

FLUORURACION DEL AGUA:

UN MANUAL PARA INGENIEROS Y TECNICOS



**Organización Panamericana de la Salud
Organización Mundial de la Salud**



**U.S. Department of Health & Human Services
Public Health Service**



FLUORURACION DEL AGUA:

UN MANUAL PARA INGENIEROS Y TECNICOS

Washington D.C.
Mayo 1997



**Organización Panamericana de la Salud
Organización Mundial de la Salud**



**U.S. Department of Health & Human Services
Public Health Service**



AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente la asistencia de Darrell Sanders y Cathy Backinger del personal de DDPA, Fred Barker, Ingeniero de Fluoruración en Massachusetts, y Steve Vassey, Gerente de Calidad Ambiental en Carolina del Sur. quienes me fueron de gran ayuda en la elaboración de partes de este manual. Finalmente, sin los esfuerzos de Carolyn Richardson, este manual no habría sido posible de imprimir.

Thomas G. Reeves, P.E.

SEPARATA

Este manual entrega información técnica para capacitar a los operadores de plantas de agua a mejorar la operación y mantenimiento de sus instalaciones de fluoruración de agua. La fluoruración del agua para abastecimiento público requiere de un estricto control de dosificación para obtener el máximo de beneficios en la salud dental. Este manual incluye una especificación analítica acuciosa que es indispensable en el nivel de fluoruro en el agua.

ACLARACION

La mención de marcas registradas y fuentes comerciales en este manual, se hace sólo con el propósito de identificación y esto no constituye aprobación del Servicio de Salud Pública del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos.

NOTA

Por favor tome nota que en este manual los términos ppm (partes por millón) y mg/l (miligramos por litro) se emplean en forma intercambiable. Aunque se prefiere mg/l, por razones de claridad se emplea ppm en varias ocasiones.

El término “ppm” es una proporción que mide la concentración de un mineral u otro ingrediente en un líquido, gas o sólido. Por ejemplo, una parte por millón de fluoruro en agua, significa una parte por peso del ión fluoruro en un millón de partes por peso de agua. Una parte por millón de fluoruro es equivalente a 8,34 lb. de ión fluoruro por millones de galones de agua, porque 1 galón de agua pesa aproximadamente 8,34 lbs. En unidades métricas, una parte por millón es idéntica a un milígramo por litro (el peso de un litro de agua pura es igual a un kilo de peso).

PROLOGO

La Organización Mundial de la Salud se complace en presentar la versión en español de "Water Fluoridation: A Manual for Engineers and Technicians". Revisaron esta traducción la Dra. Saskia Estupiñan-Day, Asesora Regional de Salud Oral, Organización Panamericana de la Salud, Washington DC, Estados Unidos de América; el Dr. Eugenio Beltrán, del Programa de Salud Oral del "Centers for Disease Control and Prevention"; el Programa de Salud Oral del Ministerio de Salud de Chile; la Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias de Chile; y la Unidad de Publicaciones de la División de Desarrollo de Sistemas y Servicios de Salud. A todos ellos la Organización Panamericana de la Salud les expresa su más sincero agradecimiento.

El propósito de este manual es ayudar al personal de servicio de agua en el correcto funcionamiento de los sistemas de fluoruración, de manera que los clientes puedan disfrutar de todos los beneficios de fluoruración. Para diseñar o planificar una instalación de fluoruración de agua deberá referirse a *La Fluoruración del Agua - Un Manual para Ingenieros y Técnicos*.

La fluoruración de los suministros de agua han sido descritos como uno de los más grandes avances en salud pública moderna. La fluoruración es un proceso que consiste en añadir un elemento presente en forma natural, el fluoruro, al agua potable a fin de prevenir el deterioro dental, usando pautas desarrolladas por la investigación médica y científica. La eficacia de la fluoruración depende de la consistencia con que el operador de tratamiento del agua mantenga el nivel óptimo de la concentración de fluoruro. Este cuenta con la clave para una mejor salud dental. El Dr. Joseph M. Doherty, Director de la División de Salud Dental del Departamento de Salud de Virginia, declaró: "Debemos reconocer al operador como parte de ese equipo profesional. Debe ser reconocido porque pienso que él hace más por prevenir las caries que todos los dentistas de esa comunidad podrían hacer a lo largo de sus vidas."

INDICE GENERAL

Página

1.	FLUORURACION Y SALUD PUBLICA	1
1.1	Definición	1
1.2	Historia	1
1.3	Eficacia de la fluoruración	2
1.4	Fluorurosis dental	7
1.5	Los opositores de la fluoruración	7
2.	QUIMICOS DEL FLUORURO	17
2.1	Introducción	17
2.2	Fuentes de los químicos	17
2.3	Compuestos de fluoruro en general	18
2.4	Fluoruro de sodio	18
2.5	Fluorosilicato de sodio	19
2.6	Acido fluorosilícico	20
2.7	Otros compuestos químicos del fluoruro	22
2.8	Niveles optimos de fluoruro	23
2.9	Disponibilidad de químicos	26
2.10	Disociación de los químicos del fluoruro	27
2.11	Almacenamiento y manejo de productos químicos	28
2.12	Exposición al fluoruro	31
3.	EQUIPO DE FLUORURACION	35
3.1	Generalidades	35
3.2	Bombas medidoras	36
3.3	Saturadores	46
3.4	Alimentadores en seco	54
3.5	Equipo auxiliar	62
4.	DISEÑO DE SISTEMAS DE FLUORURACION	81
4.1	Introducción	81
4.2	Sistemas de fluoruración: cálculos	81
4.3	Costos	94
4.4	Elección de los sistemas de fluoruración	99

5.	INSTALACION DE SISTEMAS DE FLUORUACION	123
5.1	Generalidades	123
5.2	Tipos de plantas de agua	124
5.3	Químicos empleados en plantas de tratamiento de agua	124
5.4	Punto de inyección del fluoruro	125
5.5	Instalación del equipo	130
5.6	Mantenimiento	141
6.	FLUORURACION DE LOS COLEGIOS	145
6.1	Generalidades	145
6.2	Nivel óptimo de fluoruro	145
6.3	Criterios sobre fluoruración	146
6.4	Recomendaciones de los CDC para la fluoruración de los colegios	149
6.5	Localización de averías	99
7.	ANALISIS DEL FLUORURO	153
7.1	Generalidades	153
7.2	Aspecto químico de los análisis de fluoruro	153
8.	PROGRAMA DE LOS CENTROS PARA LA PREVENCION Y EL CONTROL DE LAS ENFERMEDADES	157
8.1	Generalidades	157
8.2	Supervisión estatal y programa de vigilancia	158
8.3	Procedimientos de emergencia por sobrealimentación	159
8.4	Situación actual de la fluoruración	162
	ABREVIATURAS	165

LISTA DE CUADROS

1-1	Comparación de eficiencia de los diferentes tipos de fluoruros	6
1-2	Aplicaciones de fluoruros tópicos	6
1-3	Programa diario de dosis complementaria de fluoruro	7
2-1	Solubilidad de los químicos del fluoruro	19
2-2	Propiedades del ácido fluosilícico	21
2-3	Comparación de los químicos para la fluoruración	24
2-4	Nivel de fluoruro óptimo recomendado	25
2-5	Consumo de químicos del fluoruro en Estados Unidos	27
2-6	Tratamiento de emergencia por ingestión de sobredosis de fluoruro	32
3-1	Rango habitual de los alimentadores de fluoruro	36
3-2	Tiempo de detención del fluorosilicato de sodio en tanques de solución	60

4-1	Costos de los químicos del fluoruro	96
4-2	Costos del equipo de fluoruración	97
4-3	Costos del equipo para pruebas	98
4-4	Comparación entre los sistemas de fluoruración	112
4-5	Datos técnicos: Capacidad de bomba y precisión	116
4-6	Datos técnicos: LMI	118
4-7	Datos técnicos: W&T	121
5-1	Tipos de sistemas de agua	125
5-2	Químicos utilizados en una planta de tratamiento de agua	128
5-3	Capacidades del saturador (proporción máxima de retiro)	136
7-1	Sustancias de interferencia	154
8-1	Acciones recomendadas en caso de sobrealimentación de fluoruro	160

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1-1	Grados de esmalte veteado y concentración de fluoruro en el agua	8
1-2	Las caries dentales y la fluorosis en relación al fluoruro en los suministros de agua públicos	8
2-1	Niveles óptimos de fluoruro en los Estados Unidos	25
3-1	Bomba medidora a pistón típica	39
3-2	Bomba medidora peristáltica típica	41
3-3	Bomba medidora para diafragma mecánico típica	42
3-4	Bomba medidora con diafragma hidráulico típica	43
3-5	Bomba electrónica típica	45
3-6	Saturador de flujo descendente típico	47
3-7	Saturador ascendente típico	48
3-8	Saturador Venturi (LEO)	50
3-9	Saturador Venturi (OLGUIN)	51
3-10	Controladores del nivel de líquido	52
3-11	Suavizador de agua de zeolita	54
3-12	Alimentador volumétrico del tipo rodillo	56
3-13	Alimentador gravimétrico del tipo tornillo rotatorio	57
3-14	Alimentador gravimétrico, tipo correa	58
3-15	Típico medidor (maestro) propulsor de agua	63
3-16	Medidor de agua residencia típico	64
3-17	Bomba medidora electrónica	65

3-18	Control de motor de velocidad variable	66
3-19	Medidor de ritmo programable con señal digital	67
3-20	Rompededor de vacío	71
3-21	Válvula de antisifonaje (montada en bomba)	71
3-22	Válvula de antisifonaje (en línea)	71
3-23	Mezclador mecánico de alta velocidad típico	74
3-24	Mezclador en línea típico	75
3-25	Balanza de barra típica	75
3-26	Interruptor mecánico de flujo típico	79
3-27	Interruptor típico de flujo accionado termicamente	79
5-1	Sistema de agua con pozo unico	126
5-2	Esquema de una planta de tratamiento de agua de superficie	127
5-3	Esquema de una planta suavizadora de agua	127
5-4	Punto de inyección de fluoruro	129
5-5	Instalación de ácido fluosilícico - Almacenamiento en bombona (tambor)	131
5-6	Conexión a bombona (tambor) de ácido H_2SiF_6	132
5-7	Instalación de caja de interruptor	133
5-8	Instalación de ácido fluosilícico	134
5-9	Instalación de fluoruro de sodio - Saturador de flujo descendentes	138
5-10	Instalación de fluoruro de sodio - Saturador de flujo ascendente	139
5-11	Instalación de alimentador volumétrico	143
6-1	Suavizador de agua de zeolita	147
6-2	Sistema Ventiri para fluoruración escolar típico	148
8-1	Aumento de la fluoruración en relación con la población, EE.UU., 1945-1985	163

CAPITULO UNO

FLUORURACION Y SALUD PUBLICA

1.1 Definición

La fluoruración es el ajuste ascendente premeditado del oligoelemento natural fluoruro de acuerdo con pautas dentales y científicas, con el propósito de promover la salud pública a través de la prevención del deterioro dental. El fluoruro está presente en cantidades pequeñas pero muy variadas prácticamente en todos los suelos, suministros de agua, plantas y animales, y es por ello un componente de todas las dietas. Las concentraciones más elevadas en los mamíferos se encuentran en los dientes y en los huesos. Todos los suministros públicos de agua en los Estados Unidos contienen al menos pequeñas cantidades de fluoruro natural.

La fluoruración de los suministros públicos de agua es una de las medidas de salud pública que ha generado más investigación clínica y de laboratorio, estudios epidemiológicos, pruebas clínicas y atención por parte del público, generando reacciones tanto en favor y como en contra.

1.2 Historia

El descubrimiento del rol del fluoruro del agua en la prevención de las caries dentales es un relato a la vez interesante y curioso. Una de las más brillantes investigaciones llevada a cabo alguna vez en la epidemiología de las enfermedades crónicas fue la serie de estudios que demostraron que el agua fluorurada tenía propiedades inhibitorias en las caries dentales.

Todo comenzó cuando el joven dentista Frederick S. McKay estableció su consultorio en Colorado Springs, Colorado, donde observó que muchos de sus pacientes exhibían dientes con una afección que él llamo Amancha parda de Colorado. Como no estaba descrita en ninguna literatura científica de la época, el Dr. McKay decidió profundizar sobre el caso. Así, en 1908 inició un estudio que condujo a identificar la condición que ahora conocemos como fluorurosis (esmalte jaspeado), la cual prevalecía en los alrededores de el condado de El Paso. El Dr. McKay, junto con otra figura destacada en el mundo dental, el Dr. G.V. Black, realizó descripciones detalladas sobre el esmalte jaspeado.

En los años veinte el Dr. McKay y otros colegas concluyeron que lo que causaba el esmalte jaspeado o veteado era algo que forma parte del agua o de lo cual ésta carece. De esta forma, en los últimos años de esa década, el Dr. McKay hizo un descubrimiento aún mas importante: los dientes con esmalte jaspeado estaban casi totalmente libres de caries. En 1931 se identificó el fluoruro como el elemento del agua potable que causaba el esmalte jaspeado y al mismo tiempo inhibía las caries dentales.

En los años treinta, el Dr. H. Trendley Dean del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos y el Dr. McKay colaboraron para determinar si se le podía añadir fluoruro el agua potable para prevenir las caries. El Dr. Dean y otros asociados condujeron diversos estudios clásicos para establecer el índice de fluorurosis en la comunidad. Esto condujo a posteriores estudios que predijeron la relación causa-efecto entre la fluoruración y la reducción de las caries dentales, al tiempo que establecieron los niveles óptimos de fluoruro en el agua potable de una comunidad. El

Dr. G.J. Cox, un investigador dental del Instituto Mellon de Pennsylvania, fue la primera persona que propuso agregar fluoruro al agua potable para prevenir las caries dentales.

La investigación sobre fluoruros fue interrumpida por la Segunda Guerra Mundial, pero en 1945 y 1947 se iniciaron cuatro estudios clásicos que finalmente probaron los beneficios de añadir fluoruro al agua potable de una comunidad. El estudio más importante se inició en 1945 en Grand Rapids, Michigan, bajo la dirección del Dr. Dean. (En enero de 1945 se inició la fluoruración en Grand Rapids, en mayo de 1945 en Newburgh, Nueva York, en junio de 1945 en Brantford, Ontario y en febrero de 1947 en Evanston, Illinois). Estos estudios establecieron definitivamente la fluoruración como una práctica y efectiva de salud pública que previene las caries dentales.

