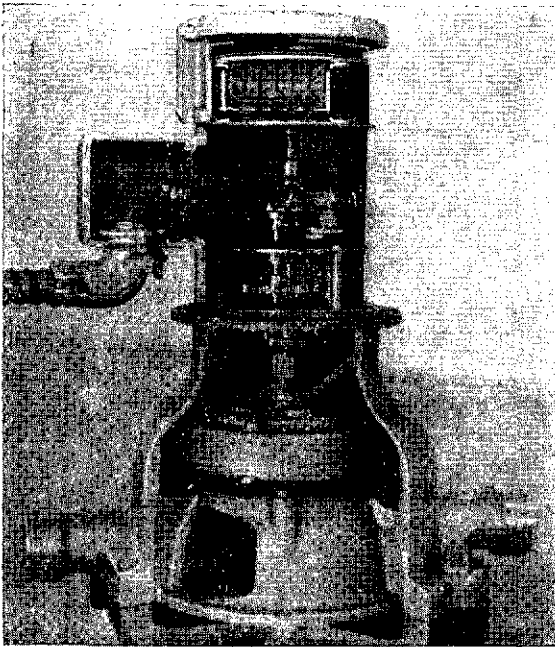


FIG. 8.6 Contactor eléctrico acoplado a un medidor de disco. (Hersey)

de que se trata. 3) El movimiento del eje vertical del medidor puede cambiarse mediante engranajes de ángulo, para producir un movimiento gíatorio de un eje horizontal que sobresale del receptáculo del medidor. El extremo de este eje va ajustado a una leva, para activar una válvula hidráulica que controla el agua que impulsa a un dosificador de solución de tipo diafragma.

La señal eléctrica producida por el primero de estos métodos, se utiliza en diversas formas para hacer variar la salida de un dosificador de fluoruro.

1. El impulso producido al cerrarse el microinterruptor, se emplea para hacer funcionar una válvula de solenoide (magnética) (fig. 8.7). La válvula puede usarse para permitir que el agua o el aire bajo presión accione, ya sea un dosificador impulsado por diafragma (fig. 8.8) o una válvula



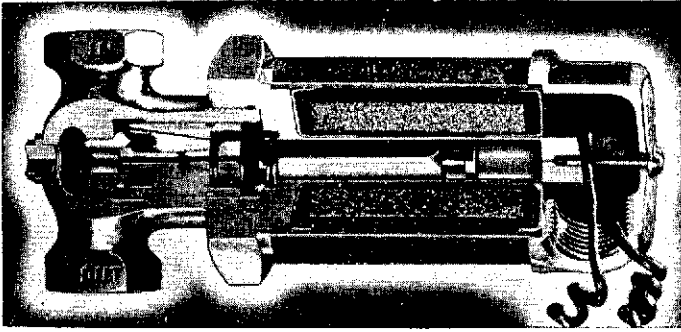


FIG. 8.7 Válvula de solenoide. (AKTOMATIC)

que funciona con un motor de aire (fig. 8.9), que esté en la línea de salida de la cámara de disolución de un dosificador de material seco.

2. El impulso proporcionado por el microinterruptor puede utilizarse para impulsar, en forma directa, el eje de un dosificador de diafragma accionado magnéticamente.

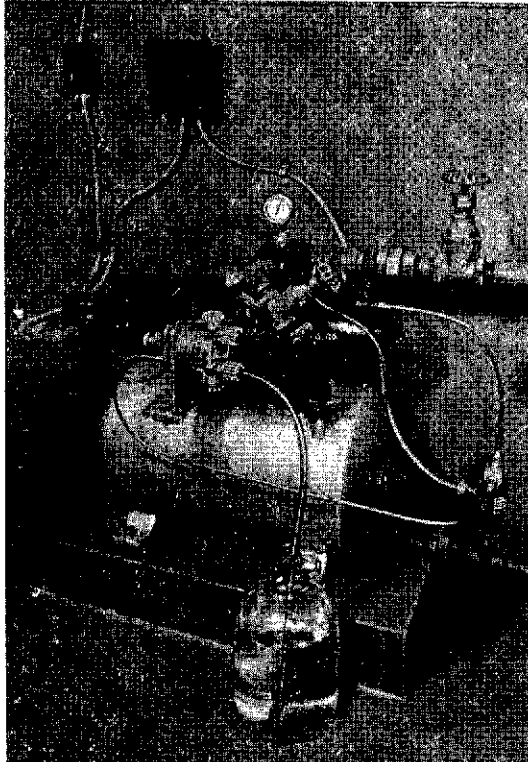


FIG. 8.8 Dosificador accionado hidráulicamente. (B-I-F Industries, Inc.)

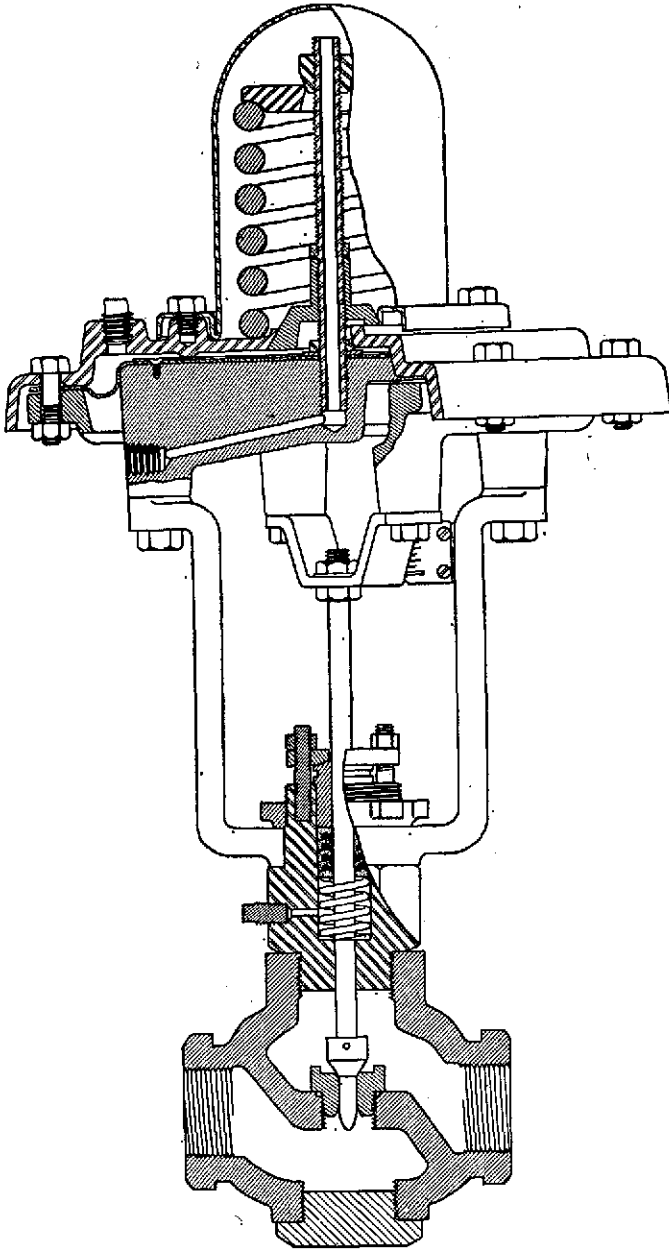


FIG. 8.9 Válvula impulsada con un motor de aire. (Foxboro)

3. Puede utilizarse el impulso de un microinterruptor, ya sea mediante relevadores eléctricos o en forma directa (dependiendo de los requisitos de energía), para accionar un embrague magnético o cambiador de banda en la flecha de un motor que impulsa a un dosificador.

4. Si los impulsos del microinterruptor son demasiado frecuentes para la capacidad de arranque y parada del motor del dosificador, pueden acumularse mediante un relevador tipo matraca, que le permite al motor funcionar durante un período de tiempo preseleccionado, después de que se ha recibido un grupo de impulsos.

5. Si se desea controlar los períodos de operación de un motor eléctrico, directamente a través del microinterruptor, deben proporcionarse los medios

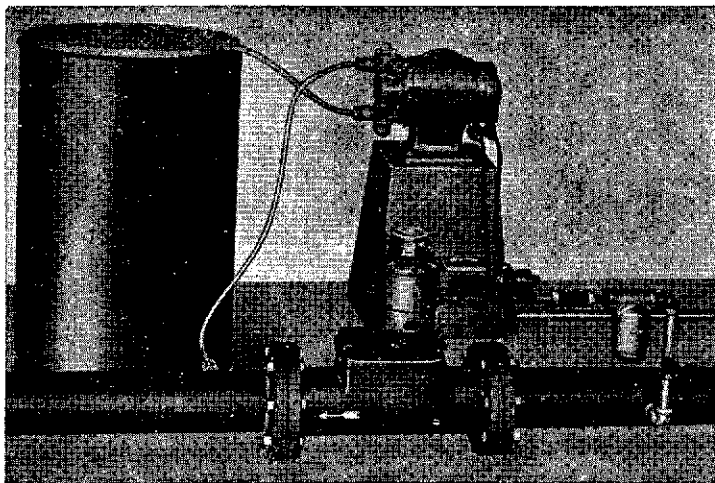


FIG. 8.10 Control del dosificador mediante una válvula de agua accionada por el medidor. (B-I-F Industries, Inc.)

para evitar que el dosificador funcione cuando el medidor está detenido en la posición de "ganancia" del interruptor. Esto puede hacerse insertando un regulador de impulsos entre el medidor y el motor del dosificador. De esta forma, cada contacto hecho por el microinterruptor impulsa al motor del dosificador durante un número preestablecido de minutos o de segundos.

La segunda forma de utilizar este tipo de medidor para el conteo de pasos (haciendo funcionar una válvula neumática o hidráulica), es el que se ilustra en la fig. 8.10, en donde se utiliza un dosificador que funciona hidráulicamente.

Como se señala, este dosificador tiene la misma carga de solución de fluoruro que los modelos impulsados por motor, que se describieron en el

capítulo 7; pero es impulsado por un diafragma, mediante la energía derivada del agua o aire bajo presión.

El tercer método (que utiliza el movimiento de rotación de un eje horizontal de la cabeza del medidor) es el que se ilustra en la fig. 8.11. El eje giratorio en este caso, hace funcionar una leva que abre una válvula del agua que lleva al diafragma operador de un dosificador alternativo de solución. Muchos tipos de medidores de agua pueden equiparse con este eje horizontal.

Existen otros métodos para controlar un dosificador, mediante un impulso eléctrico del medidor de agua: controlando la velocidad de un motor de corriente directa; automáticamente (con un motor eléctrico inversor o

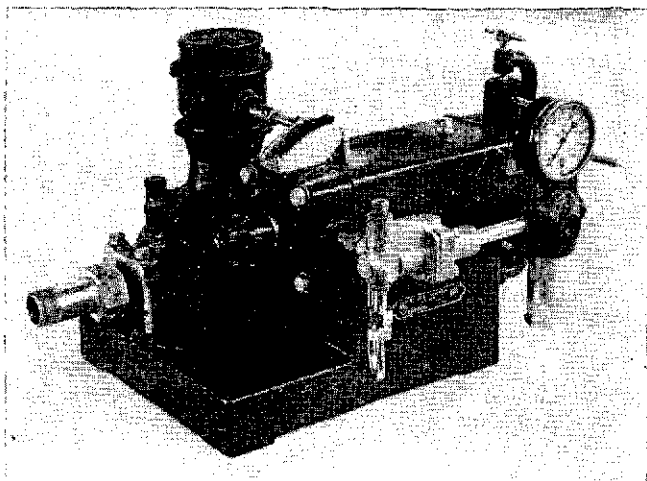


FIG. 8.11 Control del dosificador mediante el eje de la cabeza del medidor. (Wallace & Tiernan)

mediante un cilindro de aire) controlando la longitud de carrera del dosificador, o controlando la posición de la banda con un cilindro de aire o un motor inversor (y, por lo tanto, la velocidad del dosificador) de un motor impulsor de velocidad variable. Estos medios son casi siempre más complicados y costosos que los descritos.

*Dispositivos primarios de diferencial de presión.* Los sistemas de medición de diferencial de presión, consisten casi siempre en tres unidades básicas: un productor de la diferencia de presión, una unidad de transmisión para llevar al registrador o indicador la señal producida por el dispositivo primario y el registrador o indicador para medir la cantidad de la presión diferencial y traducirla a unidades de cantidades o proporción.

El funcionamiento de estos dispositivos se basa en los principios propuestos por G. B. Venturi (1746-1822). El dispositivo de medición es una

restricción colocada en una tubería de agua, que produce un incremento en la velocidad del líquido que pasa por ella, con una caída de presión consecuente. La magnitud de la diferencia de presión entre los lados de aguas arriba y aguas abajo de la restricción, es proporcional a la cantidad de agua que pasa por la obstrucción. La diferencia de presión se convierte, mediante manómetros o dispositivos eléctricos o neumáticos, a cualquier unidad conveniente de medición en el registrador o indicador. La obstrucción que produce la diferencia de presión puede ser una placa de orificio, varios tipos de secciones de tubo (Venturi, Dall o Gentile) y boquillas (fig. 8.14).

El dispositivo más común y sencillo en los sistemas de abastecimiento de agua potable, es la placa de orificio (fig. 8.12). Puede instalarse en tube-

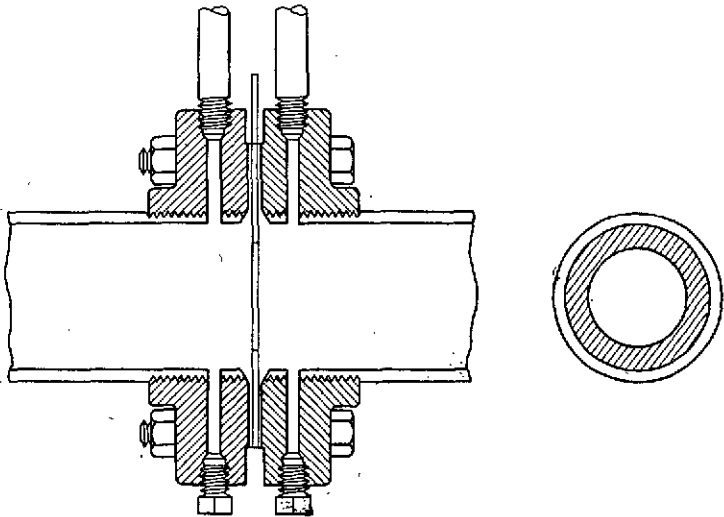


FIG. 8.12 Placa de orificio. (Foxboro).

rias de cualquier tamaño y bajo cualquier condición de presión. Si se instala correctamente y la tubería tiene flujo total, el diferencial de presión entre el agua arriba y abajo de la placa podrá reproducirse con una exactitud dentro de 0.5 por ciento, el 95 por ciento de las veces (ésta es una definición de exactitud que generalmente se emplea con los dispositivos primarios). El costo de instalación de las placas de orificio es inferior al de cualquier otro tipo, ya que sólo se necesita insertar la placa metálica en la tubería, por lo general en medio de dos bridas. Además, su inversión inicial es la más baja y cualquier buen técnico puede hacerlas fácilmente, de material de placas metálicas planas. Por estas razones, las placas de orificio se utilizan con mayor frecuencia que cualquier otro dispositivo primario. Sin

embargo, en los casos en que se requiere la mayor exactitud en flujos grandes o cuando sólo puede tolerarse una pérdida de carga muy pequeña, es mejor emplear los productores de diferencial de presión tipo tubo. Las placas de orificio para una tubería cuyo diámetro es de 6 pulgadas, cuestan 30 dólares cuando son de acero inoxidable y el registrador integrador puede costar 600 dólares. Todo este material puede obtenerse en: B-I-F Industries, Inc., Providence, Rhode Island, E.U.A. y Foxboro Company, Foxboro, Massachusetts, E.U.A.

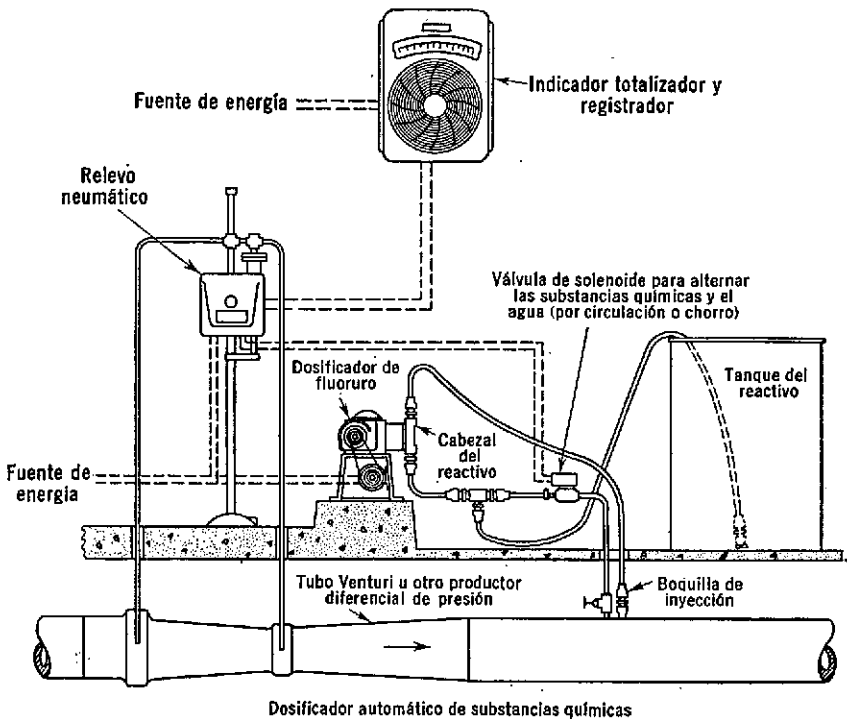


FIG. 8.13 Dosificación automática proporcional de compuestos químicos, utilizando el tubo Venturi. (B-I-F Industries, Inc.)

El tubo Venturi, inventado por Clemens Herschel en 1887, es uno de los dispositivos primarios más simples y eficaces. Como se ilustra en la figura 8.13, se inserta dentro de una tubería y forma parte de ella. El tamaño del tubo puede ser cualquier diámetro comprendido entre  $\frac{1}{2}$  pulgada y 10 pies (3 m). Conforme el flujo del líquido sigue su trayectoria a través de la porción de entrada del tubo, el diámetro más pequeño produce un incremento rápido en la velocidad, con una correspondiente reducción en la presión (véase la fig. 8.14). Después de llegar al lugar del diámetro más pequeño (la garganta) el flujo se desacelera gradualmente hasta que

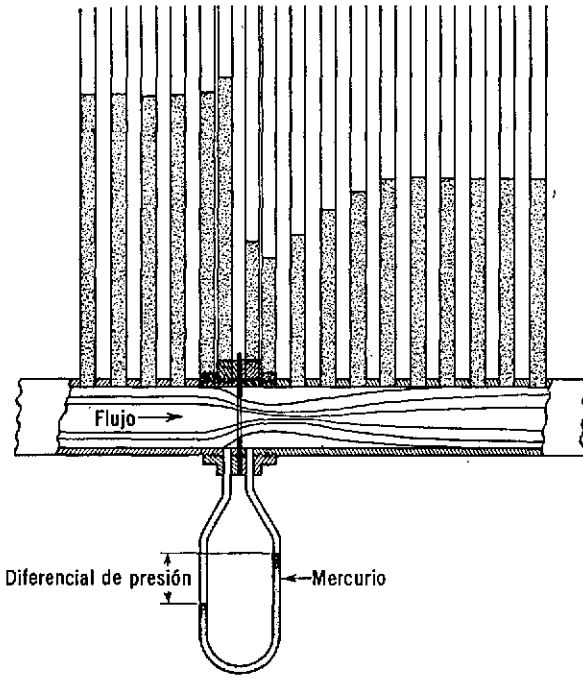


FIG. 8.14 Variaciones de presión mediante un dispositivo primario de diferencial de presión. (Foxboro)

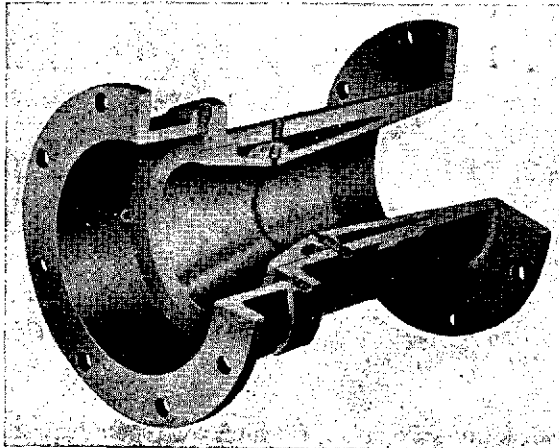


FIG. 8.15 Tubo de Dall. (B-I-F Industries, Inc.)

vuelve a obtenerse el diámetro total del tubo. Las cámaras construidas en la sección de entrada y en la garganta, sirven como conexión con el exterior del tubo y llevan al sistema de transmisión de señal. El funcionamiento de las boquillas de inserción, los tubos de Dall (véase la fig. 8.15) y los de Gentile, es similar al de los Venturi. Estos últimos requieren una mayor longitud de apoyo [por ejemplo, un tubo Venturi de 12 plg (30 cm) puede tener hasta 8 pies (2.5 m) de largo] y son considerablemente más costosos. Por ejemplo, un tubo Dall de 6 plg (15 cm) cuesta 250 dólares. Sin embargo, su uso puede justificarse económicamente mediante los ahorros que se realizan en los costos de bombeo, ya que su pérdida de carga es baja. Un tubo Venturi de 6 plg (15 cm) cuesta 600 dólares. El mismo tipo de registrador indicador requerido para las placas de orificio, cuesta 600 dólares. Esos tubos son fabricados por:

B-I-F Industries, Inc., Providence, Rhode Island, E.U.A.  
Foster Engineering Company, Union, Nueva Jersey, E.U.A.  
Foxboro Company, Foxboro, Massachusetts, E.U.A.  
Infilco, Inc., Tucson, Arizona, E.U.A.  
Minneapolis-Honeywell Regulator Company, Minneápolis, Minnesota,  
E.U.A.  
Simplex Valve & Meter Company, Lancaster, Pensilvania, E.U.A.

Los instrumentos que indican o registran el flujo a través de dispositivos de diferencial de presión son fabricados por:

Bailey Meter Company, Cleveland, Ohio, E.U.A.  
B-I-F Industries, Providence, Rhode Island, E.U.A.  
Fischer & Porter Company, Hatboro, Pensilvania, E.U.A.  
Foxboro Company, Foxboro, Massachusetts, E.U.A.  
Hagan Corporation, Pittsburgh, Pensilvania, E.U.A.  
Infilco, Inc., Tucson, Arizona, E.U.A.  
Minneapolis-Honeywell Regulator Company, Minneápolis, Minnesota,  
E.U.A.  
Republic Flow Meters Company, Chicago, Illinois, E.U.A.  
Simplex Valve & Meter Company, Lancaster, Pensilvania, E.U.A.

El medidor de flujo magnético, aunque no tiene un uso muy difundido en los sistemas de tratamiento de aguas hoy en día, tiene ciertas ventajas inherentes que puede asegurar una consideración decidida en la medición de agua en el futuro. Consiste en una sección corta de tubo no magnético, electrodos en su superficie interna, un electroimán que lo rodea y algún medio para conducir, amplificar e indicar la corriente generada. El medidor es, básicamente, un generador de corriente alterna en el que



el agua conductiva que fluye induce un voltaje cuando pasa por el campo magnético. El voltaje es proporcional a la velocidad del agua y los registradores e indicadores pueden adaptarse fácilmente, para producir lecturas en cualquier unidad de volumen. Su exactitud extrema (del orden del 1 por ciento a escala total), junto con la del registrador, hacen que muchas instalaciones tengan una exactitud de lectura del 1.5 por ciento. Además, no se ven afectados por la densidad y temperatura del agua o por lechadas, ni requieren una corriente recta de la tubería de aguas arriba. Un medidor de flujo magnético de 6 pulgadas, con registrador, cuesta alrededor de 3,000 dólares.

### *Transmisión de la señal*

Los dosificadores químicos se colocan, casi invariablemente, a cierta distancia del dispositivo primario, debido a los diferentes requisitos de funcionamiento que se describen en el capítulo 9. En algunos casos, esta distancia puede medirse en kilómetros, aunque generalmente tanto el dispositivo sensor como los dosificadores, están ubicados en el mismo edificio. La señal generada por el aparato primario puede enviarse al dosificador eléctrica, neumática, hidráulica o mecánicamente. Además, existen medios por los que estos sistemas pueden cambiarse de uno a otro. Por ejemplo, si el dispositivo primario produce un impulso eléctrico (como sucede en un medidor de agua que está equipado con contactor eléctrico), puede obtenerse algún equipo que permita que esta señal sea convertida a una neumática y transmitir ese cambio en la presión del aire, al dispositivo activador del dosificador.

Los dispositivos primarios más comunes que se utilizan en las plantas de tratamiento de agua son los que emplean una diferencia en la presión del agua. Miden indirectamente el flujo produciendo un cambio en la carga de velocidad y midiendo esta diferencia, puede inferirse la velocidad del agua a través de una superficie constante transversal. Conociendo la superficie transversal del pasaje en donde se observa la diferencia de presión, se puede calcular el volumen del agua que pasa por ahí.

Esta diferencia en la presión se transmite por tuberías a un manómetro de mercurio. Ahí (fig. 8.16) el ascenso y descenso del nivel de mercurio producido por la diferencia de presión, hace que un flotador se eleve o descienda a lo largo de una distancia proporcional. El flotador, a su vez, se conecta por medio de ejes y engranajes a una manecilla o a una pluma que indica o registra el flujo en cualquier instante. La diferencia en la presión puede transmitirse también por medio de tuberías, a diferentes tipos de celdas de equilibrio de fuerza (fig. 8.17). La presión controlada del aire de tales dispositivos no sólo se usa para el registro, sino también puede emplearse para controlar la salida de los dosificadores de cualquier tipo.

La distancia entre el dispositivo primario y el manómetro debe ser tan corta como sea posible —menos de 22 m—. Para distancias más grandes, la señal debe transmitirse ya sea neumática o eléctricamente; en la actualidad, el sistema neumático parece ser el más seguro y económico. Además, el mantenimiento del equipo de transmisión automática es, casi siempre, más simple

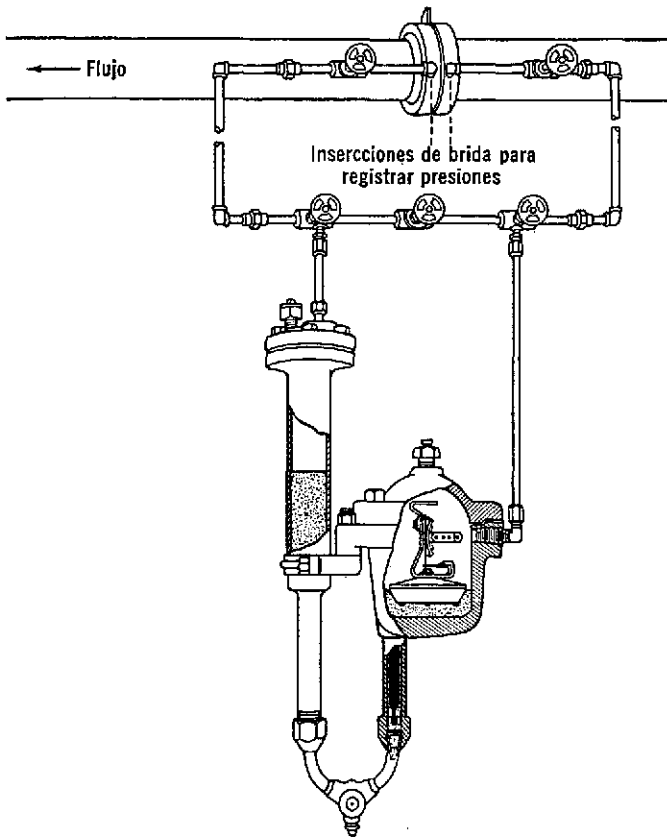


FIG. 8.16 Instalación de un manómetro de mercurio. (Foxboro)

y los componentes se ven menos afectados por la atmósfera húmeda que generalmente se encuentra en las plantas de tratamiento de agua.

Los fabricantes que producen equipos de transmisión neumática proporcionan también equipo eléctrico. Entre ellos están:

Askania Regulator Company, Chicago, Illinois, E.U.A.

B-I-F Industries, Providence, Rhode Island, E.U.A.

Bristol Company, Waterbury, Connecticut, E.U.A.

Foxboro Company, Foxboro, Massachusetts, E.U.A.

Minneapolis-Honeywell Regulator Company, Minneapolis, Minnesota, E.U.A.

Simplex Valve & Meter Company, Lancaster, Pensilvania, E.U.A.

*Transmisión neumática.* Es imposible ofrecer una descripción detallada de las diferencias entre estos dispositivos, ya que el tema es sumamente técnico y para explicar a fondo dichas diferencias, se requeriría todo un texto. Sin embargo, todos ellos son básicamente similares en que utilizan

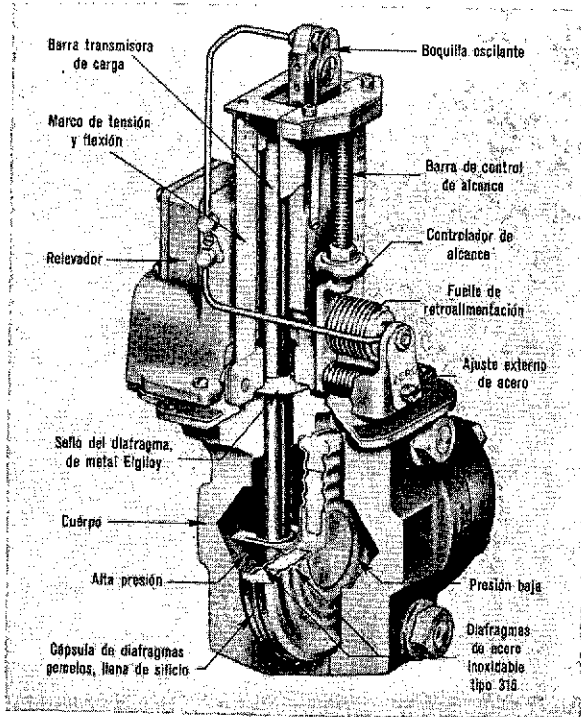


FIG. 8.17 Relevador neumático. (Foxboro)

el mismo principio de funcionamiento. La presión del aire en la línea de transmisión neumática, entre el dispositivo primario y el manómetro o el dosificador químico, se controla en forma tal, que es esencialmente proporcional al flujo que pasa por el primero. En todos los instrumentos, el control proporcional de la presión se logra utilizando una doble restricción en la línea de aire, una chapaleta y un relevador neumático (fig. 8.18).