En los años cincuenta y sesenta surgieron otras dos personas en la escena de la fluoruración. Si bien ya se había determinado que ésta era segura y efectiva, los aspectos técnicos requerían ser pulidos y desarrollados aún más antes de que se pudiese llevar a cabo una fluoruración más amplia del agua de la comunidad. Franz J. Maier, un ingeniero sanitario, y Ervin Bellack, un químico, hicieron junto con el Servicio de Salud Pública de los EE. UU. las principales contribuciones en referencia a los aspectos técnicos de la fluoruración del agua.

Maier y Bellack ayudaron a determinar cuáles eran los compuestos químicos del fluoruro más prácticos para la fluoruración del agua, cuál era el mejor equipo mecánico a emplear y cuáles eran los mejores controles para el procedimiento. Bellack contribuyó a realizar los principales avances en las pruebas del fluoruro. En 1963, Maier publicó el primer libro general sobre los aspectos técnicos de la fluoruración: Manual de la Práctica sobre la Fluoruración del Agua. En 1972 Bellack publicó, junto con la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA por sus iniciales en inglés), el Manual de Fluoruración del Ingeniero.

A lo largo de los 40 años o más desde que se iniciaran las tareas de salud pública de los EE.UU., los departamentos de salud de los estados y las organizaciones no gubernamentales de investigación han realizado estudios sobre los fluoruros y la fluoruración en forma permanente. Existen varios textos de referencia sobre este tema. Para mayor información favor dirigirse por escrito a los Centros para la Prevención y el Control de las Enfermedades de Atlanta, Georgia, o a la Asociación Dental Americana en Chicago, Illinois.

1.3 Eficacia de la fluoruración

1.2.1 Causas de las caries dentales

Las caries dentales (deterioro dental) son el resultado de un proceso complejo del cual no se conocen aún todas las causas. Generalmente se caracteriza por la pérdida de la estructura del diente (esmalte, dentina y cemento) como resultado de la destrucción de los tejidos debido a la acción de los ácidos. La experiencia muestra que estos ácidos son producidos por las bacterias y enzimas presentes en los azúcares e hidratos de carbono ingeridos por la boca. Esta acción tiene lugar por debajo de la placa, una película invisible compuesta por masas gomosas de microorganismos que se adhieren a los dientes. Las bacterias pueden convertir algunos de los azúcares simples en ácidos; la acción conjunta de las bacterias y enzimas puede convertir en ácidos a los hidratos de carbono

y azúcares más complejos. La producción de estos ácidos es el resultado de la existencia natural de bacterias y enzimas en la cavidad bucal.

Los ácidos disuelven el esmalte del diente e inician el proceso de deterioro dental. Cuando el esmalte del diente se disuelve se forma una cavidad que generalmente se hace más grande a medida que el proceso de cariamiento continúa. El ácido también puede dañar la dentina que se encuentra por debajo del esmalte. Cuando se destruye la cubierta del esmalte y la dentina, los cuales tienen un efecto protector, la pulpa queda expuesta a la infección por causa de las bacterias.

El porcentaje más alto de cariamiento dental se encuentra en los escolares. Este fenómeno se inicia en la niñez temprana, alcanza el máximo nivel en la adolescencia y disminuye durante la edad adulta.

1.3.2 Beneficios dentales

Prácticamente todas las personas en los Estados Unidos sufren de caries dentales. Es un fenómeno verdaderamente universal. Casi 98 de cada 100 americanos experimentan algún tipo de deterioro dental antes de llegar a la edad adulta. A los 17 años, el promedio de los americanos tendrán 6,3 dientes cariados, perdidos o empastados. La mayor parte del dolor y los gastos ocasionados por el cariamiento dental pueden ser evitados con la fluoruración. Ninguna otra medida de salud pública es tan efectiva en términos de formar dientes resistentes al deterioro dental, además de que está al alcance de todos, sea cual sea su nivel de educación o estrato socioeconómico.

El efecto del agua fluorurada ingerida durante los años del desarrollo de los dientes ha sido ampliamente demostrado. La evidencia de que el fluoruro presente en su concentración óptima en el agua potable reduce las caries hasta en un 65% en los niños que la beban desde el nacimiento es irrefutable. El público en general no sabe muy bien que estos beneficios continúan hasta la edad adulta. Aun los primeros estudios documentaron los beneficios de los fluoruros hasta la edad adulta. Un menor número de caries conlleva dientes más fuertes, requiriéndose menos empastes y de menor tamaño, menos extracciones y menos dientes artificiales.

En el transcurso de los últimos 40 años, diversos estudios en comunidades fluoruradas han mostrado un dramático incremento en el número de adolescentes completamente libres de caries. Se ha probado que incluso los adolescentes que no habían estado expuestos a la fluoruración por un período prolongado se han beneficiado con ella, y que éstos beneficios aumentan en quienes han estado expuestos por un tiempo mayor. Los estimativos más conservadores indican que un 20% de los adolescentes en una comunidad fluorurada estarán libres de caries, es decir, una cifra seis veces mayor que el número de los adolescentes sin caries en una comunidad donde el fluoruro es deficiente.

Ahora existen pruebas sólidas de que la fluoruración del agua no sólo hace que los dientes sean más resistentes a los ácidos bacteriales, sino que también inhibe realmente el crecimiento de ciertas clases de bacterias producidas por estos ácidos. Asimismo ha sido demostrado que los fluoruros ayudan verdaderamente a la remineralización del diente, haciendo que se revierta el proceso de cariamiento después de que ha comenzado.

De esta forma, la fluoruración realza la apariencia de los dientes, los hace más insensibles a la acción de los ácidos bacteriales y reduce considerablemente las cuentas de la cirugía dental

reconstructiva. Por cada dólar que se gasta en la fluoruración del agua se pueden ahorrar hasta 50 dólares en cuentas dentales. El costo de la fluoruración es de aproximadamente 50 centavos de dólar por persona por año. Los beneficios de la fluoruración pueden durar para toda la vida si uno continúa consumiendo agua fluorurada.

1.3.3 Efectos sistemáticos y topicos de los fluoruros en el agua potable

Por lo general, cuando se bebe agua que contiene fluoruro, una pequeña cantidad (20%) es retenida por los líquidos en la boca y será incorporada en el diente por asimilación superficial (efecto tópico). La otra parte del fluoruro (80%) pasa al estómago y es rápidamente absorbida por difusión simple a través de las paredes del estómago y del intestino. Este penetra al plasma sanguíneo y se distribuye rápidamente a través del cuerpo, incluidos los dientes (efecto sistemático). Debido al efecto sistemático, el ión fluoruro puede pasar libremente a través de todas las paredes celulares y así se encuentra disponible para todos los órganos y tejidos del cuerpo. Al distribuirse en esta forma, el ión fluoruro también llegará a todas las estructuras óseas del cuerpo en las que puede quedar retenido y almacenado en proporciones que generalmente aumentan con la edad y con el volumen de agua ingerida.

Los huesos, dientes y otras partes del esqueleto tienden a atraer y retener fluoruro. Los tejidos suaves no lo retienen. Se ha afirmado correctamente que el fluoruro es un “buscador de huesos”. Alrededor del 96% del fluoruro que se encuentra en el cuerpo está depositado en el esqueleto.

Como los dientes son parte del esqueleto, la incorporación de fluoruro en el diente es básicamente similar a la que ocurre en otros huesos. Esta se produce con mayor rapidez durante el período de formación y crecimiento del niño, es decir, aproximadamente desde el cuarto mes de embarazo hasta el décimo año de vida. El octavo año marca probablemente el fin del período de máxima absorción de fluoruro en los dientes. Los dientes eruptados se diferencian de otras partes del esqueleto en que, una vez que se han formado, experimentan muy poca actividad celular, con excepción de la dentina (parte interna del diente) y la raíz. Por ello no se produce un cambio significativo en los niveles de fluoruro en los dientes después de que se han formado. Es importante que los niños beban la cantidad apropiada de agua fluorurada durante el desarrollo inicial de los dientes permanentes, comenzando desde el nacimiento.

Como pasa con los huesos, el fluoruro concentrado en los dientes tiene una relación directa con el nivel de fluoruro que se encuentra en el agua potable y con la edad de la persona. Pero como no está sujeto a una reposición interna del cuerpo, los dientes no tienden a perder fluoruro por reabsorción excepto en la estructura de la raíz. La variación de la cantidad de fluoruro presente en los dientes es tan amplia como en otras partes del esqueleto, y oscila entre varios centenares y varios miles de partes por millón (ppm).

Obsérvese que el diente incorpora el fluoruro en forma soluble. Los fluoruros insolubles, tales como las partículas de fluoruro del calcio (CaF_2), pasarán a través del cuerpo y no serán utilizadas. Los fluoruros en forma orgánica tampoco son utilizados por el cuerpo. Aún no se sabe bien el mecanismo mediante el cual el ión fluoruro reemplaza al ión hidróxilo (OH^-) en el retículo cristalino del esmalte, produciendo un diente más fuerte.

1.3.4 Alternativas a la fluoruración del agua

Aunque existen otras maneras de proporcionar los beneficios del fluoruro (además de la fluoruración de los sistemas municipales de suministro de agua), debemos tener un punto muy en claro: la fluoruración municipal del agua es el medio más práctico y eficiente en función de los costos de que se dispone para reducir la incidencia de las caries en la comunidad. Esta conclusión se basa en la evidencia masiva que demuestra la eficacia de la medida y en la información más actualizada sobre los costos de implementación de la fluoruración. Otra forma de proporcionar los beneficios de la fluoruración del suministro público de agua es la fluoruración del suministro de agua de los colegios, aunque ésta no debe ser considerada como una alternativa a la primera. Esto por cuanto con ambas fluoruraciones (escolar y comunitaria) el nivel de fluoruro del agua potable está siendo ajustado en forma ascendente.

En general, existen cinco alternativas a la fluoruración del agua que emplean ya sea fluoruros tópicos o sistemáticos:

A. Fluoruros tópicos

1. Geles con fluoruro (aplicados profesionalmente)
2. Enjuagues orales con fluoruro
3. Dentífricos con fluoruro

B. Fluoruros sistemáticos

1. Tabletas con fluoruro
2. Gotas con fluoruro

C. Combinación de fluoruros tópicos y sistemáticos

Mientras que los fluoruros tópicos pueden ser usados junto con la fluoruración del agua (agua fluorurada en un nivel óptimo en el suministro de agua de un colegio o una comunidad, o agua fluorurada en forma natural), no se puede hacer lo mismo con los fluoruros sistemáticos. La utilización de un sólo tipo de fluoruro sistemático es suficiente para prevenir las caries dentales. El costo y la eficacia de estas alternativas varían, según se puede apreciar en el Cuadro 1-1.

Los fluoruros tópicos pueden ser administrados profesionalmente o auto - aplicados. En el Cuadro 1-2 se listan estos métodos y se muestra el porcentaje de reducción en DMFT (dientes permanentes cariados, perdidos y empastados, por sus iniciales en inglés). Obsérvese que en este cuadro sólo aquellas pastas de dientes con fluoruro aceptadas por el Consejo de Terapia Dental de la Asociación Dental Americana garantizan efectividad.

Los complementos sistemáticos del fluoruro requieren que se los administre diariamente, ya sea en forma de tabletas o de gotas. Los complementos del fluoruro pueden combinarse con vitaminas, y la cantidad de fluoruro recomendado en la tableta o gota dependerá de la concentración de fluoruro en el agua y de la edad del niño. En el Cuadro 1-3 aparecen las recomendaciones habituales de la Asociación Dental Americana (ADA) y de la Academia Americana de Pediatría (AAP) sobre complementos de fluoruro.

Cuadro 1-1
Comparación de eficiencia de los diferentes tipos de fluoruros*

Procedimientos	Número de caries prevenidas**	Costo por carie prevenida US\$
1. Fluoruración del agua		
A. Municipal	500.000	0,20
B. Colegio	111.100	0,90
2. Fluoruros tópicos		
A. Aplicación supervisada de pasta o enjuague en colegio	55.555	1,82
B. Aplicación profesional de fluoruro tópico	25.600	3,90
3. Fluoruros sistémicos		
A. Distribución supervisada de tabletas de fluoruro en colegios	16.542	6,06
B. Tabletadas o gotas de fluoruro recetadas individualmente	10.000	10,00

* Estimaciones del Dr. Charles Gish, Director de la División de Salud Oral Dental, Consejo Estatal de Salud de Indiana. Publicados en junio de 1978 en las actas de un seminario en la Universidad de Michigan.

** Número de caries evitadas por cada \$100.000 gastados.

Cuadro 1-2
Aplicaciones de fluoruros topicos*

Aplicaciones	No. de aplicaciones	% de reducción en el número de caries
1. Aplicado profesionalmente		35
2. Auto-aplicado		
a. Enjuague 0,2% de NaF	Semanalmente	25
b. Cepillado Supervisado con fluoruro estañoso de 9%	2/anual	25
c. Cepillado en casa con dentrífico con fluoruro al 0,1%	diario	20

* Heifetz, Stanley B. "Cost-Effectiveness of Topically Applied Fluorides." Taller sobre Métodos Preventivos en Salud Pública Dental. Ann Arbor, Mich., junio 5-8 de 1978.

Cuadro 1-3
Programa diario de dosis complementaria de fluoruro*

Edad (años)	Concentración de fluoruro en el agua*		
	Menos de 0,3 ppm	0,3 ppm a 0,7 ppm	Más de 0,7 ppm
Nacim. a 2	0,25 mgF/día**	0,00 mgF/día	0,0 mgF/día
2-3	0,50 mgF/día	0,25 mgF/día	0,0 mgF/día
3-13	1,00 mgF/día	0,50 mgF/día	0,0 mgF/día

* American Dental Assoc., Council on Dental Therapeutics, Accepted Dental Therapeutics, 39th Ed. Chicago, American Dental Assoc. 1982.

** 2,2 mg de fluoruro de sodio contienen 1 mg. de fluoruro (F).

1.4 Fluorurosis dental

La fluorurosis dental se define como las manchas entre blanquecinas y pardas que se ven en los dientes. Se ha podido establecer claramente que los niveles elevados de fluoruro en el agua potable podrán causar fluorurosis (o “esmalte veteado”, como se le ha denominado a veces).

Como se indicó en la Sección 1 - 2, en los años treinta el Dr. H. Trendley Dean, primer director del Instituto Nacional de Investigación Dental, fue asignado para estudiar la relación entre los dientes veteados y la baja incidencia de caries dentales. Esta investigación dio lugar a la recomendación en favor de la fluoruración del agua en los diversos niveles óptimos. La relación entre los dientes veteados y la incidencia de las caries dentales fue documentada en el “Índice de Dean sobre Fluorurosis Dental”. Tal índice establece un método para comparar varias etapas de fluorurosis.

El Índice del Dr. Dean y su estudio de 21 ciudades fueron usados para determinar los niveles óptimos de fluoruro en el agua potable. El índice muestra que existe muy poco veteamiento cuando los niveles de fluoruro son de 2,0 ppm o inferiores. Incluso el aspecto veteado producido por la formación de áreas blanquecinas opacas no es muy notorio y generalmente sólo es detectado por un observador bien entrenado. En un nivel superior de 3,0 ppm de fluoruro, el efecto veteado parduzco llega a ser notable en una proporción muy pequeña de la población (Figuras 1 - 1 y 1-2).

1.5 Los opositores de la fluoruración

Aunque la fluoruración del agua de la comunidad ha probado ser el método más seguro y efectivo en función de sus costos para prevenir las caries dentales, un pequeño porcentaje de la población continúa oponiéndose a que se introduzca en los suministros de agua de la comunidad. Cuando una comunidad esta considerando adoptar la fluoruración, sus opositores a menudo hacen acusaciones que intentan cuestionar sus beneficios, seguridad y eficacia. Muchas de estas acusaciones están dirigidas al operador de la planta, al gerente de la instalación y al ingeniero consultor. Las acusaciones generalmente se dividen en dos grupos: aquellas referidas al aspecto técnico y aquellas relacionadas con el aspecto medico-legal. A continuación aparecen los cargos y los hechos relacionados con los aspectos de ingeniería de la fluoruración:

Figura 1-1
GRADOS DE ESMALTE VETEADO Y CONCENTRACION DEL FLUORURO EN EL AGUA

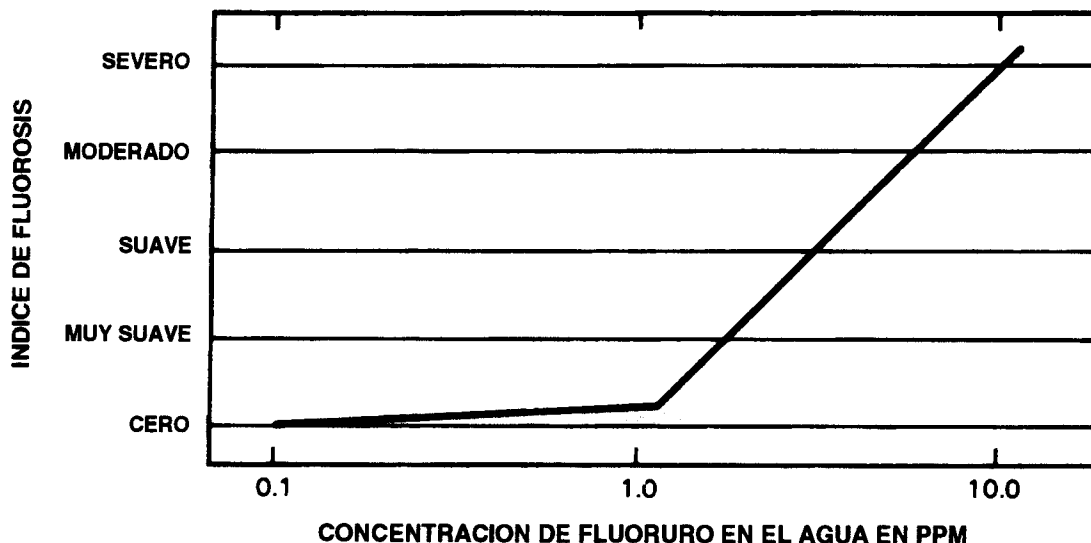
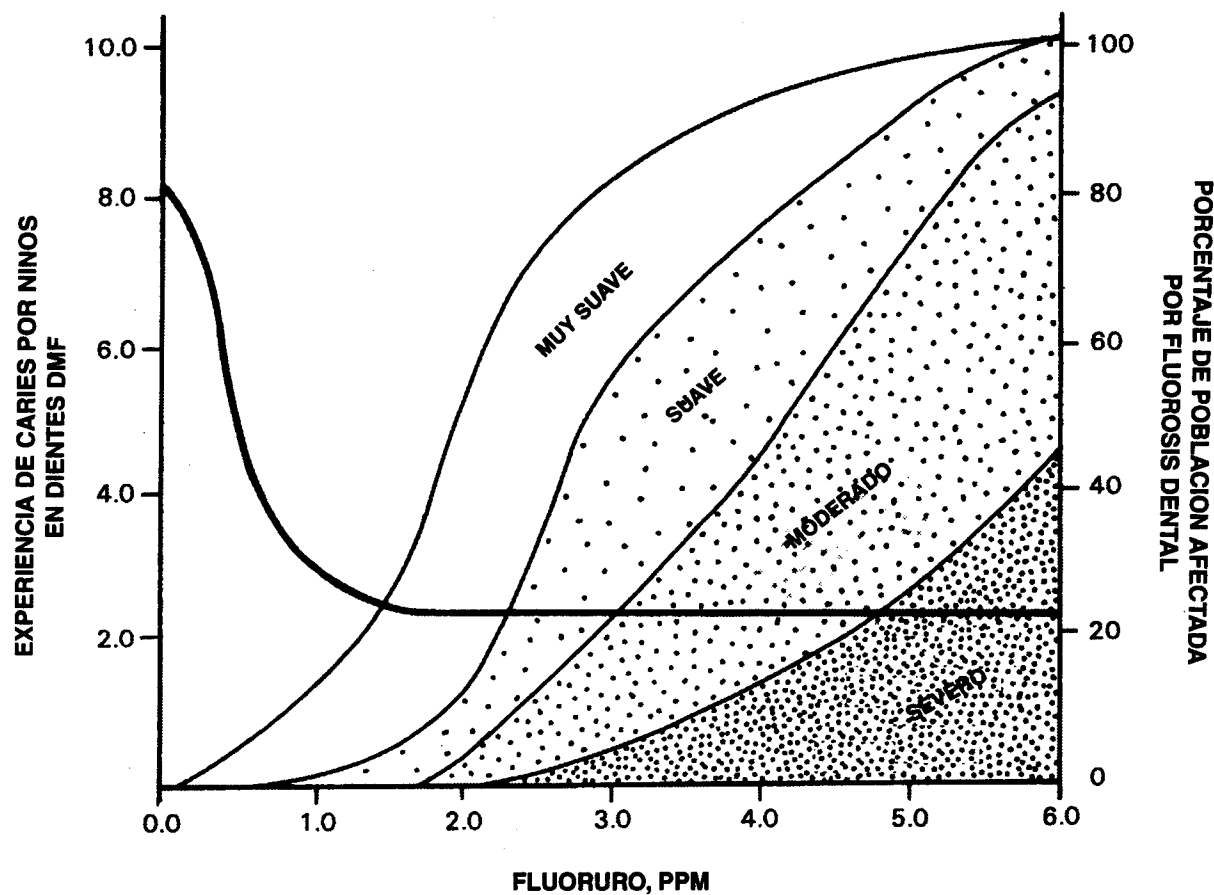


Figura 1-2
LAS CARIES DENTALES Y LA FLUOROSIS EN RELACION AL FLUORURO EN LOS SUMINISTROS DE AGUA PUBLICOS



1. **LA ACUSACIÓN:** La fluoruración natural es diferente a la fluoruración ajustada.

EL HECHO: No hay diferencia alguna. Sea cual sea su proveniencia, el ión fluoruro en el agua potable es el mismo. El elemento flúor está formado por átomos con una estructura definida. Cuando el flúor se combina con otro elemento, cada uno de sus átomos gana un electrón y la nueva sustancia se llama fluoruro. En una solución acuosa, estas partículas de fluoruro tienden a separarse en partículas cargadas llamadas iones. Los iones de fluoruro tienen propiedades únicas que son diferentes a las del flúor. Pero sea cual sea el grupo de minerales al que pertenezca el flúor, el ión fluoruro es el mismo.

2. **LA ACUSACIÓN:** La fluoruración es un desperdicio. Los niños beben menos de una décima parte de un 1 % del agua. El resto (un 99,9%) se usa para propósitos sanitarios e industriales, para combatir incendios, para lavar las calles, regar los prados, etc.

EL HECHO: Ciertamente. Pero si este es el argumento, entonces la cloración y todos los demás procedimientos de tratamiento del agua también pueden considerarse un desperdicio. Dado que no es posible fluorurar solamente el agua consumida por los niños, es necesario agregar los fluoruros a todo el suministro de agua. Incluso si se admite este nivel de desperdicio, el costo de este método comprobado de prevención del deterioro dental en niños es pequeño si se le compara con los beneficios recibidos.

3. **LA ACUSACIÓN:** Existe el peligro de que toda una ciudad reciba una fluoruración excesiva.

EL HECHO: Este peligro no existe. En un sistema diseñado y operado correctamente, el aparato, los compuestos químicos y los mecanismos de funcionamiento están dispuestos de tal manera que sería muy difícil administrar una dosis peligrosa a toda la comunidad. El tipo de equipo comúnmente usado está generalmente diseñado para añadir no más de 2,0 ppm de solución de fluoruro. Además, la bomba está frecuentemente calibrada y el contenido de fluoruro del agua se verifica rutinariamente, de manera que cualquier desviación del nivel deseado se nota inmediatamente.

La dosis mínima fatal para un ser humano (suponiendo que pese 150 lbs.) es de aproximadamente 2 gm de fluoruro (com F⁻). Para fluorizar 1 millón de galones de agua a una concentración de 1ppm se requerirían 19 lbs (8,6 kg) de fluoruro de sodio o 14 lbs (6,4 kg) de fluorosilicato de sodio. Para fluorizar 10 millones de galones (32 ML) de agua a una concentración de 1 ppm en 1mg/L se requerirían 190 lbs (86 kg) de fluoruro de sodio o 140 lbs (64 kg) de fluorosilicato de sodio. Para elevar la concentración de fluoruro a un nivel en que la dosis mínima fatal (2 mgs) pudiese ser consumida en un vaso de agua de 10 onzas (300 ml), sería necesario agregar al mismo suministro de agua alrededor de 700 toneladas (635.000 kg) de fluoruro de sodio o 500 toneladas (450.000kg) de fluorosilicato de sodio de una sola vez. El peligro podría ser mayor en sistemas más grandes que usan alimentadores en seco. La capacidad de la tolva del fluorurador (alimentador en seco) está diseñada para un suministro limitado de dos días (cerca de 50 lb o 23 kg); pero aun si se agregara el suministro de una semana de una sola vez, éste equivaldría únicamente a alrededor de un quinientavo de la cantidad necesaria para alcanzar la dosis mínima fatal. En tales circunstancias, sería imposible colocar en el agua 700 toneladas (635.000 kgs) de compuesto químico de fluoruro de una sola vez.

4. **LA ACUSACIÓN:** Un accidente en la planta de agua podría causar una sobredosis dañina de fluoruro.

EL HECHO: Los alimentadores de fluoruro están diseñados para suspender sus funciones si se presenta un accidente o si ocurren problemas de funcionamiento. Además, se tendría que agregar el suministro de fluoruro de un año en un solo día para producir efectos dañinos. Esta cantidad supera ampliamente la cantidad de fluoruro disponible en la planta para la fluoruración.

5. **LA ACUSACIÓN:** La fluoruración corroe los conductos de agua.

EL HECHO: La corrosión en el agua potable está básicamente relacionada con la cantidad de oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua, alcalinidad, dureza, concentración de sal, contenido de sulfuro de hidrógeno y con la presencia de ciertas bacterias. El ión fluoruro mismo no está relacionado con la corrosión en concentraciones que alcanzan el nivel óptimo encontrado en el agua potable o están cerca de él. Bajo ciertas condiciones de calidad se puede observar un pequeño aumento en la corrosividad del agua potable que de suyo es corrosiva, después de un tratamiento con alumbre, cloro, ácido fluorosilícico o fluorosilicato de sodio. Este aumento en la corrosividad es causado por una depresión del pH a consecuencia de estos tratamientos y ocurre en el agua potable con baja capacidad de amortiguamiento. El aumento en la corrosividad del agua potable como resultado de la adición del ácido fluorosilícico o fluorosilicato de sodio es insignificante para la mayoría de los sistemas de agua, pero en aquellos sistemas donde es significativa se la puede reducir agregando pequeñas cantidades de cal o soda cáustica.

6. **LA ACUSACIÓN:** El fluoruro añade sabor, color u olor al suministro de agua.

EL HECHO: No es cierto. El color, sabor (palatabilidad) y olor del agua no se afectan cuando se añade fluoruro en una concentración de 1 ppm. Por supuesto que los suministros de agua varían en términos de sus contenidos y no existe algo así como el agua pura en el sentido absoluto de la palabra. Otros materiales también le pueden agregar sabor y/u olores al sistema de suministro de agua, especialmente los sólidos totalmente disueltos.

El uso de agua destilada como medio de prueba no es un sustituto preciso para el agua donde haya entre 100 y 1.500 ppm de sólidos disueltos. Sin embargo, un experimento en que se utilizó agua destilada mostró que el 50% de 280 individuos sometidos a la prueba no logran distinguir ninguna diferencia entre agua destilada y agua destilada fluorurada en 133 ppm. En otro experimento con 187 estudiantes de odontología, sólo ocho dijeron que podían detectar el fluoruro en agua destilada con 10 ppm de fluoruro. Se concluyó así que una concentración de fluoruro de 1,8 ppm no tendría sabor en agua destilada, y que la persona promedio sería incapaz de detectar sabor alguno en 10 ppm. Se sugiere con firmeza que el umbral del sabor sería aún mayor en agua normal (no destilada).

7. **LA ACUSACIÓN:** La fluoruración es promovida por las grandes compañías químicas que obtienen elevadas utilidades del proceso.

EL HECHO: Esta afirmación es falsa. La fluoruración sólo representa una diezmilésima parte de los negocios de la industria química.

8. LA ACUSACIÓN: El endurecimiento del agua dificulta la introducción del fluoruro.

EL HECHO: No hay nada de cierto en este cargo. El calcio y magnesio pueden reducir la solubilidad de los fluoruros, pero el efecto es insignificante en las concentraciones presentes en las aguas naturales. Es posible que sea necesario ablandar el agua empleada para hacer la solución de fluoruro, con el fin de que se la pueda añadir en forma homogénea al suministro de agua, pero esto no representa ninguna dificultad.

9. LA ACUSACIÓN: Aunque el fluoruro se puede agregar en un porcentaje uniforme en la fuente de suministro de agua, existe la probabilidad de que formase “cavidades” en las tuberías, lo cual podría dar origen a concentraciones desiguales.