Para la operación de este sistema de control, se requiere una fuente regulada a presión de aire limpio y seco para instrumentos (a una presión de 1.4 kg por cm<sup>2</sup>). Este aire pasa a través del orificio 1 y fluye hacia la atmósfera por el orificio 2. La cantidad de aire que escapa depende de la

posición de la chapaleta, que está cerca o alejada de la boquilla. El fulcro de la chapaleta va conectado a la aguja del brazo de pluma del indicador o registrador, que está ubicado por el flotador en el manómetro. Conforme cambia la posición de la chapaleta, se libera una cantidad mayor o menor de aire del sistema y la presión (incrementada mediante un relevador neumático) sobre el receptor (un diafragma, pistón o cualquier otro dispositivo accionado por aire) cambia casi en proporción directa a la posición de dicha chapaleta. De esta manera, la señal generada por las variaciones en el flujo del agua, puede transmitirse desde distancias bastante grandes (en algunos casos hasta 183 m) al mecanismo accionador (una válvula operada por diafragma, fuelles, pistón de aire) que controla la salida del dosificador de fluoruro. Esto se logra cambiando la posición de un reóstato colocado delante de un motor, un cambiador de velocidad (banda, engranajes o

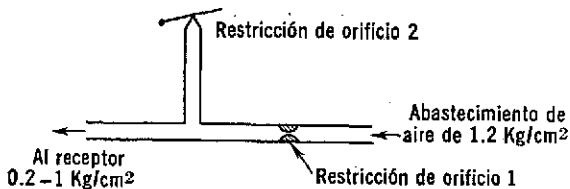


FIG. 8.18 Elementos básicos de la transmisión neumática. (Foxboro y Water Pollution Control Federation)

discos), la longitud de carrera del dosificador y muchos otros medios similares. Además, se utiliza el mismo principio para controlar un dosificador de fluoruro, de acuerdo con el contenido de esta sal en el agua tratada. En el capítulo 10 se hace una descripción de esto. Un equipo similar se utiliza para transmitir, registrar e indicar muchas otras variables mensurables; a saber, temperatura, presión, nivel de agua o compuesto químico en tanques o depósitos, viscosidad, fuerza, posición, humedad, pH, velocidad, gravedad específica, carga, momento de torsión, conductividad, consistencia y otras.

**Transmisión eléctrica.** Cualquier labor realizada por o que requiera de un sistema neumático, puede llevarse a cabo también utilizando una gran variedad de componentes eléctricos. La forma más sencilla de transmisión y control eléctricos, involucra el empleo de contactores eléctricos en medidores de agua. Un impulso eléctrico se produce cuando ha pasado una cierta cantidad de agua por el medidor. La frecuencia de contactos está gobernada por la selección de las proporciones de engranaje y la forma de la leva giratoria, que activa el microinterruptor o interruptor de mercurio del contactor. Los impulsos así producidos, se utilizan para accionar un dosificador ya sea mediante un impulso tipo solenoide, conectado directamente a una cabeza de reactivo, o bien a través de un relevador de retardo, que pone en marcha y detiene un motor o el eje impulsor de un dosificador.

Si, en lugar de un medidor de agua equipado con contactos eléctricos, el dispositivo primario empleado es un productor de diferencial de presión, entonces la presión se controla en forma tal que se ajuste un fuelle, diafragma o flotador de un manómetro. La posición así obtenida puede convertirse a una señal eléctrica, mediante potenciómetros, transformadores de diferencial, capacitores, bobinas de inducción, osciladores, fotómetros, motores sincro, interruptores operados por leva o cualquier combinación de éstos. Todos tienen sus ventajas individuales; pero al seleccionar el más apropiado para una aplicación dada, debe realizarse un estudio cuidadoso de las ventajas y los precios de los componentes que pueden utilizarse. En muchos casos, la selección final se basará en la economía que resulte del empleo de componentes similares al equipo existente. A este respecto, debe consultarse primero con el fabricante del equipo.

*Transmisión neumática vs. eléctrica.* La cuestión básica, por supuesto, es ver qué sistema debe seleccionarse antes de que se tome en consideración cualquier instrumento: los que funcionan con aire comprimido o los controlados por electricidad. En efecto, ambos proporcionan casi los mismos buenos resultados en la mayoría de las aplicaciones. En la actualidad, los instrumentos neumáticos predominan en las distancias más cortas de transmisión; pero la proporción general está cambiando gradualmente en favor de la eléctrica. La mayoría de los fabricantes de instrumentos están produciendo ahora ambos tipos, para trabajos similares. Las ventajas principales de los sistemas eléctricos son un tiempo de respuesta más rápido y una distancia de transmisión más larga. Si se cuenta con un sistema de telemedición que es, básicamente, un método de transmisión de señal tipo duración de impulso (para registrar e integrar flujos) su señal puede utilizarse directamente para controlar a pasos un dosificador. Este sistema es uno de los que más frecuentemente se prefieren en los sistemas de agua potable. Los sistemas neumáticos están limitados a aproximadamente 183 m y las líneas de aire tienen tendencia a taparse con la humedad, sobre todo en las temperaturas de congelación. Las desventajas de los instrumentos eléctricos son que generalmente cuestan más y no tienen, todavía, una señal estándar, los neumáticos tienen casi siempre una señal común de 0.2 a 1.0 kg/cm<sup>2</sup> de presión manométrica (0.103-0.1525 atm), que utilizan la mayoría de los fabricantes. Esto hace que todos los instrumentos neumáticos sean compatibles y puedan adaptarse fácilmente a cualquier sistema de este tipo. Por otro lado, la electricidad se encuentra en una gran variedad de voltajes (ya sea con corriente alterna o directa), frecuencias y otras características de la corriente, de tal suerte que es imposible hacer un intercambio que sea económico. Se han realizado también muchas críticas respecto a la calidad de los elementos del control final; por ejemplo, la falta de una válvula operada eléctricamente realmente segura. Los instrumentos eléctricos están sujetos también a la corrosión, cortocircuitos y otras fallas, debidas a la humedad

de la atmósfera que existe comúnmente en las plantas de tratamiento de agua. Parece que no existe un solo criterio sobre qué sistema requiere el menor mantenimiento. Sin embargo, debido a que los componentes eléctricos se producen en masa, en muchos casos, para la industria electrónica, generalmente son menos costosos que las partes para los sistemas neumáticos.

### Medios para cambiar la salida de los dosificadores químicos

La salida de un dosificador puede cambiarse en dos formas básicas:

1. Haciendo variar la velocidad de rotación, nutación o pulsación
2. Controlando la cantidad de compuesto químico descargado por carrera, revolución o pulsación

La velocidad de rotación, nutación o pulsación puede cambiarse como sigue:

*Si es eléctrica (de motor eléctrico):*

1. Cambiando el voltaje aplicado a un motor de corriente directa que impulsa al dosificador, se hace variar la velocidad de rotación. Los tubos tiratrón se emplean para convertir la corriente alterna a directa (fig. 8.19).

2. Mediante el enganche y desenganche de un embrague magnético que impulsa a un dosificador y, por lo tanto, poniéndolo en marcha y deteniéndolo durante intervalos controlados y con el motor funcionando continuamente.

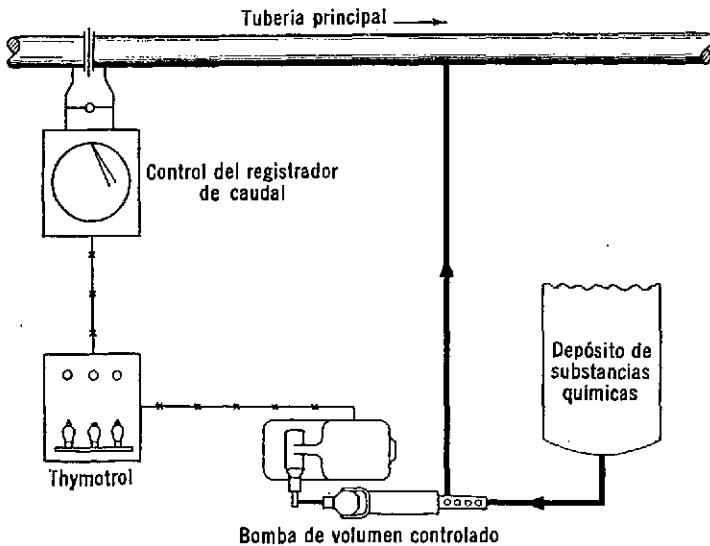


FIG. 8.19 Método de regulación de voltaje para controlar el dosificador. (Milton Roy).

3. Mediante un cambiador de banda accionado eléctricamente, en donde la polea puesta en marcha impulsa al dosificador. También aquí el motor funciona en forma continua.

4. Cambiando el ajuste de una transmisión variable. Tales cambios en la transmisión de velocidad pueden hacerse, eléctricamente, mediante motores pequeños, neumática o hidráulicamente por medio de cilindros de potencia.

5. Poniendo en marcha y deteniendo un motor en un ciclo cronometrado u otro dispositivo eléctrico de contacto. Este sistema (de duración de impulso) forma parte comúnmente, de los medidores convencionales de integración de flujos, con un relevador eléctrico para accionar el motor del dosificador. El relevador puede conectarse también a una válvula solenoide de tres pasos, en la línea de succión que va al dosificador. Cuando el solenoide está en la posición de alimentación, el dosificador se conecta a la fuente de la solución de fluoruro; cuando no está en esa posición, el dosificador bombea sólo agua.

Si se cuenta con un control *neumático o hidráulico*:

1. La frecuencia de carrera se controla haciendo variar la presión de un fluido actuante.

2. La longitud de carrera se controla por la posición del pistón en un motor reversible o de cilindro de potencia.

La segunda forma para cambiar la salida de un dosificador automáticamente, es haciendo variar la cantidad de material descargado por carrera o por pulsación, manteniendo constante la velocidad del motor o cualquier otra fuerza impulsora. Estos dispositivos se impulsan, generalmente, ya sea en forma eléctrica o con aire comprimido. Están diseñados para cambiar automáticamente el ajuste de la leva o la longitud de carrera de un dosificador de solución, dependiendo de la señal recibida del dispositivo primario. En un dosificador de material seco, puede hacerse que el control cambie el grado de movimiento impartido a la artesa de uno volumétrico de tipo vibratorio, o la amplitud de los dispositivos raspadores de los dosificadores volumétricos de trailla osciladora o de disco giratorio. Este sistema puede controlar también la abertura de las compuertas de los dosificadores gravimétricos de banda, que a su vez controlan la cantidad de compuesto que cae sobre ella.

#### *Accesorios del dosificador*

El equipo auxiliar necesario o conveniente para la operación de los dosificadores de solución de fluoruro, es diferente del que se utiliza para la alimentación de los compuestos secos. Por ejemplo, es necesario que los dosificadores de solución estén conectados a un tanque en el que se prepa-

ran y almacenan las soluciones. Además, pueden proporcionarse medios para registrar la cantidad de solución utilizada durante un intervalo dado y debe contarse con el equipo necesario para la seguridad de los operadores de la planta de tratamiento de agua.

Los tanques más sencillos para contener las soluciones, son los que se emplean para la preparación de soluciones de fluoruro de sodio, de una concentración aproximada del 2 por ciento (véase el capítulo 6). Estos tanques son, por lo general, de acero inoxidable o, más recientemente, de diferentes plásticos y tienen un tamaño tal que pueden contener la cantidad de solución necesaria para por lo menos un día. Deben proporcionarse medios para medir la cantidad de agua agregada al tanque, mediante un grifo instalado sobre éste. Debe usarse un mezclador, ya sea eléctrico o una paleta de mano, durante el tiempo suficiente para disolver todo el compuesto de flúor. Se requerirá una balanza pequeña para pesar el fluoruro de sodio que va a disolverse en cada cantidad medida de agua; para este propósito, una balanza de resorte es lo más apropiado. Puede instalarse en uno de los costados del tanque, un tubo indicador de nivel para controlar la descarga del dosificador de solución (fig. 8.17).

Para obtener soluciones saturadas de fluoruro de sodio, sin necesidad de hacer mediciones del agua o del compuesto químico, puede utilizarse un saturador de fluoruro de sodio. Este dispositivo, que se describe en el capítulo 7, puede adquirirse totalmente preparado junto con una entrada para agua, que se controla con un flotador, en la B-I-F Industries Inc. Por lo general, se instala un medidor en la tubería de agua para que la cantidad de solución de fluoruro de sodio al 4 por ciento que se saca, pueda medirse a intervalos regulares y computarse la concentración de fluoruro en el agua tratada, basándose en el volumen de ésta.

Para evitar o reducir la formación de fluoruro de calcio o magnesio (que son relativamente insolubles) en el saturador, dosificador, tuberías de la solución y boquilla de inyección, en ocasiones es conveniente pretratar el agua que se utiliza en el saturador o en la cámara de disolución de un dosificador de material seco. El calcio y el magnesio provienen de compuestos disueltos en el agua que se utiliza para hacer la solución de fluoruro y, con el fin de evitar la formación de costras o precipitados de estos elementos, el calcio o magnesio pueden extraerse o combinarse. Esto se logra suavizando el agua (véase la fig. 7.1) o tratándola con uno de los hexametáfosfatos (Calgon, Micromet o Nalco 918). Desde el punto de vista de la pérdida económica de fluoruros, debida a la formación de fluoruros de magnesio o calcio en un saturador, no se aconseja que se utilice un suavizador para aguas cuya dureza sea inferior a aproximadamente 80 mg/l. En muchos casos puede evitarse el taponamiento de un saturador, debido a estas causas, retrolavando el precipitado que se haya formado en el depósito. Cuando las boquillas de inyección (los dispositivos que se utilizan en el



extremo de la manguera de descarga de un dosificador de solución que se inserta por un robinete en la tubería, en el punto de aplicación de los fluoruros) se tapan con estas escamas, pueden quitarse y limpiarse periódicamente.

En las plantas en donde se requiere la coagulación, puede utilizarse un tanque de diseño especial (que se describe en el capítulo 6) para disolver el espato flúor ( $\text{CaF}_2$ ) en soluciones de alumbre de diferentes concentraciones. Las plantas de casi todos los tamaños pueden emplear este sistema, si la dosis mínima de coagulante es del orden de 10 mg/l, cuando la cantidad de ion fluoruro que debe agregarse es de 1.0 mg/l.

Cuando se utiliza el ácido fluosilícico se requieren tanques de acero con recubrimiento de hule, no sólo para almacenarlo, sino también como tanques de depósito y pesado (por día) para abastecer el dosificador de la solución ácida. Los tanques fabricados con materiales cerámicos no son apropiados, debido a la formación de ácido fluorhídrico en la superficie del líquido. Este ácido disuelve el recubrimiento de los tanques. El ácido fluosilícico se transfiere a los tanques de medición mediante bombas o por gravedad. Las bombas deben ser de acero Hastelloy o Carpenter 20. En muchos lugares se han utilizado tuberías de plástico, con muy buenos resultados.

La cantidad de ácido que se emplea puede determinarse fácilmente, registrando periódicamente (por hora o por día) el peso de ácido dosificado. Este se determina montando sobre básculas el recipiente de envío o el tanque de pesado del ácido. Estas lecturas se requieren para poder computar la concentración media real de fluoruro, que se basa en la cantidad de agua tratada y la del ácido utilizado entre pesados periódicos y sucesivos del ácido. Por supuesto, el mismo cálculo debe utilizarse en todos los sistemas de fluoruración, ya sea que se empleen compuestos secos o líquidos de fluoruro.

El brazo de las balanzas de plataforma puede conectarse a un registrador de peso, que llevará la cantidad de compuesto utilizado durante cualquier período. Estos registradores son muy valiosos para establecer la continuidad y exactitud de la dosificación de fluoruro.

Para un manejo seguro de los compuestos de fluoruro (que se verá en más detalle en el capítulo 11) los trabajadores de las plantas de tratamiento de agua deben contar con equipos diseñados para protegerlos de los efectos tóxicos al inhalar o ingerir en cualquier forma estos materiales. Cuando se manejan compuestos químicos secos y polvosos, deben facilitarse guantes de hule, mascarillas y delantales. Las máscaras pueden ser del tipo aprobado para polvos tóxicos (BM2101), equipados con filtros (BM2133). Pueden adquirirse en la Mine Safety Appliances Company, Pittsburgh, Pensilvania. Los operadores que manejan ácido fluosilícico, deben llevar guantes y delantales de hule, así como botas y, en caso de derrames, utilizar grandes cantidades de agua para diluirlas.

Las instalaciones de los dosificadores de material seco son más complicadas y costosas que el equipo similar para administrar líquidos. Estos sistemas consisten, casi siempre, en la combinación de dos o más dispositivos que son transportadores de material, tolvas, recolectores de polvo, básculas y registradores, así como medios para transferir la solución de fluoruro de la cámara de disolución del dosificador, al punto de aplicación.

Los transportadores, que se encuentran sólo en las plantas más grandes, se utilizan para mover los compuestos de fluoruro de las plataformas de descarga, tanto de tren como de camiones, hasta las tolvas de almacenamiento; y están diseñados para funcionar mecánica o neumáticamente. Los transportadores mecánicos son una combinación de elevadores de cubo y transportadores de tornillo o banda. Por lo general, están totalmente encerrados dentro de cubiertas metálicas bien ajustadas, para evitar la salida del polvo. Las siguientes compañías fabrican estos transportadores:

B-I-F Industries, Providence, Rhode Island, E.U.A.  
Bucket Elevator Company, Summit, Nueva Jersey, E.U.A.  
Hapman Conveyors, Inc., Kalamazoo, Michigan, E.U.A.  
Jeffrey Manufacturing Company, Columbus, Ohio, E.U.A.  
Link-Belt Company, Nueva York, Nueva York, E.U.A.

Los sistemas neumáticos involucran el movimiento de compuestos químicos dentro de tuberías, utilizando aire, ya sea bajo presión o vacío. Los compuestos químicos se sacan de los carros de ferrocarril o camiones, mediante una manguera de succión y se descargan en los tanques receptores. El aire usado se hace pasar por un separador o filtro de "ciclón", para quitar el polvo antes de descargarlo a la atmósfera. Las siguientes compañías fabrican, sobre orden, los sistemas neumáticos:

Allen-Sherman-Hoff Company, Wynnewood, Pensilvania, E.U.A.  
Daffin Manufacturing Company, Lancaster, Pensilvania, E.U.A.  
Day Company, Minneapolis, Minnesota, E.U.A.  
Dracco Corporation, Cleveland, Ohio, E.U.A.  
Fluidizer Company, Hopkins, Minnesota, E.U.A.  
Fuller Company, Cotasauqua, Pensilvania, E.U.A.  
Spencer Turbine Company, Hartford, Connecticut, E.U.A.

Las tolvas para almacenar los compuestos secos, hechas de madera, concreto o metal, se construyen casi siempre en la estructura de la planta de tratamiento o se hacen bajo orden, para colocarse en el espacio que queda entre el dosificador de material seco y el piso superior. Dependiendo de su tamaño, configuración y tipo de compuesto que almacenan, pueden estar

equipadas con aparatos para el control del polvo y vibradores (para mover el compuesto hacia la salida o cargadores de bolsas (fig. 8.20). Algunos fabricantes combinan el equipo de carga de barriles o bolsas, con los dispositivos para controlar el polvo. Estos pueden obtenerse en:

B-I-F Industries, Providence, Rhode Island, E.U.A.

Ducon Company, Mineola, Nueva York, E.U.A.

Metals Disintegrating Company, Summit, Nueva Jersey, E.U.A.

Pangborn Corporation, Hagerstown, Maryland, E.U.A.

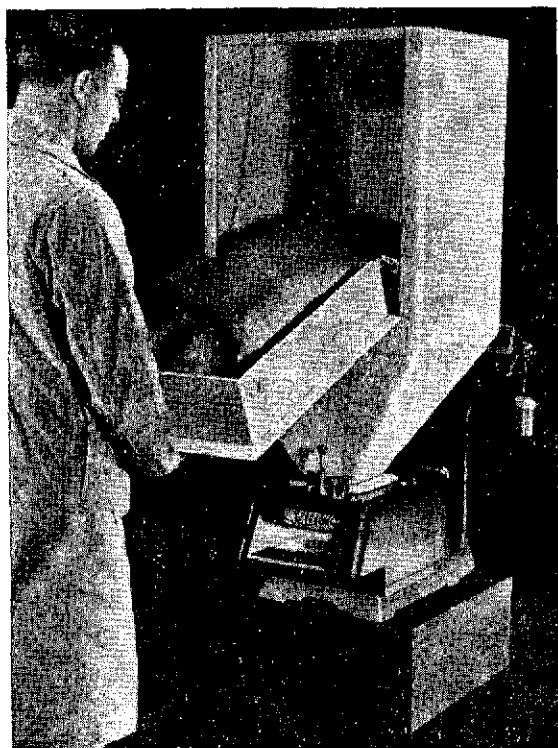


FIG. 8.20 Cargador de bolsas. (B-I-F Industries, Inc.)

Los vibradores para las tolvas pueden adquirirse en: Eriez Manufacturing Company, Erie, Pensilvania, E.U.A. y Syntron Company, Homer City, Pensilvania, E.U.A.

Los fabricantes pueden equipar a la mayoría de los dosificadores de material seco con gráficas accionadas por un mecanismo de reloj, para registrar la cantidad de material que se va descargando. Debe contarse con un dispositivo como éste en todas las instalaciones, no sólo para tener un registro de las cantidades dosificadas, sino también para calcular (conociendo la

cantidad de agua tratada por las lecturas del medidor) la concentración de fluoruro mantenida en el agua tratada.

Después de que el compuesto químico se ha disuelto en agua en la cámara de disolución (véase el capítulo 7) del dosificador de material seco, debe quitarse y agregarse a la corriente de agua principal en el punto de aplicación. Esto se hace por gravedad (fig. 8.21), con un eductor o con una bomba. Si se hace por gravedad y hacia un canal abierto, no se requerirá ningún equipo adicional, excepción hecha de la tubería necesaria.

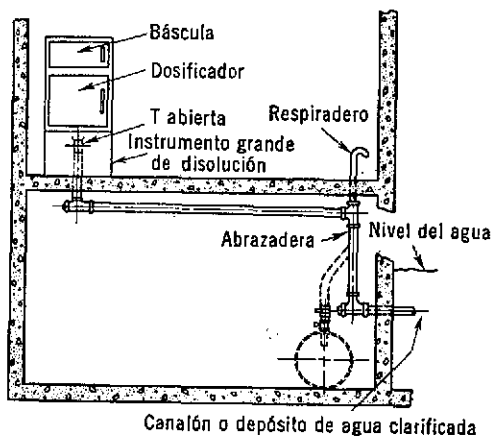


FIG. 8.21 Flujo por gravedad de la solución de fluoruro. (B-I-F Industries, Inc.)

Casi siempre se requiere una bomba o eductor para elevar la solución de fluoruro, a un nivel más alto que el del dosificador, o para introducirlo a una tubería bajo presión. Por su funcionamiento, los eductores requieren agua bajo una presión de 3 a 4 veces la carga de descarga. Con el fin de evitar la penetración de aire en la tubería principal, tanto el eductor como la bomba, deben sacar la solución de fluoruro de un pozo de succión que se llena continuamente de agua, mediante una válvula controlada por flotador. La concentración de la solución de fluoruro diluida de esta manera, no tendrá ningún efecto, por supuesto, en la concentración de fluoruro del agua tratada.

Otros accesorios con que puede contarse y que, en algunos casos pueden ser convenientes, incluyen las alarmas de campana o luz, que indican una dosificación excesiva o insuficiente; indicadores o controladores de flujo en la tubería de agua que va a la cámara de disolución, para asegurar la proporción correcta de agua con el compuesto de fluoruro; carretas, carritos (de motor o de mano) paletas y cargadores de paletas para mover y alma-

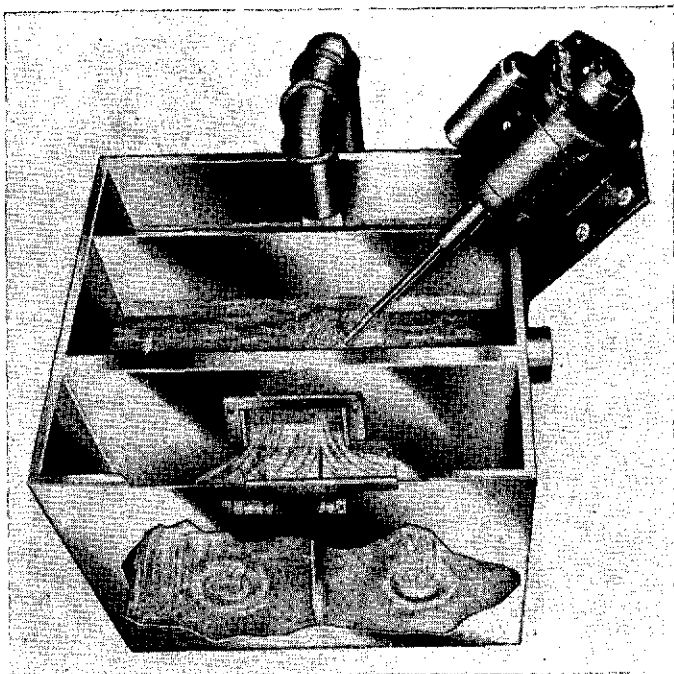


FIG. 8.22 Divisor de flujo. (B-I-F Industries, Inc.)

cenar los compuestos de flúor en bolsas; tanques con vertedero y divisores de flujo (fig. 8.22) para dividir con exactitud el efluente de la cámara de disolución, cuando se requieren más de un punto de aplicación del fluoruro.

## *Puntos de aplicación*

Los fluoruros están casi siempre en estado líquido en el momento en que se agregan al abastecimiento de agua. Estas soluciones de fluoruro pueden obtenerse de la cámara de disolución de un dosificador de material seco, de un saturador o de cualquier otro tipo de tanque de disolución en el que se utilice fluoruro de sodio u otro fluoruro soluble, o en la forma de ácido fluosilícico. La dificultad relativa de la selección de un punto en que estas soluciones deben aplicarse al agua, depende de si el agua recibe otro tratamiento (coagulación) o si no se trata en absoluto (excepción hecha de la cloración).

Si el abastecimiento no tiene otros tratamientos, como el agua de pozos, la solución de fluoruro se alimenta casi siempre con un dosificador de solución o con una bomba (con un tanque de succión), directamente al tubo de descarga de la bomba del pozo. Las soluciones de fluoruro nunca se dosifican en forma directa al pozo o en el lado de succión de su bomba, sin que se tomen medidas para evitar el sifonaje. Cuando un dosificador de solución de fluoruro está diseñado para descargar a un nivel inferior o al lado de succión de una bomba, debe proporcionarse un orificio o una caja de succión controlada por flotador (fig. 9.1). Sin este dispositivo para evitar el sifonaje de la solución de fluoruro a través del dosificador de solución, posiblemente se producirán graves inexactitudes en el nivel de fluoruro del agua tratada.

Siendo otros factores idénticos, la mejor ubicación debe seleccionarse desde el punto de vista de la ausencia de presiones excesivas, comodidad para reabastecer los compuestos de fluoruro y la facilidad en la medición de la cantidad de agua que va a tratarse. Muchas comunidades están abastecidas por una gran cantidad de pozos que descargan en diferentes puntos, directamente en el sistema de distribución. En la mayoría de los

casos, debido a que es económicamente prohibitivo el unir las líneas de descarga de la mayoría de los pozos, cada uno de ellos debe considerarse como una instalación independiente de fluoruración y diseñarse como si él, por sí solo, abasteciera a una comunidad distinta.

En los sistemas que utilizan agua tratada en cualquier otra forma, el mejor punto de aplicación es, a veces, un término medio entre el lugar en donde la tolva del dosificador puede llenarse fácilmente y el punto en el que los procesos subsecuentes del tratamiento, producirán la menor tendencia a quitar parte de los fluoruros agregados. Estos procesos incluyen el ablandamiento con cal en presencia de magnesio; la coagulación con alumbre o aluminato de sodio; la dosificación de arcillas bentoníticas y el tratamiento con carbono activado a valores bajos de pH. Puede eliminarse hasta un tercio de los fluoruros aplicados al agua tratada, cuando la dosis

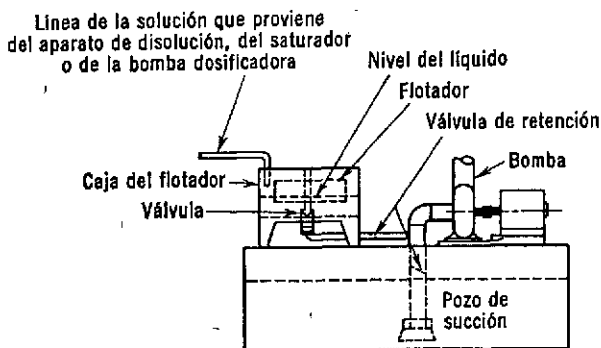


FIG. 9.1 Pozo de succión controlado por un flotador. (B-I-F Industries, Inc.)

de alumbre es de 100 mg/l. Por lo tanto, generalmente se aconseja agregar los fluoruros después de estas etapas de tratamiento. (Si la sedimentación es prolongada y eficaz y si los filtros eliminan relativamente poco material, los fluoruros pueden agregarse antes del filtrado). Sin embargo, si la carga sobre los filtros es considerable, los fluoruros deben agregarse después de la filtración, generalmente en la tubería que está entre los filtros y el pozo de agua clarificada o en este pozo mismo.

En algunos casos es económicamente justificable sufrir alguna pérdida de fluoruro. En los casos en que los costos de transporte, almacenamiento o manejo de los compuestos pueden reducirse substancialmente agregando fluoruro al agua cruda o parcialmente tratada en un punto más accesible, la pérdida de estas sales a lo largo de la planta puede ser lo suficientemente pequeña en algunos casos para lograr un ahorro substancial. Por ejemplo, en Washington, D. C., los fluoruros se aplican al agua cruda en la planta McMillan. Esto es más económico (a pesar de la pérdida de aproximada-

mente 0.1 mg/l de fluoruro en el tratamiento subsecuente), que cargar camiones con este compuesto, llevarlos a la planta y descargarlos, asegurando espacio, medios de almacenamiento y equipo dosificador.

Además de las ventajas de ubicar el dosificador cerca del mejor lugar para almacenar los compuestos químicos, también son muy importantes las ventajas que se tienen con una tubería corta para la solución de fluoruros (entre el dosificador y el punto de aplicación). Las líneas más grandes aumentan los costos de bombeo y requieren un considerable esfuerzo adicional, cuando se quitan periódicamente los lodos acumulados.

También es una ventaja evidente el poder permitir que los fluoruros líquidos de una cámara de disolución de un dosificador de material seco, fluyan por gravedad hacia el pozo de agua clarificada o a un canal abierto (fig. 8.21). Esto requiere casi siempre que el dosificador esté colocado por encima de estas estructuras y bastante cerca de ellas. En todo caso, el punto que debe preferirse es aquel en el que la presión que debe vencerse (el dosificador de solución), sea la más baja.

El cloro, el dióxido de cloro o las cloraminas, pueden agregarse en cualquier punto de la planta o sistema de distribución. No se sabe de reacciones entre los fluoruros a 1.0 mg/l en agua, con los compuestos formados en ella después de la cloración. El único efecto desfavorable del cloro y sus compuestos, es el efecto blanqueador en los reactivos empleados en la determinación del fluoruro, que hacen que las muestras den lecturas demasiado elevadas (parece que éstas contienen más fluoruro de lo que en realidad tienen). Este problema, así como los medios para resolverlos, se estudiarán en el capítulo 10.

Aun cuando el abastecimiento de un pozo no esté clorado, la adición de una solución de fluoruro no proporcionaría, normalmente, una fuente de contaminación bacteriana en dicho abastecimiento. Por ejemplo, las soluciones de fluoruro de sodio son germicidas a sólo 5,000 mg/l (0.5 por ciento como fluoruro de sodio) y la mayoría de estas soluciones se preparan con una concentración considerablemente mayor.