EL HECHO: No es verdad. A una concentración de 1 ppm el fluoruro es completamente soluble y no se precipitará fuera de la solución, incluso en agua endurecida. La concentración de fluoruro en la llave de la planta será transportada a través del sistema de distribución, pero aún si llega a ocurrir un cambio en la concentración en la planta, habrá un intervalo de tiempo antes de que tal cambio alcance las partes exteriores del sistema de distribución. El intervalo de tiempo depende de la longitud de la tubería por la que tiene que pasar el agua. En los sistemas de distribución no se producen “cavidades de fluoruro”.

10. LA ACUSACIÓN: Existen métodos alternativos menos costosos como las unidades domésticas de fluoruración, las cuales pueden ser usadas por aquellos que creen en el valor de este procedimiento.

EL HECHO: No hay una alternativa razonable a la fluoruración de la comunidad. Es poco práctico y costoso intentar equipar cada hogar con su propio sistema de fluoruración. Asimismo, los problemas de funcionamiento y mantenimiento son muy complejos como para ser manejados por el promedio de los propietarios.

11. LA ACUSACIÓN: Es imposible controlar la cantidad de fluoruro que cada persona obtiene de los alimentos y de la ingestión de agua fluorurada

EL HECHO: Existen variaciones en el consumo de fluoruro debido a diferencias en los hábitos de alimentación e ingestión de líquidos, pero esto no es motivo de preocupación. El nivel recomendado para la fluoruración de 1 ppm se estableció a sabiendas de que existen estas variaciones. Comparativamente, ha habido únicamente un ligero cambio en los hábitos de alimentación e ingestión de líquidos desde que se fijara el nivel recomendado.

12. LA ACUSACIÓN: La Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA) afirma que la fluoruración contamina el agua.

EL HECHO: La EPA no sólo controla la cantidad de fluoruro natural en el agua potable de 4 mg/l y también apoya firmemente la fluoruración del agua.

13. LA ACUSACIÓN: La fluoruración ha causado muertes como por ejemplo las de un niño en Nueva York y un residente en Annapolis.

EL HECHO: Nunca ha habido una muerte atribuible a la fluoruración del agua, mientras que anualmente hay muertes tanto por deterioro dental como por afecciones asociadas con la osteoporosis.

La muerte del niño en la ciudad de Nueva York no fue por causa de la fluoruración, sino porque éste bebió sin que nadie lo notase una solución de enjuague de fluoruro extremadamente fuerte mientras se encontraba en un consultorio dental.

En el caso de Annapolis (Maryland), un derrame de aproximadamente 1.000 galones de ácido hidrofúorosilícico concentrado en el sistema de aguas condujo a que elevaran los niveles de fluoruro. El sistema de agua no fue purgado y el derrame continuó sin que se reportara ante los funcionarios de salud pública. (No se trató de una sobrealimentación, ya que ningún equipo de control de la tasa de alimentación estaba involucrado).

Ocho días más tarde se descubrió el elevado contenido de fluoruro del agua cuando se realizaba una investigación relacionada con la enfermedad de ocho pacientes con una falla renal crónica a quienes se les estaba haciendo diálisis el día del derrame. (La diálisis esta siendo realizada con agua de la llave en vez del agua desionizada, como lo recomiendan los funcionarios de salud. Para la diálisis siempre se debe usar agua libre de minerales ya que las sustancias normalmente inócuas que por lo general se encuentran en el agua, tales como el aluminio, el cobre, el magnesio, el calcio y el fluoruro pueden causar problemas durante la diálisis). Un paciente falleció aproximadamente 16 horas después de sufrir una grave afección cardíaca arterioesclerótica, con la intoxicación aguda de fluoruro como agravante. Aunque este paciente había estado gravemente enfermo durante la diálisis rehusó la hospitalización y se fue a su hogar sin recibir tratamiento profesional.

14. LA ACUSACIÓN: El agua pura es mejor.

EL HECHO: El agua pura como tal no existe. Toda el agua tiene una variedad de sustancias que se hallan en suspensión o disueltas, incluyendo algún nivel de fluoruro. (También puede contener hierro, calcio y/o sílice). En los Estados Unidos existen cerca de 40 químicos diferentes que se pueden usar para tratar agua, tales como el sulfato de cobre, el hidróxido de calcio y el cloro (Véase el Cuadro 5-2). La mayoría de ellos se añade con propósitos estéticos o de conveniencia como lo son mejorar el olor y el sabor del agua, impedir la turbidez natural o prevenir el manchado de ropas y de la porcelana sanitaria. Cuando se las aplica en proporciones indebidas, muchas de estas sustancias pueden ser peligrosas.

15. LA ACUSACIÓN: La fluoruración del agua contaminaría el medio ambiente y produciría efectos ecológicos adversos.

EL HECHO: El fluoruro en la forma de ión es el décimo tercer elemento más común presente en la corteza terrestre y el décimo segundo en abundancia en las aguas de los océanos. Se le encuentra en todas las aguas a excepción de la de lluvia. El contenido de fluoruro en el agua de mar es 1,2 ppm. La fluoruración es el ajuste del contenido de fluoruro en los suministros donde éste es deficiente. Un aumento pequeño del contenido de fluoruro en los suministros de agua municipal no tendrá ningún efecto en el medio ambiente.

A continuación se registran algunas acusaciones médico-legales hechas por aquellos que se oponen a la fluoruración de los sistemas de suministro de agua de la comunidad.

16. LA ACUSACIÓN: La fluoruración causa cáncer.

EL HECHO: En primer lugar, en 1975 la Federación Nacional de Salud emitió una información sosteniendo que existía una relación entre la fluoruración y el cáncer. Estos alegatos han sido refutados repetidamente, tanto mediante revisiones separadas del trabajo de la Federación sobre el tema como por estudios independientes no sólo en los Estados Unidos, sino también en otros países. Las revisiones han sido llevadas a cabo por el Instituto Nacional del Cáncer de los Institutos Nacionales de Salud. Además, en otros estudios independientes realizados en los Estados Unidos por el Instituto Nacional del Cáncer, el Instituto Nacional del Corazón, Pulmón y Sangre, y los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC), no se encontró relación alguna entre los porcentajes de fluoruración y los de muerte por cáncer. Estudios recientes sobre la fluoruración de poblaciones en Australia, Inglaterra y Canadá abarcaron 70 grupos de municipalidades y cubrieron un lapso de casi 20 años (1954-1973). Estos estudios concluyeron que no existían diferencias apreciables en los porcentajes de muertes por todos los tipos de cáncer o en la localización específica del tumor en aquellas poblaciones fluoruradas y las no fluoruradas en este período. Tampoco había una diferencia significativa aparente entre los porcentajes de muertes por todos los tipos de cáncer cuando se establecían comparaciones dentro del mismo grupo de municipalidades antes y después de la fluoruración.

17. LA ACUSACIÓN: la fluoruración causa enfermedades cardíacas, diabetes y malestares del hígado y del riñón.

EL HECHO: Los estudios realizados en 64 ciudades (32 de las cuales han usado agua fluorurada en forma natural por generaciones y 32 sin ella) mostraron que no existía una diferencia significativa en los porcentajes de mortalidad por estas enfermedades. Estos hallazgos han sido igualmente confirmados por estudios en Illinois, Nueva Inglaterra, Texas y Nueva York.

18. LA ACUSACIÓN: La fluoruración es una forma de tratamiento médico masivo.

EL HECHO: El fluoruro no es una medicina; no trata ni cura nada. Es simplemente un nutriente que previene el deterioro dental. Como sucede con otros minerales que hacen parte de la dieta, el fluoruro ayuda al cuerpo a resistir ciertas afecciones, en este caso el deterioro dental.

19. LA ACUSACIÓN: La fluoruración es una transgresión inconstitucional e ilegal de los derechos individuales.

EL HECHO: Con el paso de los años, la legalidad de la fluoruración ha sido probada repetidas veces. Los tribunales en más de 25 estados han tenido conocimiento de casos de fluoruración y su constitucionalidad ha sido defendida por las Cortes Supremas de más de una docena de estados. Además, al menos ocho veces la Corte Suprema de los EE.UU. ha declinado escuchar estos casos, al no estar involucrados aspectos sustanciales de la constitución federal. Hasta el día de hoy no se ha tomado ninguna decisión final que fuese desfavorable para la fluoruración cualesquiera hayan sido las acusaciones presentadas.

20. LA ACUSACIÓN: Los fluoruros del agua potable pueden producir reacciones alérgicas.

EL HECHO: En la concentración recomendada para la salud dental, el fluoruro no produce tales reacciones. La Academia Americana de las Alergias efectuó una revisión de informes clínicos sobre posibles reacciones alérgicas al fluoruro sin encontrar evidencia de alergia o intolerancia. Una vez finalizado el estudio, el comité ejecutivo de la academia adoptó unánimemente la siguiente declaración: "No existe evidencia alguna de alergia o intolerancia a los fluoruros, en la forma como estos se usan en la fluoruración de los suministros de agua de la comunidad".

21. LA ACUSACIÓN: El efecto acumulado de los fluoruros de un suministro de agua dañará permanentemente los tejidos y huesos del cuerpo.

EL HECHO: El efecto de beber agua fluorurada no es acumulativo. Una mínima parte del fluoruro ingerido es depositado en los huesos y dientes; el resto es rápidamente excretado a través de los riñones. Los huesos y los dientes acumularán fluoruro por largos períodos. Este no es un problema de salud, sino más bien un beneficio cuando se consume el agua fluorurada en su concentración óptima.

22. LA ACUSACIÓN: El fluoruro se emplea como veneno para ratas.

EL HECHO: Esto fue cierto alguna vez. En el pasado se lo empleaba como veneno contra ratas, pero no fue muy efectivo en reducir la población de roedores y fue así como se dejó de usar poco a poco. Actualmente los compuestos de fluoruro no son usados como raticidas. Las grandes dosis de fluoruro son tóxicas para los seres humanos. Sin embargo, es esencial entender que el fluoruro (como los son muchos otros químicos inorgánicos), tiene una doble naturaleza y es considerado por muchas autoridades de salud como un nutriente esencial para el ser humano. Aunque es posible que se produzcan efectos tóxicos graves por dosis masivas de niveles extremadamente altos de fluoruro, las cantidades mínimas presentes el agua potable tienen un efecto benéfico. La implicación de que los fluoruros producen los mismos efectos en grandes dosis y en cantidades insignificantes es incorrecta. Muchas sustancias comúnmente empleadas son benéficas en pequeñas cantidades, pero pueden ser perjudiciales en grandes dosis, como por ejemplo la sal de mesa (cloruro de sodio) o el cloro.

Existen diversos estudios e informes muy completos sobre las acusaciones en contra de la fluoruración. Si se desea obtener una mayor información sobre cualquier acusación cubierta o no cubierta por este manual, favor consultar "Fluoridation Facts" (una publicación de la Asociación Dental Americana) y otras publicaciones similares.

Es un hecho desafortunado que una investigación irrelevante que ha sido refutada se presente con la intención de perjudicar la salud del público. Es también lamentable que continúen circulando falsas interpretaciones de acciones y declaraciones fuera de contexto en otros países, lo cual causa temores innecesarios. Por cada informe que crea dudas acerca de la fluoruración existen innumerables documentos que atestiguan sobre su seguridad y eficacia. No debe sorprender que se puedan presentar diferencias de opinión entre científicos y profesionales de la investigación y la medicina. Empero, lo que sí debe sorprender es el acuerdo casi universal que existe sobre la seguridad y eficacia de la fluoruración. La fluoruración no causa controversia en ningún sentido científico. La fluoruración es

una de las pocas medidas de salud pública que cuenta con un apoyo científico generalizado y una amplia base de investigación que sostiene su uso.

La fluoruración de la comunidad cuenta con el apoyo del gobierno, del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos, la Asociación Dental Americana, la Asociación Médica Americana, la Organización Mundial de la Salud, la Asociación Americana de Empresas de Agua Potable y prácticamente toda organización científica y profesional en el campo de la salud. En los casi cincuenta años desde que se iniciará la fluoruración no ha habido nunca ninguna evidencia clínica fundamentada de que alguien hubiese sufrido por haber bebido agua fluorurada en su nivel óptimo.

La fluoruración es segura, económica, efectiva y práctica. No hay ningún sustituto que pueda impedir hasta dos de cada tres caries.

La efectividad de la fluoruración depende de la forma en que el operador responsable por el tratamiento del agua mantenga la concentración óptima de fluoruro. El guarda la clave para una mejor salud dental. Tal como ha sido afirmado por el Dr. Joseph M. Doherty, Director de la División de Salud Dental del Departamento de Salud de Virginia: "Tenemos que reconocer al operador como miembro de este equipo profesional. El debe ser reconocido, porque pienso que él hace más por la prevención de las caries dentales de lo que pueden hacer todos los dentistas de la comunidad en sus vidas".

CAPITULO DOS

QUIMICOS DEL FLUORURO

2.1 Introducción

El flúor, un gas halógeno, es el décimo tercer elemento más abundante encontrado en la corteza terrestre. Es un gas nocivo de color amarillo claro altamente reactivo. Es el elemento químico más electronegativo de todos. No puede ser oxigenado a un estado positivo. El flúor no se ha encontrado nunca en estado libre en la naturaleza, sino siempre en combinación con radicales químicos u otros elementos como los compuestos del fluoruro. Cuando se disuelve en agua, estos compuestos se disocian en iones. Son los iones de fluoruro en los niveles óptimos en el agua potable los responsables por la reducción de las caries dentales. Existen solamente tres compuestos básicos comúnmente usados para la fluoruración de los suministros de agua potable en los Estados Unidos: fluoruro de sodio, fluorosilicato de sodio y ácido fluorosilícico.

2.2 Fuentes de los químicos

El fluoruro se puede encontrar en forma sólida en minerales como el espato flúor, criolita y apatita. El espato flúor es un mineral que contiene del 30 al 98% de fluoruro de calcio (CaF_2). El espato flúor, también llamado fluorita, se encuentra en casi todas partes del mundo; Kentucky e Illinois tienen los depósitos más grandes en los Estados Unidos. Existen asimismo pequeños depósitos en Nevada y Texas. La mayor parte del espato flúor producido en los Estados Unidos proviene de dos compañías mineras en el sur de Illinois. En los últimos años, sólo los Estados Unidos han producido cerca de un 10% del consumo total de espato flúor. El resto ha sido importado generalmente desde México (alrededor de un 85% por su bajo costo y pureza elevada).