## *Control de la concentración de fluoruro (procedimientos de laboratorio)*

El planeamiento de cualquier instalación de fluoruración, debe incluir medidas para aprobar periódicamente las concentraciones de fluoruro en el agua tratada. Debe hacerse un registro completo de la historia de los niveles de fluoruro, no sólo por parte de los departamentos locales de agua potable y sanidad, sino también por el laboratorio del departamento de sanidad estatal. Un registro de este tipo es útil para cualquier cuestión futura sobre responsabilidades por daños, que pueda alegarse resultaron de la sobre o subdosificación de fluoruro, para corregir los ajustes del equipo dosificador y para demostrar el papel de los abastecimientos de agua potable, en su contribución a la salud y bienestar de la comunidad.

La determinación periódica del contenido de fluoruro en las muestras de agua, es una de las dos formas de que se dispone para probar la idoneidad de este sistema. El resultado de estas pruebas de laboratorio de los fluoruros, revela la concentración en el instante en que se recogió dicha muestra. Un método más exacto y revelador para recoger muestras, sería utilizar un equipo que pudiera proporcionar una muestra compuesta de toda el agua tratada en un día. Pueden obtenerse resultados similares, útiles para proporcionar una corroboración sobre los resultados de laboratorio, computando la dosis de fluoruro para cada día (o para mayores períodos de tiempo). Este cálculo se basa en la cantidad de compuesto utilizado y el volumen de agua tratada. Por ejemplo, si se está fluorurando un agua totalmente libre de fluoruro, con una sal de sodio del 98 por ciento de pureza y a una razón de 1,000 m<sup>3</sup> por día, habiéndose utilizado 2 kg de compuesto durante el mismo período, entonces, la concentración de fluoruro en miligramos por litro sería:

$2.0 \times 98\% = 1.96$  kg de fluoruro puro de sodio empleados

$$\frac{1.96}{2.21} = 0.88 \text{ kg/1,000 m}^3 \text{ ó } 0.88 \text{ mg/l en promedio (2.21 es la razón molecular de NaF al ion F}^{-}\text{; véase el capítulo 6)}$$

Una muestra de agua tomada en cualquier instante del día debe, al ser analizada, contener dentro de 0.1 mg/l de la concentración de fluoruro encontrada con estos cálculos.

La cantidad de compuesto de flúor empleado en la computación, se obtiene de las lecturas de la balanza en donde descansa el dosificador de material seco o la tolva del compuesto, de los registros de la posición de la pesa en el brazo de los dosificadores gravimétricos, de la medición del nivel en los tanques de solución, de las lecturas del medidor de la tubería que llena los saturadores de fluoruro de sodio (suponiendo una producción invariable de una solución al 4 por ciento) y de la pérdida de peso registrada en los tanques o recipientes de envío del ácido fluosilícico. La cantidad de agua tratada se obtiene por la lectura del medidor principal, que debe formar parte, necesariamente, de toda planta de tratamiento.

## FRECUENCIA DEL MUESTREO

El número de muestras tomadas para los análisis del fluoruro, se escoge con el objeto primordial de asegurar un nivel constante de este compuesto, a la concentración correcta, en todo el sistema de distribución. Basándose en estas determinaciones es como se ajusta el dosificador y se juzga su exactitud.

El número de muestras recogidas depende, principalmente, de uno o más de los siguientes factores:

1. El tamaño del sistema: mientras más grande sea la planta de tratamiento de agua, tantas más muestras se requerirán.

2. Su complejidad: si por ejemplo se requiere más de un dosificador, será necesario tomar más muestras adicionales.

3. La edad de la instalación: se requerirán más muestras durante las etapas iniciales de un programa de fluoruración, sobre todo con el fin de comprobar los ajustes hechos en el dosificador.

Aunque es obviamente imposible especificar el número exacto de muestras requeridas para todas las plantas, pueden hacerse las siguientes observaciones:

1. Para las comunidades más pequeñas, debe examinarse cuando menos una muestra diaria de la planta y una al mes del sistema.

2. Durante las primeras etapas de un proyecto (los primeros seis meses más o menos) debe examinarse cuando menos una muestra de la planta y otra adicional de un punto remoto en el sistema de distribución.

3. En las comunidades más grandes, el laboratorio del departamento de sanidad hace generalmente una comprobación de muestras, junto con el departamento de agua potable.

4. En comunidades mayores, se toman unas cuantas muestras de distribución (hasta 12 ó más) cada día, de una serie de alrededor de 100 o más puntos de muestreo. Se hacen rotaciones o cambios cada día de los lugares de donde se toman las muestras diarias, entre todos los puntos de que se dispone.

5. Los registros de todas las muestras deben conservarse y archivarse, con el fin de tener fácil acceso a ellos.

## ANÁLISIS DE FLUORUROS

Los análisis de fluoruros en el agua requieren la determinación de la cantidad de ion fluoruro que está presente en solución, sin importar la fuente de donde proviene. Sus fuentes pueden ser muchas; puede presentarse en forma natural por compuestos de flúor de la tierra o de los compuestos de flúor o silicofluoruros agregados en cantidades controladas en la planta de tratamiento de agua. No hay un método para distinguir un ion fluoruro de otro o para determinar la fuente o naturaleza exacta del compuesto original (véase el capítulo 1).

Del gran número de métodos analíticos para fluoruros, el que se selecciona debe tener tal sensibilidad, que detecte hasta las cantidades más pequeñas presentes en una muestra. El nivel del fluoruro que casi siempre se busca, involucra aproximadamente 0.001 mg en 1,000 litros de agua. Por esta razón, la mayoría de los métodos de análisis químico tradicionales (gravimétricos, volumétricos, polarográficos, etc.), no son apropiados en este caso. Los llamados métodos colorimétricos son los más adecuados, debido a que son sensibles a fluoruros a los niveles tan bajos en que se encuentran en el agua y pueden realizarse con relativa facilidad, con los tipos de utensilios o instrumentos más sencillos de laboratorio. Un método prometedor, que no se ha aceptado todavía como estándar, es el sistema Orion de electrodos de iones selectivos.

Los métodos de análisis de todos los elementos que normalmente están presentes en el agua, incluyendo los fluoruros, que se consideran los más prácticos y exactos se describen en el libro "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", publicado conjuntamente por la American Water Works Association y la American Public Health Association, 1790 Broadway, New York, New York, 10019. Siempre que sea posible, deben utilizarse los métodos mencionados en este texto. Los métodos estándar de fluoruro se desarrollaron basándose en los principios del análisis colorimétrico.

El análisis colorimétrico se basa en la relación de la intensidad del color de una solución, con la concentración de una sustancia dada que está presente en la solución. Mediante un sistema apropiado de medición, puede utilizarse esta relación como un método analítico cuantitativo. El sistema colorimétrico emplea tres componentes básicas: una fuente de energía radiante (luz); un dispositivo para ubicar la muestra y un receptor o detector de los valores de energía radiante (Fig. 10.1). Todos los sistemas colorimétricos, sin importar su complejidad, dependen, básicamente, de la manipulación de estos tres elementos.

En todos los sistemas de colorimetría se hace pasar una luz de cierta característica, a través de una muestra coloreada. El grado de coloración

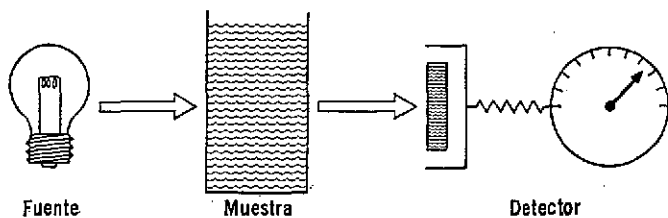


FIG. 10.1 Sistema de medición del color. (USPHS)

de dicha muestra es proporcional a la concentración de un ingrediente dado, en este caso, el fluoruro. La intensidad de la luz que no se absorbe al pasar por la muestra (la luz transmitida), se mide mediante un detector apropiado y después se compara con la intensidad de luz transmitida, previamente medida en muestras que contienen concentraciones conocidas del ingrediente buscado (fluoruro).

En los análisis de fluoruro, el sistema colorimétrico emplea luz blanca como fuente de energía radiante. Los sistemas más sencillos utilizan la luz del sol a través de una ventana adecuada, un techo o la luz del alumbrado. Los fotómetros más sensibles, aunque complicados, usan una lámpara de filamento de tungsteno con una fuente de corriente de voltaje regulado, para asegurar una intensidad constante en la luz.

La ubicación de la muestra debe ser la misma en una serie de mediciones de la intensidad de la luz. Las muestras se colocan ya sea en tubos Nessler (para comparaciones visuales) o celdas o cubetas de vidrio o cuarzo esmerilado, cuidadosamente preparadas, cuando las comparaciones se hacen en un fotómetro. Las celdas deben tener un diseño tal, que la longitud de la trayectoria de la luz sea idéntica en cada medición.

El detector se emplea para medir (y eventualmente indicar) la intensidad de la luz que pasa por la muestra. En los sistemas más simples, el detector es el ojo humano; los instrumentos más exactos utilizan celdas fotoeléctricas. El ojo humano es generalmente considerado como menos exacto,

debido a que muchas personas padecen daltonismo en diversos grados y la comparación exacta de dos colores depende en gran parte del juicio y la experiencia.

En casi todos los sistemas de medición de color, se selecciona un reactivo que, cuando se agrega a la muestra, produce un color cuya intensidad es la que indica la concentración del elemento buscado.

## SISTEMAS DE MEDICION DEL COLOR

Los métodos visuales de comparación de colores, son los más antiguos, sencillos y generalizados. Los tubos Nessler son los que casi invariablemente se emplean como receptáculos de la muestra en este método. En los análisis de fluoruro deben usarse tubos de los llamados largos, diseñados para una trayectoria de luz de 30 cm. Los tubos deben comprarse en grupos de 6 ó más e igualarse unos con otros, desde el punto de vista de la longitud de la trayectoria de la luz y el color del vidrio. En este sistema, la luz exterior o de la habitación es la fuente de energía radiante, el tubo mismo es el recipiente de la muestra y el ojo, el detector.

Como se indica en la fig. 10.2, los tubos se sostienen en forma tal, que la luz pase en forma longitudinal a través de la muestra y los testigos.

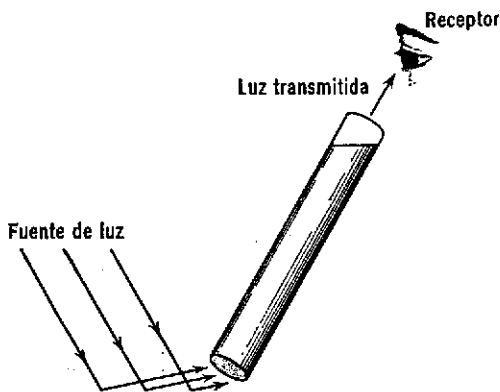


FIG. 10.2 Sistema de medición de los tubos Nessler. (USPHS)

Deben sostenerse dos o más tubos, uno al lado del otro, para igualar la muestra tan exactamente como sea posible con los testigos que contienen concentraciones conocidas de fluoruro.

Las ventajas principales de los tubos de Nessler son que no cuestan mucho y son muy sencillos en su uso. Un juego igualado de seis tubos cuesta 8.50 dólares y una gradilla para sostenerlos o facilitar las compa-

raciones entre colores, cuesta 6 dólares (fig. 10.3). También pueden adquirirse gradillas más complejas, con una fuente de luz empotrada. Son fáciles de leer, puesto que la trayectoria longitudinal de la luz establece comparaciones de color más precisas. En la determinación del fluoruro, la reacción química que produce el desarrollo del color puede realizarse dentro de un tubo que se usará más tarde para la comparación del color.

Las desventajas de los tubos Nessler se derivan, principalmente, de las fallas del ojo humano. Estas incluyen varios grados de daltonismo, estados de fatiga experimentados por el operador y su adiestramiento y experiencia.

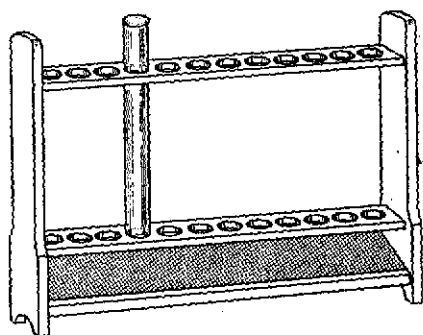


FIG. 10.3 Tubo Nessler con gradilla. (Fisher Scientific Co.)

La exactitud se pierde también cuando las comparaciones se hacen en los extremos más lejanos del espectro (en las regiones del rojo o púrpura). Además, los testigos y las muestras deben prepararse y compararse simultáneamente, ya que el ojo no puede "recordar" y comparar más tarde los tonos e intensidades de los colores.

Existen también dispositivos para la comparación visual del color, que contienen testigos permanentes de colores ya sea en la forma de sólidos (vidrios coloreados) o de líquidos encerrados en recipientes sellados de vidrio. Las ventajas de estos instrumentos son que los testigos no tienen que prepararse para cada conjunto de muestras y que puede incluirse una fuente de luz como equipo estándar. Esta última característica reduce algunas fuentes de error, cuando debe usarse la luz natural variable. Existen testigos permanentes para un gran número de determinaciones químicas, sobre todo en el campo analítico del agua potable, aguas negras y desechos industriales.

En la fig. 10.4 se ilustra un comparador de placas que contiene testigos líquidos en pequeños frascos. Aquí, el tubo central de la muestra contiene el reactivo de fluoruro y el color resultante se compara con el de las dos concentraciones de fluoruro que están a ambos lados de él. Los dos testigos de color se observan a través de tubos que contienen agua destilada

o con la misma turbidez de las muestras. La luz de una fuente ya sea natural o artificial se hace pasar en forma descendente através de los tubos y se refleja hacia el ojo, en el espejo que está en la base.

En la fig. 10.5 se muestra un comparador de testigos de color tipo disco. Aquí, los diferentes testigos de vidrio coloreado se colocan en un disco que, cuando gira, permite que se establezca una comparación entre la muestra y uno de los testigos de diferentes concentraciones de fluoruro. Un ocular que contiene un doble prisma permite que los dos colores se obser-

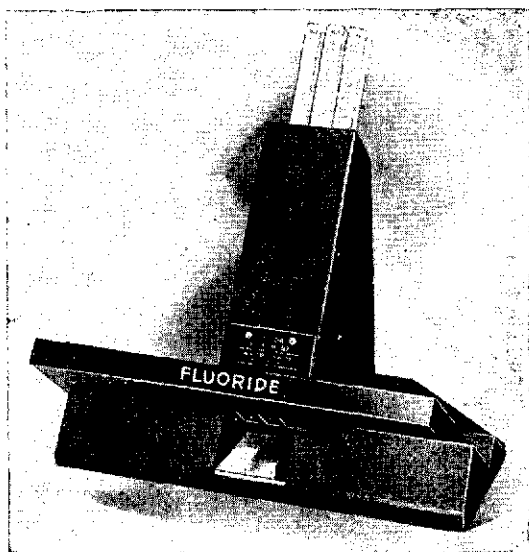


FIG. 10.4 Comparador con testigos líquidos de color. (Taylor)

ven en yuxtaposición. Existen discos para muchas otras determinaciones con este instrumento.

La desventaja de los instrumentos de testigos permanentes de color, es el riesgo inherente de error resultante de las faltas que puede tener el ojo como comparador. Además, el deterioro o uso equívoco del reactivo puede hacer extremadamente difícil la labor de igualar colores. Si las indicaciones del fabricante se siguen estrictamente (sobre todo las relacionadas con la medición del reactivo, tiempo de reacción y temperatura) puede esperarse obtener una exactitud de aproximadamente 0.2 mg/l a un nivel de fluoruro de 1.0 mg por litro. Estos instrumentos pueden, por lo tanto, emplearse con muy buenos resultados para comprobar el error que pueda resultar del mal funcionamiento del dosificador químico; pero aun estos instrumentos deben comprobarse periódicamente con muestras que contienen concentraciones conocidas de fluoruro. La ventaja sobresaliente de este grupo de instrumentos, es que no se requiere la preparación de testigos para cada



grupo de muestras. Estos instrumentos son fabricados por la W. A. Taylor & Company, Baltimore, Maryland, E.U.A. y Hellige, Inc., Garden City, New York, E.U.A. Cuestan entre 35 y 100 dólares, teniendo este último una fuente de luz incorporada.

## FOTOMETROS

El uso de los fotómetros para comparar muestras con testigos, eliminan o reducen substancialmente los errores producidos por el ojo humano, en los sistemas de comparación visual del color. Esos instrumentos indi-



FIG. 10.5 Comparador con testigos de color en vidrio. (Hellige)

can, por medios eléctricos y mecánicos, la cantidad de luz transmitida (o absorbida) por una solución coloreada. El detector en estos instrumentos es un dispositivo (fig. 10.1) en el que se registra un cambio en la corriente eléctrica conforme cambia la luz que incide contra él.

Los fotómetros son siempre más sensibles y exactos que el ojo humano, debido a que la calidad (longitud de onda) de la luz, antes de pasar a través de la muestra, puede controlarse con exactitud y entonces, al atravesarla, puede medirse con mayor precisión. Por ejemplo, las curvas que se ilustran en la fig. 10.6, que corresponden al reactivo Megregian-Maier, representan la cantidad de luz transmitida por soluciones que contienen 0.0

y 3.0 mg por litro de fluoruro, cuando se utiliza luz de diversas longitudes de onda. Si las lecturas se hicieran con un comparador de color que utiliza una luz que básicamente se localiza en la banda de  $450\text{ m}\mu$ , no podrían obtenerse diferencias apreciables en la transmitancia, debido a que la diferencia en la cantidad de luz transmitida es muy pequeña. No obstante, si se seleccionara una longitud de onda en la que esta diferencia de transmitancia fuera mucho mayor (por ejemplo, a  $525\text{ m}\mu$ ) se obtendría una sensibilidad máxima, con un mejoramiento consecuente en la exactitud.

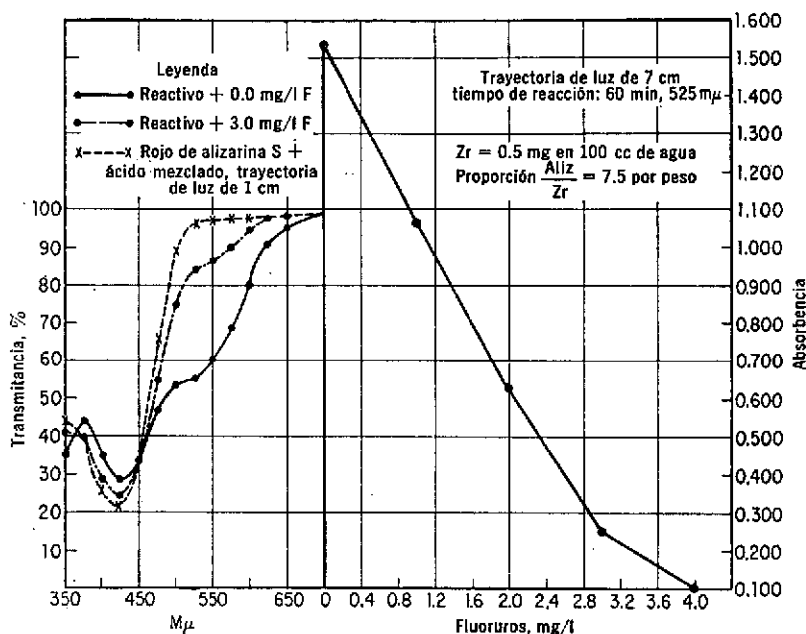


FIG. 10.6 Transmisión de la luz vs la concentración de fluoruro. (USPHS)

Un fotómetro consiste en cinco partes esenciales: 1) una fuente de luz, generalmente un bulbo de filamento de tungsteno con algunos medios para mantener una intensidad constante; 2) un medio para seleccionar una banda de longitud de onda, ya sea con filtros (fig. 10.7) o, como se hace en los espectrofotómetros (fig. 10.8), con prismas o rejillas de difracción; 3) un dispositivo óptico para concentrar, dividir o dirigir los haces de luz; 4) medios para sujetar y exponer al haz de luz la muestra y los testigos y 5) un sistema que detecte la luz transmitida e indique su intensidad. Esta combinación de partes hace posible que un fotómetro mida, con la mayor exactitud, la cantidad de luz que pasa a través de una solución coloreada.

Los fotómetros varían en precio desde 150 dólares hasta más de 5,000 dólares. Por lo general, los más costosos son los más exactos y complejos y se destinan a la investigación u otros propósitos que requieren una precisión extrema. Se ha encontrado que los aparatos más baratos son, en la mayoría de los casos, bastante apropiados para los análisis de fluoruro y para casi todas las demás determinaciones requeridas en los laboratorios de las plantas de tratamiento de agua.

Normalmente, los fotómetros de filtro (fig. 10.7), son más baratos que los que están equipados con prismas y rejillas de difracción. Aun cuando

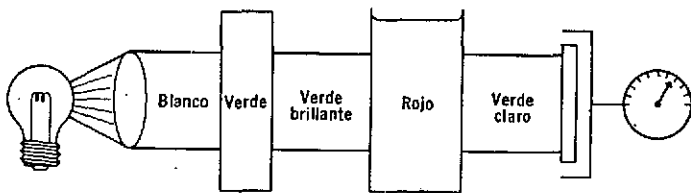


FIG. 10.7 Fotómetro de filtro. (USPHS)

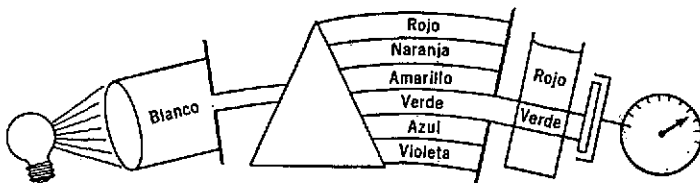


FIG. 10.8 Espectrofotómetro (USPHS)

los fotómetros de filtro no producen, normalmente, bandas angostas de longitud de onda (excepto cuando están equipados con costosos filtros de interferencia) en métodos analíticos del fluoruro y algunos otros del agua, estas bandas angostas no son necesarias. Por ejemplo, en las curvas que se ilustran en la fig. 10.6, puede obtenerse casi la misma sensibilidad en las longitudes de onda de 500 y 550  $m\mu$ . Por tanto, normalmente no sería necesario adquirir un instrumento mucho más costoso, con el fin de que un laboratorio de agua potable obtenga un paso de banda de  $525 m\mu \pm 5 m\mu$ , con el que podría lograrse un ligero incremento en la sensibilidad.

Además, en ocasiones es ventajoso utilizar fotómetros de los llamados "de haz dividido", si las condiciones locales producen variaciones en voltaje en la fuente de corriente eléctrica. Estas variaciones producen cambios en la intensidad de la luz del bulbo que, por supuesto, cambia la cantidad

de luz transmitida. Cualquier variación en el voltaje de la fuente de luz se compensa automáticamente, mediante el haz dividido; es decir, estas variaciones son las mismas ya sea que la luz pase a través de la muestra o al otro receptor.

El tipo de receptor (celdas de capa-barrera o fototubos) parece no tener mucha influencia en la exactitud del análisis de fluoruro. Generalmente se usan fototubos en los instrumentos más costosos; pero los tubos deben contar con una fuente externa de corriente y casi siempre se ampli-

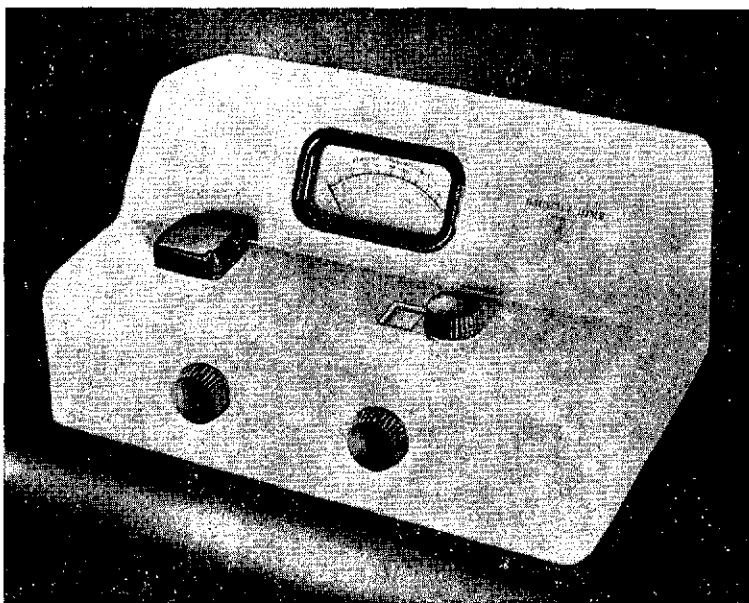


FIG. 10.9 Espectrofotómetro con rejilla de difracción Bausch and Lomb)

fica su salida. Sin embargo, las celdas de capa-barrera han demostrado ser tan apropiadas para el análisis de fluoruro y parecen ser tan sensibles como los fototubos.

El funcionamiento de todos los fotómetros es básicamente el mismo. Deben seguirse las indicaciones del fabricante cuando se equilibra el galvanómetro y se ajusta para obtener lecturas en la región de su escala graduada, que produce el alcance más amplio de lectura por unidad de fluoruro. Como sucede con cualquier otro método colorimétrico, el color de la muestra se compara con el de concentraciones conocidas en testigos preparados en la misma forma. En los fotómetros se leen y registran sobre un papel para gráficas, las transmitancias de una serie de testigos. Se obtienen curvas para cada conjunto de reactivos de fluoruro empleado y también, siempre que exista una razón para sospechar un cambio en las lecturas de transmi-

tancia de los testigos. En la fig. 10.6 se ilustra un método para representar gráficamente los resultados correspondientes al fluoruro: normalmente se marca su concentración a lo largo del eje horizontal y la absorbencia o transmitancia en el vertical. Con el fin de obtener una línea recta, las lecturas deben convertirse y marcarse como el logaritmo de la transmitancia. Algunos instrumentos indican este valor logarítmico directamente en la escala del galvanómetro. Con estos datos, los valores de transmitancia de muestras preparadas subsecuentemente, pueden incluirse en la curva y así se podrán obtener en forma directa los valores del fluoruro. En muchos casos, la vasta mayoría de las lecturas de fluoruro quedarán dentro de un margen reducido de concentración; es decir, entre 0.9 y 1.1 mg por litro, en los casos en que el nivel óptimo sea 1.0 mg por litro. En tales casos, posiblemente pueda ahorrarse tiempo y mejorar la exactitud al calcular la concentración de fluoruro en forma directa en una regla de cálculo, sin recurrir a una curva común. Por ejemplo, si las transmitancias de las concentraciones de 0.9 y 1.1 mg por litro, son 190 y 170 en un fotómetro y una muestra da una lectura de 175, entonces, el fluoruro de ésta sería:  $0.9 + 0.15 = 1.05$  [20 unidades de transmitancia son equivalentes a 0.2 mg por litro de fluoruro; luego, 15 unidades (190-175) son equivalentes a 0.15 mg por litro]. Un espectrofotómetro que se emplea bastante, aparece en la figura 10.9.

Los fotómetros pueden adquirirse en las siguientes compañías:

#### *Fotómetros de filtro*

- Bausch & Lomb Optical Company, Rochester, Nueva York, E.U.A.
- Coleman Instruments, Inc., Maywood, Illinois, E.U.A.
- Epic, Inc., Nueva York, Nueva York, E.U.A.
- Fisher Scientific Company, Pittsburgh, Pensilvania, E.U.A.
- Hach Company, Ames, Iowa, E.U.A.
- Hellige, Inc., Garden City, Nueva York, E.U.A.
- Instrument Development Laboratories, Attleboro, Massachusetts, E.U.A.
- Klett Manufacturing Company, Nueva York, Nueva York, E.U.A.
- E. Leitz, Inc., Nueva York, Nueva York, E.U.A.
- Photovolt Corporation, Nueva York, Nueva York, E.U.A.
- Rubicon Company, Filadelfia, Pensilvania, E.U.A.

#### *Espectrofotómetros*

- Bausch & Lomb Optical Company, Rochester, Nueva York
- Beckman Instruments, Inc., Pasadena del Sur, California
- Coleman Instruments, Inc., Maywood, Illinois
- Photovolt Corporation, Nueva York, Nueva York

QUIMICA DE LOS ANALISIS DE FLUORURO

La base de un buen método analítico colorimétrico, es la formación de un color que revelará la cantidad del compuesto investigado. Esto requiere la disponibilidad de un reactivo que forme un color cuando se agregue a una muestra. La intensidad de este color indica la cantidad del material buscado, en este caso el fluoruro.

Con la excepción del reactivo denominado SPADNS, todos los métodos de fluoruro en los "métodos estándar", están basados en la reacción entre el circonio y la alizarina (fig. 10.10). La reacción entre los compuestos

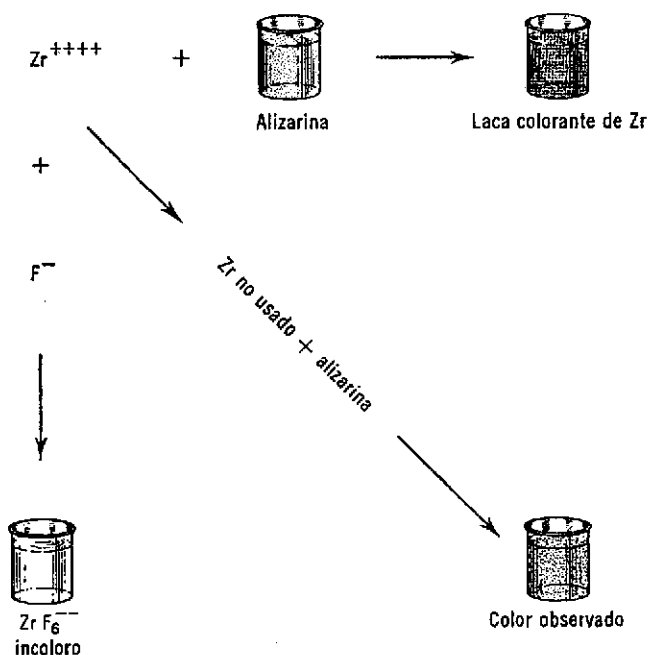


FIG. 10.10 Reacción del circonio y la alizarina en el análisis de fluoruro. (USPHS)

que tienen el circonio y la alizarina, produce una laca o complejo de color rojo. El fluoruro de la muestra elimina parte del circonio de la reacción, evitando que se forme algo de laca roja y, como resultado, disminuye la intensidad del color. En las muestras notablemente ricas en fluoruro, el color es el mismo que el de la alizarina sin haber reaccionado; en las muestras de escaso contenido, el color es similar al de la laca roja de circonio y alizarina. La reacción no es instantánea, sino que progresa con el tiempo. Al término de una hora, aproximadamente, la reacción estará casi

terminada. Por esta razón, las muestras se leen  $60 \pm 2$  minutos después de que se agregan los reactivos. Puesto que la temperatura de las muestras afecta la velocidad de reacción, los testigos y muestras deben mantenerse a la misma temperatura durante esta hora.

El reactivo Scott-Sanchis, que se emplea para la comparación visual, contiene tanto ácido sulfúrico como clorhídrico; esto hace que sea especialmente tolerante a niveles más altos de cloruros y sulfatos en la muestra. El reactivo Megregian-Maier, que contiene más alizarina y circonio, produce colores más profundos y facilita su evaluación en fotómetros. El reactivo SPADNS contiene, además de circonio, una tintura diferente denominada disulfonato de sodio 2-(*p*-sulfofenilazo)-1, 8-dihidroxi-3, 6-naftaleno y una concentración de ácido más elevada. El método SPADNS es muy conveniente debido a que su reacción es instantánea y, en consecuencia, las muestras pueden leerse inmediatamente después de que se agregan los reactivos. Como se indica en el cuadro 10.1, el reactivo SPADNS no es tan

TABLA 10.1 CONCENTRACIÓN DE SUBSTANCIA DE INTERFERENCIA, EN mg/l, REQUERIDA PARA PRODUCIR UN ERROR DE (+) Ó (-) 0.1 mg/l A 1.0 mg/l

	Scott-Sanchis	Megregian-Maier	SPDANS
Alcalinidad .....	400(-)	325(-)	5,000(-)
Al <sup>+++</sup> .....	0.25(-)	0.2(-)	0.1(-)*
Cl <sup>-</sup> .....	2,000(-)	1,800(-)	7,000(+)
Fe <sup>+++</sup> .....	2(+)	5(+)	10(-)
(NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> .....	1.0(+)		1.0(+)
PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> .....	5(+)	5(+)	16(+)
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> .....	300(+)	400(+)	200(+)
Cloro .....	Debe eliminarse completamente con arsenito		
Color y turbidez .....	Debe eliminarse o compensarse		

\* Esta cantidad debe leerse inmediatamente. Dejarse reposar durante dos horas. La tolerancia es 3.0 mg/l. La tolerancia en cuatro horas es 30 mg/l.

tolerante a interferencias (sobre todo de sulfatos) como lo son algunos de los otros reactivos de fluoruro, aunque es muy resistente a los efectos de los cloruros y la alcalinidad.

## PROCEDIMIENTOS ANALITICOS DEL FLUORURO

### I. Método colorimétrico Scott-Sanchis

#### A. Reactivos

##### 1. Reactivo ácido de circonio

- a. Disuelva 0.3 g de oxiclورو de circonio (ZrOCl<sub>2</sub> · 8H<sub>2</sub>) ó 0.25 g de oxinitrato de circonio, ZrO(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O, en 50 ml de agua destilada, en un matraz aforado de un litro.

- b. Disuelva 0.07 g de monosulfato sódico de alizarina (tintura certificada) en 50 ml de agua destilada.
  - c. Agregue la solución de alizarina a la de circonio en el matraz, sin dejar de agitar. Deje reposar la solución resultante durante algunos minutos.
  - d. Diluya 112 ml de HCl concentrado a 500 ml con agua destilada.
  - e. Agregue con sumo cuidado 37 ml de  $H_2SO_4$  concentrado a 400 ml de agua destilada, y afore a 500 ml. Deje enfriar y mezcle los dos ácidos después.
  - f. A la solución clara de circonio y alizarina que está en el matraz de un litro, agregue la combinación de los dos ácidos, hasta la marca de 1 litro y mézclelos. Déjela reposar durante una hora antes de utilizarla. Cuando se guarda en refrigerador, el reactivo es estable durante cuando menos dos meses.
2. Solución madre de fluoruro
    - a. Disuelva 0.2210 g de NaF en un litro de agua destilada. (1 ml = 0.1 mg  $F^-$ ).
  3. Solución patrón de fluoruro
    - a. Diluya 100 ml de la solución madre anterior con agua destilada, hasta obtener un litro. (1 ml = 0.01 mg  $F^-$ ).
  4. Solución de arsenito de sodio
    - a. Disuelva 1.8 g de  $NaAsO_2$  en 1 litro de agua destilada.

B. Procedimiento

1. Prepare una serie de patrones de fluoruro, pipeteando las cantidades indicadas de la solución patrón en tubos Nessler de 100 ml y diluya hasta el aforo.

<i>Ml de solución patrón</i>	<i>Mg <math>F^-</math></i>	<i>mg/l <math>F^-</math></i>
0	0.00	0.0
2	0.02	0.2
4	0.04	0.4
6	0.06	0.6
8	0.08	0.8
10	0.10	1.0
12	0.12	1.2

2. Tome 100 ml de la muestra o una alícuota diluida a 100 ml en un tubo Nessler de 100 ml, y declore agregando 2 gotas (0.1 ml) de la solución de arsenito, por cada mg/l de cloro presente en la muestra.
3. Ajuste los patrones y la muestra para obtener la misma temperatura, con  $\pm 2^\circ C$ .



4. Agregue 5 ml del reactivo mezclado (anteriormente citado) a cada uno de los patrones y a la muestra. Mézclelos bien y déjelos reposar durante por lo menos 60 min.
5. Compare la muestra con los patrones y calcule la cantidad de fluoruro que contiene la porción alícuota de la muestra.
6. Registre la concentración de fluoruro en mg/l.

## II. Método fotométrico Megregian-Maier

### A. Reactivos

1. Alizarina: disuelva 0.740 g de monosulfato sódico de alizarina (tintura certificada) en 1 litro de agua destilada.
2. Solución de circonio
  - a. Disuelva 0.354 g de oxiclورو de circonio ( $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ ) ó 0.294 g de oxinitrato de circonio ( $ZrO(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ ) en aproximadamente 100 ml de agua destilada.
  - b. Agregue 100 ml de HCl concentrado.
  - c. Diluya a aproximadamente 600 ml.
  - d. Agregue 33.0 ml de  $H_2SO_4$  concentrado, lentamente y agitando.
  - e. Déjela enfriar y luego dilúyala a 1 litro con agua destilada. Déjela reposar 1 hora (o toda una noche) antes de usarla.
3. Solución madre de fluoruro: disuelva 0.2210 g de NaF en 1 litro de agua destilada. (1 ml = 0.1 mg  $F^-$ ).
4. Solución patrón de fluoruro: diluya parte de la solución madre que acaba de hacer con agua destilada, en la proporción de 1:10. (1 ml = 0.01 mg  $F^-$ ).
5. Solución de arsenito de sodio: disuelva 1.8 g de  $NaAsO_2$  en 1 litro de agua destilada.

### B. Procedimiento

1. Preparación de la curva de calibración
  - a. Prepare una serie de patrones pipeteando las cantidades indicadas de solución patrón de fluoruro, en matraces rotulados Erlenmeyer de 250 ml y aforando a 100 ml con agua destilada.

Mg $F^-$	Ml de solución patrón
0.00	0
0.05	5
0.10	10
0.15	15
0.20	20

- b. Ajuste todos los patrones a la misma temperatura, con un margen de  $\pm 2^\circ C$ . Registre la temperatura media. Todas

las determinaciones subsecuentes deben hacerse bajo las mismas condiciones.

- c. Agregue exactamente 5.0 ml de reactivo de alizarina a cada patrón y mézclelos inmediatamente. A intervalos de 2 min y principiando con el testigo, agregue con exactitud 5.0 ml de reactivo de circonio a cada modelo. Mézclelos inmediatamente y déjelos reposar durante  $60 \pm 2$  min, cronometrando la reacción desde el instante en que se agrega el reactivo de circonio.
- d. Coloque una porción de cada patrón en una cubeta.
- e. Utilizando sólo agua destilada en una de las cubetas ajuste el fotómetro a una absorbencia de cero (transmitancia de 100 por ciento), utilizando una longitud de onda de 525  $m\mu$  (o un filtro en la región de 520 a 550  $m\mu$ ).
- f. Tome las lecturas de absorbancia de cada patrón, dentro del tiempo límite de  $60 \pm 2$  min.

Nota: Cuando los valores de absorbencia se sitúan gráficamente con el contenido de fluoruro, se obtendrá una línea de pendiente negativa. La línea debe ser prácticamente recta entre 0.00 y 0.20 mg. La curva de calibración obtenida en esta forma, servirá para las determinaciones subsecuentes de concentraciones de fluoruro, con tal de que se repitan las condiciones de reacción (temperatura, tiempo, reactivos). Debe trazarse una nueva curva siempre que se prepara un nuevo lote, ya sea de reactivo de alizarina o de circonio, o bien cuando se utilice una temperatura normal diferente.

## 2. Análisis de la muestra de agua

- a. A 100 ml de la muestra de agua (o una alícuota diluida a 100 ml) agregue dos gotas (0.1 ml) de solución de arsenito de sodio, por cada mg/l de cloro que contiene y agregue después 2 gotas adicionales.
- b. Ajuste la temperatura de la muestra con la de la curva de calibración.
- c. Agregue exactamente 5.0 ml de reactivo de alizarina. Mezcle inmediatamente y agregue después 5.0 ml exactos del reactivo de circonio. Mezcle y deje reposar la solución durante  $60 \pm 2$  min.
- d. Pase parte de la mezcla de reacción a una cubeta y obtenga la lectura de absorbencia, utilizando la referencia de agua destilada, como en el paso e, para la preparación de la curva de calibración.

- e. Con la curva de calibración, determine la cantidad de fluoruro que contiene la muestra. La concentración de fluoruro se registra en mg/l.

### III. Método SPADNS

#### A. Exposición general

1. *Principio.* La velocidad de la reacción entre los iones de fluoruro y circonio, se ve influenciada enormemente por la acidez de la mezcla de reacción. Incrementando la proporción del ácido en el reactivo, la reacción puede hacerse prácticamente instantánea. Sin embargo, bajo tales condiciones, el efecto de varios iones difiere del que se registra en los métodos convencionales de la alizarina. La selección de la tintura para este método rápido del fluoruro, se determina en gran parte por la tolerancia resultante hacia estos iones.
2. *Interferencia.* En la tabla 10.1 se enumeran los efectos de interferencia de iones que normalmente están presentes en el agua. Debe hacerse notar que los efectos varían con la concentración del fluoruro, teniendo en ocasiones la magnitud más grande en sus niveles más bajos. Cuando el error producido por cualquier otra sustancia de interferencia se acerca a 0.1 mg/l, o se desconoce el análisis, la muestra debe destilarse.

#### B. Aparatos

1. *Equipo colorimétrico.* Se requerirá cualquiera de los dos siguientes:
  - a. Espectrofotómetro para utilizarlo a 570 m $\mu$ , asegurando una trayectoria de luz de cuando menos 1 cm.
  - b. Fotómetro de filtro, proporcionando una trayectoria de luz de cuando menos 1 cm y equipado con un filtro amarillo verde, con una transmitancia máxima de 550 a 580 m $\mu$ .

#### C. Reactivos

1. *Solución normal de fluoruro de sodio.* Prepárela como se hizo en los otros métodos.
2. *Solución SPADNS.* Disuelva 0.958 g de SPADNS [disulfonato de sodio 8-(*p*-sulfofenilazo)-1, 8-dihidroxi-3, 6-naftaleno]<sup>1</sup> en agua destilada y afore a 500 ml.
3. *Solución de oxiclورو de circonio.* Disuelva 0.133 g de ZrOCl<sub>2</sub> · 8H<sub>2</sub>O, en aproximadamente 25 ml de agua destilada. Agregue 350 ml de HCl concentrado y diluya a 500 ml con agua destilada. Pueden mezclarse volúmenes iguales de una solución SPADNS y una de oxiclورو de circonio, para producir un solo reactivo.

<sup>1</sup> Compuesto químico orgánico Eastman No. 7309.

4. *Solución de referencia.* Agregue 10 ml de solución SPADNS a 100 ml de agua destilada. Diluya 7 ml de HCl concentrado a 10 ml y agréguelo a la primera. La solución resultante se utiliza para establecer el punto de referencia (cero) del espectrofotómetro o colorímetro. Esta solución es estable y puede usarse indefinidamente.
5. *Solución de arsenito de sodio.* Aproximadamente 0.1 N.

#### D. Procedimiento

1. *Preparación de la curva de calibración.* Prepare los patrones de fluoruro dentro de un margen de 0.00 a 1.40 mg/l, diluyendo las cantidades apropiadas de la solución madre de fluoruro a 50 ml, con agua destilada. Agregue 5.00 ml tanto de la solución SPADNS y de la de oxiclورو o bien, 10.00 ml del reactivo mezclado a cada patrón y mezcle bien. Ajuste el fotómetro a una absorbancia cero con la solución de referencia en la cubeta, y tome inmediatamente las lecturas de absorbancia de los patrones. Haga la gráfica de una curva de la relación entre la absorbancia y el fluoruro. Debe trazarse otra curva de calibración, siempre que se prepare un nuevo volumen de cualquiera de los reactivos o cuando se utilice una temperatura patrón diferente.
2. *Pretratamiento de la muestra.* Si la muestra contiene  $\text{Cl}_2$ , súprimalo agregando 1 gota (0.05 ml) de solución de arsenito por cada 0.1 mg de  $\text{Cl}_2$  y mézclela. (Las concentraciones de arsenito de 1,300 mg/l producen un error a 1.0 mg/l de fluoruro).
3. *Análisis de la muestra.* Utilice una muestra de 50 ml o una alícuota diluida a ese mismo volumen. Ajuste la temperatura de la muestra a la de la curva de calibración. Agregue 5.00 ml de cada una de las soluciones SPADNS y de oxiclورو de circonio o bien, 10.00 ml del reactivo combinado. Mezcle y tome inmediatamente las lecturas de absorbancia o a cualquier tiempo subsecuente, estableciendo primeramente el punto de referencia del fotómetro, como se indicó con anterioridad. Si la absorbancia queda fuera del margen de la curva normal, el procedimiento debe repetirse utilizando una alícuota más pequeña de la muestra.

#### E. Cálculo

1. Tome la lectura en mg/l de  $\text{F}^-$  en la curva de calibración.

#### F. Precisión y exactitud

1. Puede obtenerse una precisión de 0.05 mg/l de  $\text{F}^-$ , si se sigue

minuciosamente el procedimiento. La temperatura de la muestra, las interferencias y la medición del reactivo, afectan apreciablemente la exactitud.

## FUENTES DE ERROR

El análisis de fluoruro requiere la mayor exactitud posible. Las cantidades de este compuesto que casi siempre se encuentran en el agua, son tan pequeñas que un error que normalmente se tolera en otros métodos, produciría uno considerablemente mayor en porcentaje en el análisis de fluoruro. Los errores más comunes pueden evitarse tomando las siguientes precauciones:

1. Los recipientes de vidrio deben estar limpios y perfectamente igualados en lo que respecta al color. Esto incluye a todos los vidrios que se usarán para comparar colores: tubos Nessler y celdas de fotómetro (cubetas). Se sabe que una simple huella digital impresa en el exterior de la cubeta, reduce considerablemente el nivel de fluoruro de la muestra que contiene.

2. El reactivo debe medirse con toda exactitud. El reactivo de fluoruro contiene ambos ingredientes para formar la laca coloreada, así como el ácido para controlar el pH óptimo para el desarrollo del color. Deben dominarse perfectamente las técnicas de pipeteado.

3. Todos los métodos tienen un límite superior bien definido para detectar el fluoruro con exactitud. Cuando el nivel de fluoruro en una muestra se acerca a este límite, debe diluirse para que quede dentro del mismo.

4. El color y la turbidez pueden compensarse en todos los instrumentos; pero la forma más segura de manejarlos es destilar la muestra para eliminarlos.

5. El tiempo requerido para la reacción y la temperatura a la que se registra, deben observarse y controlarse con sumo cuidado.

6. La interferencia de otros constituyentes del agua es, probablemente, la fuente más común de error. Ningún método de fluoruro es específico para esta sal; todos pueden medir otros iones bajo condiciones óptimas. Las diferentes interferencias pueden manejarse en distintas formas; pero la más segura es destilar la muestra.

## CONTROL DE IONES DE INTERFERENCIA

Cuando el análisis de una muestra de agua no se conoce o, cuando la cantidad de iones de interferencia basta para producir un error de 0.1 mg/l o más de fluoruro, deben eliminarse o reducir, sus efectos mediante uno de los siguientes medios:

1. Las interferencias pueden ser producidas por compuestos químicos que se utilizan en la planta de tratamiento de agua para coagulación (sales de aluminio) o desinfección (cloro). Estas interferencias pueden evitarse seleccionando un punto de muestreo dentro de la planta, en donde no se hayan agregado todavía estos compuestos al agua.

2. Cuando el nivel de fluoruro es lo suficientemente elevado, las interferencias pueden reducirse o eliminarse diluyendo la muestra con agua destilada. Esto reduce la interferencia de otros iones; pero aumenta el riesgo de multiplicar el error de la lectura por el factor de dilución.

3. Si se conoce la identidad y cantidad de los iones que interfieren, es posible, en algunos casos, seleccionar el reactivo de fluoruro que tolere dicha interferencia.

4. Las cantidades equivalentes de los iones de interferencia pueden agregarse a los patrones de fluoruro, anulando con ello los efectos de cualquier cambio producido por ellos.

5. Cuando ninguno de estos métodos puede aplicarse o en cualquier caso de duda, la muestra debe destilarse.

## DESTILACION

En "Standard Methods" se describen dos métodos de destilación, basados en la técnica descrita por Willard y Winter.<sup>2</sup> La muestra se hierve en una mezcla de ácido sulfúrico, que convierte el fluoruro en un ácido fluosilícico volátil—la sílice de este compuesto se obtiene de las piedras de vidrio colocadas en el matraz o de éste mismo.

Uno de los métodos (fig. 10.11), requiere dos matraces: uno, el que contiene agua destilada, es un generador de vapor y el otro, que contiene la muestra y el ácido, recibe el vapor del primero y libera el ácido fluosilícico volátil. Este ácido, en la forma de vapor, se condensa y recoge en un matraz volumétrico.

Las características críticas del aparato son: el diámetro del tubo de descarga que conecta al matraz con el condensador, la profundidad de inmersión tanto del termómetro como del tubo de entrada del vapor y la exactitud de ajuste de todos los tapones y las uniones. El tubo de descarga debe tener un diámetro interno de cuando menos 8 mm. Un tubo más pequeño hará que se formen burbujas en su interior y tenderá a hacer que las gotas de ácido sulfúrico pasen al condensador. El termómetro y el tubo de entrada del vapor del matraz de destilación, deben colocarse lo suficientemente abajo para que ambos estén siempre sumergidos. Cuando

<sup>2</sup> Willard, H. H. y Winter, O. B., Volumetric Method for the Determination of Fluoride, *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.*, 5: 7 (1933).

desciende el nivel del líquido del matraz y queda expuesto el bulbo del termómetro, se producirán errores en las lecturas de la temperatura, en tanto que la exposición del tubo del vapor hará que éste pase bastante líquido. Cualquier escape en las uniones o los tapones, hará que se pierda vapor que contiene fluoruro, motivando un error en la medición del fluoruro del destilado.

El proceso de destilación se desarrolla como sigue:

Se prepara el matraz de destilación de 250 ó 300 ml, colocando en él 25 ml de ácido sulfúrico. El ácido debe agregarse lentamente y mezclarse bien con el agua. Una vez que los matraces se conectan como se ilustra en la fig. 10.11, el contenido de ambos se calienta hasta el punto de ebu-

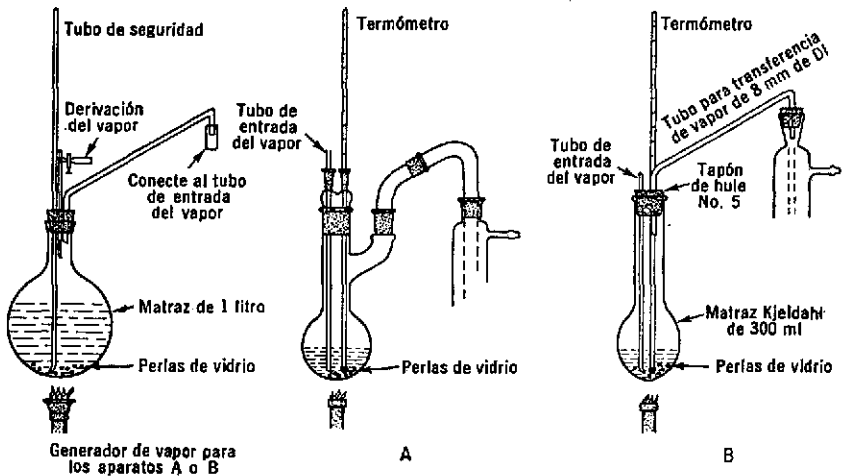


Fig. 10.11 Aparato para la destilación de fluoruro. (USPHS)

llición, mientras que el paso del vapor se mantiene abierto. Este se cierra tan pronto como la temperatura llega  $135^{\circ}\text{C}$ , los mecheros se ajustan entonces, para que ésta permanezca entre  $135$  y  $145^{\circ}\text{C}$ . Debe recogerse un total de 200 ml de destilado a la velocidad de 5 a 10 ml por minuto. Este destilado se desecha debido a que contiene trazas de fluoruro, que pueden haberse encontrado en el ácido o adheridas al recipiente. El aparato está listo ya para recibir la muestra. Si ésta contiene concentraciones muy reducidas de fluoruro (menos de aproximadamente  $0.3\text{ mg/l}$ ), debe concentrarse hirviendo 200 ml hasta que se reduzcan a alrededor de 50 ml. La muestra debe alcalinizarse primeramente, con una solución diluida de hidróxido de sodio, si se va a practicar una evaporación. Después de que se haya enfriado el matraz de destilación, agregue la muestra (100 ml si no se ha evaporado previamente) al ácido que haya quedado después del lavado y mézclelos perfectamente. Si la muestra estaba concentrada, puede

utilizarse agua destilada para enjuagarlo y vaciarlo al matraz. No obstante, el volumen total de agua no debe exceder de 100 ml. La muestra debe destilarse como se hizo la primera vez, recogiendo 200 ml exactos de destilado. El ácido puede usarse repetidamente, a condición de que los contaminantes de las muestras de agua no se acumulen a un grado tal, que la recuperación se vea afectada o se registren interferencias en el destilado. Esto puede detectarse destilando periódicamente muestras patrón de fluoruro.

Puesto que el proceso de destilación está sujeto a muchos errores, deben tomarse las siguientes precauciones:

El sobrecalentamiento del vapor en el matraz de destilación, hace que los sulfatos pasen a la siguiente etapa, lo cual puede interferir seriamente con la determinación subsecuente del fluoruro. Por esta razón, la llama colocada bajo este matraz debe mantenerse lo suficientemente baja para que no toque los lados del matraz, por encima del nivel del líquido. Los tapones y uniones deben estar bien ajustados para evitar pérdidas de fluoruro por escapes de vapor. Debe agregarse sulfato de plata al matraz de destilación, cuando la concentración de cloruro de la muestra excede de 100 mg/l. Para cada miligramo de cloruro deben agregarse 5 mg de sulfato de plata. Esta sal inhibe la volatilización del ácido clorhídrico, que puede interferir con la determinación posterior del fluoruro, cuando se utilizan ciertos reactivos. La recuperación del fluoruro es completa sólo si se recogen cuando menos 100 ml de destilado, a la temperatura óptima (entre 135 y 145°C). La velocidad de destilación debe mantenerse entre 5 y 10 ml por min. A una velocidad más baja que los 5 ml por min, se evitará la recuperación total del fluoruro. La temperatura nunca debe sobrepasar a los 145°C, porque a niveles superiores a este punto el paso de los sulfatos se acelera y se producirán interferencias marcadas en la determinación del fluoruro.<sup>3</sup>

## PROCEDIMIENTO DE DESTILACION DIRECTA

La diferencia y ventaja básicas de este método (en comparación con el anterior de destilación directa con vapor), es que la muestra no se diluye. Siempre que una muestra debe diluirse y determinarse a continuación su contenido de fluoruro, cualquier error hecho en esta determinación se multiplica por el factor de dilución. La ausencia de dilución se logra utilizando una muestra más grande y haciendo la destilación dentro de un margen más amplio de temperatura. Debido al nivel elevado de ésta al final de la destilación, se registra un paso marcado de los sulfatos. Sin embargo, el gran volumen de destilado y la reducida temperatura inicial, producen una concentración general de sulfato que la mayoría de los reactivos del fluoruro puede tolerar.

En la fig. 10.12 aparece ilustrado este aparato. Consiste en un matraz de base esférica de 1 litro, un tubo de conexión, un condensador eficiente, un termómetro (con graduación hasta 200°C) y su adaptador, un mechero y un matraz volumétrico para recoger el destilado. Pueden utilizarse apa-

<sup>3</sup> Megregian, S. y Maier, F. J., Solet, *Critical Factors in Fluoride Distillation Technique*, *J. Am. Water Works Assoc.*, 45(10): 1110 (1958).



ratos similares siempre y cuando se obtenga una recuperación total del fluoruro y se registre el paso mínimo de sulfatos. Esto último puede reducirse usando una placa de asbesto para proteger la parte superior del matraz de destilación de la llama del mechero.

Para producir el vapor se colocan 400 ml de agua destilada en el matraz de destilación, se agregan lentamente 200 ml de ácido sulfúrico y

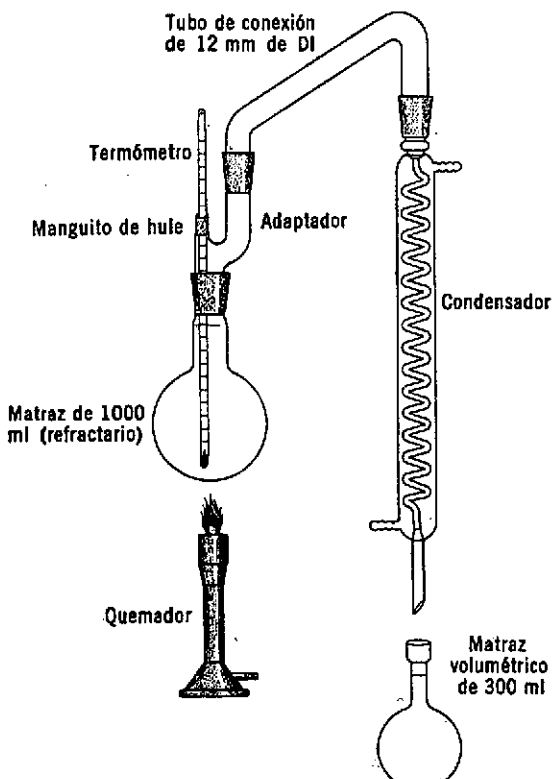


FIG. 10.12 Aparato de destilación directa para el fluoruro. (USPHS)

se mezclan perfectamente. A continuación se agregan las perlas de vidrio, se monta el aparato como se indica y se ajustan firmemente las uniones. Después se aplica calor y se continúa la destilación, hasta que la temperatura asciende a los 180°C exactos. Este proceso no sólo elimina la contaminación de fluoruro del aparato, sino que también sirve para obtener la proporción correcta entre el ácido y el agua para la destilación de las muestras. Para todas las destilaciones subsecuentes, deben agregarse 300 ml de la muestra a la combinación de ácido previamente usada, mezclándolas perfectamente y completando la destilación como se describió. Las precau-

ciones señaladas para el procedimiento de destilación de vapor, se aplican también en este método.<sup>4</sup>

Un perfeccionamiento reciente en el método de destilación, hace que este proceso sea casi totalmente automático. (Fig. 10.13). Se agrega al matraz un termorregulador, para que el calor se corte automáticamente cuando la temperatura de la muestra llegue a 180°C. Como resultado, no se requiere una atención personal durante la destilación y se minimiza el peligro de sobrepasar la temperatura máxima.<sup>5</sup>

## REGISTRO Y CONTROL AUTOMATICOS

En el capítulo 8, se describieron dos sistemas para obtener un control automático de los mecanismos dosificadores de fluoruro. Uno de ellos, que involucra ajustes en el dosificador basados sólo en la cantidad de agua que va a tratarse, se identificó como "de pasos". El otro sistema, generalmente conocido como "de control", se basa en el análisis continuo del material o elemento químico una vez que se ha agregado al agua. El resultado analizado se compara continuamente con un valor preestablecido. Si se detecta una desviación, se genera una señal correctora y esto ajusta al dosificador y a la cantidad de compuesto químico agregada. Este circuito se conoce como sistema de "retroalimentación" o "cerrado". En el caso que nos ocupa, esto requiere el análisis continuo del fluoruro y un medio para ajustar automáticamente el dosificador, con el fin de mantener una concentración constante predesignada de dicho compuesto.

El ajuste del dosificador se logra casi siempre, mediante un registrador que, por medio de señales accionadas ya sea eléctrica o hidráulicamente, controlan la válvula de la salida de la cámara de disolución del dosificador, la velocidad o período de operación de un motor eléctrico, la longitud de carrera de un dosificador o muchos otros dispositivos o sistemas. Por esa razón, casi siempre se utiliza un registrador entre el mecanismo sensor y el controlador.

Un registro continuo de la concentración de fluoruro en el agua, tiene un gran valor para un sistema de abastecimiento de agua. Un registro de este tipo no sólo controlaría la operación de todo el sistema dosificador de fluoruro, sino que también proporcionaría una historia gráfica de los niveles de fluoruro en cualquier punto de la planta o del sistema de distribución. Sólo sería necesario adaptar un mecanismo sensor en cualquier punto deseado, para que los resultados pudieran transmitirse al instante, eléctricamente, a cualquier centro director o recolector.

<sup>4</sup> Bellack, E., Simplified Fluoride Distillation Method, *J. Am. Water Works Assoc.*, 50(4): 530 (1958).

<sup>5</sup> Bellack, E., Automatic Fluoride Distillation, *J. Am. Water Works Assoc.*, 53(1): 98 (1961).

En la actualidad existen tres métodos prometedores para detectar automática y continuamente el nivel de fluoruro en el agua. Uno es una extensión del método colorimétrico normal que se utiliza hoy en día, otro está basado en cambios en la conductividad eléctrica del agua cuando se le agrega fluoruro y el tercero y más reciente, utiliza un electrodo de actividad iónica de esta sal.

Las partes esenciales de un método colorimétrico continuo, consisten en 1) un sistema de medición y preparación de muestras, 2) un sistema de

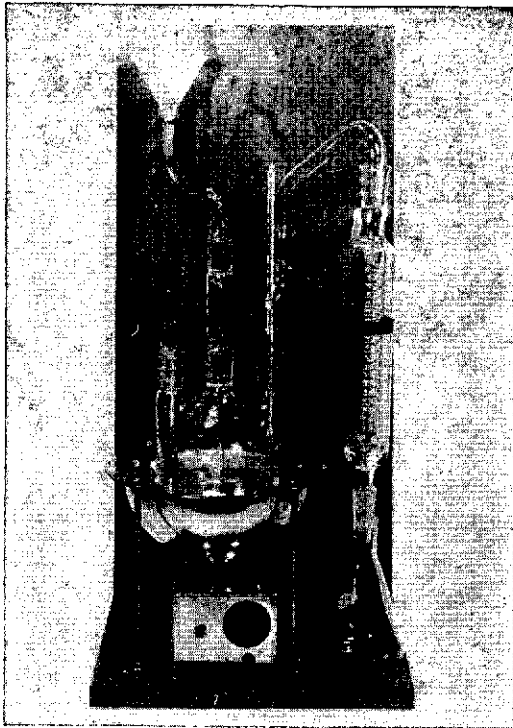


FIG. 10.13 Destilador automático de fluoruro. (USPHS)

medición de reactivos, 3) un aparato de mezcla y retención y 4) un fotómetro y registrador para indicar el nivel de fluoruro. En la Fig. 10.14 se ilustra un aparato de este tipo. En este sistema en particular, la muestra no se destila y se está midiendo continuamente mediante un dosificador pequeño. Para medir los reactivos se tienen dosificadores similares. Otros instrumentos colorimétricos establecen la proporción entre muestra y reactivos (que debe hacerse tan exactamente como sea posible), con tubos capilares o pequeñas pipetas automáticas (Fig. 10.14). La muestra y los reactivos se mezclan entonces, y se proporciona un tiempo de reacción en

la cámara de mezclado. De ahí, la mezcla fluye al fotómetro que está conectado eléctricamente al registrador. Cualquier registrador potenciométrico puede conectarse en el circuito del galvanómetro de un fotómetro, mediante un potenciómetro. Cuando la gráfica del registrador se calibra para la concentración de fluoruro, se obtiene un registro continuo de este ion.