La criolita (Na_3AlF_6) es un compuesto de aluminio, sodio y fluoruro. Se usa preferentemente en la industria por su bajo punto de disolución. Se han encontrado grandes depósitos en Groenlandia. La criolita no es la principal fuente de fluoruro en los EE.UU.

La apatita [$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_6(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})_2$] es un depósito de una mezcla de componentes de calcio. (La coma en la ecuación química denota mezcla). Estos componentes de calcio básicamente comprenden: fosfatos de calcio, fluoruros de calcio y carbonatos de calcio. Usualmente también se presentan vestigios de sulfatos como impurezas. Actualmente la apatita contiene de 3 a 7% de fluoruro y es la principal fuente de los fluoruros usados en la fluoruración del agua. Constituye asimismo la materia prima empleada para los fertilizantes fosfatados. Los depósitos de apatita se encuentran en Tennessee, Florida y Carolina del Sur; existen también pequeños depósitos en Carolina del Norte, Montana, Idaho, Utah, y Wyoming. Las tres cuartas partes de la producción anual de apatita de los Estados Unidos proviene de la parte central de Florida.

El fluoruro se encuentra en forma natural en todas las aguas, debido a su poder disolvente y a su movimiento en el ciclo hidrológico. Cuando el agua se mueve subterráneamente entra en contacto con minerales que contienen fluoruro y lleva sus iones lejos de su punto de origen. Como todas las aguas se desplazan hacia los océanos, el agua de mar también contiene fluoruro (aproximadamente 1,2

ppm). La concentración de fluoruros encontrada en las fuentes de aguas frescas varía de acuerdo a factores tales como la profundidad a la que éstas se encuentran y a la cantidad de minerales portadores de fluoruro en la región. Por lo general se puede afirmar que cuanto más profunda sea el agua subterránea, mayor será su concentración de fluoruro.

2.3 Compuestos de fluoruro en general

Teóricamente, cualquier compuesto que forma iones de fluoruro en una solución de agua puede ser usado para ajustar el contenido de fluoruro de un suministro de agua. Sin embargo, son diversas las consideraciones prácticas que entran en juego en la elección de los componentes. En primer lugar, el componente tiene que ser lo suficientemente soluble como para permitir su uso en la práctica rutinaria de una planta de agua. Segundo, el catión al cual el ión fluoruro está fijado debe estar desprovisto de características indeseables. Tercero, el material debe ser poco costoso y encontrarse con facilidad en volúmenes y grados de pureza convenientes para el uso propuesto. Los compuestos químicos del fluoruro como el cloro, la soda cáustica y mucho otros usados en el tratamiento del agua pueden poner en peligro la seguridad del operador de una planta de agua sino se observan las precauciones de manejo apropiadas. Es muy importante que el operador esté consciente de los peligros asociados con cada químico individual antes de usarlo.

Los tres químicos del fluoruro comunmente utilizados en la fluoruración del agua - fluoruro de sodio (B701-90), fluorosilicato de sodio (B702-90) y ácido fluorosilícico (B703-90)- deben cumplir las normas de uso de las Asociaciones Americanas de Plantas de Agua Potable (AWWA).

2.4 Fluoruro de sodio

El fluoruro de sodio fue el primer compuesto fluorado empleado en la fluoruración del agua. Fue escogido con base en los criterios anteriormente mencionados y también porque su toxicidad y efectos fisiológicos han sido estudiados a cabalidad. El fluoruro de sodio ha llegado a ser la norma de referencia usada para medir la concentración de fluoruro. Aunque se comenzaron a usar otros compuestos, el fluoruro de sodio sigue siendo ampliamente utilizado debido a sus características naturales únicas.

El fluoruro de sodio (NaF) es una materia blanca, inodora, disponible ya sea en polvo o en la forma de cristales de diversos tamaños. Es una sal que en el pasado se elaboraba añadiéndole ácido sulfúrico al espato flúor, para luego neutralizar la mezcla con carbonato de sodio. En 1983 y 1984 la industria química cambió la forma de fabricar el fluoruro de sodio. Hoy en día se produce neutralizando ácido fluorosilícico con soda cáustica (NaOH). Su peso por fórmula es de 42,00, su gravedad específica es de 2,79 y su solubilidad es prácticamente constante en 4,0 gramos por 100 mililitros de agua a las temperaturas generalmente encontradas en las plantas de tratamiento del agua (Véase el Cuadro 2-1).

La solubilidad de 4% relativamente constante del fluoruro de sodio es la base para diseñar el saturador. El pH (concentración del ión hidrógeno) de una solución de fluoruro de sodio varía con el tipo y la cantidad de impurezas, pero las soluciones preparadas con los grados habituales de fluoruro de sodio exhiben un pH casi neutral (aproximadamente 7,6). Está disponible en grados de pureza que van de un 97% a más de un 98% y sus impurezas consisten de agua, ácido libre o álcali, fluorosilicato

de sodio, sulfitos y hierro, mas trazas de otras sustancias. Se necesitan aproximadamente 19 libras de fluoruro de sodio para agregarle 1 ppm de fluoruro a un millón de galones de agua.

El fluoruro de sodio en polvo se produce en diferentes densidades; el grado ligero pesa menos de 65 libras por pie cúbico, mientras que el grado más denso pesa aproximadamente 90 libras por pie cúbico. La densidad promedio es de 85 lbs./pie cúbico. Un análisis típico de tamizado del fluoruro de sodio en polvo muestra 99% a través de un cedazo de 200 "mesh" y 97% en 325 "mesh". El fluoruro de sodio cristalino se produce en seis variedades que usualmente se definen a grandes rasgos como basta, fina y extra-fina, pero algunos fabricantes pueden suministrar muchos tamaños específicos de "mesh". Cuando se manipula en forma manual se prefiere el tipo cristalino, ya que produce un mínimo de polvo. El polvo constituye el peligro más frecuente durante el manejo del fluoruro de sodio. Mas adelante se hace una presentación más completa de las precauciones que se debn tomar durante su aplicación.

El fluoruro de sodio tiene muchos usos industriales: para la fabricación de esmalte vitrificado y vidrios, como agente desgasificador de acero, en electrodeposición en fundentes para soldadura, en compuestos salados tratables con calor, en equipos de esterilización en cervecerías y destilerías, en pasta y goma de pegar, como preservativo de la madera y en la fabricación de papel revestido. Anteriormente se usaba como raticida pero ya no se utiliza como tal ni está incluido en la lista de raticidas registrados ante la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA).

Cuadro 2-1
Solubilidad de los químicos del fluoruro

Químico	Temperatura	Solubilidad (g por 100 mL de H ₂ O)
1. Fluoruro de sodio (NaF)	0,0	4,00
	15,0	4,03
	20,0	4,05
	25,0	4,10
	100,0	5,00
2. Fluorosilicato de sodio (Na ₂ SiF ₆)	0,0	0,44
	25,0	0,76
	37,8	0,98
	65,6	1,52
	100,0	2,45
3. Acido fluorosilícico (H ₂ SiF ₆)	Infinita en todas las temperaturas	

2.5 Fluorosilicato de sodio

El ácido fluorosilícico se puede convertir rápidamente en varias sales, una de las cuales es el fluorosilicato de sodio (Na₂SiF₆), también conocido como fluorosilico de sodio; éste se utiliza ampliamente como compuesto químico para la fluoruración del agua. Como sucede con la mayoría de los fluorosilicatos, éste se obtiene generalmente como sub-producto en elaboración de fertilizantes fosfatados. La roca fosfatada es extraída del suelo y tratada con ácido sulfúrico, formándose así un subproducto gaseoso. Este gas reacciona con el agua y forma el ácido fluorosilícico. Al ser neutralizado con carbonato de sodio, el fluorosilicato de sodio se precipitará haci afuera. La conversión del ácido

fluorosilícico (esencialmente un subproducto de bajo costo que contiene demasiada agua como para permitir un transporte económico) en un material seco con un alto porcentaje de fluoruro disponible resulta en un compuesto que tiene la mayoría de las ventajas del ácido y pocas de sus desventajas. Una vez se demostró que los fluorosilicatos forman iones fluoruros en una solución de agua tan rápidamente como lo hacen los compuestos simples de fluoruro y que no existía una diferencia en el efecto fisiológico, estos (y el ácido fluorosilícico) fueron aceptados muy pronto para la Fluoruración del agua; en muchos casos han desplazado el uso del fluoruro de sodio, excepto en saturadores.

El fluorosilicato de sodio es un polvo blanco cristalino inodoro. Su peso molecular es de 188,06 y su gravedad específica de 2,679. Su solubilidad varía de 0,44 gramos por 100 mililitros a 0 grados centígrados a 2,45 gramos por 100 mililitros a 100 grados centígrados (Véase el Cuadro 2-1). Los pH de las soluciones se inclinan definitivamente hacia el lado ácido, con soluciones saturadas que generalmente exhiben un pH entre 3,0 y 4,0 (aproximadamente 3,6). El fluorosilicato de sodio está disponible en purzas de 98% o mayores, siendo el agua, los cloruros y el sílice sus principales impurezas. Se necesitan cerca de 14 libras de fluorosilicato de sodio para añadir 1 ppm de fluoruro a 1 millón de galones de agua.

El fluorosilicato de sodio se vende comercialmente en dos formas: regular y harinoso. La densidad del fluorosilicato de sodio va de 65 a 95 libras por pie cúbico (lbs./pc.). La densidad promedio es de aproximadamente 75 lbs/pc. Un análisis típico de tamizado del grado regular muestra más del 99% a través un cedazo de 200 "mesh" y más del 10% a través de un cedazo de 325 "mesh".

El fluorosilicato de sodio tiene algunos otros usos industriales: como agente restregador en la lavandería (jabones cáusticos neutralizantes industriales) y para la fabricación de vidrio ópalo y de lanas a prueba de polillas. En el pasado fue usado como raticida pero, como pasa con el fluoruro de sodio, ya no se lo usa más para este fin. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos no lo incluye en su listado de raticidas registrados.

Al igual que con el fluoruro de sodio, el principal peligro asociado con el manejo del fluorosilicato de sodio es el polvo. Más adelante se presentan las precauciones que hay que tomar al manipular este material.

2.6 Ácido fluorosilícico

El ácido fluorosilícico (H_2SiF_6), también conocido como hidrofluorosilícico, hexafluorosilícico o silicofluórico, es una solución acuosa 20 a 35% con un peso de fórmula de 144,08. Se trata de un líquido de color paja, transparente, humeante, corrosivo con un olor acre que produce una acción irritante en la piel. Las soluciones de ácido fluorosilícico de 20 a 35% muestran un pH bajo (1,2); a una concentración de 1ppm puede disminuir ligeramente el pH de aguas potables con escaso amortiguamiento. Este ácido tiene que ser manejado con extremo cuidado porque causa un "ardor retardado" en la piel. En el Cuadro 2-2 se indican la gravedad específica y la densidad del ácido fluorosilícico. La densidad promedio del ácido al 23% es de 10,1 lbs/gal. El ácido fluorosilícico (23%) se congelará a aproximadamente 4 grados F ó - 15,5 grados centígrados. Se requieren cerca de 46 libras (4,4 galones) de ácido al 23% para añadir 1 ppm de fluoruro a 1 millón de galones de agua.

El ácido fluorosilícico se fabrica mediante dos procedimientos diferentes, de los cuales resultan productos con distintas características. La producción más grande de ácido es como subproducto de la fabricación de fertilizantes fosfatados. La roca fosfatada se extrae del suelo y se trata con ácido sulfúrico, formando un subproducto gaseoso. Este gas se hace reaccionar con agua, formando un ácido fluorosilícico débil. En el siguiente paso la concentración del ácido pasa del 23 % al 30 %. Este tipo de ácido rara vez excede un grado de concentración del 30 % de solidez. Una cantidad más pequeña de ácido se prepara a partir del ácido fluorosilícico (HF) y sílice, resultando en un producto más puro a una concentración ligeramente más elevada. El ácido preparado a partir de rocas fosfatadas contiene sílice coloidal en diversas cantidades, y aunque tiene pocas consecuencias si se lo usa en la forma en que llega, al diluirlo se produce un precipitado visible de sílice. Algunos proveedores de ácido fluorosilícico lo venden “fortificado”, lo cual significa que ya le han añadido una pequeña cantidad de ácido hidrofúrico para impedir la formación del precipitado. El ácido que se prepara a partir ácido hidrofúrico y sílice normalmente no se precipita cuando se diluye.

Cuadro 2-2
Propiedades del ácido fluorosilícico

Acidez*	Gravedad específica (g.e.)	Densidad (lbs/gal)
0	1,000	8,345
10	1,0831	9,041
20	1,167	9,739
23	1,191	9,938
25	1,208	10,080
30	1,250	10,431
35	1,291	10,773

* El otro porcentaje es agua destilada.

Observación: Las densidades y gravedades específicas serán ligeramente más elevadas si no se usa agua destilada. Añada aproximadamente 0,2 lb/gal a la densidad dependiendo de las impurezas.

El ácido hidrofúrico (HF) es una sustancia extremadamente corrosiva. Su presencia en el ácido fluorosilícico --ya sea por adición intencional, es decir, “ácido fortificado”, o por procesos normales de producción -- exige un manejo cuidadoso. Los gases de HF del ácido fluorosilícico son más livianos que el aire, a diferencia de los gases del cloro que son más pesados. Es por esto que los gases del ácido se elevarán en vez de posarse en el suelo (El tetrafluoruro de silicona (SiF_6) es un gas más pesado que el aire pero no es tóxico).

Dado que el ácido fluorosilícico contiene una elevada proporción de agua, su transporte en grandes cantidades puede ser muy costoso. Los consumidores que requieren grande volúmenes pueden adquirir el ácido directamente del fabricante en partidas volumétricas (carro tanque o camión), pero los consumidores más pequeños obtendrán el ácido de distribuidores que usualmente lo empaacan en tambores o bombonas de polietileno. En vez de intentar ajustar la concentración del ácido a alguna cifra uniforme, los productores lo venden como viene y ajustan el precio para compensar la concentración del ácido por encima o por debajo de la cifra citada. Nótese que el tipo de precio de “23 % base” se aplica solamente a cantidades en volumen. La práctica habitual del proveedor es entregar informes de prueba sobre la resistencia del ácido de cada partida del carro tanque.