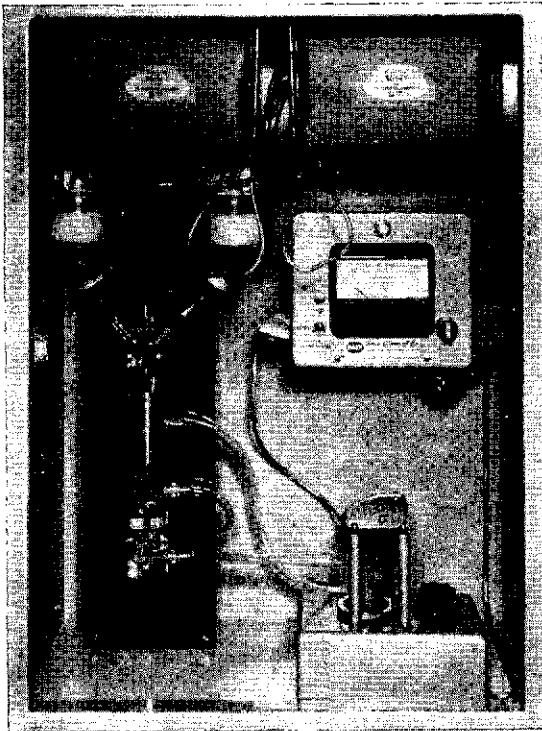


FIG. 10.14 Registrador automático de fluoruro que utiliza tubos capilares. (Hach)

En la actualidad, las siguientes compañías pueden proporcionar aparatos que registran continuamente los niveles de fluoruro del agua, con instrumentos de tipo colorimétrico:

Hach Company Ames, Iowa, E.U.A.

Harold Kruger Instruments, San Gabriel, California, E.U.A.

Milton Roy Company, Filadelfia, Pensilvania, E.U.A.

Technicon Controls, Inc., Chauncey, Nueva York, E.U.A.

Si las interferencias de la muestra exceden la tolerancia del reactivo escogido, la muestra puede destilarse continuamente, pero con una entrada constante de compuerta. El destilado se puede introducir en el equipo de registro automático citado anteriormente. Sin embargo, sólo se requiere el

montaje de la primera destilación, debido a que todos los reactivos conocidos para el fluoruro, pueden tolerar los niveles tan bajos de interferencia que se encuentran en el primer destilado.

## INSTRUMENTOS DE CONDUCTIVIDAD

Es necesario tener dos destilaciones de la muestra, para las mediciones continuas de la conductividad. El segundo destilado se descarga directamente en la celda de conductividad. El segundo destilado es necesario debido a que, aunque los destilados de la primera están lo suficientemente

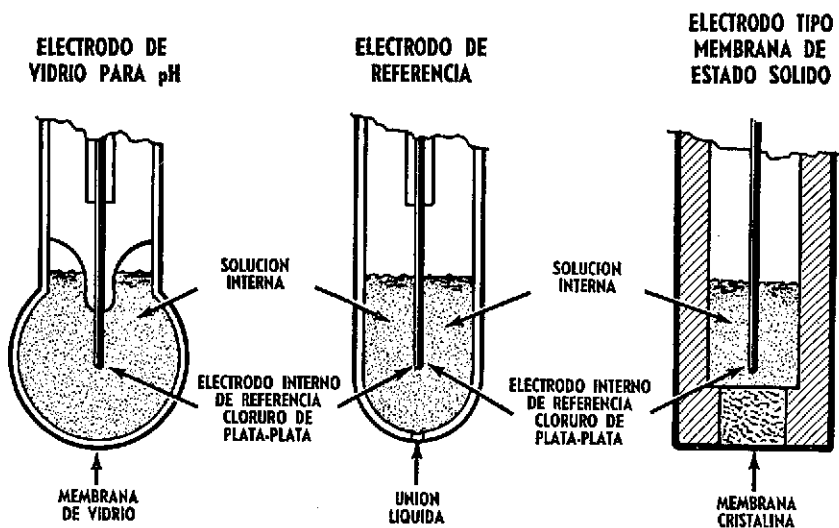


Fig. 10.15 Electrodo específico para el ion flúor (Orion)

libres de interferencias para permitir un análisis químico directo, están lejos de ser satisfactorios para las determinaciones basadas en la conductividad. Las trazas de sulfatos (del ácido sulfúrico) y los iones que resultan de los materiales volátiles, cambian la conductividad a tal grado, que los fluoruros no pueden medirse con exactitud. En consecuencia, el segundo destilado no contiene nada excepto el destilado del primero. Los alambres de los electrodos de la celda de conductividad se conectan a un registrador de esta característica. En éste, el circuito de medición es un puente de Wheatstone modificado, con dos capacitores similares de aire y dos resistencias. El electrodo sensor que está en la celda de conductividad, es una de las resistencias y el elemento de equilibrio del registrador, uno de los capacitores. Cuando los elementos sensores detectan un cambio en la con-

ductividad, el circuito de medición se desequilibra. Esto establece un voltaje que, al amplificarse, mueve la pluma registradora hasta que el circuito de medición vuelve a equilibrarse.

Otra adaptación del principio de conductividad con estos fines, es el que se describió con relación a la planta de tratamiento de agua de Salem-Beverly.<sup>6</sup> Como se indica en la fig. 10.17, se colocan dos electrodos en una tubería o canal que lleva el agua que va a fluorurarse. La solución de fluoruro se añade entre estos dos puntos. La diferencia en conductividad que

**CONTROL CONTINUO DE FLUORUROS EN  
ABASTECIMIENTOS DE AGUA POTABLE**

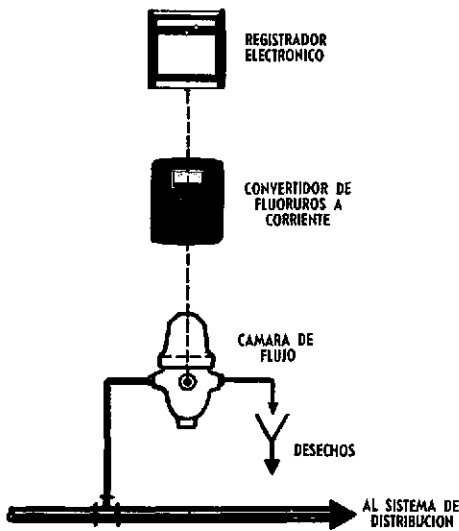


FIG. 10.16 Control continuo de fluoruros en abastecimientos de agua potable.  
(Foxboro)

resulta sólo de la presencia del compuesto de flúor, se registra automáticamente en un instrumento similar al que acaba de describirse. Este sistema mide sólo la cantidad de fluoruro agregado. No puede hacerse ninguna corrección mediante las diferencias en el contenido de fluoruro del agua no tratada, por variaciones en su flujo o por cambios en la pureza del compuesto empleado.

El sistema de electrodos para la actividad iónica del fluoruro, utiliza un electrodo de medición y uno de referencia. (Fig. 10.15.) El primero es uno tipo membrana de estado sólido, con una membrana cristalina sellada

<sup>6</sup> Knowlton, Kenneth F., Investigation of the Continous Recording of Fluoride Concentration in Water, *J. New Engl. Water Works Assoc.*, 68(1): 16 (1954).

en su extremo. Esta está compuesta de fluoruro de lantano y es selectivamente permeable a los iones de fluoruro. El electrodo de fluoruro está lleno con una solución que tiene concentraciones fijas de iones de fluoruro y cloruro, que proporcionan un potencial constante entre el electrodo de referencia y la solución que contiene el de medición y entre esta solución y la superficie interior de la membrana de cristal. Cuando la actividad del ion de fluoruro de la muestra de agua, equivale a la de la solución contenida en el electrodo de fluoruro, no se genera ningún potencial. Este es el punto isopotencial y puede registrarse a 1 mg/l de fluoruro. Cuando existe una diferencia de la sal en este punto, se genera un potencial que se transmite a un convertidor de milivolt a corriente, que convierte la medición a una

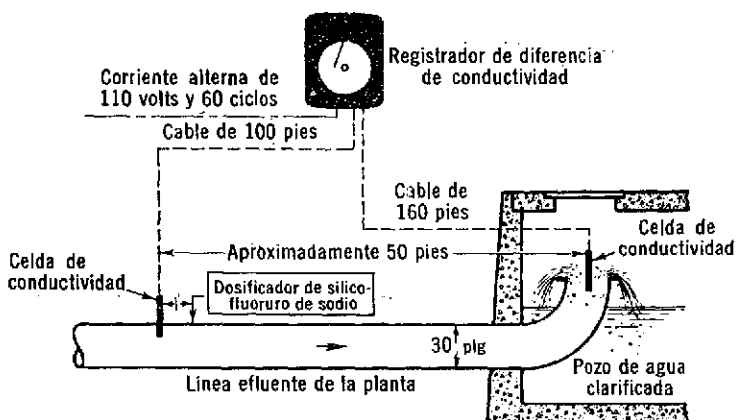


Fig. 10.17 Controlador y registrador de la conductividad del fluoruro. (Foxboro)

señal proporcional entre 10 y 50 miliamperes. El convertidor incluye un indicador y un medio para transmitir la señal a un registrador o a cualquier otro equipo de control. La temperatura afecta sólo ligeramente la medición del fluoruro. Entre pH de 4 y 8, no se registran interferencias de los iones de hidrógeno e hidroxilo. En la fig. 10.16 se ilustra un sistema típico para el control continuo de los fluoruros.

## CONTROL

El control neumático de cualquier registrador se obtiene utilizando el principio descrito en el capítulo 8. El aire controlado puede usarse para controlar la abertura de una válvula accionada por un motor de aire. Como se indica en la fig. 10.18, esta válvula puede instalarse en el conducto del efluente de la cámara de disolución de un dosificador de material seco. Conforme esta válvula se acerca a la posición cerrada (como suce-

derá al alcanzarse o sobrepasarse el nivel de fluoruro), el nivel de la solución de la cámara de disolución se elevará hasta que queden sumergidos los dos electrodos de control. Esto corta el motor del dosificador, así como también el agua que llega a la cámara de disolución. Conforme la solución sale de esta última, el electrodo inferior queda expuesto, lo cual vuelve a poner en marcha el motor y abre la válvula del agua. Este ciclo se repite automática y continuamente.

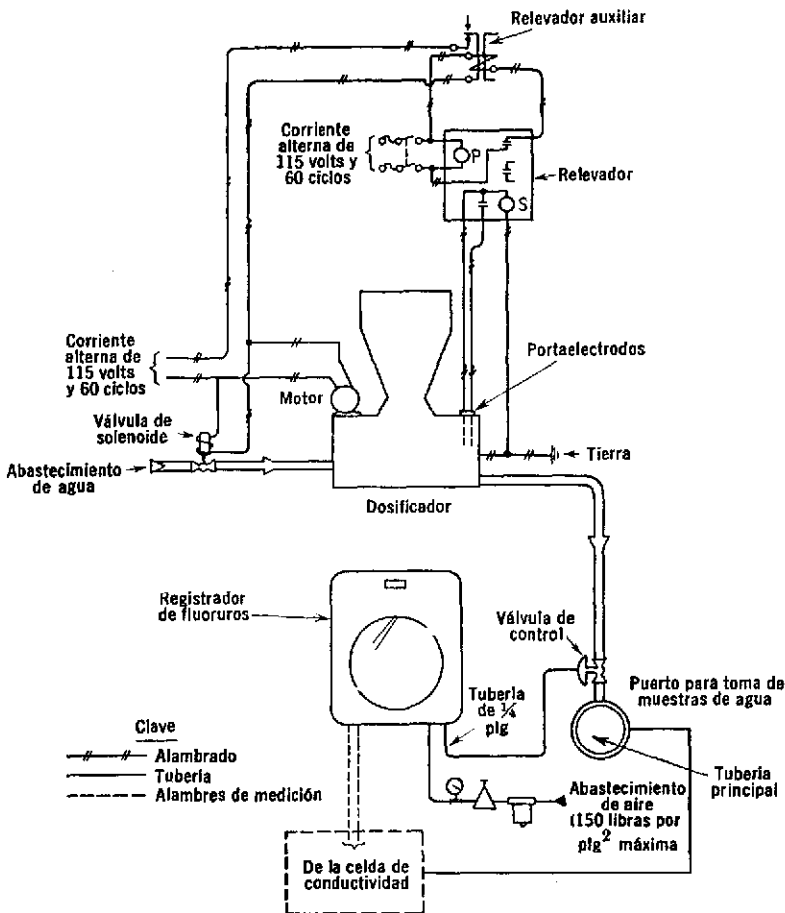


FIG. 10.18 Controlador del dosificador para el control automático del fluoruro. (Foxboro)





## *Seguridad de los operadores de las plantas de tratamiento de agua*

Los operadores de los sistemas de agua potable, que manejan compuestos de flúor, deben adiestrarse para protegerse de cualquier exposición accidental que puede ser peligrosa. La naturaleza tóxica de estos compuestos es tal, que debe evitarse cualquier posibilidad de inhalación o ingestión excesiva. Siempre debe insistirse en el buen adiestramiento de los operadores, sobre todo poniendo énfasis en la toxicidad de los compuestos de flúor.

Las peligrosas exposiciones al fluoruro pueden experimentarse cuando se cae accidentalmente el material (puede tragarse una cantidad excesiva), inhalándolo del polvo o vapor de la atmósfera o bien, por contacto con ácido, lo que produciría quemaduras en la piel o los ojos. No se ha sabido de accidentes de tales magnitudes, pero su posibilidad no debe nunca minimizarse.

La norma para el polvo o vapor de fluoruro en el aire, es 2.5 mg por metro cúbico de aire en contacto continuo de 8 horas diarias. Este nivel nunca se ha aproximado, ni remotamente, en ninguna planta de tratamiento en donde se han medido las concentraciones del aire. Afortunadamente, la posibilidad de una exposición excesiva en las plantas de tratamiento, es muy poco probable. El equipo dosificador de fluoruro generalmente se diseña en forma tal, que las tolvas no requieren ser llenadas más de una vez al día. Puesto que el contacto máximo tiene más probabilidades de producirse durante la operación de llenado de las tolvas, quedará limitado a unos cuantos minutos por día.

No obstante, deben aprovecharse todos los procedimientos y equipo disponibles para proteger a los trabajadores, de cualquier contacto posible

que resultaría peligroso. Pueden obtenerse márgenes considerables de seguridad, seleccionando los compuestos de flúor menos peligrosos, equipando los dosificadores y tolvas con accesorios de seguridad y facilitando equipos de protección personal.

De los compuestos de flúor en polvo, el espato flúor es el más seguro desde el punto de vista toxicológico. La solubilidad del fluoruro de calcio es tan baja, que la cantidad absorbida por el sistema digestivo es considerablemente inferior al de un compuesto más soluble como por ejemplo, el fluoruro de sodio. La seguridad con los compuestos en polvo puede incrementarse también, seleccionando un grado o tamaño de malla que no produzca polvo y que, por lo tanto, no pueda inhalarse. El grado cristalino del fluoruro de sodio, por ejemplo, contiene muy pocas partículas que puedan producir polvo y su uso debe referirse a los grados en polvo, siempre que sea posible. Los fluoruros líquidos (ácido fluosilícico) no pueden producir polvo.

Sin embargo, si no pueden utilizarse materiales libres de polvo (por ejemplo, el silicofluoruro de sodio tiene una enorme ventaja económica sobre algunos de los otros compuestos de flúor; pero no puede obtenerse en tamaños de malla grandes y libres de polvo), entonces, deben tomarse medidas para reducir el peligro del polvo. En las plantas más pequeñas, hay poco peligro para los operadores, si se tiene el suficiente cuidado en el manejo de los compuestos para que se produzca la mínima cantidad posible de polvo. Las mayores posibilidades de contacto se presentan en las plantas grandes, en donde se vacían barriles del compuesto de fluoruro dentro de las tolvas, cuyas aberturas están sobre o cerca del nivel del suelo. Cuando los fluoruros se abomban en estos barriles y luego se vacían repentinamente, pueden formarse nubes de polvo. En todos estos casos, la tolva debe estar equipada con un sistema de salida para el polvo.

Como se indica en la fig. 11.1, un sistema típico para la recolección del polvo forma parte de la tolva del dosificador. Mediante una turbina impulsada por motor, se mantiene un vacío parcial en la abertura en donde se vacía el compuesto de flúor. El polvo formado se atrae hacia arriba por medio de una serie de pantallas metálicas o de tela. El aire filtrado se expulsa al exterior del edificio. Periódicamente, se sacuden las pantallas o se invierte el flujo del aire para eliminar los fluoruros acumulados. Estos dispositivos pueden obtenerse para manejar instalaciones de cualquier tamaño y son fabricadas por:

- B-I-F Industries, Providence, Rhode Island, E.U.A.
- Ducon Company, Mineola, Nueva York, E.U.A.
- Johnson-March Corporation, Filadelfia, Pensilvania, E.U.A.
- Metals Desintegrating Company, Summit, Nueva Jersey, E.U.A.
- Pangborn Corporation, Hagerstown, Maryland, E.U.A.

En algunas plantas, el vacío que se requiere para eliminar el polvo de los lugares de trabajo, se obtiene de un aspirador que utilice agua bajo presión. El polvo del aire se introduce en el agua, que después se conduce a algún punto de tratamiento dentro de la misma planta de tratamiento.

Un sistema libre de polvo, que sea conveniente para las plantas más grandes, debe incluir sistemas transportadores mecánicos o neumáticos. Tales sistemas son especialmente ventajosos cuando se reciben envíos por



Fig. 11.1 Equipo recolector de polvo. (B-I-F Industries, Inc.)

furgones o camiones. El material puede transferirse en una forma que no se produzca polvo, desde el camión de envío hasta la tolva del dosificador sin exponerlo al aire exterior y, en consecuencia, con un contacto mínimo para el trabajador. Estos equipos se fabrican bajo orden y pueden obtenerse en:

- B-I-F Industries, Providence, Rhode Island, E.U.A.
- Bucket Elevator Company, Summit, Nueva Jersey, E.U.A.
- Day Company, Minneápolis, Minnesota, E.U.A.
- Dracco Corporation, Cleveland, Ohio, E.U.A.

Dravo Corporation, Pittsburgh, Pennsylvania, E.U.A.

Hapman-Dutton Company, Kalamazoo, Michigan, E.U.A.

Jeffrey Manufacturing Company, Columbus, Ohio, E.U.A.

Link-Belt Company, Nueva York, Nueva York, E.U.A.

En algunas plantas más pequeñas se utiliza un cargador de bolsas (fig. 8.20) en los dosificadores de material seco. Con este dispositivo se pueden vaciar automáticamente las bolsas de 45 kg, dentro de la tolva, cuando está cerrada la puerta que las sujeta. La bolsa vacía se quita cuando es necesario volver a llenar la tolva. Con este dispositivo no es necesario utilizar un sistema de control o para la eliminación de polvo.

En las plantas muy pequeñas, que emplean compuestos químicos en polvo, la tolva puede llenarse a mano utilizando una cuchara o pala. Aun en este caso existe muy poco peligro, si la operación se realiza con el suficiente cuidado para no producir polvo.

En todos los casos, los operadores deben tener a la mano y utilizar guantes y máscaras aprobadas. Los siguientes fabricantes producen tales máscaras, que han sido aprobadas por el Bureau of Mines (indicando el número de la aprobación) para la protección contra polvos tóxicos:

American Optical Company, Southbridge, Massachusetts, E.U.A. (Approval No. 2144)

B. F. McDonald Company, Los Angeles, California, E.U.A. (Approval No. 2126)

Hygeia Filter Company, Nueva York, Nueva York, E.U.A. (Approval No. 2145)

Mine Safety Appliances Company, Pittsburgh, Pensilvania, E.U.A. (Approval Nos. 2107 y 2126)

Pulmosan Safety Equipment Corporation, Brooklyn, Nueva York (Approval No. 2110)

Wilson Products, Inc., Reading, Pensilvania, E.U.A. (Approval Nos. 2125 y 2143).

Uno de los compuestos de flúor más peligrosos, el fluoruro de hidrógeno (ácido fluorhídrico), se utilizó durante varios años en una planta de agua potable en los Estados Unidos. Después de varios accidentes, se reemplazó por ácido fluosilícico. Es dudoso que ninguna planta encuentre justificación para utilizar en lo futuro ácido fluorhídrico, por lo que no debe nunca recurrirse a su empleo para estos fines.

El ácido fluosilícico es mucho menos peligroso, pero no obstante, debe tratarse con mucho cuidado. Afortunadamente, rara vez es manejado en cualquier forma que no sea bombeándolo a través de tuberías o conductos. Siempre que sea posible, no se diluirá antes de dosificarlo (véase el capítulo 6). Por lo general, este ácido puede administrarse directamente del

recipiente de envío o bombearse directamente desde el tanque de almacenamiento. Este tanque se llena desde los camiones cisterna o carros tanque de ferrocarril.

Debe tenerse extremo cuidado en la reparación de las tuberías y bombas que contienen este ácido, sobre todo en lo que respecta a manos y ojos. Deben usarse anteojos de seguridad, máscaras, guantes de hule y botas. Deben tenerse a la mano grandes cantidades de agua corriente, para enjuagar los ojos y las manos o cualquier otra parte del cuerpo.

Los cuartos en donde se almacena el equipo del ácido, deben ventilarse continuamente y el aire viciado sacarse al exterior. Todas las ventilas de los tanques deben terminar en el exterior, con un aditamento de cuello de cisne.

Cuando se maneja cualquier compuesto de flúor, debe mantenerse siempre una limpieza escrupulosa. Cualquier derrame debe lavarse y secarse inmediatamente. Los derrames de ácido pueden neutralizarse con agua de cal. Deben lavarse vigorosamente las manos después de cada carga y ducharse a diario, si dichas cargas son prolongadas.

El desecho de los recipientes de envío de los compuestos de flúor (barriles, cajas de cartón, tambores y bolsas de papel), ha constituido siempre un problema grave. Involucra un peligro considerable, cuya gravedad depende del uso subsecuente de los recipientes vacíos. Si se venden o regalan, debe eliminarse toda traza de los compuestos de flúor, la forma más sencilla de lograrlo es enjuagarlos perfectamente con agua. Si se queman dentro de la propiedad de la planta, los humos deben controlarse para evitar cualquier molestia. Los humos que contienen fluoruro pueden destruir la vegetación. El criterio más seguro que debe seguirse es que no quede nada del compuesto de flúor en un recipiente de envío, antes de que salga de los terrenos de la planta.

## SEGURIDAD DEL CONSUMIDOR

El correcto diseño, construcción y facilidad de mantenimiento del equipo dosificador de compuestos químicos, evita casi invariablemente cualquier sobrealimentación accidental del fluoruro. Sin embargo, existen posibilidades remotas de una sobrealimentación, que pueden evitarse mediante el diseño apropiado de la instalación.

En las instalaciones pequeñas, con dosificadores de solución, existe muy poco peligro de sobrealimentación, cuando el punto de aplicación está bajo presión o en cualquier punto más elevado que el del dosificador. Sin embargo, cuando se inyecta hacia un punto inferior o en una tubería que tiene condiciones de vacío, debe proporcionarse una conexión abierta en el tubo de descarga del dosificador. Esta condición se ilustró en la fig. 9.1.

La caja de succión de la tubería que va hacia el lado de succión de la bomba, se necesita para evitar que entre aire en ella. En algunas instalaciones, cuando el dosificador de solución inyecta contra presiones, puede existir la posibilidad de que se produzca ocasionalmente un vacío. Esto puede suceder, por ejemplo, cuando se está reparando una tubería principal en alguna parte del sistema de distribución. Si la aparición de dicho vacío es posible, el dosificador debe estar equipado con un rompedor de vacíos. Muchos fabricantes de dosificadores pueden proporcionar este dispositivo como parte rutinaria del equipo.

Los rompedores de vacío deben instalarse también más allá de la última válvula de control, en todas las tuberías de agua que van a las cámaras de disolución, tanques del saturador, tanques de solución o cualquier otro recipiente que contiene soluciones de fluoruro, y cuando esa tubería de agua pueda sumergirse en cualquier circunstancia. El diseño más seguro para tales tanques, es el que coloca la entrada del agua arriba del nivel del rebosadero del tanque.

El derramamiento de compuestos químicos por los dosificadores de material seco, puede evitarse fácilmente utilizando una rueda de estrella entre la tolva y la cámara de disolución, tal y como se describe en el capítulo 7.

Una posibilidad obvia de sobredosificación puede registrarse, al permitir que el dosificador de fluoruro funcione después de que se ha cortado el abastecimiento de agua que va a tratarse. No debe tolerarse un diseño que permita esta posibilidad. Debe haber siempre una interconexión entre la bomba que proporciona el agua y el motor que impulsa al dosificador.

Hay algunos departamentos estatales de sanidad que requieren todavía que sólo se utilicen compuestos de flúor en polvo pintados de azul en las plantas de tratamiento de agua, con el fin de reducir las posibilidades de que los operadores los confundan con otros compuestos que también se utilizan para el tratamiento del agua. Este requisito, aunque tuvo su valor durante las primeras etapas de la fluoruración del agua, no ha demostrado ser del todo justificado. Se han obtenido los mismos resultados en muchos estados, mediante una supervisión y manejo cuidadosos del sistema de abastecimiento, aislando el equipo y provisiones para la administración del fluoruro y preparando mejor a los operadores de las plantas de tratamiento.

Las variaciones periódicas en la concentración del fluoruro, en un sistema de distribución, no deben exceder, ordinariamente, de  $\pm 0.1$  mg por litro. Tales variaciones pueden ocurrir debido a las pulsaciones impartidas por el movimiento alternativo de muchos dosificadores de solución. Esta situación se ha experimentado cuando se utiliza una solución de fluoruro relativamente fuerte (por ejemplo, ácido fluosilícico); cuando se producen mezclas de la solución con el agua tratada después de la inyección, y cuando hay consumidores que habitan muy cerca de la planta de trata-

miento. Con el fin de nivelar los extremos en las concentraciones de fluoruro, producidas por una o más de estas condiciones, deben tomarse las siguientes medidas:

1. Proporcionar un tanque o recipiente de mezcla y almacenaje, antes de la salida del agua o, mejor todavía,
2. Incrementar la frecuencia de la carrera del dosificador (a veces se requiere un dosificador adicional impulsado por el mismo motor). Esto, por supuesto, requerirá una carrera más corta.
3. Reducir la concentración de la solución de fluoruro. Por supuesto, esto requerirá un mayor volumen de solución por unidad de tiempo, con un incremento en la frecuencia de la carrera o longitudes de carrera mayores.

En todo caso, la consideración más importante debe ser un nivel de fluoruro ininterrumpido, constante e invariable en el agua tratada.





## *Efectos de los fluoruros en el sistema de distribución*

La adición de fluoruros al agua se realiza con el único propósito de proteger la dentadura de los niños de la caries dental. Desde 1945, cuando se inició esta práctica, se han experimentado algunos interesantes efectos y ventajas colaterales para el operador de la planta de tratamiento de agua. Ninguno de ellos involucra otros beneficios fisiológicos adicionales o complementarios. Se incluyen medios para detectar fugas y para establecer tiempos de recorrido en los sistemas de distribución del agua.

### FUGAS

Una de las experiencias más comunes en la operación de las instalaciones de agua potable, es encontrar charcos o corrientes de agua cerca o sobre los lugares que se sabe contienen parte del sistema de distribución. La fuente del agua puede ser, ya sea una fuga en las tuberías o agua subterránea. Con el fin de determinar si hay una fuga, sin necesidad de escarbar hasta el tubo mismo, puede analizarse el contenido de fluoruro en una muestra de dicha agua. Si la fluoruración se practica en la comunidad, la fuente del agua se identificará con facilidad. Si la muestra no contiene fluoruro, se habrá evitado un gasto considerable para escarbar hasta la tubería.

### POSIBILIDADES DE RASTREO

Muchos aspectos de un sistema de distribución no pueden determinarse fácilmente mediante cálculos que involucren sólo el consumo del agua. Ord-

nariamente, es imposible determinar con exactitud o sin grandes dificultades que involucren cálculos laboriosos, información que concierna a una parte dada de un sistema, como por ejemplo las velocidades del agua, direcciones de flujo o de no flujo, posición o presencia de las válvulas y tiempos de retención en tanques o tuberías. Gran parte de la información de este tipo se determina con relativa facilidad, incorporando un estudio relacionado con la iniciación de la fluoruración en una ciudad. Si se seleccionan puntos críticos de muestreo y se conoce cuándo se va a iniciar la fluoruración, la primera aparición de fluoruros en esos puntos puede establecerse sin mayores problemas. Esto se puede hacer tomando muestras con frecuencia (aproximadamente una cada 5 min) aproximadamente el tiempo en que se predijo la primera aparición de fluoruro. Analizando las muestras en ese mismo instante y registrando el tiempo cuando contenían primeramente alrededor de 0.2 a 0.3 mg por litro más de fluoruro que el agua sin tratar, puede determinarse con bastante exactitud el tiempo de recorrido hasta el punto en que se toman las muestras. Estos datos pueden utilizarse para mejorar el diseño de los tanques y el funcionamiento de las estaciones de bombeo, así como para determinar el tamaño y condición de las tuberías (coeficientes de rugosidad) y sus debilidades, desde el punto de vista de la obtención de eficiencias y flujos máximos. Se ha informado que este método ha descubierto válvulas de cuya existencia no se sospechaba.

## ESCAMAS

Ocasionalmente se registra la aparición de incrustaciones en la forma de fluoruro o silicofluoruro de calcio y magnesio, en tuberías, tanques, educutores y bombas que manejan soluciones concentradas de fluoruro, antes del punto de su aplicación al abastecimiento de agua. Nunca se ha sabido que las escamas formadas en el sistema de distribución, hayan sido causadas por el agua tratada con los compuestos de flúor. La severidad de la formación de escamas en la planta, está en función del tipo de compuestos de flúor formados, la cantidad que se maneja, la dureza del agua y su velocidad o grado de agitación en un punto determinado.

El fluoruro de sodio es el que produce las costras más voluminosas y persistentes. Estas escamas se componen de fluoruro de calcio o magnesio, o de una combinación de ambos. Las incrustaciones compuestas de silicofluoruro de calcio o magnesio (formados por los constituyentes de la dureza del agua y el silicofluoruro de sodio), son los menos problemáticos debido a que son más solubles. Los fluoruros de calcio y magnesio no pueden formarse en soluciones de silicofluoruro de sodio, debido a los valores bajos de pH de estas soluciones. Con el ácido fluosilícico no se registra ninguna

formación de escamas, debido a que raramente se diluye antes de dosificarse. La cantidad de escamas observada está relacionada con la cantidad de compuestos disponibles para su formación; es decir, la concentración de las soluciones de fluoruro y las cantidades de calcio y magnesio que contiene el agua.

La formación de escamas puede producirse también en forma directa, por la deposición de fluoruros de calcio y magnesio en el equipo, debida a la velocidad del agua que pasa por él. Las bombas centrífugas y los educutores, junto con las tuberías conectadas a ellos, sufren con frecuencia de la formación de escamas que, no obstante, desaparecen cuando la instalación cambia a un sistema de gravedad, ya que esto hace que el agua fluya más lentamente. Si no pueden evitarse las velocidades elevadas del agua, deben tomarse medidas para que la tubería pueda sacarse con facilidad para limpiarla periódicamente.

En muchos casos, la formación de escamas se elimina mejor, suprimiendo la causa original, es decir, reduciendo la cantidad de calcio o magnesio ablandando el agua antes de hacer las soluciones de fluoruro o bien, secuestrando estos elementos con soluciones de hexametrafosfatos. En los casos en que se requieren cantidades relativamente pequeñas de agua de repuesto (como por ejemplo, el agua que se utiliza en un tanque saturador de fluoruro de sodio), puede resultar más económico tratar el agua en un ablandador a presión regenerado con cal. Cuando se requieren grandes cantidades de agua (en la cámara de disolución de un dosificador de material seco), pueden utilizarse económicamente soluciones de polifosfato hechas con Calgon, Calco 918 o Micromet. Estas requieren un pequeño dosificador mecánico de solución o de olla a presión, para asegurar la dosificación más efectiva del agua destinada a la cámara de disolución. La cantidad que va a alimentarse (en el orden de 5 a 10 veces la dureza), puede determinarse mejor con base en la experiencia.

## CORROSION

La adición de la cantidad óptima de fluoruro a los abastecimientos de agua potable, nunca ha producido un incremento de las propiedades corrosivas del agua tratada. Sin embargo, las soluciones concentradas de fluoruro antes de alimentarse, son corrosivas y los materiales del equipo dosificador y tuberías deben seleccionarse teniendo esto en mente. Por lo general, los aceros inoxidables y plásticos proporcionados por los fabricantes del equipo, han resultado ser totalmente satisfactorios para resolver este problema.

## EFFECTOS DE LOS ABLANDADORES CASEROS PARA AGUA EN LAS CONCENTRACIONES DE FLUORURO

Los ablandadores caseros para agua contienen un material para el intercambio de iones, que absorbe los de calcio y magnesio del agua y, a su vez, libera los iones de sodio. El sodio se renueva periódicamente (y los iones de calcio y magnesio se reemplazan y eliminan del medio) haciendo pasar una solución concentrada de salmuera (cloruro de sodio) a través del lecho del medio. Este proceso y su reacción química no eliminan, normalmente, los iones de fluoruro del agua.

Sin embargo, se han recibido informes de que en unas cuantas localidades, la concentración de fluoruro del agua previamente tratada se ha reducido después de que pasa por ablandadores de este tipo. En la actualidad poco se sabe respecto a la causa de esto; sin embargo, puesto que la eliminación se registra sólo en ciertas regiones bien definidas, parece ser que es algún contaminante del agua el que lo provoca. Basándose en esta observación, parece ser que el contaminante puede ser un material que absorbe el fluoruro el cual se remueve al pasar el agua por el medio filtrante del ablandador. Esto forma una capa de material defluorurante en la parte superior del ablandador y elimina el fluoruro conforme el agua pasa por ella. Cuando se descubra la naturaleza de este contaminante, se tomarán las medidas necesarias en las plantas de tratamiento, para eliminarlo del agua.

También se ha tenido noticia de que, muy ocasionalmente, el nivel de fluoruro aumenta durante cortos períodos de tiempo, después de pasar a través de ablandadores caseros de agua. Este fenómeno parece estar relacionado con el método de regeneración en la planta en donde se da servicio a los ablandadores. Es necesario investigar la causa y el remedio de todo esto.

## TUBERCULACION EN TUBERIAS PRINCIPALES

Dependiendo de la composición del agua, en ocasiones se forman tubérculos (protuberancias en forma de ampollas que se producen en el interior de las tuberías de agua) en las superficies internas de conductos, en las porciones picadas y que consisten en acumulaciones de los productos de corrosión. Se ha indicado que el flúor y otros aniones del agua, pueden concentrarse en estos tubérculos por medios que no se han podido definir del todo. Se ha sugerido la siguiente explicación como una posibilidad:<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Baylis, John R., Early Studies on the Corrosion of Iron Pipes, *Pure Water*, Department of Water and Sewers, Bureau of Water, Ciudad de Chicago, 9(9): 154-184 (1957).

El oxígeno disuelto tiene la mayor influencia en la rapidez de corrosión de las tuberías nuevas. Sin embargo, después de que se forma una película de herrumbre, otros factores que aceleran la corrosión adquieren una mayor importancia. Las picaduras con tubérculos comienzan a formarse cuando la herrumbre se hace tan espesa, que retrasa la difusión de compuestos solubles de hierro como el sulfato y el cloruro ferrosos y, posiblemente, el fluoruro ferroso dentro del agua, desde las porciones picadas. Siendo ácidas, estas sales aceleran la corrosión de las picaduras. Al mismo tiempo, se bloquea el acceso del oxígeno disuelto y aniones adicionales del agua a las porciones picadas. Esto tiende a hacer que la corrosión mediante picaduras sea autolimitada; la reacción electroquímica en la que se liberan hidrógeno y productos aniónicos debe cesar eventualmente, debido a la falta de combustible, es decir, oxígeno y aniones del agua. Entonces, parece ser que el contenido aniónico de un tubérculo alcanza un valor máximo y permanece en este punto, o bien disminuye. Además, los tubérculos son muy duros y bastante insolubles en el agua.

Un panel de la AWWA, que discutió esta cuestión en 1957, llegó a las siguientes conclusiones:

1. Los iones de fluoruro pueden concentrarse en pequeñas cantidades en tubérculos, junto con otros iones negativos como sulfatos y cloruros.
2. La velocidad de concentración de estos materiales es tan lenta, que la cantidad de fluoruro extraído no puede medirse por los métodos normales de prueba.
3. No existe una forma por la que los fluoruros concentrados en los tubérculos, puedan volver a mezclarse con el agua para lograr un incremento medible en el contenido de fluoruro.



## *Estado actual de la fluoruración*

Como se indica en la fig. 13.1, la aceptación de este sistema en los Estados Unidos ha aumentado constantemente desde que se hizo la primera instalación, en 1945. Su desarrollo ha sido notablemente rápido desde 1951, cuando se observaron por primera vez sus benéficos resultados. El crecimiento más rápido se registró durante el período de 1950 a 1953 y de 1962 a 1965 (tabla 13.1). Durante este última período, el sistema se implantó en la ciudad de Nueva York. Para fines de 1966, existían 1,785 sistemas de abastecimiento que proporcionaban agua fluorurada a 3,145 comunidades en donde habitaban más de 62 millones de personas. Además, 7.3 millones de habitantes estaban utilizando agua con un contenido natural de 0.7 mg/l de fluoruro o más, de fuentes públicas. Este total de más de 69 millones de personas que consumen agua fluorurada en cantidades que se consideran eficaces para el control de la caries, representa alrededor del 36 por ciento de la población total de los Estados Unidos que se benefician de los abastecimientos públicos de agua potable; al mismo tiempo, se registraron 215 sistemas de abastecimientos de agua potable que proporcionaban agua fluorurada a 277 comunidades en Canadá, en donde habitaban 5 millones de personas.

Puerto Rico, con un 93 por ciento de su población que consume agua fluorurada de los abastecimientos públicos, tiene la proporción más elevada de personas que reciben este beneficio, que cualquier otro país del mundo. Ciudades, estados y países por todo el mundo están adoptando la fluoruración (tabla 13.2).<sup>1</sup> La población total de Hong-Kong, 3.5 millones, está utilizando agua fluorurada. Chile está desarrollando un programa nacional

<sup>1</sup> Leatherman, G. H. and Ellis, J., Fluoridation Round the World (1963). *The International Dental Journal*, Vo. 14, No. 2, 1964.



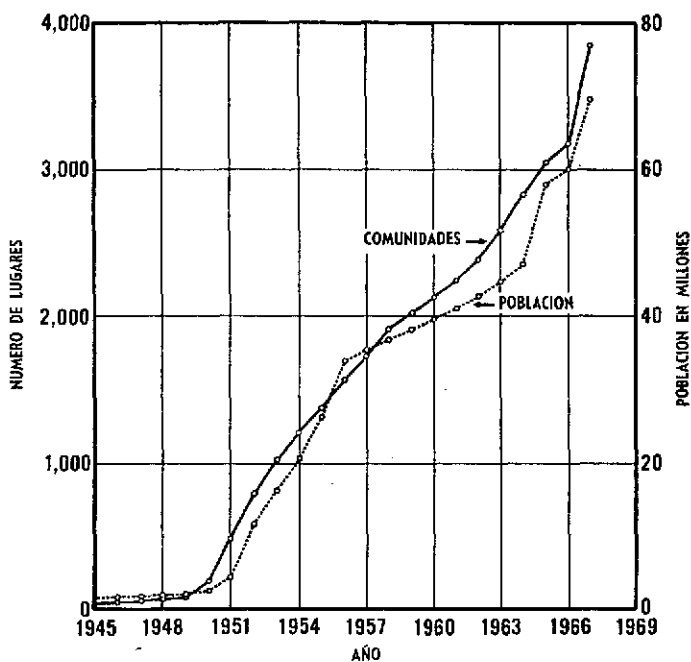


FIG. 13.1 Comunidades y poblaciones de Estados Unidos con servicio de agua fluorurada, 1945-1967.

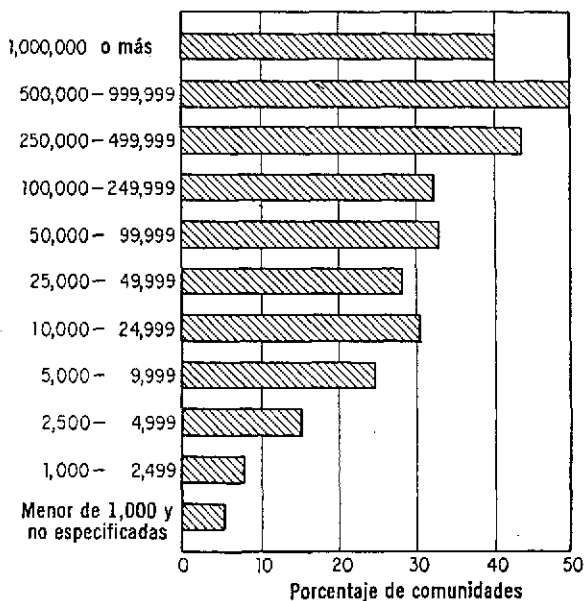


FIG. 13.2 Porcentaje de comunidades (por tamaño) que emplean la fluoruración controlada. (USPHS)

de fluoruración y más de 3 millones de personas, en 72 comunidades, están beneficiándose con este sistema. En el estado de Rio Grande do Sul, Brasil, existe un programa estatal de fluoruración por el que 47 de sus 58 comunidades, están utilizando agua fluorurada.

La mayoría de las 128 comunidades que han adoptado la fluoruración durante 1960, fueron ciudades y pueblos pequeños. No obstante, debido a que la mayoría (93%) de todas las comunidades tienen una población inferior a 10,000 habitantes, existe un gran número de lugares más pequeños que no la han adoptado todavía. Por ejemplo (fig. 13.2), sólo el

TABLA 13.1 RESULTADOS ANUALES ACUMULATIVOS SOBRE LA INSTITUCIÓN DE FLUORURACIÓN CONTROLADA, CON EL NÚMERO DE COMUNIDADES, SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE Y POBLACIÓN BENEFICIADA, EN LOS ESTADOS UNIDOS, 1945-1969

Año	Estado de la fluoruración al final de cada año		
	Número de comunidades	Número de sistemas de abastecimientos de agua potable	Población *
1945	6	3	321,920
1946	12	8	332,467
	16	11	458,748
1948	26	13	581,683
1949	49	29	1,062,779
1950	100	62	1,578,578
1951	368	171	5,079,321
1952	751	353	13,875,005
1953	1,007	482	17,666,339
1954	1,194	572	22,336,884
1955	1,347	672	26,278,820
1956	1,583	772	33,905,474
1957	1,717	879	36,215,208
1958	1,890	995	38,461,589
1959	1,990	1,081	39,628,377
1960	2,111	1,172	41,169,412
1961	2,197	1,249	42,201,115
1962	2,324	1,353	44,000,000
1963	2,612	1,482	46,700,000
1964	2,758	1,573	48,900,000
1965	3,030	1,692	59,800,000
1966	3,145	7,785	62,427,290
1967	3,827	2,091	71,916,682
1968	4,229	2,372	74,579,666
1969*	4,500	2,550	76,000,000

\* Incluye los ajustes relacionados con el crecimiento de la población durante los años intercensales 1951-1959, basados en los resultados del censo de población de 1960.

5.1 por ciento de los lugares con menos de 1,000 habitantes se están fluorurando. Por otro lado, el 31 por ciento de todas las ciudades que tiene una población superior a 10,000 habitantes, la han adoptado. Entre las ciudades más grandes de los Estados Unidos que han implantado este sistema están: Baltimore, Chicago, Cleveland, Denver, Indianápolis, Louisville, Miami, Milwaukee, Minneapolis, Nueva York, Norfolk, Filadelfia, Pittsburgh, Providence, Rochester, St. Louis, San Francisco y Washington. Entre las que todavía no tienen agua fluorurada, están: Nueva Orleans, Atlanta, San Diego, Seattle y Boston.

TABLA 13.2 ESTADO ACTUAL DE LA FLUORURACIÓN EN EL MUNDO

Territorio (Regiones de la OMS) País	Población que se beneficia de fluoruros naturales	Comunidades con fluoruración	Población que se beneficia de la fluoruración
Africa (1963)	*	1	
América (1968)			
Argentina	*		
Aruba	*		
Bahamas	*		
Bolivia	0	0	0
Brasil (1963)	*	58	2,414,614
Canadá (1966)	*	272	4,960,557
Chile	*	62	3,156,000
Colombia	0	5	1,152,000
Costa Rica	0	0	0
Cuba	*		
Curaçao	*		
República Dominicana	0	0	0
Islas E. C.	0	0	0
El Salvador	*	1	96,000
Guatemala	0	0	0
Guayana	200	0	0
Haití	*	0	0
Honduras	0	0	0
Jamaica	*	0	0
México	*		
Nicaragua	0	1	229,000
Panamá	0	6	510,000
Paraguay	0	1	135,000
Perú	129,000	2	45,000
Puerto Rico	*		
Surinam	*		
Trinidad	0	0	0
Estados Unidos (1966)	*	3,145	62,427,290
Uruguay	*		
Venezuela	*		
Este del Mediterráneo (1963)	1,000,000	0	
Europa (1963)	3,120,000	30	554,000
Sureste de Asia (1963)	500,000	0	
Oeste del Pacífico (1963)	*	30	4,126,000

(\* Indica que no se tienen datos.)

El progreso de la fluoruración en Latinoamérica se muestra en el cuadro 13.2 que indica que en la actualidad más de doce millones de personas reciben este beneficio. Dicho cuadro señala que la América Latina aventaja a muchos otros países.

COMUNIDADES LATINOAMERICANAS CON FLUORURACION  
CONTROLADA DE AGUA 1961-1968

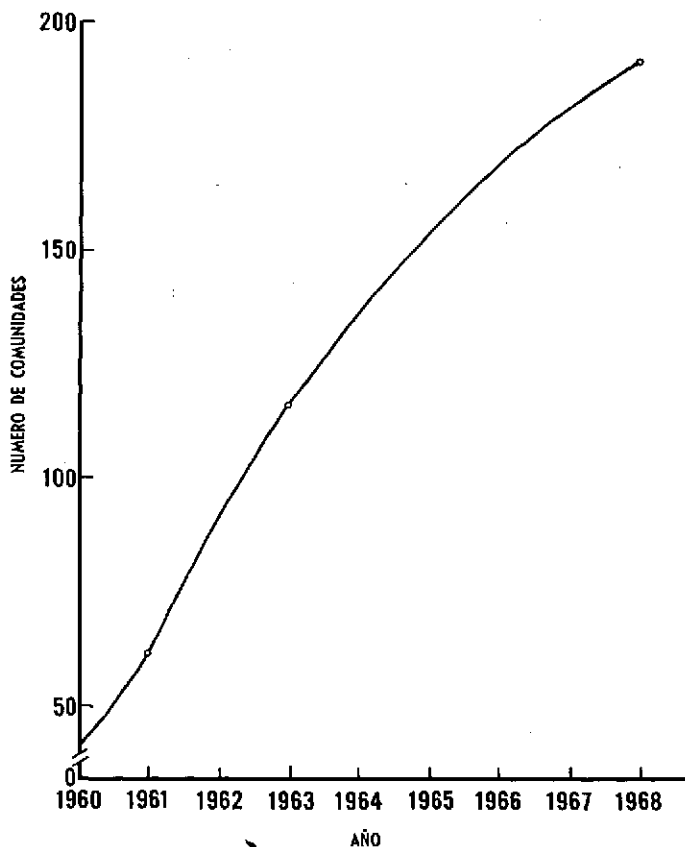


FIG. 13.3.

La Universidad de Nueva York concluyó, durante 1957,<sup>1</sup> un excelente resumen sobre las experiencias, métodos y costos de operación, en 20 de las ciudades más grandes de los Estados Unidos. De la inmensa variedad de datos presentados, vale la pena mencionar los siguientes:

<sup>2</sup> Water Fluoridation Practices in Major Cities of the United States, prepared by New York University for the New York State Department of Health, december 1958.

1. Los costos de la fluoruración alcanzaron un promedio de 0.32 dólares por millón de litros de agua tratados (7.9 centavos por persona por año), que incluye todos los conceptos de costo relacionados con la dosificación y el control de los compuestos de flúor.

2. No existen pruebas de que los fluoruros se acumulen en las tuberías o que se presenten peligros incontrolables para la salud, entre los operadores de los sistemas de abastecimiento de agua que manejan los compuestos de flúor.

3. Todas las ciudades que se estudiaron fueron capaces de mantener el nivel deseado de fluoruro, durante largos períodos y no se registraron casos de sobredosis desde que se iniciaron los proyectos.

La implantación de este sistema no está confinada a las comunidades que poseen sus propios sistemas de agua potable. A fines de 1965 se fluoruraban abastecimientos particulares de agua. Una orden de los diferentes cuerpos gubernamentales sigue siendo la forma más ampliamente aceptada para autorizar la fluoruración. Sin embargo, parece que está aumentando el número de casos en que se recurre a la votación popular, debido a la controversia engendrada por sus oponentes.

## *Fluoruración de abastecimiento de agua en casas y escuelas*

Hasta ahora nos hemos ocupado de la adición de fluoruros a los abastecimientos públicos de agua potable; pero hay dos grupos de personas para quienes este estudio ha tenido poca utilidad: los que no gozan del servicio de un sistema de abastecimiento de agua público y los que tienen agua, con una concentración excesiva de fluoruro. En los Estados Unidos, hay aproximadamente 100 millones de personas que utilizan agua de alrededor de 20,500 sistemas públicos de abastecimiento. El resto de la población, aproximadamente 80 millones de personas, habita en regiones rurales o suburbanas o en pequeños pueblos en donde el agua potable se obtiene de fuentes particulares, principalmente de pozos. Es muy posible que casi un tercio de la población total de este país nunca pueda servirse de un abastecimiento público. Puede ser que esta proporción no cambie notablemente en el futuro, debido a que aunque se están estableciendo y extendiendo cada vez más los abastecimientos públicos de agua potable, hay más familias que están emigrando a regiones rurales o suburbanas en donde se requieren los abastecimientos particulares.

Se han sugerido algunas alternativas para proporcionarle fluoruros a este grupo. En la actualidad, la aplicación local de fluoruros tiene un uso muy extendido. Por este medio se aplica una solución concentrada de fluoruro directamente en la dentadura de los niños. Comparándolo con la fluoruración del agua, no se le considera una medida eficaz para la salud pública, debido a que su costo es bastante más elevado, los resultados obtenidos son del orden de un 40 por ciento de reducción en la caries dental comparado con el 60 a 65 por ciento con agua fluorurada y a que es

difícil proporcionar este tratamiento en una forma generalizada. Las otras alternativas, que se describieron en el capítulo 4, son todavía menos efectivas o poco prácticas. Incluyen el uso de agua fluorurada embotellada, píldoras que contienen fluoruros, sal, alimentos infantiles, vitaminas y leche. La que también se mencionó en este capítulo y que se relaciona con el incremento de los niveles de fluoruro en los abastecimientos de agua escolares, a una cantidad superior a la que se utiliza en los abastecimientos públicos, ha demostrado ser eficaz y es conveniente aplicarla siempre que sea posible.

Los problemas involucrados en la fluoruración de abastecimientos de agua en casas y escuelas, son diferentes a los que se encuentran en la fluoruración de los abastecimientos públicos de agua potable. Las diferencias principales son que se bombean y consumen cantidades extremadamente pequeñas de agua; los tipos de instalación varían ampliamente; el personal que los maneja (si son propietarios de casas generalmente no tienen el adiestramiento necesario en las técnicas de tratamiento de agua) y los sistemas particulares casi nunca se conservan en una forma comparable a los públicos.

Sin embargo, con un sistema casero puede fluorurarse con éxito y seguridad, si se cuenta con los siguientes elementos:

1. Un sistema seguro y exacto para dosificar fluoruros, haciendo referencia especial a la incorporación de medios para evitar una sobredosis.
2. Un diseño de toda la instalación, para evitar manipulaciones indebidas.
3. Medios para controlar el nivel de fluoruro en el agua tratada y la reposición de la solución de fluoruro.

Con el fin de obtener un sistema seguro de dosificación, se ha sugerido el siguiente criterio:

1. El dosificador debe ser capaz de mantener un nivel de fluoruro de 1.0 mg por litro, con un error no mayor de  $\pm 0.1$  mg/l (10 por ciento) durante todas las etapas de una operación normal.
2. Debe existir una posibilidad mínima de fugas de agua que vuelvan a través del dosificador al tanque de la solución de fluoruro.
3. Debe utilizarse un rompedor de sifonaje para evitar que la solución de fluoruro penetre en las tuberías del agua sin medirse, durante los períodos de presión negativa.
4. El dosificador no debe dar salida a la solución de fluoruro cuando el agua no está fluyendo, a pesar de la condición y funcionamiento de la bomba de pozo o del arrancador del motor de la bomba. Es preferible usar un dispositivo para acomodar proporcionalmente el dosificador al flujo del agua.
5. El equipo debe construirse con materiales que puedan soportar los efectos corrosivos de la solución de fluoruro.

Se ha encontrado que los siguientes dispositivos o sus combinaciones dan muy buenos resultados para satisfacer estos requisitos:

1. El dosificador (fig. 8.8) funciona hidráulicamente y la energía impulsora se obtiene de la presión del agua del sistema de distribución. El diafragma de dosificación se acciona mediante otro más grande, por medio de la presión del agua liberada por una válvula operada por solenoide colocada en la tubería del agua. Este solenoide se activa periódicamente con un cronómetro que mueve un microinterruptor o interruptor de

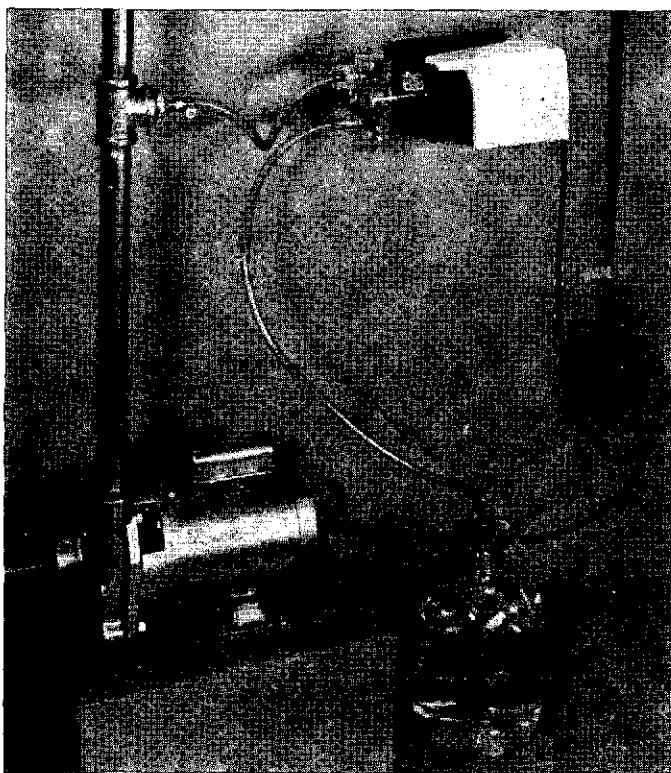


Fig. 14.1 Pequeño dosificador de sustancias químicas impulsado por un motor. (B-I-F Industries, Inc.)

mercurio, o mediante un contactor eléctrico colocado en el eje de un medidor de agua (fig. 8.6). Con este tipo de dosificador, es imposible descargar soluciones de fluoruro cuando, por diferentes razones, el motor eléctrico que impulsa a la bomba del agua funciona; pero no bombea agua. Esto puede suceder, por ejemplo, si el nivel de agua del pozo es demasiado bajo para que la bomba pueda sacarla o cuando el propulsor o eje de la bomba se rompe.



2. Un dosificador que funciona con un motor eléctrico (fig. 14.1), del que se encuentran diferentes tipos, puede controlarse con todo éxito para este fin utilizando diferentes medios. Por ejemplo, un contactor eléctrico en el medidor de agua puede activar a un cronómetro que funcione durante un período de tiempo predeterminado y preestablecido en cada contacto y que luego se autoajuste. Durante el período en el que funciona el cronómetro, también lo hace el circuito que activa al motor del dosificador.

3. El mismo tipo de dosificador puede controlarse fácilmente haciéndolo funcionar en forma continua (siempre y cuando la bomba del pozo lo haga también); pero haciendo variar el tiempo durante el cual dosifica alternadamente solución de fluoruro y agua (fig. 8.13). El contactor eléctrico del medidor de agua controla una válvula de solenoide de tres posicio-

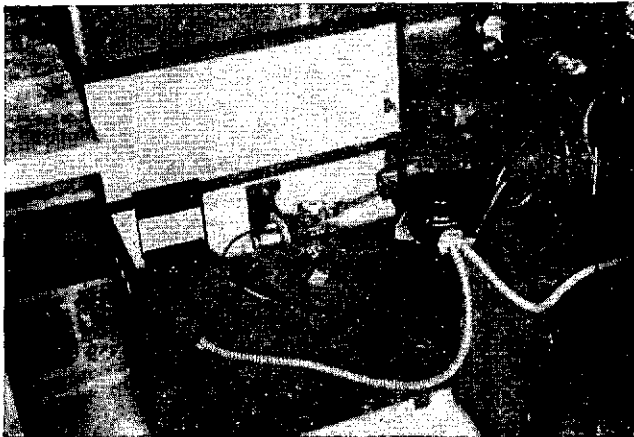


FIG. 14.2 Dosificador hidráulico (B-I-F)

nes, que se coloca en la línea de succión que va al dosificador. Cuando este contacto se establece, se abre la válvula para permitir que se bombee ya sea la solución de fluoruro o el agua. Cuando la válvula se encuentra en la otra posición, el otro líquido es el que se bombea.

4. Existen varios tipos de dosificadores operados por medidores, para instalaciones muy pequeñas (fig. 14.2). Por lo general, tienen una potencia limitada y la frecuencia de carrera es, en ocasiones, demasiado pequeña para proporcionar un nivel satisfactorio de fluoruro. Sin embargo, donde su uso es posible facilitan los medios para una instalación muy económica.

Estas combinaciones de aparatos, si se mantienen en forma debida, han resultado ser bastante satisfactorios desde el punto de vista de la exactitud. Algunos son obviamente más complicados y costosos que otros; pero las experiencias que se van acumulando con cada uno de estos tipos y con

otros que constantemente están apareciendo en el mercado, revelarán eventualmente las mejores combinaciones para este tipo de servicio.

Sin embargo, a pesar del funcionamiento exacto de estos dispositivos, debe disponerse de un sistema de servicio que asegure su operación satisfactoria en forma continua. Este servicio debe incluir el mantenimiento experto del equipo, la preparación y reposición de la solución de fluoruro, así como la supervisión constante de la concentración resultante de fluoruro en el agua tratada. Por lo general, estas tareas están fuera de la capacidad del propietario común de casas y, por esta razón, debe comprarse este servicio en una organización similar a las que hacen la cloración, ablandamiento del agua o embotellamiento de agua para propietarios particulares.

Se calcula que un servicio como éste sería beneficioso a un costo por propietario de entre 3 y 6 dólares por visita (una vez cada uno o dos meses). Esto daría como resultado, un costo aproximado de 18 a 72 dólares por año. Este estaría afectado por el número de clientes en una ruta, el tamaño de la región ocupada por éstos y la eficiencia del servicio que reciben. Al final del período, cuando la fluoruración continua produciría beneficios relativamente inferiores (la ausencia de niños o su crecimiento), las instalaciones pueden desmontarse, reajustarse y utilizarse de nuevo en otras casas.

El equipo y procedimientos de operación involucrados en la fluoruración de los abastecimientos escolares de agua potable, siguen casi siempre los que se utilizan para las instalaciones municipales pequeñas. En la mayoría de los casos, este equipo se opera y se mantiene bajo la dirección de las autoridades escolares que se hayan preparado especialmente con este fin.



## *Viabilidad de la defluoruración parcial*

La indeseable desfiguración que va asociada con la fluorosis y el costo creciente del cuidado dental, ya se conocían desde hacía varias décadas antes de 1931, cuando se descubrió su causa. Un poco más tarde, se demostró que la severidad de la fluorosis estaba directamente relacionada con la concentración de fluoruro del agua consumida durante el período de calcificación de la dentadura permanente. Los niños que estaban expuestos continuamente al consumo de agua con un contenido de alrededor de 5 mg por litro o más de fluoruro, sufrían invariablemente de esmalte moteado en la dentadura permanente; muchos de ellos tienen graves defectos de calcificación que debilitan el esmalte y producen la pérdida eventual de los dientes por desgaste.

Aunque los métodos para eliminar el exceso de fluoruro del agua se hicieron públicos poco después de que se descubrió la causa de la fluorosis, poco o ningún progreso se logró en la reducción de la incidencia de la fluorosis, mediante estos métodos. Esta falta de aceptación de las medidas de que se disponía para evitar la fluorosis, se debe probablemente al supuesto costo excesivo de las plantas de tratamiento, a los costos de operación de tales plantas y a la complejidad de los procedimientos de operación. En realidad, la experiencia que se ha logrado acumular respecto al diseño, construcción y funcionamiento de varios procesos para defluorurar el agua, indica que estas suposiciones ya no pueden sostenerse.