Los intentos de diluir el ácido están sujetos a error tanto en la medición del ácido como del agua para diluirlo. Es mucho mejor emplear el ácido en forma no diluida, tal como viene en los contenedores en que se transporta. Si la concentración del ácido es demasiado alta como para ser manejada por el alimentador de la solución, entonces son más indicadas las soluciones más débiles de otros compuestos como lo son por ejemplo las soluciones saturadas de fluoruro de sodio. Los CDC recomiendan definitivamente que no se diluya el ácido. En caso de que tenga que diluir, se debe evitar la formación de un precipitado de sílice, el cual aparecerá a pesar de la calidad (dureza) del agua usada para diluirlo. Las diluciones que oscilan entre 10:1 y 20:1 (agua:ácido) son aquellas en que es más probable que se precipite el sílice insoluble. Suavizar el agua no impedirá esta precipitación.

Al igual que todos los otros compuestos de fluoruro, el ácido fluorosilícico tiene varios usos industriales, entre los cuales figura la esterilización de equipo en las industrias cerveceras y de embotellado, la electrodeposición, la curtiembre de pieles, el grabado de vidrio, la refinación de plomo, el endurecimiento del cemento y la preservación de la madera. Como sucede con otros ácidos minerales, el ácido fluorosilícico debe ser tratado con cuidado para prevenir que los operadores se hagan daño y que se arruine el equipo por salpicaduras de ácidos o gases. Más adelante se hace una presentación más completa sobre las precauciones de manejo.

2.7 Otros compuestos químicos del fluoruro

El fluoruro silícico de amonio, el fluoruro silícico de magnesio, el fluoruro de potasio, el ácido fluorhídrico y el fluoruro de calcio (espato flúor), han sido usados o se utilizan en la actualidad para la fluoruración del agua. Cada uno tiene propiedades particulares que lo constituyen en un material deseable para una determinada aplicación, aunque cada uno de ellos también tiene características indeseables. Ninguno de estos compuestos químicos se aplica ampliamente en los Estados Unidos, aunque el fluoruro de calcio se emplea en Sudamérica.

El fluoruro silícico de amonio posee la ventaja especial de suministrar todo o parte del ión amonio para la producción de cloramina, cuando esta forma de desinfectante se prefiere al cloro en una situación en particular. A su vez, tiene la desventaja de no desinfectar si el tiempo de contacto es breve. Además es más costoso que el fluorosilicato de sodio.

El fluoruro silícico de magnesio y el fluoruro de potasio tienen la ventaja de que son extremadamente solubles, lo cual es especialmente importante en aplicaciones como la fluoruración de los colegios cuando no se requiere rellenar frecuentemente los contenedores de solución. Además, el fluoruro de potasio es completamente compatible con el hipoclorito de potasio, de manera que una mezcla de las dos soluciones (en el mismo contenedor) puede ser usada para una fluoruración y cloración simultánea. No se les puede administrar en seco. Asimismo, ambos son más costosos (especialmente el fluoruro de potasio) que el fluorosilicato de sodio. El fluoruro silícico de magnesio es ampliamente usado en Europa como un compuesto curativo concreto y por eso se produce en cantidades masivas, pero es aún mas costoso que el fluorosilicato de sodio. El fluoruro de potasio es uno de los principales ingredientes en la fabricación de gas neurotóxico.

El fluoruro cálcico (espato flúor) es el menos caro de todos los compuestos usados en la fluoruración del agua, pero es también el más insoluble. Ha sido alimentado exitosamente disolviéndolo primero en una solución de alumbre y luego utilizando la solución resultante para suministrar tanto el alumbre necesario para la coagulación como el ión fluoruro. Se han hecho ciertos intentos para alimentar el

espato flúor directamente a manera de un polvo ultra-fino, bajo el supuesto de que este polvo eventualmente se disolverá o al menos quedará en suspensión hasta ser consumido. Estos intentos no han sido muy exitosos. En América del Sur se han usado con cierto éxito lechos de espato flúor.

A pesar de su bajo costo, el ácido fluorhídrico (no el ácido fluorosilícico) presenta demasiado riesgo de seguridad y corrosión como para ser aceptado en la fluoruración del agua, aunque ha sido empleado en una instalación especialmente diseñada para ese propósito.

Se ha sugerido la utilización de muchos otros compuestos químicos del fluoruro en la fluoruración del agua, entre ellos el bifluoruro de amonio y sodio. Sus ventajas son la solubilidad y el costo, pero su corrosividad potencial ha impedido que se les acepte. El Cuadro 2-3 muestra una comparación entre los tres químicos del fluoruro más comúnmente usados y los otros químicos de fluoruro.

2.8 Niveles optimos de fluoruro

Las concentraciones óptimas de fluoruro recomendadas para sistemas de agua fluorurada se presentan en el Cuadro 2-4 y en la Figura 2-1. Estos niveles están basados en el promedio anual de la temperatura atmosférica máxima diaria en la región del colegio o comunidad en cuestión. Para aquellas regiones donde la temperatura promedio no se muestra en el gráfico, el nivel óptimo de fluoruro puede ser establecido mediante siguiente fórmula:

$$\text{ppm fluoruro} = 0,34 \div E$$

E = consumo diario promedio estimado de agua para niños de 10 años de edad en onzas de agua por libra de peso corporal. E se obtiene a partir de la fórmula:

$$E = 0,038 + 0,0062 \times \text{promedio de temperatura atmosférica diaria máxima (en grados Fahrenheit)}$$

El rango de control recomendado se inclina hacia el lado superior del nivel óptimo de fluoruro por dos razones. En primer lugar, en este momento es obvio que muchos operadores de plantas de agua tratan de mantener el nivel de fluoruro en su comunidad en el nivel más bajo posible. El resultado es que la variación del nivel real de fluoruro en el agua estará cerca del valor más bajo del rango y no del nivel óptimo. Este problema se superará cuando los límites de control más bajos recomendados para el fluoruro se coloquen en un nivel más alto. En segundo lugar, algunos estudios han mostrado que los fluoruros que no se aplican en sus niveles óptimos son relativamente ineficaces en prevenir verdaderamente las caries dentales. Incluso una gota de 0,2 ppm por debajo de los niveles óptimos puede reducir significativamente los beneficios dentales. Sesgar los límites de control del nivel óptimo de fluoruro hacia arriba ayudará a asegurar que los beneficios de la fluoruración se mantengan incluso si el nivel de fluoruro en el agua varía un poco. En la fluoruración del agua la subalimentación es un problema mucho más serio que la sobrealimentación.

Cuadro 2-3
Comparación de los químicos para la fluoruración

Tipo	Compuestos químicos del fluoruro usados habitualmente				Otros compuestos químicos del fluoruro			
	Fluorosilicato de sodio (Na ₂ SiF ₆)	Fluoruro de sodio (NaF)	Acido fluorosilícico (H ₂ SiF ₆)	Fluoruro de calcio (CaF ₂)	Fluorosilicato de Mg. (MgSiF ₆ .6H ₂ O)	Fluorosilicato de amonio (NH ₄) ₂ SiF ₆	Fluoruro de potasio (KF 2H ₂ O)	
Forma	en polvo	polvo o cristal	líquido	en polvo	cristal	cristal	cristal	
Peso molecular	188,05	42,00	144,08	78,08	274,48	178,14	94,13	
Pureza comercial %	98 min	97 min	23-35	85-98	98	98	98	
Peso lb/pie cub.	65-95	65-90	9,9 (23%) (lbs/gal)	10	72	80	58	
lb a fluoruro en 1,0 ppm para 1 millón gal. de agua (98%)	14,0 (98%)	18,8 (98%)	45,7 (23%)	17,6 (96%)	20-5 (98%)	13,3 (98%)	42,1	
Solubilidad g/100 ml H ₂ O a 25°C	0,76	4,1	Infinita	0,0016	64,8 (17°C)	18,5 (17°C)	100	
pH de la solución saturada	3,5	7,6	1,2	6,7	1,0	3,5	7,0	

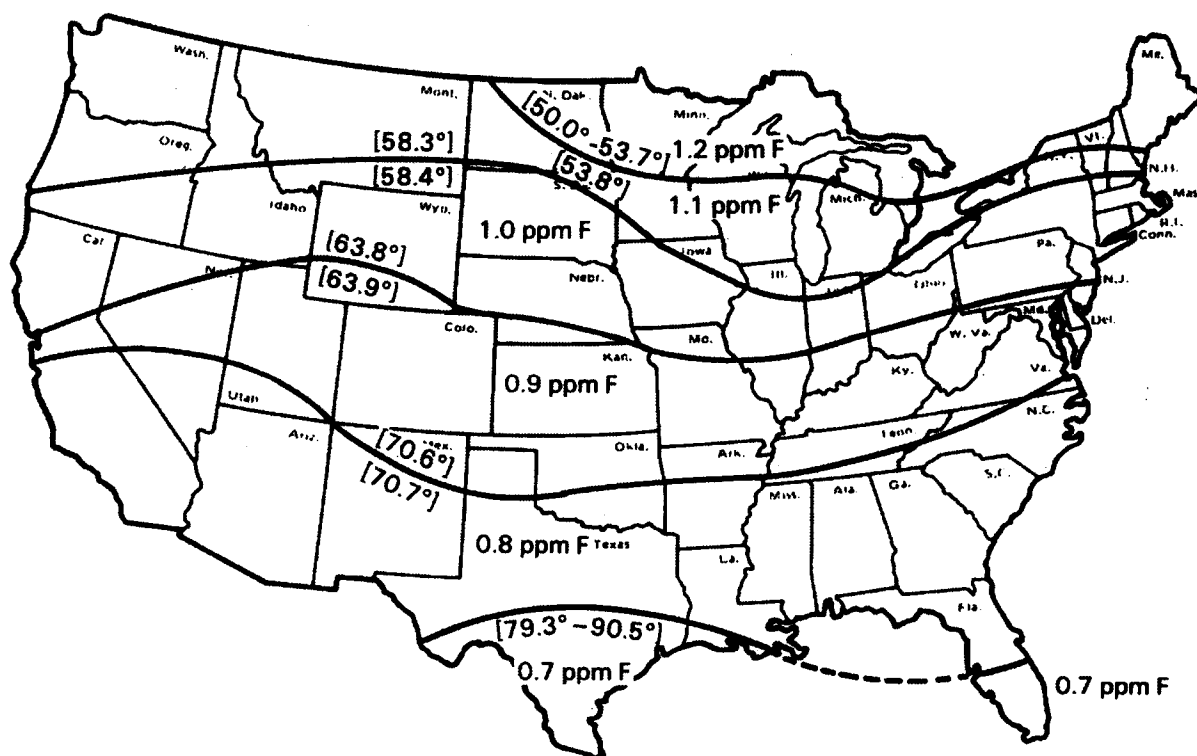
Cuadro 2-4
Nivel de fluoruro optimo recomendado

Promedio anual de temperaturas atmosféricas máxim. diarias ¹ (°F)	Concentraciones recomendadas de fluoruro en:		Rango de control recomendado			
	Comunida d (ppm)	Colégio (ppm)	Sistemas comunitarios		Sistemas escolares	
			0,1 Debajo	0,5 encima	20% Bajo	20% Alto
40,0 - 53,7	1,2	5,4	1,1	1,7	4,3	6,5
53,8 - 58,3	1,1	5,0	1,0	1,6	4,0	6,0
58,4 - 63,8	1,0	4,5	0,9	1,5	3,6	5,4
63,9 - 70,6	0,9	4,1	0,8	1,4	3,3	4,9
70,7 - 79,2	0,8	3,6	0,7	1,3	2,9	4,3
79,3 - 90,5	0,7	3,2	0,6	1,2	2,6	3,8

¹ Con base en los datos de temperatura obtenidos para un mínimo de cinco años.

² Con base en que el nivel es 4,5 veces el óptimo de fluoruro para comunidades.

Figura 2-1
NIVELES OPTIMOS DE FLUORURO EN ESTADOS UNIDOS



NOTA: PROMEDIO ANUAL DE LAS TEMPERATURAS ATMOSFERICAS MAXIMAS DIARIAS (F)

2.9 Disponibilidad de químicos

De vez en cuando ha surgido cierta preocupación acerca de la disponibilidad del fluoruro de sodio, fluorosilicato de sodio y ácido fluorosilícico. Generalmente, tal “escases” no se producen en la planta del fabricante sino en el nivel del distribuidor local y temporalmente. Este tipo de problema por lo general desaparece rápidamente. En el pasado ha habido cierta escases a nivel del fabricante, especialmente de ácido fluorosilícico y fluorosilicato de sodio.

Dado que el ácido fluorosilícico y el fluorosilicato de sodio (y ahora la mayor parte del fluoruro de sodio) son subproductos del ácido fosfórico (el ingrediente principal del fertilizante fosfatado), la venta de fertilizantes va a tener un efecto directo en el volumen de químicos del fluoruro que se produzcan. En el pasado han existido baches en la venta de fertilizantes, lo cual ha resultado en una falta temporal de estos dos compuestos químicos del fluoruro. Estas carencias han sido relativamente menores, porque el número de comunidades fluoruradas era mucha más pequeño y se necesitaba un menor volumen de fluorosilicato de sodio y ácido fluorosilícico del que se requiere en la actualidad. Hubo carencia de 1955 a 1956, en el verano de 1969, en la primavera de 1974, en el verano de 1982 y finalmente en los primeros meses de 1986. Debido a esta escases, los CDC recomiendan que se aumente la capacidad de almacenamiento de compuestos químicos del fluoruro, por encima de lo que se considere necesario en la práctica. Se recomienda que en todo momento se mantenga almacenado como mínimo un suministro para tres meses.

El fluoruro de sodio y el fluorosilicato de sodio pueden ser importados básicamente de Bélgica y Japón. El fluoruro de sodio belga se producía únicamente como polvo, pero ahora se produce también de cristal. Japón fabrica los dos tipos de fluoruro de sodio.

Las compañías de fertilizantes fosfatados manufacturan solamente cerca de la mitad de la cantidad de compuestos químicos de fluoruro que les permite su potencial de producción. Si se produjera todo el ácido fluorosilícico que estas compañías pueden elaborar y se convirtiera en un ácido de graduación municipal, las compañías de fertilizantes podrían producir más 200.000 toneladas anuales de ácido. Pero no lo hacen debido a que los contratos con las municipalidades son de corto plazo, y a que los costos del equipo necesario para producir este tipo de ácido son altos. Es comprensible que una compañía de fertilizantes se muestre renuente a comprometerse con una operación de alto costo, a menos que se le asegure que habrá demanda por parte de los consumidores.