En la actualidad, hay aproximadamente 4.1 millones de personas que habitan en 1,200 comunidades que obtienen agua de fuentes con un exceso de fluoruro sobre el nivel óptimo. En 264 de estas comunidades (en las que habitan 689,117 personas), los niveles de fluoruro son cuando menos tres veces más elevados que el óptimo. A pesar del uso generalizado de estas

fuentes como abastecimiento público, sólo están funcionando 14 plantas específicamente diseñadas para la extracción del exceso de fluoruro.

Hoy en día se cuenta con tres métodos de defluoruración, que pueden ponerse en práctica bajo diferentes condiciones de la calidad del agua cruda y disponibilidad de compuestos químicos para su tratamiento. Estos involucran el uso de alúmina activada, carbón animal o compuestos de magnesio. Los dos primeros métodos emplean medios insolubles y granulados que eliminan los fluoruros conforme el agua se filtra a través de ellos. El medio filtrante se regenera periódicamente mediante un tratamiento químico, cuando se satura con el fluoruro eliminado del agua. En el tercer método, los fluoruros se suprimen junto con el magnesio que puede agregarse en la forma de cal. Tanto los fluoruros como el magnesio se eliminan subsecuentemente, mediante el uso de tanques de sedimentación y se desechan después.

En Bartlett, Texas, E.U.A. y en la planta del ejército en Camp Irwin, en las cercanías de Barstow, California, E.U.A. se utiliza alúmina activada. También se emplea en varias unidades experimentales para la defluoruración casera. Este medio puede obtenerse de varios fabricantes de aluminio, en gránulos de diferente tamaño de malla y grados de pureza. La alúmina activada se usa comúnmente como desecante, sobre todo en equipos de aire acondicionado. Para nuestros propósitos se utilizan tamaños de malla entre 28 y 48. Su precio normal es de 22 centavos por kg y pesa 320 kg por m<sup>3</sup>. La planta de Bartlett (fig. 15.1) contiene 14 m<sup>3</sup> de alúmina en un tanque circular común de acero para filtrado, de 3.5 m de diámetro y 3.5 m de altura. La planta es capaz de tratar 1,515 lpm de agua de pozos de Bartlett (de formación de piedra caliza Edward) y se diseñó para reducir el fluoruro de 8.0 mg por litro a un promedio de 1.0 mg/l.

Cuando se han tratado entre 1,515 y 1,895 m<sup>3</sup> de agua, la alúmina se satura de fluoruro y debe regenerarse. La regeneración de la alúmina activada consiste en varias etapas diseñadas para suprimir, mediante retrolavados, los sólidos acumulados que se han retenido del agua; para quitar (mediante una solución débil cáustica) los fluoruros que fueron absorbidos por el medio y neutralizar el residuo cáustico con enjuagues de un ácido débil y agua. En la actualidad, la solución cáustica se aplica en contracorriente para que una operación combine la etapa de retrolavado (con el ahorro de agua tratada que antes se usaba con este fin) y la aplicación de la sosa. Después de un enjuague para reducir la alcalinidad tanto como sea práctico, se aplica un enjuague de ácido sulfúrico débil (0.05 normal) hasta que la alcalinidad del agua de desecho sea lo suficientemente baja para que pueda utilizarse el efluente. La cantidad total de agua cruda que se usa para la regeneración es de 259 m<sup>3</sup>.

Recientemente, se perforó un nuevo pozo en Bartlett, que llegó a 814 m, hasta las arenas Trinity. Esa agua es similar a la del pozo antiguo, pero

contiene sólo 3.0 mg por litro de fluoruro. Uno de los resultados de este cambio es que las longitudes de ciclo se extienden ahora a un promedio de 56,775 m<sup>3</sup>. Sin embargo, debido a la mayor dificultad para eliminar el fluoruro a concentraciones inferiores, la capacidad del medio descendió a 918 g de fluoruro por m<sup>3</sup> de medio del nivel de 700, cuando se utiliza el pozo de 8.0 miligramos por litro de fluoruro.

El equipo de la planta de Bartlett costó 11,360.00 dólares en 1951, incluyendo su instalación y la alúmina 4,000 dólares adicionales. El edificio lo facilitó la ciudad y la operación se inició el 11 de marzo de 1952.

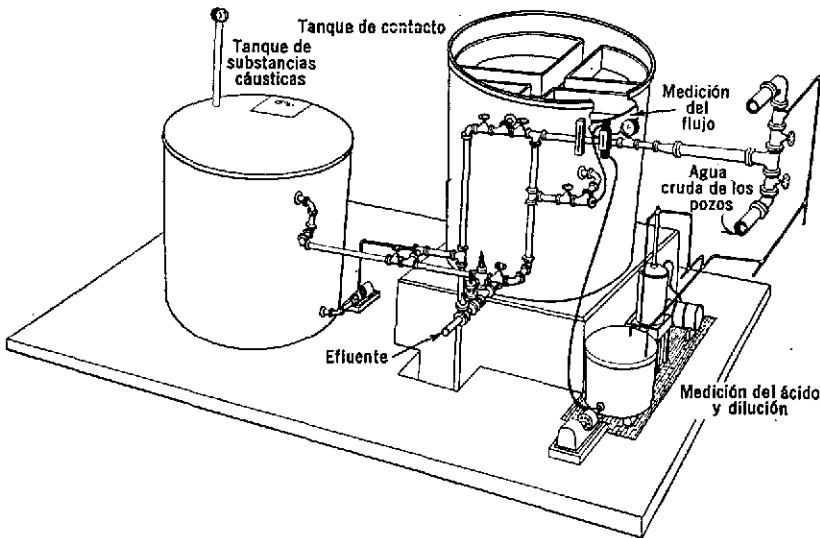


FIG. 15.1 Planta de defluoruración de Bartlett, Texas. (USPHS)

La planta de Bartlett es del tipo de gravedad, debido a que el tanque de contacto está abierto a la atmósfera. Por otro lado, la planta de Britton, Dakota del Sur, E.U.A., es del tipo de presión en la que el medio está confinado dentro de un pesado tanque de acero, diseñado para soportar la presión del agua del sistema de distribución. El agua de Britton se bombea de cualquiera de los tres pozos con que cuenta, a través del tanque de defluoruración y de ahí directamente al sistema de distribución. El tanque contiene 8.5 m<sup>3</sup> de carbón animal, que actualmente se utiliza en los Estados Unidos únicamente en esta planta. Los fluoruros se reducen de 6.7 mg por litro a un promedio de 1.5 mg por litro. El carbón animal es de malla 30 a la 50 y normalmente se utiliza en las refinerías de azúcar, para decolorar sus jarabes.

Después de tratar alrededor de 1,700 m<sup>3</sup> el carbón se satura de fluoruro y debe regenerarse. Esto se hace con retrolavados para quitar la arena

acumulada y después se bombea a través del medio, una solución de sosa cáustica al 1 por ciento. Después de que se han quitado los fluoruros con la sosa cáustica, debe eliminarse el exceso de ésta que queda en el carbón animal. Esto se logra lavando primeramente el lecho con agua cruda, hasta que los lavados subsecuentes tengan muy poco cáustico y luego se trata con una solución débil de dióxido de carbono. Esta solución se prepara haciendo pasar gas de dióxido de carbono (de hielo seco licuado) a través de agua cruda, conforme pasa por una serie de difusores que están entre ese punto y el tanque de contacto. Cuando el pH del agua de desecho se acerca al del agua cruda, la planta está lista para iniciar otro ciclo. Se utilizan 24.6 m<sup>3</sup> de agua tratada para la regeneración, junto con 101 m<sup>3</sup> de agua cruda.

La construcción de esta planta está concluida. Se inició su operación el 20 de noviembre de 1948, teniendo como medio un lecho de apatita hidróxida sintética. Este material se dejó de usar en febrero de 1953, debido a la pérdida excesiva (42 por ciento por año) por el desgaste. El costo del equipo para la planta, en el año de 1947, fue de 12,245 dólares incluyendo el carbón animal. El carbón animal, del tipo apropiado para este fin, tiene un precio actual de 16.5 centavos de dólar por kg y una carga completa de 8.5 m<sup>3</sup> cuesta 1,600 dólares. El costo de los compuestos químicos para la regeneración llega hasta 6.60 dólares por millón de litros.

Todavía no se ha construido una planta diseñada específicamente para la eliminación del exceso de fluoruro, utilizando el proceso del magnesio. Sin embargo, existen varias plantas de ablandamiento en Ohio, Indiana e Illinois que, incidentalmente, eliminan pequeñas cantidades de fluoruro junto con el magnesio. Esta combinación de funciones, utilizando el mismo equipo y compuestos químicos de tratamiento, harían que el costo de la defluoruración fuera más bajo que el de cualquier otro proceso. Por otro lado, el costo inicial de la construcción de dichas plantas es considerablemente más elevado y el manejo de los compuestos químicos y de los lodos es más difícil.

Los problemas relacionados con la operación, control y mantenimiento de las plantas de defluoruración, no son más difíciles que los que se encuentran en las plantas convencionales de tratamiento del agua. Hemos descubierto que los empleados de los sistemas de agua potable, que antes se ocupaban sólo de la operación de bombas de pozos y las lecturas de los medidores, pueden convertirse en operadores capaces de las plantas de defluoruración después de un adiestramiento adecuado. El equipo requerido para estas plantas es un conjunto de aparatos comunes de las plantas de tratamiento de agua y su costo y complejidad son idénticos a los de las plantas de ablandamiento o intercambio iónico. Muchas de ellas han citado que los costos de operación para el ablandamiento, eliminación de hierro,

decoloración, clarificación o cualquier combinación de estos procesos, son similares a los de la defluoruración.

La eliminación del exceso de fluoruro de los abastecimientos de agua de una comunidad, para evitar la desfiguración de los dientes, pérdida de piezas dentarias e incremento del costo del cuidado dental, constituye una buena medida de salud pública. La mejor salud de las personas que utilizan este tipo de agua, parece justificar la defluoruración de preferencia a otros procesos comunes de tratamiento del agua.





## APENDICE *Objeciones sanitarias*

### A. MEDICAS

Los antagonistas de la fluoruración han atribuido al consumo de agua fluorurada, en uno u otro tiempo, prácticamente todas las enfermedades físicas, mentales o morales que hayan azotado al hombre. De entre las enfermedades cuyas causas se desconocen o poco se sabe de ellas, las que más frecuentemente se relacionan con la fluoruración son los padecimientos cardiacos, la nefritis, el cáncer y los desequilibrios mentales. Se ha requerido un extenso trabajo epidemiológico, para refutar estas afirmaciones totalmente infundadas. Estos estudios se han publicado (sus referencias forman parte de este apéndice) y sus resultados están al alcance de todos. Sin embargo, los detractores de la fluoruración o no los han consultado o han declarado que son erróneos o tendenciosos.

Se reunieron datos de una gran variedad de lugares, sobre la incidencia de padecimientos cardiacos, cáncer, nefritis y enfermedades mentales. Además, se concluyeron varios estudios intensivos sobre el estado físico de personas de todas las edades, que han pasado toda su vida en sitios en donde el agua está fluorurada naturalmente (a niveles superiores a ocho veces el óptimo). No se registró ninguna diferencia notable, excepción hecha de la fluorosis dental. Nunca se ha confirmado ninguno de las docenas de efectos dañinos y enfermedades que le atribuyen los enemigos del consumo de agua fluorurada, aun en los lugares que representan valores varias veces superiores al de la concentración óptima de fluoruro. El doctor R. A. Kehoe (Director del Kettering Laboratory) resumió el problema al afirmar que: "La duda sobre la seguridad pública de la fluoruración, no cabe desde el punto de vista de la ciencia médica."

Para los que se interesen por consultar los estudios llevados a cabo para demostrar la ausencia de cualquier relación entre algunas enfermedades y el consumo de agua fluorurada, se incluye la siguiente bibliografía.

*Abortos*

Consejo estatal de Sanidad de Wisconsin (Wisconsin State Board of Health, E.U.A.): datos sobre residentes continuos, 1951: Índice de mortalidad por 100,000 habitantes en ciudades cuyos abastecimientos públicos de agua potable tienen diferentes concentraciones de fluoruro, 1945-49.

Este estudio indica que en las comunidades de Wisconsin que cuentan entre 0.03 y 2.5 mg por litro de fluoruro en sus abastecimientos de agua potable, no se registró una diferencia consistente en la frecuencia de abortos, nacimientos prematuros, muertes neonatales y mortalidad infantil o materna.

*Acné*

Epstein, Ervin: Effect of Fluorides in Acne Vulgaris, *Stanford Med. Bull.*, 9: 243-244 (1951).

La proporción de mejoramientos entre cuarenta personas con acné, fue la misma entre las que tomaron pastillas de fluoruro por prescripción médica y las que no lo hicieron.

*Alergias*

Hodge, H. C.: Fluoride Metabolism: Its Significance in Water Fluoridation, *J. Am. Dental Assoc.*, 307-314 (1956).

Report to the Mayor on Fluoridation for New York City, The Board of Health, The City of New York, 1955, págs. 28-29 (52 págs.).

Schlesinger, E. R. y colaboradores: Newburgh-Kingston Caries-Fluorine Study. XII. Pediatric Findings after Ten Years, *J. Am. Dental Assoc.*, 52: 296-306 (1956).

No existen pruebas científicas de que el consumo de agua fluorurada puede producir edemas o alergias. Aun en las regiones en donde los niveles de esta sal son ocho veces la cantidad óptima, las alergias no son más frecuentes que en otras partes.

*Anemia*

Newburgh-Kingston Caries-Fluorine Study: Final Report, *J. Am. Dental Assoc.*, 52: 290-325 (1956).

Los exámenes físicos completos de niños que habían estado bebiendo agua fluorurada durante 10 años, en Newburgh, Nueva York, no revelaron ninguna evidencia de anemia.

*Arterioesclerosis—Endurecimiento de las arterias*

Abraham, Albert: What the Dentist Should Know about Heart Disease, *J. New Jersey State Dental Assoc.*, 27: 32-34 (1956).

Algunos de los factores que contribuyen al endurecimiento de las arterias, se conocen desde antes de la fluoruración de los abastecimientos de

agua, y son totalmente independientes de este sistema. En realidad, la aparición de la arterioesclerosis es una parte del proceso del envejecimiento. Si aumenta el término medio de vida, entonces las condiciones que acompañan al envejecimiento, también tenderán a ser más prevalentes.

Bernstein, Daniel y colaboradores: Prevalence of Osteoporosis in High-and-Low-Fluoride Areas in North Dakota, *J. Am. Medical Assoc.*, 198: 499-504 (1966).

Se sacaron roentgenogramas de la sección lateral de la porción lumbar de la columna vertebral, de 1,015 personas de más de 45 años de edad, residentes de Dakota del Norte. Trescientos de ellos habitaban en una región en donde el contenido de fluoruro del abastecimiento de agua potable era elevado, de 4 a 5.8 mg/l, y 715 vivían en otra en donde era bajo, de 0.15 a 0.3 mg/l. La calcificación visible de la aorta fue notablemente más alta en la región de poco fluoruro, sobre todo en los hombres.

### *Artritis*

Steinberg, Charles L. y colaboradores: No Relation Found between Arthritis and Fluoridation, *J. Am. Dental Assoc.*, 54: 410-411 (1957).

“Estos estudios indican que no existe ninguna relación entre algunas manifestaciones de la artritis y las enfermedades de los músculos y el esqueleto. Estos estudios deben borrar cualquier temor de que el agua fluorurada, tal y como la recomiendan las autoridades de sanidad, sea un factor causante de males de la artritis.”

### *Asma, bronquitis, tuberculosis y otras enfermedades del sistema respiratorio*

La literatura médica no registra ningún caso en el que los fluoruros del agua potable estén relacionados, de alguna manera, con estas enfermedades.

### *Cataratas, glaucoma, conjuntivitis, daltonismo y otros desórdenes de los ojos*

Leone, N. C. y colaboradores: Medical Aspects of Excessive Fluoride in a Water Supply, *Public Health Repts. (U.S.)*, 69: 925-936 (1954).

Se realizaron exámenes de los ojos, en busca de cataratas y opacidades lenticulares, entre personas que habían vivido en una comunidad cuyos abastecimientos públicos de agua potable estaban fluorurados naturalmente con 8.0 mg por litro. No se registró un incremento notable en la incidencia de dichas enfermedades, en comparación con la de una ciudad cuya agua contenía sólo 0.4 mg por litro de fluoruro.

Schlesinger, E. R., y colaboradores: Newburgh-Kingston Caries-Fluorine Study. XIII. Pediatric Findings after Ten Years, *J. Am. Dental Assoc.*, 52: 296-306 (1956).

Durante varios años se realizaron exámenes oftalmológicos especiales, en un grupo de niños que consumió agua fluorurada a lo largo de diez años, en Kingston, Nueva York. Los resultados de estos exámenes quedaron dentro de los límites esperados en cualquier grupo normal de niños de esta edad.

### *Diabetes*

Water Fluoridation, Informe del Comité de la Sociedad Médica de St. Louis, Resumen, págs. 338-360 en el Congreso de los Estados Unidos. House Committee on Interstate and Foreign Commerce. Fluoridation of Water. Hearings before the Committee on Interstate and Foreign Commerce, House of Representatives, Congreso 83, 2a. Ses. en H. R. 2341, una ley para proteger la salud pública de los peligros de la fluoruración del agua. 25, 26 y 27 de mayo de 1954, Government Printing Office, Washington, 1954 (vi + 491 págs.).

Consejo estatal de sanidad de Wisconsin (Wisconsin State Board of Health): datos sobre residentes continuos, 1951: Índice de mortalidad por 100,000 habitantes en ciudades cuyos abastecimientos públicos de agua potable tienen diferentes concentraciones de fluoruro, 1945-9.

No se encontró ninguna relación entre el índice de mortalidad de diabéticos, en las ciudades de Wisconsin cuyos fluoruros naturales van de 0.5 a 2.5 mg por litro. Además, no se observó ningún incremento en la incidencia de diabetes después de 10 años de fluoruración en Sheboygan.

### *Malestares del aparato digestivo, incluyendo úlceras, colitis, náuseas, diarrea y constipación*

Leone, N. C. y colaboradores: Review of the Bartlett-Cameron Survey: A ten Year Fluoride Study, *J. Am. Dental Assoc.*, 50: 277-281 (1955).

El estudio realizado en Bartlett, Texas no reveló ningún malestar desacostumbrado en el sistema digestivo, aun cuando el agua contenía más de ocho veces el nivel óptimo desde hacía varias décadas.

Schlesinger, E. R. y colaboradores: Newburgh-Kingston Caries-Fluorine Study. XII. Pediatric Findings after Ten Years, *J. Am. Dental Assoc.*, 52: 296-306 (1956).

En la investigación Newburgh-Kingston, los exámenes completos, tanto físicos como radiográficos y de laboratorio, de grupos de niños, no reveló ningún malestar o anomalía desacostumbrada del aparato digestivo.

### *Problemas visuales. Véase cataratas*

### *Bocio*

May, Richard: Untersuchungen über des Fluorgehalt des Trinkwassers in bayerischen kropfgebicten verschiedener Endemiestärke, *Z. ges. exptl. Med.*, 107: 650-651 (1940).

- Murray, Margaret M. y colaboradores: Thyroid Enlargement and Other Changes Related to the Mineral Content of Drinking Water, *Med. Research Council (Gran Bretaña), Mem.*, No. 18, 1948. (39 págs.)
- Von Fellenberg, T. B.: Does Any Relation Exist between the Content of Fluorine in Water and Goiter? *Chem. Abstr.*, 33: 2631 (1939).

Estos estudios revelaron que no existe correlación entre la aparición de bocio endémico y las concentraciones elevadas de fluoruro en el agua, y que es infundada la creencia de que la poca incidencia de esta enfermedad está asociada con el bajo contenido de fluoruro en el agua, y que la más alta lo está con las concentraciones elevadas de dicha sal.

### *Dolores de cabeza*

Ninguna publicación médica ha revelado ningún caso de dolores de cabeza producidos por el consumo de agua fluorurada, ni siquiera cuando ésta tiene ocho veces la concentración óptima.

### *Enfermedades cardiacas*

- Arnold, F. A., Jr., The Grand Rapids Fluoridation Study—Results Pertaining to the Eleventh Year of Fluoridation, *Am. J. Public Health.*, 47: 539-545 (1957).
- Commission on Chronic Illness: Effects of Fluoridation of Community Water Supplies upon Aged and Chronically Ill, Chicago, Commission on Chronic Illness, 17 de marzo de 1954. (3 páginas procesadas).
- Hagan, T. L., Pasternack, Morton y Scholz, Grace C.: Waterborne Fluorides and Mortality, *Public Health Repts. (U.S.)*, 69: 450-454 (1954).
- Hodge, H. C. y Smith, F. A.: Some Public Health Aspects of Water Fluoridation, págs. 79-109 en J. H. Shaw (ed.), "Fluoridation as a Public Health Measure", American Association for the Advancement of Science, Washington, 1954. (v + 232 págs.).
- Schlesinger, E. R. y colaboradores: Newburgh-Kingston Caries-Fluorine Study. XIII. Pediatric Findings after Ten Years, *J. Am. Dental Assoc.*, 52: 296-306 (1956).

Estos informes establecen una comparación entre los índices de morbilidad y mortalidad por deficiencias cardiacas, entre ciudades con o sin fluoruro. No se pudo encontrar ninguna diferencia importante.

### *Hepatitis, cirrosis y degeneración del hígado*

- Hagan, T. L., Pasternack, Morton y Scholz, Grace C.: Waterborne Fluorides and Mortality, *Public Health Repts. (U.S.)*, 69: 450-454 (1954).

No existe ninguna evidencia en la literatura publicada, de que el agua fluorurada tenga ninguna relación con estos desórdenes.

### *Lesiones intracraneales*

- Hagan, T. D., Pasternack, Morton y Scholz, Grace C.: Waterborne Fluorides and Mortality, *Public Health Repts. (U.S.)*, 69: 450-454 (1954).
- Knutson, J. W., Statement of pp. 273-276 in U. S. Congress, House Committee on Interstate and Foreign Commerce, House of Representatives, Congreso 83,

2a. Ses., on H. R. 2341, una ley para proteger la salud pública, de los peligros de la fluoruración del agua. 25, 26 y 27 de mayo de 1954, Government Printing Office, Washington, 1954. (vi + 491 págs.).

Se realizó un estudio de la incidencia de estas lesiones, en 64 ciudades cuyos niveles de fluoruro eran inferiores a 0.25 y superiores a 0.7 mg por litro, y no se encontró ninguna diferencia notable. Además, en los estudios hechos en Michigan, Wisconsin, Illinois y Texas, tampoco se descubrieron diferencias en los índices de mortalidad debidos a estas causas.

*Enfermedades del riñón. Véase Nefritis*

*Enfermedades del hígado. Véase Hepatitis*

*Esclerosis múltiple*

Nunca se ha demostrado que la incidencia de la esclerosis múltiple haya sido influenciada por el consumo de agua fluorurada.

*Nefritis, nefrosis, uremia y otras enfermedades de los riñones*

Hagan, T. L., Pasternack, Morton y Scholz, Grace C.: Waterborne Fluorides and Mortality, *Public Health Reps. (U.S.)*, 69: 450-454 (1954).

Heyroth, F. E.: Toxicological Evidence for the Safety of the Fluoridation of Public Water Supplies, *Am. J. Public Health*, 42: 1568-1575 (1952).

Illinois Department of Public Health, Oficina de estadísticas: Mortality in Fluoride and Non-Fluoride Areas. Springfield, Illinois, Department of Public Health, Health Statistical Bull., Special Release, No. 20, 1o. de abril de 1952. (8 páginas procesadas).

Consejo estatal de sanidad de Wisconsin (Wisconsin State Board of Health): datos sobre residentes continuos, 1951: índice mortal por 100,000 habitantes en ciudades cuyos abastecimientos públicos de agua potable tienen diferentes concentraciones de fluoruro, 1945-9.

Los departamentos de sanidad de Illinois y Wisconsin no han detectado en sus estadísticas de datos vitales, ninguna diferencia en las incidencias de nefritis, entre las ciudades cuyos abastecimientos públicos de agua potable tienen diferentes cantidades de fluoruro. Se ha concluido que: "ninguna evidencia existe que pueda probar que los fluoruros del agua causen la nefritis."

El estudio Newburgh-Kingston de Nueva York, no reveló ninguna prueba de efectos adversos del agua fluorurada en los riñones.

*Osteosclerosis*

Hodge, H. C. y Smith, F. A.: Some Public Health Aspects of Water Fluoridation, págs. 79-109 en J. H. Shaw (ed.), "Fluoridation as a Public Health Measure", American Association for the Advancement of Science, Washington, 1954. (v + 232 págs.).

Schlesinger, E. R., Declaración de, págs. 31-33 en "Our Children's Teeth: A Digest of Expert Opinion Based on Studies of the Use of Fluorides in Public Water

Supplies", Committee to Protect Our Children's Teeth, Inc., Nueva York, 6 de marzo de 1957. (vi + 104 págs.).

Steinberg, C. L. y colaboradores: Comparison of Rheumatoid (Ankylosing) Spondylitis and Crippling Fluorosis, *Ann. Rheumatic Disease*, 14: 378-384 (1955).

Algunos estudios específicos sobre esta enfermedad, han demostrado que no hay conexión alguna entre la incidencia de la osteosclerosis y el empleo de agua fluorurada. En los exámenes realizados en Newburgh y Kingston, no se registró ninguna diferencia notable en las densidades óseas de los niños de las dos ciudades, una fluorurada y la otra sin fluoruros. Hodge y Smith afirmaron: "Entre la cantidad de flúor que puede producir una osteosclerosis en seres humanos y la obtenida al consumir agua fluorurada (1 mg/l), existe un margen de seguridad de 8 a 20 veces este valor."

Bernstein, Daniel y colaboradores: Prevalence of Osteoporosis in High-and-Low-Fluoride Areas in North Dakota, *J. Am. Medical Assoc.*, 198: 499-504 (1966).

Se tomaron roentgenogramas de la sección lateral de la porción lumbar de la columna vertebral, de 1,015 personas de más de 45 años de edad, residentes de Dakota del Norte. Trescientos de ellos habitaban en una región en donde el contenido de fluoruro del abastecimiento de agua potable era elevado, de 4 a 5.8 mg/l, y 715 vivían en otra en donde era bajo, de 0.15 a 0.3 mg/l.\*

### *Poliomielitis*

No se ha informado de un solo incidente en el que haya podido establecerse una relación entre la poliomiélitis y el consumo de agua fluorurada.

### *Psicosis, neurosis, neuritis, neuralgia y desórdenes nerviosos*

Todos los estudios a largo plazo, sobre los posibles efectos de los fluoruros, no indicaron ninguna relación entre estos desórdenes mentales y la presencia de fluoruros en el agua potable.

### *Sistema respiratorio. Véase asma*

### *Raquitismo*

Schlesinger, E. R. y colaboradores: Newburgh-Kinston Caries-Fluorine Study. XIII. Pediatric Findings after Ten Years, *J. Am. Dental Assoc.*, 52: 296-306 (1956).

Los resultados pediátricos de Newburgh, Nueva York, no revelaron ningún cambio importante en los huesos de las personas que consumieron agua fluorurada, en comparación con las que no lo hicieron.

\* La evidencia de la osteoporosis, densidad ósea reducida y vértebras abatidas, fue considerablemente mayor en el área de baja fluoruración, especialmente entre las mujeres.



*Esterilidad*

No se ha informado de ningún caso de esterilidad, producida por el consumo de agua fluorurada, incluyendo las que tienen un contenido natural que asciende a varios múltiplos del nivel óptimo.

*Tuberculosis. Véase asma**Venas varicosas*

No se han presentado pruebas que demuestren que el agua fluorurada produce venas varicosas.

**B. SUPUESTOS EFECTOS DENTALES**

Se ha sostenido que la caries dental no se ve afectada o que, en realidad, se incrementa mediante el uso de agua fluorurada. Los siguientes estudios, que se llevaron a cabo en un término de 10 años, demuestran que esta suposición es totalmente contraria a lo que en realidad ocurre:

- Arnold, F. A., Jr. y colaboradores: Effect of Fluoridates Public Water Supplies on Dental Caries Prevalence, *Public Health Repts. (U.S.)*, 71: 625-658 (1956).  
 Brown, H. K. y colaboradores: The Brantford-Sarnia-Stratford Fluoridation Caries Study—1955 Report. *J. Can. Dental Assoc.*, 22: 207-216 (1956).  
 Council on Dental Health, Fluoridation Program Begins for Greater Cleveland Residents, *Dental Health Highlights*, 12: 25-28 (1956).  
 Hagan, T. L., Pasternack, Morton y Schloz, Grace C.: Waterborne Fluorides and Mortality, *Public Health Repts. (U.S.)*, 69: 450-454 (1954).  
 Hill, T. J.: "A Textbook of Oral Pathology", 3a. ed., Lea & Febiger, Filadelfia, 1945 (407 págs.).

Además, existen numerosos informes que se relacionan a otras ciudades, en donde se han examinado niños antes y después de la fluoruración y que indican reducciones similares en la incidencia de dientes cariados. Entre ellos están:

- Hill, I. N., Blayney, J. R. y Wolfe, W.: Evanston Dental Caries Study. XIV. Reduction in Dental Caries Attack Rates in Children Six to Eight Years Old, *J. Am. Dental Assoc.*, 53: 327-333 (1956).  
 Two More Studies Show Fluoridation Effective, *J. Am. Dental Assoc.*, 52: 767 (1956).

*Deterioro dental*

- Kronfeld, Rudolf: "Histopathology of the Teeth and Their Surrounding Structures", 3a. ed., Lea & Febiger, Filadelfia, 1949. (514 págs.).

La pretensión de que la dentina puede deteriorarse debido al agua fluorurada, pudo haberse basado en la suposición de que los fluoruros podían producir una disminución de calcio en la dentadura. Se ha de-

mostrado que no se puede extraer el calcio de los dientes, ni a causa de los fluoruros ni por otras razones.

Pelton, W. J. y Elsasser, W. A.: Studies of Dentofacial Morphology. III. The Role of Dental Caries in the Etiology of Malocclusion, *J. Am. Dental Assoc.*, 46: 648-657 (1953).

Zimmerman, E. R., Leone, N. C. y Arnold, F. A., Jr.: Oral Aspects of Excessive Fluorides in a Water Supply, *J. Am. Dental Assoc.*, 50: 272-277 (1955).

Después de investigar las oclusiones deficientes en regiones fluoruradas y no fluoruradas, se concluyó que: "aunque se registró una diferencia en la caries dental, el índice dentofacial (una medición de las oclusiones deficientes) fue esencialmente el mismo en ambos lugares." Aun en regiones que tienen un exceso de fluoruro (8.0 mg/l en Bartlett, Texas), las oclusiones deficientes no fueron más notables de lo que normalmente se experimenta.

#### *Esmalte moteado*

Dean, H. T.: The Investigation of Physiological Effects by the Epidemiological Method, págs. 23-31 en F. R. Moulton (ed.), "Fluorine and Dental Health", American Association for the Advancement of Science, Washington, 1942. (101 págs.).

Report of Ad Hoc Committee on Fluoridation of Water Supplies, National Academy of Science, National Research Council. Washington, 1952. (8 págs.; National Research Council Publication 214).