Los químicos del fluoruro son empleados en tres áreas amplias: En la industria del aluminio, en la industria de la fluoruración del agua y para usos varios. En 1984 la industria del aluminio introdujo cambios fundamentales en sus procesos de fundición de aluminio, lo que puede conllevar reducciones significativas en la cantidad de ácido fluorosilícico producido en el futuro. Entre los usos varios figuran las sales fluoruradas para pastas de dientes, enjuagues orales, tabletas, etc, y compuestos fluorados para usos industriales como son la electrodeposición, el curtido de pieles, el grabado de vidrio y el endurecimiento del cemento. En el Cuadro 2-5 se aprecia la cantidad de compuestos químicos de fluoruro producidos en los Estados Unidos. Estas cifras son aproximadas y varían de un año a otro.

Cuadro 2-5
Consumo de químicos del fluoruro en Estados Unidos

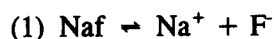
Nombre industrial	Cantidad usada* (tons/año)
1. Aluminio	150.000 a 200.000
2. Fluoruración del agua	
A. Acido fluorosilícico (23%)	150.000
B. Fluorosilicato de sodio	20.000
C. Fluoruro de sodio	5.600
3. Usos varios	75.000 a 1.000.000

* Cifras aproximadas basadas en datos de 1986 del "L.C.I.", "SRI-Internacional" y de la Compañía de Químicos Kaiser".

2.10 Disociación de los químicos del fluoruro

Todo los químicos de fluoruro que se usan habitualmente en la fluoruración del agua se disocian en un alto grado; esto quiere que en una solución los iones se separan y se vuelven independientes. (Estos no tienden a ionizarse en solución. "Ionizarse" significa formar iones, y los compuestos del fluoruro ya se han formado en iones). El agua es un fuerte disolvente disociador.

El fluoruro de sodio (NaF) se disocia prácticamente en un 100% en iones simples:



El fluorosilicato de sodio, Na_2SiF_6 , tiene una disociación virtualmente del 100%:



El radical SiF_6 también se disociará en diversas formas:



y/o



y



y/o

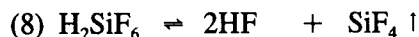


y por supuesto

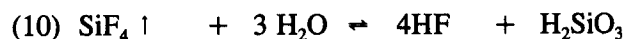
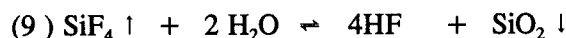


Cuando el fluorosilicato de sodio se disuelve en agua ocurre rápidamente la disociación en iones de sodio y de fluorosilicato (2). Pero los iones de fluorosilicato se disocian muy lentamente en iones de tetrafluoruro de silicio y en iones de fluoruro (4). El tetrafluoruro de silicio reacciona rápidamente para formar ácido silícico (5).

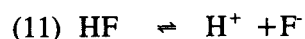
El ácido hidrofluorosilícico (H_2SiF_6) tiene una disociación casi del un 100%, muy similar a Na_2SiF_6 :



y



y por supuesto



El tetrafluoruro de silicio (SiF_4) es un gas que se evapora fácilmente del agua cuando está presente en altas concentraciones. El dióxido de silicio (SiO_2) es muy insoluble en agua. El dióxido de silicio es el principal ingrediente del vidrio. El ácido fluorhídrico es muy volátil y atacará el vidrio y los contactos eléctricos. Tenderá a evaporarse en altas concentraciones.

Obsérvese que el símbolo $\downarrow$ significa que se precipita como un sólido, mientras que el símbolo $\uparrow$ significa que se evapora como un gas.

2.11 Almacenamiento y manejo de productos químicos

Son muchos los criterios que determinan la elección del sitio de almacenamiento de los químicos para la fluoruración: Los químicos secos tienen que mantenerse en ese estado y en una forma conveniente para la tolva. Es preferible que estén aislados de otros productos químicos destinados al tratamiento del agua para así evitar una mezcla accidental; el sitio de almacenamiento tiene que estar limpio y bien ventilado, debe estar equipado con agua corriente y un desagüe en el piso para facilitar la limpieza de los derrames.

Los compuestos secos de fluoruro como el fluoruro de sodio y el fluorurosilicato de sodio tienden a compactarse o a aterronarse cuando se hallan expuestos a la humedad o cuando las pilas de sacos son demasiado altas. Condiciones similares a estas pueden producirse a consecuencia de largos períodos de almacenamiento, de manera que se debe evitar un suministro excesivo de químicos. Almacene los fluoruros secos en paletas en pilas de no más de seis sacos de alto. Si se usan tambores de fibra, mantenga la parte superior cerrada para evitar la absorción de humedad. No permita la entrada de personal no autorizado, especialmente niños pequeños, en aquellas secciones en que se alimenten o almacenen químicos con fluoruro.

Cuando los sacos de fluoruro se tratan con descuido o si se les vacía muy rápidamente, los niveles de polvo de fluoruro transportado por el aire pueden ser peligrosamente altos. Vierta cuidadosamente el contenido de las bolsas dentro de la tolva de alimentación. No trate la bolsa vacía como fuelle. La buena ventilación es absolutamente esencial en las zonas de trabajo, incluso si no hay producción visible de polvo.

La eliminación de los contenedores vacíos de fluoruro ha sido siempre un problema. (No reuse por ningún motivo contenedores vacíos de fluoruro). La tentación de volver a usar tambores de fibra es fuerte, ya que son convenientes y fuertes. Las bolsas de papel tienen polvo y son potencialmente peligrosas si se les prende fuego. El mejor enfoque consiste en limpiar todos los contenedores vacíos con agua en abundancia; las bolsas de papel son lo suficientemente fuertes como para resistir enjuagues seguidos. Después de que se hayan eliminado todas las trazas de fluoruro se debe disponer de las bolsas en forma apropiada. Consulte con la División de Desechos Sólidos de su Programa de Protección Ambiental sobre los procedimientos correctos. Aun suponiendo que los tambores hayan sido bien enjuagados no deben ser reutilizados jamás, ya que las trazas de fluoruro constituyen un peligro permanente. De ser posible, la zona de almacenamiento debe mantenerse cerrada con candado y no usarse para ningún otro propósito. Se debe hacer una advertencia especial a los trabajadores para que no tomen sus alimentos en una zona de almacenamiento de fluoruro.

El ácido fluorosilícico presenta problemas especiales de almacenamiento porque sus vapores son corrosivos y pueden arruinar el vidrio. Los contenedores tienen que mantenerse firmemente cerrados y ventilados con aire puro. Las cantidades grandes de ácido se pueden almacenar en tanques subterráneos o se las puede encerrar y equipar con respiraderos hacia el exterior. El ácido de 30 % de concentración tiene un punto de congelación de 4 grados F. El ácido de 100 % se congelará a - 4 grados F. No almacene contenedores de ácido fluorosilícico en lugares expuestos al sol donde puedan formar presión hidrostática, o en zonas abiertas que puedan congelarse en el invierno.

Deben ser almacenados en zonas bien ventiladas, lejos de interruptores, contactos y paneles de control. Aunque el ácido está disponible en tambores de polietileno puro, algunos proveedores continúan despachándolo en tambores revestidos de acero que pueden presentar problemas de fugas. Limpie inmediatamente todos los derrames.

Cuando el ácido fluorosilícico se compra en grandes volúmenes se requieren tanques para almacenarlo. Estos tanques volumétricos pueden ser fabricados en fibra de vidrio (revestidos con resina epoxi), polietileno o acero revestido de caucho. El polietileno debe ser elaborado con material de alta densidad de acople transversal (el cual le da resistencia). El plástico debe contener un mínimo de 0,25 % de estabilizador de radiación ultravioleta a fin de protegerlo de la luz. Los tanques de almacenamiento de polietileno son relativamente nuevos, así que la longevidad del tanque está aún por determinar. La forma de uso de los tanques de fibra de vidrio y de revestimiento para el ácido fluorosilícico en gran volumen es aproximadamente la misma. Los tanques de fibra de vidrio generalmente duran entre 7 y 10 años. Hace varios años los tanques de fibra de vidrio eran los más populares; luego lo fueron los tanques de acero y ahora los más comprados son los tanques para almacenamiento en gran volumen hechos en polietileno. Los tanques de acero están siempre revestidos de caucho. La mayoría de los recubrimientos están hechos de caucho natural, pero se pueden fabricar con neopren o caucho butílico. El caucho butílico es el mejor, si bien es más costoso. Los tanques revestidos de caucho y acero tienen un vida útil de cerca de 20 años.

Utilice siempre equipo de seguridad al manejar químicos del fluoruro. Lo que viene a continuación es una lista del vestuario y equipo protector correspondiente a lo mínimo recomendado para cada químico.

1. Fluoruro de sodio/Fluorosilicato de sodio

- a. Un respirador para polvo (máscara química) de alta eficacia aprobado por la NIOSH/MSHA con un cierre sellador de goma suave para el contacto cara - máscara y cartuchos reemplazables¹
- b. Guantes - manoplas de noprén (largo mínimo del guante: 12")
- c. Delantales extrafuertes de neoprén.

2. Acido fluorosilícico

- a. Guantelete enguantado en neoprén (de un largo mínimo de 12").
- b. Careta de soldador completa de 8" o gafas protectoras contra ácidos
- c. Delantales extrafuertes de neoprén contra ácidos
- d. Ducha y lavabo de seguridad de fácil acceso para los ojos (o botella de 0,473 lts de solución de colirio para la vista)

Se deben usar respiradores químicos con cartuchos contra gases ácidos si la concentración es lo suficientemente fuerte como para causar irritación en la nariz.

Las almohadas especiales de control de derrame se pueden emplear para limpiar pequeños derrames de ácido fluorosilícico. El líquido es absorbido y concentrado dentro de la almohada mediante un absorbente altamente eficiente del tipo "arena espumosa" que es químicamente inerte y puede absorber hasta diez veces su peso. Las almohadas están disponibles en el comercio en tamaños que van de 1 a 4 litros.

El personal de la planta de agua debe recibir regularmente entrenamiento sobre las medidas de seguridad relativas a todos los compuestos químicos, incluyendo el fluoruro. Se deben estudiar y explicar los peligros y las medidas de primeros auxilios correspondientes. Se deben establecer procedimientos de emergencia por derrame y capacitar al personal en la ejecución de tales procedimientos.

Con base en los registros de seguridad se sabe que el personal de la planta de tratamiento de agua presenta uno de los índices más altos de accidentes y lesiones en los Estados Unidos. Esta situación permanecerá igual hasta tanto los gerentes y supervisores de las plantas de agua no insistan en un entrenamiento de seguridad apropiado y en la utilización del equipo correspondiente.

¹ La NIOSH/MSHA ha aprobado varias máscaras. Cada marca es evaluada por NIOSH/MSHA según el uso y condiciones propuestos.

2.12 Exposición al fluoruro

2.12.1 Exposición tóxica

Si bien se ha comprobado una y otra vez que el agua potable con la concentración de fluoruro recomendada de 1,0 ppm es absolutamente segura, los niveles de fluoruro a los que el operador de la planta se puede ver expuesto son potencialmente mucho más elevados. Para prevenir la sobre-exposición, la mejor medida de seguridad es el manejo correcto de los compuestos químicos del fluoruro. Un manejo apropiado requiere conocimiento cabal del material, la práctica de procedimientos correctos y el uso del equipo de seguridad.

Sin embargo, hay momentos en que el operador puede estar sobre-expuesto a los compuestos químicos de fluoruro, especialmente a los polvos. Cuando estas sobre-exposiciones pasan al agua o al aire se las denomina "exposiciones tóxicas". Existen dos tipos de exposiciones tóxicas: crónica y aguda. Se debe diferenciar claramente entre la exposición tóxica crónica a grandes dosis de fluoruro en el transcurso de varios años y la exposición tóxica aguda, la cual resulta de una simple dosis masiva.

2.12.2 Exposición tóxica crónica

El único efecto tóxico que producen los bajos niveles de fluoruro a lo largo de un período prolongado (de 2 a 8 veces el del nivel óptimo) es el esmalte vetado de los dientes. A mayores niveles de ingestión de fluoruro se pueden producir osteoesclerosis, calcificación de los ligamentos y tendones, y fusión de las vértebras. La exposición crónica a polvos químicos de fluoruro puede causar una falta generalizada de apetito, náusea ligera, cierta dificultad para respirar, estreñimiento, dolor en la región hepática y anemia.

Probablemente el mayor riesgo de exposición a los compuestos químicos del fluoruro provenga de la inhalación del polvo generado cuando se llenan las tolvas del alimentador. A fin de evitar una sobre-exposición durante este procedimiento, el operador debe usar un respirador efectivo aprobado por NIOSH, un delantal y guantes de goma. El respirador debe contar con un sello de goma cara-máscara y con cartuchos reemplazables. Existen cartuchos para polvo o para vapores provenientes de los ácidos. La máxima concentración de polvo de fluoruro admisible en la zona (TLV) debe de ser de 2,5 mg/m³ de aire.

2.12.3 Exposición tóxica aguda

El envenenamiento agudo con fluoruro puede producirse por la ingestión, inhalación o contacto corporal con sus compuestos concentrados. No se sabe mucho acerca del envenenamiento agudo por fluoruro causado por la ingestión o inhalación, pues ocurre con poca frecuencia. La ingestión accidental es completamente improbable, pero puede ocurrir si el compuesto se confunde con azúcar o sal, como también por un descuido. Igualmente puede presentarse si las zonas en que se consumen los alimentos llegan a estar fuertemente contaminadas con polvo o debido a un derrame.

Entre los síntomas de envenenamiento agudo por inhalación de polvo o vapor figuran dolores agudos en la nariz seguidos por flujo o hemorragia nasales, posiblemente tos o una respiración agitada. Estos síntomas generalmente comienzan con aproximadamente 10 mg por metro cúbico de aire. El derrame de ácido o sus salpicaduras pueden causar una sensación de picazón o ardor en la piel; si los ojos han sido afectados sufrirán una severa irritación.

La ingestión de sobredosis tóxicas generalmente causa vómitos, calambres estomacales y diarrea. Si el envenenamiento involucra la ingestión de grandes cantidades de fluoruros, el vómito puede ser blanco (o coloreado si el fluoruro contiene tinte), y la víctima puede experimentar debilidad muscular, dificultad de movimiento en las articulaciones, alteración en la visión de los colores y sed. En las etapas finales de intoxicación por fluoruro se podría presentar un pulso débil, pérdida de la conciencia y convulsiones. La ingestión de 5 a 10 gramos de fluoruro (como fluoruro de sodio) por 154 libras de peso corporal puede ser fatal.

Hay muchas funciones corporales que ayudan a prevenir que una dosis aguda de fluoruro llegue a ser fatal. Primero se presentan los síntomas iniciales de náusea severa y vómitos cuando se ingieren altos niveles de fluoruro. A niveles más bajos de ingestión, los individuos con un nivel de fluoruro equilibrado excretarán fluoruro a un nivel aproximadamente igual al de las concentraciones del agua.