Desde 1931 se sabe que el moteado del esmalte dental se produce debido a la ingestión excesiva de fluoruro, consumido durante el período de la calcificación de la dentadura permanente. Conforme aumenta el nivel de esta sal en el agua, se incrementa también la severidad del moteado hasta que, a un nivel de aproximadamente 5.0 mg por litro, casi todos los niños lo sufren en grado moderado o grave. En concentraciones de 1.0 mg por litro, menos del 10 por ciento de los niños presentan el menos síntoma notable del moteado; un grado que sólo puede detectarlo un dentista experimentado y que, estéticamente, no es problemático. En climas calientes y secos, en donde los niños toman más agua que en los más frescos, el nivel óptimo debe descender a alrededor de 0.7 mg por litro, en lugar de 1.0 mg por litro.

#### *Enfermedad periodontal*

Russell, A. L. y Elvove, Elias: Domestic Water and Dental Caries. VII. A Study of the Fluoride-Dental-caries Relationship in a Adult Population, *Public Health Repts. (U.S.)*, 66: 1389-1401 (1951).

Russell, A. L., Declaración de, págs. 24-26 en "Our Children's Teeth: A Digest of Expert Opinion Based on Studies of the Use of Fluorides in Public Water Supplies", Committee to Protect Our Children's Teeth, Inc., Nueva York, 6 de marzo de 1957. (vi + 104 págs.).

Parece ser que el agua fluorurada no produce ningún efecto, ya sea en uno u otro sentido, en el desarrollo o supresión de esta enfermedad. Por ejemplo, se encontró que su incidencia en Colorado Springs (2.6 mg/l de fluoruro), es similar a la de Baltimore, en donde el nivel de fluoruro era prácticamente cero cuando se realizó dicho examen.

## C. VETERINARIAS

### *Carpa dorada y peces tropicales*

Kleinhenz, J. E.: Discussion of Fluoridation Experiences from a Manager's Point, mesa redonda, págs. 603-608 en Task Group E5-10, "Committee on Fluoridation Materials and Methods", Actas de la Conferencia Anual efectuada en Kansas City, Mo., 7 de mayo de 1952 *J. Am. Water Works Assoc.*, 44: 595-616 (1952).

Las carpas doradas que viven en acuarios llenos con agua fluorurada proveniente del abastecimiento de agua potable de Indianapolis, no sufrieron ningún daño en absoluto. Esto ha sido corroborado en más de 2,200 comunidades que actualmente fluoruran sus abastecimientos y en donde no se registró ni un solo caso de daños a peces u otros animales que consumieron el agua tratada.

### *Conejos, ratones, ratas, pollos, perros, cerdos, ovejas, ganado bovino, caprino y monos*

National Research Council, Committee on Dental Health: The Problem of Providing Optimum Intake for Prevention of Dental Caries, informe del Committee on Dental Health of the Food and Nutrition Board, Division of Biology and Agriculture, National Research Council, Washington, 1953 (15 págs.; National Research Council Publication 294).

Schmidt, H. J. Newell, G. W. y Rand., W. E.: The Controlled Feeding of Fluorine, as Sodium Fluoride, to Dairy Cattle, *Am. J. Vet. Research.*, 15: 232-238 (1954).

Los conejos crecen normalmente, con raciones que contienen 200 mg por litro de fluoruro y los puercos, con 300 mg/l. Las dosis más elevadas que pueden tolerar algunos animales, en mg por kg de peso corporal son: ratas, de 10 a 20; cuyos, de 12 a 20; ganado lechero, de 1 a 3; pollos, de 35 a 70; cerdos, de 5 a 12.

La Conferencia Pública de Salud Veterinaria (14 de noviembre de 1956), afirmó que el consumo de agua fluorurada a los niveles recomendados, no es perjudicial para *ningún* animal, ni doméstico ni de otro tipo.

## *Índice alfabético*



## A

- Abastecimientos caseros de agua, defluorurados, 228
- costos, 225
- fluorurados, 221-231
- necesidad de, 221
- Acido fluorhídrico, 78, 85, 87, 204
- método de dosificación, 103
- Acido hidrofluosilícico (*véase* Fluosilícico, ácido)
- Adultos, excluidos de los beneficios, interpretaciones legales, 43-44
- confirmación de, 56
- posibles del agua fluorada, 31-32
- Agua embotellada, fluorada, 50
- Ajuste de los dosificadores de fluoruros, 135, 146
- medios, 142-147
- Alimentos, drogas y cosméticos, la ley sobre, y los fluoruros, 42
- Alimentos, fluoruros en los, 58-59
- Alimentos y drogas, Administración de, normas sobre usos del agua fluorada, 42
- leyes sobre fluoruros en el agua
- Alúmina activada para defluoraciones, 228-229
- American Dental Association, 41
- Análisis de fluoruros, 171-198
- automáticos, 193-197
- fuentes de error, 188
- Megregian-Maier, 176, 182, 184
- Scott-Sanchis, 182-183
- SPADNS, 181-182, 186-188
- su papel en el mantenimiento de los niveles de fluoruros, 45
- teoría básica, 171-173
- Apatita, fuente de compuestos de flúor, 15, 67, 68
- fuente de fluoruros naturales en el agua, 53, 67

(*véase también* Fosforita)

- Aplicación de fluoruros, puntos de, 165-167
- Aplicaciones locales de fluoruros, 49, 221
- Armstrong, W. L., 25
- Arnold, F. A., observaciones sobre la fluorosis, 30, 35
- fluorosis en niveles óptimos de fluoruros, 60
- estudio de Grand Rapids, 26
- Ast, David B., 23
- Aurora, Ill., resultados de fluoruros naturales, 27, 32

## B

- Baltimore, Md., investigación usos industriales de agua fluorurada, 47
- Bauxite, Ark, predominio de la fluorosis, 12
- Baylis, J. R., 212
- Bellack, E., 193
- Boquillas de inserción, 148-151
- restricción en la transmisión de señales neumáticas, 154-155
- Brantford, Ont., primera ciudad sugerida para fluorurarse, 23
- ciudades de control en combinación con el estudio, 29
- plan de estudio, 22-23

## C

- Caja de succión controlada por flotador, 165-166
- Cámaras de disolución, 128
- capacidades y tiempos de detención, 128-129
- diseño, 129

- eliminación de soluciones fluoruradas de, 163  
necesidad de, 128
- Campañas pro fluoruración, 38, 39
- Características de comunidades en campañas de fluoruración, 38, 40  
de compuestos de fluoruro, 67-92
- Carbon animal para la, 229-230
- Cargador de bolsas para tolvas de dosificadores, 162, 204
- Cariados, faltantes y empastados, índice de dientes (*véase* CPO (DMF) incidencias)
- Caries, experiencias, estudios del Dr. Dean sobre las, 22, 23  
reducción tablas de, 27, 34  
(*Véase también* Ceo (def), incidencias y CPO (DMF), incidencias)
- Carlos, James, P., 35
- Ceo, incidencias, 26  
reducidas con agua fluorurada, 32, 35  
mecanismo sugerido para, 35
- CPO (DMF) incidencias, 26  
de 57 estudios, 55  
efecto de la exactitud de los dosificadores en las, 124  
observaciones de, en Brantford, Ont. y Newburgh, N. Y., 30  
en Grand Rapids, 28, 34  
reducción por incremento unitario en los niveles de fluoruros, 56
- Charlotte, N. C., fragmentación del hielo con agua fluorurada, 47  
cambios por estación de los niveles de fluoruros, 61
- Chicle que contiene fluoruros, 49
- Chrietzberg, J. E., 123
- Churchill, H. V., descubrimiento de la causa de la fluorosis, 14
- Circonio y alizarina, laca de, en análisis de fluoruros, 181-182
- Cloro y fluoruros en el tratamiento de aguas, 44  
dosificación simultánea de, 81, 225  
interferencia con la determinación de fluoruro, 167, 182
- Coloración de los compuestos fluorurados, 206
- Colorado Springs, Colo., fluoruros en el abastecimiento de agua, 54  
su papel en las investigaciones sobre la fluorosis, 12
- Complemento de fluoruros existentes en el agua,  
justificación, 55
- Compuestos del flúor, 14, 67-86  
computaciones para determinar cantidades, 132, 169-170  
distribución en el mundo, 20, 67  
objecciones químicas a, 43-44  
selección, 94-97  
tiempos de detención requeridos, 128  
tintura azul, 206
- Computaciones para el ajuste de dosificadores, 133  
de la cantidad del producto químico, 132  
de la capacidad de las cámaras de disolución, 128  
de la capacidad de dosificador, 100, 133  
de la exactitud del dosificador, 124-127  
del nivel de fluoruros, 169-170  
de niveles óptimos basados en temperaturas, 63-64  
para la selección de dosificadores, 131
- Concentración correcta de fluoruros, beneficios de la, 57  
mantenimiento constante en Grand Rapids y Newburgh, 127-128  
natural, 54-55  
óptima, determinación de la, 53-54  
procedimientos de laboratorio para determinar la, 69-198  
variaciones de la, de acuerdo con la temperatura, 61-63
- Constitución de los Estados Unidos de América y la fluoruración, 42, 43
- Consumo de agua entre niños, 35  
agua caliente para las cámaras de disolución, de dosificadores, 130  
calidad del agua, causadas de variaciones en la, 67  
fluoración individual de abastecimientos de agua, 221-225  
variaciones con la edad, 59, 61
- Consumo de fluoruros de las plantas, 59  
de niveles de fluoruros, 193-198  
eléctricos, 157  
neumáticos, 158  
sistema colorimétrico, 194-195  
sistema de conductividad, 195, 198

- Control automático (*véase* Control automático)
- Corrosividad relativa de los compuestos de fluoruros, 95  
 del agua después de fluorurada, 46
- Cortes y fluoruración, 42, 43  
 estables, 42, 43  
 Suprema de los E.U.A., 42, 43
- Costo de los productos químicos, 89, 94  
 de fluoruración, promedio, 220  
 para restaurar cada diente CPO (DMF), 55
- Costras en el sistema de distribución, formación de, 210-211  
 de silicofluoruros, 96, 210  
 en líneas de solución de fluoruros, 96
- Cox, G. J., primeras sugerencias para estudios, de fluoruración, 23  
 investigaciones con fluoruros en animales, 14
- Criolita, características y fuentes comerciales de, 94  
 fuente de fluoruros naturales en el agua, 53, 67  
 presencia y usos de, 54
- Criterios en los estudios de fluoruración, 26
- D
- Dean, H. Treadly, observaciones de cartas de, 23, 26  
 conclusiones basadas en estudios, 30-31  
 estudios en 21 ciudades, 26-28, 57-58  
 fluorosis en Georgia, 61-62  
 índice e investigaciones, 17-22
- Decantación, dosificadores de solución del tipo de, 104, 111
- Demanda por fluoruración, Chicago, 43
- Dentadura decidua, incidencias Ceo, 26-27, 32  
 efectos de fluoruros en, 32, 35  
 en Grand Rapids, Mich., 33
- Dentaduras de lactantes (*véase* Dentaduras deciduas)
- Desarrollo de la fluoruración, números de comunidades y poblaciones, 216
- Desbordamiento en dosificadores, prevención contra el, 206
- Destilación de muestras de agua, 189-192  
 características críticas del equipo, 189-190  
 continua, aparatos, 196  
 directa, 191, 192  
 Willard y Winter, método de, 189
- Diafragma, dosificadores de solución, tipo, 104-105
- Dilución de agua fluorurada a niveles óptimos, 53-54  
 de muestras de agua para la reducción de interferencias, 188-189
- Diseño de instalaciones para fluoruraciones, 55, 131
- Dispositivos primarios, 136-152  
 dispositivos de presión diferencial, 147-153  
 medidores de desplazamiento, 126-147  
 medidores de flujo magnético, 151, 152
- Distribución por edades del estudio de Grand Rapids, 28
- Distribución, sistema de, efectos del agua, fluorurada en, 209-213
- Divisores de flujo para efluentes de la cámara de disolución, 163
- Dosificadores, accesorios de, 158-163  
 alcance (capacidades), 100  
 control, 135-158  
 de soluciones, 100-112  
 para sistemas caseros, 222-225  
 de tornillo, 117-118  
 equipo auxiliar, 135-163  
 exactitudes, 124-128  
 gravimétricos de sales secas, 100-101, 112, 121-124  
 tipos de, 99-133  
 vibratorios, 114-117  
 volumétricos, 114-120
- Dosificadores de solución, 100-112  
 computaciones para hacer ajustes, 133  
 costos, 89, 108-119, 112  
 descripción de tipos, 103-104, 109-110  
 exactitud, 108  
 pruebas de, 124-125  
 fabricantes, 108-109, 112  
 para producir soluciones de espato-flúor, 74-76  
 para sistemas caseros de agua, 222-224  
 para usarse con ácido fluosilícico, 112  
 con lechadas, 103  
 con soluciones de compuestos en sales secas, 101
- Dosificadores químicos volumétricos vibratorios, 116-118
- Dosificadores volumétricos, 100, 112



- capacidades, 114-116, 117, 119, 120
- costos, 115, 117, 119-120
- descripción de los tipos de, 114, 120
- exactitud, 112
- fabricantes de, 115-116, 117-120
- Dosificadores volumétricos de tornillo, 114-117
- Dosificador de solución de taza giratoria, 104, 109
- Dureza del agua, en pérdidas de fluoruros, 96
  - en la formación de costras o escamas, 211
  - límite superior para un ablandamiento económico, 159-160
    - (Véase también Ablandados, equipos)

## E

- Eager, J. M., 11
- Eductores, requisitos de funcionamiento de los, 163
- Efectos físicos de la fluoruración, 36, 233-242
- Eliminación de fluoruros del agua, 227, 231
  - comunidades que requieren la, 54
  - con coagulantes, 166
  - costos de la, 229-230
  - necesidad de, 54, 227
- Eliminación de los dos de los tanques saturadores, 160
- de las líneas de la solución, 166-167
- Embolo, dosificadores de solución tipo, 105, 106, 107
- Enfermedad de Chiaie, descripción de la, 11
- Equipo de ablandamiento para sistemas caseros,
  - efectos sobre los niveles de fluoruros, 211-217
    - con dosificadores de solución, 159
    - dibujo de un saturador, 102
    - para evitar la formación de costras, 211
    - para evitar pérdidas de fluoruros, 95
- Equipo de seguridad, 160-161, 201-205
- Errores en análisis de fluoruros, 188
  - en la dosificación de fluoruros (véase Exactitud)
- Escuelas, fluoruración en, 221-225

- Esmalte moteado (véase Fluorosis)
- Espacio para dosificadores, limitaciones de, 95
- Espato-flúor, formación a partir de soluciones de silicofluoruros, 210
  - fuentes de fluoruros naturales en el agua, 53, 67
  - fuentes de iones de flúor en la fabricación de productos químicos, 14
  - mineral, 67-78
    - aplicaciones históricas, 68-69
    - características, 68, 76, 89, 94-95
    - costos, 76, 89
    - depósitos, 69
    - distribución, 54, 68
    - fabricantes, 77
    - preparación para su utilización, 69-70
    - seguridad en su manejo, 201-202
    - usos en el tratamiento de aguas, 70-76
- Estaciones del año, niveles de fluoruros por, 67

- Exactitud de los dosificadores, 123
  - de análisis de fluoruros, normas, 170
  - de instrumentos visuales, 176
  - dosificadores de solución, 108
  - dosificadores gravimétricos, 111, 121
  - dosificadores volumétricos, 111
  - efectos sobre resultados dentales, 123
  - general, 125-127
    - pruebas para, 124-127
- Exámenes médicos en Newburgh, N. Y., 35-36
- Exposición a fluoruros en plantas de agua, 201

## F

- Flujo pulsante de dosificadores de solución, 107
- Fluoruración del agua de pozos, 165
  - Williams, D. B., 30
- Fluoruración en plantas de agua privadas, 220
  - en 44 ciudades de E.U.A., 18-20
  - índice para obtener niveles óptimos de fluoruros, 59-60
    - producida por aguas fluoruradas, 35-36
- Fluoruro de calcio (véase Espato-flúor)
- Fluoruro de potasio, costo, 81, 89
  - preparación del, 78
  - su uso con cloro en el tratamiento de aguas, 81

- Fluoruro de sodio, características del, 78-79  
 aplicaciones en saturadores, 79  
 características de formación de costras, 210  
 coloración, 79  
 costos, 89, 95  
 elaboradores, 81  
 especificaciones, 80  
 otros usos, 79-80  
 poblaciones que usan, 87  
 preparación, 78-79  
 recipientes para envío, 80  
 seguridad en su manejo, 201-202  
 soluciones no saturadas, 90  
     efectos germicidas, 91
- Fluoruros, administración de, 49-52, 221-222  
 análisis de, 169-199  
 compuestos (*véase* Compuestos)  
 en exceso en el agua, 11-12, 228-229  
 ingestión, efectos prenatales de la, 35  
 iones, química de los, 14-15  
     descripción de, 15  
     diferencias entre, 15, 43-44  
     que interfieren, 189-191  
 minerales, 15, 67  
     presencia en países extranjeros, 17-18  
 que contribuyen naturalmente al agua, 14, 17  
 recuperación de, de preparaciones con fosforita, 84  
 selección de, para fluoruraciones, 94-97
- Fluoruros naturales vs. fluoruros elaborados, 43, 45  
 fuente de, 53-54, 67  
 su presencia en el agua, 14, 17, 53
- Fluosilícico, ácido (ácido hidrofluosilícico), características de, 84-85, 89  
 ahorros en el costo de equipos, 87  
 costos, 87, 89, 94  
 efectividad comparable, 84-85, 89  
 efectos corrosivos, 85-86  
 envíos, 87-88  
 especificaciones, 84-85  
 fabricantes, 87  
 materiales apropiados para su manejo, 86-87  
 precauciones en diluciones, 86-87  
 preparación, 85  
 seguridad en el manejo, 85-86, 201-202  
     tanques de almacenamiento, 95  
     usos (censo), 88
- Formación de precipitados al diluir ácido fluosilícico, 86, 97
- Fosfatos, sus efectos en análisis de fluoruros, 183
- Fosforita, composición, 82  
 contenido de fluoruros, 82  
 fuente de fluoruros naturales en el agua, 53  
 preparación para usarse, 81, 83  
 presencia y origen, 54, 82  
 reservas, 82
- Fotómetros, 176-180  
 costos, 178  
 de filtro, 178  
 espectrofotómetros, 177  
 operación, 179  
 precauciones, 188  
 teoría, 177-178
- Frecuencia de muestreo para análisis de fluoruros, 170
- Fugas detección de, con agua fluorurada, 209
- G
- Gallagan, D. J., 63
- Grand Rapids, Mich., consistencia de los niveles de fluoruros, 127  
 ciudad de control utilizada, 28  
 plan de estudio, 26  
 resultados del estudio, 27-35  
 resultados comparados con otras ciudades, 27, 30
- Gravimétricos, dosificadores, 112, 121  
 capacidades, 121  
 costos, 121  
 exactitud, 112, 122  
 fabricantes, 123  
 principios de su operación, 112, 121-122
- H
- Haggaman, W. H., 84
- Hannan, Frank, 13
- Herschel, Clemens, 149
- Hexametáfosfatos en la reducción de pérdidas de fluoruros, 96  
 en la prevención contra la formación de costras, 159

Hidráulico, dosificadores de funcionamiento, 144  
 Hielo, fragmentación del, con agua fluorurada, 47  
 Hill, W. L., 82  
 Historia de la fluoruración, 11-22  
   de las observaciones de la fluorosis, 12-14  
 Hutton, W. L., 23

## I

Incrustantes formación de, en compuestos de fluoruros, 96  
 Industria del aluminio, producción de compuestos de fluoruros por, 44  
   su papel en el descubrimiento de la causa de fluorosis, 14  
 Ingenio municipal, su papel en programas de fluoruración, 40  
 Ingestión de fluoruros, consistencia en la, 56  
   variaciones con la edad, 58, 59  
 Instrumentos de registro para dispositivos de diferencial de presión, 154  
 Interferencias en las determinaciones de fluoruros, 188  
   lista de valores, 182  
   métodos de control, 188-192  
 Iones (*véase* Fluoruros, iones de)  
 Ionización, 15

## J

Jordan, H. E., 46

## K

Knowlton, K. F., 197  
 Knutsen, J. W., 30-31

## L

Laboratorios, su papel en la fluoruración, 169-171  
 Lantz, E. M., 14  
 Lechada de compuestos fluorurados, dosi-

ficación de, 102  
 Leche, como portadora de fluoruros, 52  
   contenido natural de fluoruros, 58-59  
   dentadura de leche (*véase* Dentadura decidua)  
 Leyes que exigen la fluoruración, 41  
 Litigios sobre fluoruraciones, 40, 42  
   referencias sobre, 42  
 Luz transmitida (absorbida), 172, 177, 179

## M

Mantenimiento de los niveles de fluoruros, 123  
   ejemplos de, 127, 128  
   necesidad de, 12, 13, 16  
 Máscaras aprobadas para polvos de fluoruros, 160, 204  
   filtros para, 160  
 McClure, F. J., 58, 92  
 Medicación obligatoria y la fluoruración, 42  
 Medicación y fluoruración en masa, 42  
 Medidores de compuestos, 138  
   de desplazamiento, 137  
   de émbolo oscilatorio, 137, 138  
   de flujo magnético, 151, 153  
   de hélice, 140, 142  
   de velocidad, de turbina y de corriente, 138, 140  
   indicadores para cámaras de disolución, 131  
 Medios, para proporcionar fluoruros, 36, 48-51  
 "Métodos estándar para el examen de aguas y aguas negras", 171  
 Mezcla equipo de, para cámaras de disolución, 130, 201-202  
   en análisis de fluoruros, 182-188  
   objeciones deficientes, 25, 233  
   para aparatos de disolución de espato-flúor, 71, 74  
   para preparar soluciones a partir de sales secas de fluoruros, 159  
 Microinterruptor de velocidad, 142, 144, 146  
 Muestreo de agua, frecuencia del, 170-171  
 Muskegon, Mich., 28-29, 33-34

## N

- Necesidad de la fluoruración, 37-38
- Newburgh, N. Y., constancia de los niveles de fluoruros, 37
  - plan de estudio, 21, 27, 37
- Niveles de fluoruración (censo), 215-220
- Niveles óptimos de fluoruros (*véase* Concentración de fluoruros)
- Normas de precisión para análisis de fluoruros, 170
  - de la exactitud de dosificadores, 206
  - de los compuestos de fluoruro (*véase* cada compuesto en particular)
  - de seguridad respecto a fluoruros en el aire, 201

## O

- Oakley, Idaho, prevalencia de la fluorosis, 12
- Objeciones médicas a la fluoruración, 233, 242
- Objeciones químicas a la fluoruración, 43-45
  - de ingeniería, 46
  - de salud, 233-242
    - dental, 240-241
    - médica, 233-240
    - veterinaria, 242
  - económicas, 49-51
  - industriales, 46-48
- Opinión pública y la fluoruración, 37
- Oponentes a la fluoruración, sus razones, 40
  - respuestas a objeciones de, 39-40
- Organizaciones científicas que aprueban la fluoruración, 38-40
- Orificios, placas con, 148-149
  - cambio de presión a través de, 150
  - instrumentos de registro para, 153
- Orión, electro de, 182, 186
- Otros métodos para suministrar fluoruros, 221-222
  - agua embotellada, 50-51
  - aplicaciones locales, 49
    - chicle, enjuagues bucales, pastas dentífricas, 49
    - leche, 51
    - pan y sal, 51
    - tabletas (pastillas), 50

## P

- Paletas para el almacenamiento de compuestos, 163
- Partes por millón (ppm), 14
- Pastas dentífricas con contenido de fluoruros, 49
- Pastillas, 50
- Patrones de color para análisis de fluoruros, 173-176
  - comparador Taylor, 175
  - costo, 176
  - desventajas, 174-176
  - probador, Hellige, 175
- Peligros de los compuestos de fluoruros, 97
  - para los obreros de una planta de agua, 160-161
- Pescados, contenido de fluoruros en los, 58
  - en Tristan de Cunha, 58
- Petrey, A. W., 14
- Phillips, R. S., 61
- Plebiscito, 37
- Poblaciones que usan compuestos de fluoruros, 88
  - que usan agua con fluoruros controlados, 215-217
    - con fluoruros naturales, 55, 215
    - con exceso de fluoruros, 55, 227
- Ppm, explicación de, 14
- Posibilidades de rastreo con agua fluorurada, 209-210
- Práctica médica y la fluoruración, 42
- Presiones permisibles para dosificadores de solución, 105-106
- Procedimientos de implementación, 37-42
- Procedimientos de laboratorio (*véase* Análisis de fluoruros)
- Procedimientos sugeridos para adoptar la fluoruración, 40
- Puerto Rico, estado de la fluoruración en, 215

## R

- Recipientes para envíos, eliminación de los, 204-205
- Reducción de incidencias Ceo (def), 35 de fluorosis, 227

de incidencias CPO (DMF), 25-35  
 Rompedores de vacíos, 74, 206  
 Roper, Elmo, encuesta sobre la fluoruración, 37

## S

Salud dental, niveles en E.U.A., 37-38  
 Salud pública y la fluoruración, Schlesinger, E. R., 36  
 Secretaría de la Defensa, su política sobre la fluoruración, 42  
 Seguridad para el consumidor, 205-207 de la fluoruración, de los operadores de plantas de agua, 201-205 equipo para manejar fluoruros, 160-161, 201-205  
 Selección de instalaciones completas de fluoruración, 99 de compuestos de fluoruros, 94-97  
 Sifonaje, prevención contra el, 165-166  
 Significado médico de la fluoruración, 36  
 Silicofluoruro de amonio, cálculos con base en el cloro, 92 características, 89, 92 costos, 89, 92 fabricantes, 94 otros usos, 92 preparación, 92 recipientes para envíos, 94 soluciones no saturadas, 101 uso (censo), 88  
 Silicofluoruro de magnesio, características, costos y aplicaciones actuales, 89, 93, 95 fuente y envíos, 94 soluciones no saturadas, 101  
 Silicofluoruro de sodio, características del, 89, 90 características de corrosión, 93 características de dosificación, 91, 92 costos, 89, 94 efectividad comparable, 79, 92 elaboradores y distribuidores, 92-93 envío y recipiente, 92 especificaciones, 91 experiencias con escamas, 210 otros usos, 91 poblaciones que usan, 88 preparación, 91

solubilidad y lechadas, 90, 94  
 Sistema conductor para compuestos de fluoruro, 203 tipos y fabricantes de, 162.  
 Sistemas colorimétricos de análisis de fluoruros, 177, 180, 194  
 Sistemas de duración de impulso para el control de dosificadores, 143  
 Sistemas de medición del color, 172  
 Sistemas visuales de medición de color, 173-175  
 Sociedad dental, su papel en promociones pro fluoruración, 38  
 Sociedad médica, su papel en la fluoruración, 38  
 Sognnaes, R. F., 59  
 Solubilidad de sales de fluoruros, comparación de la, 89, 94 silicofluoruros de sodio, con temperaturas, 90  
 Soluciones de alumbre para disolver el espato-flúor o fluorita, 103 en los análisis de fluoruros, 182  
 Soluciones de fluoruro, efecto bactericida de, 157  
 Smith, M. C. y Smith, H. V., 14  
 Stadt, Zachary, 61  
 Striffler, D. F., 55  
 Superintendente de una planta de agua y la fluoruración, 30 en investigaciones de fluorosis, 13

## T

Tabletas (píldoras) que contienen fluoruros, 50  
 Tanque saturador para fluoruro de sodio, 85 cálculo de la cantidad de solución usada del, 159 descripción y operación, 102  
 Té, contenido de fluoruros del, 57-58  
 Temperatura, cálculo de sus efectos, 63-64 incremento de, del agua de las cámaras de disolución, 130 niveles de fluoruros por estación basados en la, 64 y la solubilidad del silicofluoruro de sodio, 91 y niveles óptimos de fluoruros, 61, 63

Tetrafluoruro de silicio de la elaboración de silicofluoruros, 84-85

Tolva del dosificador, cargador de bolsas de, 204  
llenado, 203

Tolvas de almacenamiento, factores que determinan su tamaño, 131-133

Toxicidad del cloro, 44-45  
de fluoruros, 44  
peligros para los operadores, 46

Transferencia placentaria de fluoruros, 35

Transmisión de señales, 152-157  
eléctricas, 155-156  
neumáticas, 154-155

Tratamiento de aguas negras, efecto de los fluoruros, 48

Tuberculización en las tuberías principales, 46, 212

Tubos Dall, 148-153  
costos de, 153  
instrumentos de registro para, 153

Tubos Gentile, 148-149

Tubos Nessler, 172-173

Tubos Venturi, 148-153  
costo, 151  
instrumentos de registro para, 153  
longitud de tendido, 153

U

Uso del agua fluorurada en la industria de enlatados, 48

Uso del agua fluorurada en la industria panificadora, 47

V

Válvulas operadas por medidores de aire, 146, 198  
de solenoide, 143, 158

Variaciones en los niveles de fluoruros en el agua, 206

Velu, H., 14

Venturi, G. B., 147

Vibradores para tolvas de almacenamiento de sales secas, 162

W

William, D. B., 30

Y

Yeso, formación con alumbre y espato-flúor, 70, 73  
eliminación de las soluciones de espato-flúor, 74  
separaciones del espato-flúor, 75, 102

Z

Zipkin, I., 79

ESTA OBRA SE TERMINO DE IMPRIMIR  
EL DIA 30 DE ENERO DE 1971 EN LOS  
TALLERES DE *UNION GRAFICA, S. A.*,  
AV. DIVISION DEL NORTE 1521-A, ME-  
XICO 13, D. F. LA EDICION CONSTA DE  
6 000 EJEMPLARES MAS SOBRANTES  
PARA REPOSICION.

L-100

## OBRAS AFINES

### ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS PARA LA INDUSTRIA

Powel

### INGENIERIA SANITARIA Y DE AGUAS RESIDUALES

Vol. 1

### ABASTECIMIENTO DE AGUA Y REMOCION DE AGUAS RESIDUALES

Fair, Geyer y Okun

### MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS

Depto. de Sanidad del Estado  
de Nueva York

### Manual de Tratamiento de AGUAS NEGRAS

Depto. de Sanidad del  
Estado de Nueva York

### HIDRAULICA

Schlag

Libro práctico y sistemático que explica en forma detallada y clara la técnica de fluoruración del agua, y los aspectos importantes, tales como su historia, eficacia, seguridad y beneficios logrados al aplicarla en la comunidad. Consta de 15 capítulos que tratan temas referentes a la adopción e instalación del equipo, costos de mantenimiento, compuestos químicos y todos los elementos necesarios para el proceso de fluoruración.

Proporciona una excelente exposición de problemas técnicos y administrativos, equipos mecánicos utilizados, control del proceso; selección de alternativas, estudios epidemiológicos exhaustivos los cuales demuestran que la fluoruración no es nociva ni causa ninguna enfermedad e incluye un capítulo especial referente a la desfluoruración parcial de abastecimientos de agua que tienen concentraciones excesivas de fluoruros naturales.

Es una obra inapreciable y está destinada no sólo a ingenieros sanitarios y de abastecimiento de agua y obras públicas, ingenieros consultores, asociaciones civiles de servicios públicos, sino también a estudiantes, profesores y profesionistas de las carreras de ingeniería, odontología, medicina, pediatría, farmacia y en general a todos los interesados en la salubridad e higiene dental de la comunidad. Se considera como la fuente de información más completa y actualizada disponible sobre la fluoruración.