2.12.4 Primeros auxilios por exposición tóxica aguda

Una vez que el envenenamiento por fluoruro ha sido establecido se deben iniciar los primeros auxilios mientras se espera la ayuda médica. Los primeros auxilios recomendados para la ingestión de una sobredosis de fluoruro tóxico se presentan en el cuadro 2 - 6.

Cuadro 2-6
Tratamiento de emergencia por ingestión de sobredosis de fluoruro

Miligramos de ión fluoruro	Tratamiento
Menos de 5,0 mg/kg* (226 mg/100 lb)	1. Administra calcio por la boca (leche) para aliviar síntomas gastrointestinales. Observe por unas pocas horas. (Nota: Un tarro de leche evaporada se puede tener a mano por un período prolongado). 2. No es necesario provocar el vómito.
Sobre 5,0 mg/kg	1. Coloque a la víctima lejos de cualquier contacto con el fluoruro y manténgala caliente. 2. Si la víctima está consciente, induzca el vómito frotando la parte de atrás de la garganta con una cuchara o con su dedo; también sirve el jarabe de ipecacuana. Para impedir la aspiración del vómito, la persona debe ser colocada boca abajo con la cabeza más inclinada que su cuerpo. (En pacientes que todavía carecen del reflejo debido a su edad (6 meses), que sufren de mongolismo o severo retardo mental no se debe inducir el vómito y la intubación endotraqueal. Se debe realizar antes del lavado gástrico). 3. Dele a la víctima un vaso de leche de cualquier fuente de calcio soluble (es decir: 5% de gluconato de calcio o solución de lactato de calcio). 4. Lleve a la víctima al hospital tan pronto como sea posible.

* Promedio peso/edad: 1-2 años = 15 kg., 4-5 años = 20 kg., 6-8 años = 23 kg.

A continuación se listan los primeros auxilios recomendados para los fluoruros adquiridos vía aire (sangrado de la nariz):

1. Aleje a la víctima de la zona expuesta.
2. Manténgala tranquila.
3. Si es posible, haga que se siente apoyándose hacia adelante. Si esto no es posible, coloque a la víctima en una posición reclinada con la cabeza y hombros levantados.
4. Aplique presión directa sobre la ventanilla sangrante de la nariz hacia el tabique.
5. Aplique compresas frías sobre la nariz y cara de la víctima.
6. Si no se puede controlar la hemorragia con las medidas anteriores introduzca un tapón pequeño de gasa limpia (que no sea algodón absorbente) dentro de una o ambas fosas nasales y aplique presión externa con los dedos pulgar e índice. Deje una porción del tapón por fuera de la fosa nasal para poder retirarlo más tarde.
7. Si el sangrado continúa, busque atención médica.

Los primeros auxilios recomendados en caso de salpicadura con ácido son los siguientes:

1. Lave el químico aplicando grandes cantidades de agua tan pronto como sea posible. Despeje las áreas afectadas de la víctima quitando sus ropas y continúe enjuagando por lo menos cinco minutos.
2. Donde se haya producido daño cubra la quemadura con un vendaje y busque atención médica.
3. Si los ojos han sido afectados comience inmediatamente a lavarlos, incluidas las pestañas y la cara. Mantenga abiertas las pestañas y lave el ojo al menos por 15 minutos.
4. Después de un lavado completo, cubra el ojo con un vendaje protector limpio y seco, manteniéndolo en su lugar; luego lleve a la víctima al doctor.
5. Todas las lesiones oculares requieren atención médica; incluso aquellas que pueden ser consideradas menores tienen el potencial de dejar al ojo vulnerable a infecciones que pueden conducir a la ceguera.

Recuerde que el ácido fluorosilícico puede ser neutralizado con bicarbonato de sodio (soda de cocción). De esta forma, los derrames que no puedan lavarse inmediatamente pueden ser neutralizados.

CAPITULO TRES

EQUIPO DE FLUORURACION

3.1 Generalidades

3.1.1 Métodos de alimentación de fluoruros

El fluoruro tiene que ser alimentado en el sistema de suministro de agua en forma líquida o como solución. Esto aplica tanto para los alimentadores de químicos en seco como para los alimentadores de solución. Los fluoruros pueden ser incorporados al suministro de agua en las siguientes formas:

1. Alimentación de químicos en seco

La cantidad del compuesto químico en seco (generalmente fluorosilicato de sodio) se puede medir con una máquina para luego agregarla a un tanque de mezcla (tanque de solución) en donde se incorpora completamente; luego se lleva al suministro principal de agua, ya sea por gravedad o usando una bomba para solución.

2. Alimentación ácida

Se puede usar una pequeña bomba para añadir soluciones de ácido fluorosilícico directamente al sistema de suministro de agua. Con este método el ácido se puede utilizar como viene o, si es necesario se puede diluir con agua hasta alcanzar una concentración específica. No se recomienda el método de dilución.

3. Alimentación de solución saturada

Las soluciones saturadas de fluoruro de sodio en concentraciones constantes del 4% se pueden producir en un tanque saturador a casi cualquier temperatura en que se encuentre el agua de la planta. Esta solución saturada puede ser bombeada con un pequeño alimentador directamente al flujo principal del sistema de suministro de agua. El uso de estos dispositivos elimina la necesidad de pesar el fluoruro de sodio y de revolver para asegurar su disolución.

4. Alimentación de solución no saturada

Las soluciones no saturadas de fluorosilicato de sodio o fluoruro de sodio se pueden preparar pesando las cantidades de los componentes, midiendo las de agua y mezclándolos completamente. Este método de alimentación de fluoruros no es muy deseable y debe ser evitado.

3.1.2 Tipos de equipos

Los dispositivos para alimentar los fluoruros con precisión han sido generalmente adaptados de aquellas máquinas originalmente diseñadas para alimentar una variedad de productos químicos líquidos o sólidos a las plantas industriales de tratamiento de agua. En muchos casos el equipo es el mismo.

Los productos químicos se agregan siempre al suministro de agua en forma líquida, pero se pueden medir ya sea en forma líquida o sólida. En su forma sólida, los fluoruros tienen que ser disueltos en una solución antes de entrar al sistema de abastecimiento de agua. Los alimentadores de químicos pueden ser generalmente divididos en dos tipos: 1) bombas medidoras, las cuales se usan esencialmente para alimentar una cantidad medida de fluoruro líquido en solución durante un tiempo

específico, y 2) alimentadores en seco que administran una cantidad predeterminada del material sólido durante un intervalo de tiempo dado. En este manual, el término “bomba medidora” se emplea para “bomba de solución”, “bomba alimentadora” y “alimentador de solución”.

La elección de un alimentador depende del producto químico empleado y de la cantidad a ser administrada. El tipo de alimentación dependerá del contenido de fluoruro deseado en el agua tratada, la cantidad de agua a ser tratada después de superar un punto dado, y el contenido de fluoruro del agua no tratada. Por regla general, las bombas medidoras (con ácido o con saturadores) se usan para sistemas pequeños de abastecimiento de agua y los alimentadores en seco para sistemas más grandes. Ambos pueden ser igualmente exitosos con un rango amplio de aplicaciones. En el cuadro 3-1 aparece una lista de los alimentadores y su capacidad.

Cuadro 3-1
Rango habitual de los alimentadores de fluoruro

Tipo de alimentador	Químico usado	Rango general de capacidad
Gravimétrico (alimentador en seco)	Na_2SiF_6	2 a 5.000 lbs. por hora
Volumétrico (alimentador en seco)	Na_2SiF_6	0,02 a 5.000 lbs. por hora
Bomba a pistón o centrífuga (bomba medidora)	Soluciones H_2SiF_6 Solución de NaF	18 a 5.000 lbs. por hora
Bomba de diafragma/mecánica (bomba medidora)	Soluciones H_2SiF_6 Solución de NaF	9 a 2.500 galones por día
Bomba con diafragma/electrónica (bomba medidora)	Soluciones H_2SiF_6 Solución de NaF	0,2 a 96 galones por día
Bomba peristáltica (bomba medidora)	Soluciones de solución de NaF	0,5 a 85 galones por día

3.2 Bombas medidoras

3.2.1 Introducción

Todas las bombas pueden ser clasificadas como a vapor, eléctricas, por energía hidráulica, por energía eólica etc, según la clase de energía que se use para accionarlas. También se pueden clasificar como bombas de pozo, de bajo servicio, de alto servicio, o medidoras, según el tipo de servicio que prestan. Asimismo se la puede clasificar como bombas de desplazamiento positivo, de impulso, por fuerza centrífuga, y bomba vertical con válvula en el émbolo, en concordancia con sus principios mecánicos de funcionamiento. Las bombas de energía eléctrica (bombas con un motor eléctrico) se utilizan generalmente para alimentar soluciones de fluoruro y muchos otros químicos que se usan para tratar el agua. Estas se clasifican como bombas medidoras y, desde el punto de vista mecánico, las bombas alimentadoras de fluoruro son casi siempre del tipo de desplazamiento positivo. Únicamente

las bombas de traslado no son clasificadas como bombas de desplazamiento positivo, pues usualmente se trata de bombas centrífugas.

Por regla general las bombas medidoras no son más que bombas pequeñas cuya variedad es casi ilimitada. Para alimentar soluciones de fluoruro se puede usar prácticamente cualquier tipo de bomba medidora que se emplea para administrar otros compuestos químicos para el tratamiento del agua, con apenas una modificación menor en los detalles de construcción. Si en verdad existe un requerimiento que distinga a una bomba medidora de fluoruro de sus similares para otros propósitos es la precisión y constancia de suministro. El rango que determina el nivel óptimo de fluoruro es muy estrecho y por eso se requiere que se le añada en una proporción muy precisa con respecto a la cantidad de agua a ser tratada. Este requisito favorece la bomba medidora de desplazamiento positivo.

Tal y como se la usa en las actividades relacionadas con el suministro de agua, una bomba de desplazamiento positivo es un dispositivo que introduce y expulsa líquido como resultado del llenado y vaciado alterno de una cámara cerrada. Esta introduce un volumen específico de líquido por cada recorrido de un pistón o diafragma. Es evidente que muy pocas bombas entregan un volumen exacto en todas las condiciones ya que factores como la presión y la viscosidad del líquido pueden afectar el volumen desplazado por la pieza que acciona la bomba. Sin embargo, cuando se usan soluciones de fluoruro en una concentración fija, se las alimenta en contra de una presión fija, y se las bombea en un flujo constante de agua, las bombas medidoras de desplazamiento positivo han demostrado ser suficientemente confiables. El problema que tienen es que si por cualquier motivo la tubería se llega a taponar la bomba continúa operando hasta que algo se rompe (exceptuando a la bomba medidora electrónica).

Por lo general los dispositivos alimentadores de solución como las bombas centrífugas, bombas verticales con válvula en el émbolo, bombas por gravedad, de recipiente o también los tanques de altura y orificio no se emplean para la fluoruración porque carecen de suficiente precisión. Existen diversos tipos de bombas rotativas que califican como alimentadores de desplazamiento positivo. Entre estos figuran los tipos accionados por engranaje, las bombas rotativas de paletas oscilantes y las de paletas corredizas, las de tornillos oscilantes, las bombas excéntricas y las de leva, y versiones modificadas de estas bombas. Estas por lo general no se emplean en la fluoruración.

Los criterios usados al elegir una bomba medidora son su capacidad en términos de volumen, su resistencia a la corrosión, su capacidad de presión, su exactitud y su durabilidad. Un punto a considerar es que la mayoría de las bombas actúan con mayor precisión cuando están cerca de rango intermedio tanto de la longitud del recorrido como de la frecuencia de sus careras y deben ser elegidas en conformidad.

La mayoría de las bombas medidoras vienen equipadas con cabezales plásticos y válvulas de retención elástica que por lo general son las indicadas para presiones de descarga de 150 libras por pulgada cuadrada (lpc). Para presiones más altas se requiere que el cabezal de la bomba medidora se fabrique con aleaciones metálicas resistentes a la corrosión como el acero inoxidable 316 o Carpenter 20. El tipo de plástico en que se deben fabricar los cabezales de las bombas de medición dependerá del producto químico fluorado que se vaya a usar. Las cabezas de acrílico, polipropileno y PVC se pueden utilizar para ácido fluorosilícico, así como para fluoruro de sodio y fluorosilicato de sodio. Los cabezales Kynar, Ryton y Tril también se usan con fluoruro de sodio y fluorosilicato de sodio. Los cabezales de acero inoxidable (SS) 316, así como de aleaciones SS de la serie 20 se pueden usar con los tres químicos del fluoruro.

Las válvulas de retención se pueden hacer de cerámica, Teflón, o acero inoxidable 316. Cuando se emplea ácido fluorosilícico, entonces las válvulas de retención a bolas y el resorte tienen que estar revestidos con Teflón o su equivalente. Al usar este ácido, asegúrese de que las válvulas de retención a bolas no estén hechas de cerámica. En bombas medidoras destinadas a la fluoruración de agua, el cabezal acrílico es uno de los más populares.

En la mayoría de los casos, el volumen de una solución alimentada por una bomba medidora está ajustado tanto por el largo de el recorrido -- que determina el volumen de líquido administrado por carrera -- como por la frecuencia de recorrido, la cual usualmente se expresa en carreras por minuto (CPM). Ambos factores deben ser considerados al elegir el tamaño de la bomba para una aplicación en particular.

En todos los tipos de bombas medidoras se produce un flujo pulsante de solución de químico hacia la tubería de agua, debido a la naturaleza recíproca del mecanismo de funcionamiento. Ordinariamente esto no presenta ningún problema si las variaciones en los niveles de fluoruro no se detectan en el sistema de distribución. Sin embargo, si el consumidor que vive más cerca a la planta recibe agua potable con un nivel de fluoruro que varía en más de 0,1 ppm, se requiere entonces de un método para suprimir esta variación. Existen varias formas de hacerlo: 1) se puede insertar un estanque de mezcla o tanque de detención en la tubería después del punto en que se aplica la solución de fluoruro (también se puede adicionar un mezclador estático en línea); 2) se puede aumentar la frecuencia del recorrido de la bomba medidora, lo cual requerirá que se reduzca proporcionalmente la cantidad de solución entregada por recorrido; 3) se pueden usar bombas medidoras dobles de manera que el recorrido de alimentación de una va a ocurrir durante la carrera de entrada de la otra (eso puede requerir que se diluya la solución de fluoruro); 4) puede que sea necesario la medición del ritmo de flujo de la solución de fluoruro. El tercer método (empleo de bombas de medición dobles) por lo general no se considera deseable.

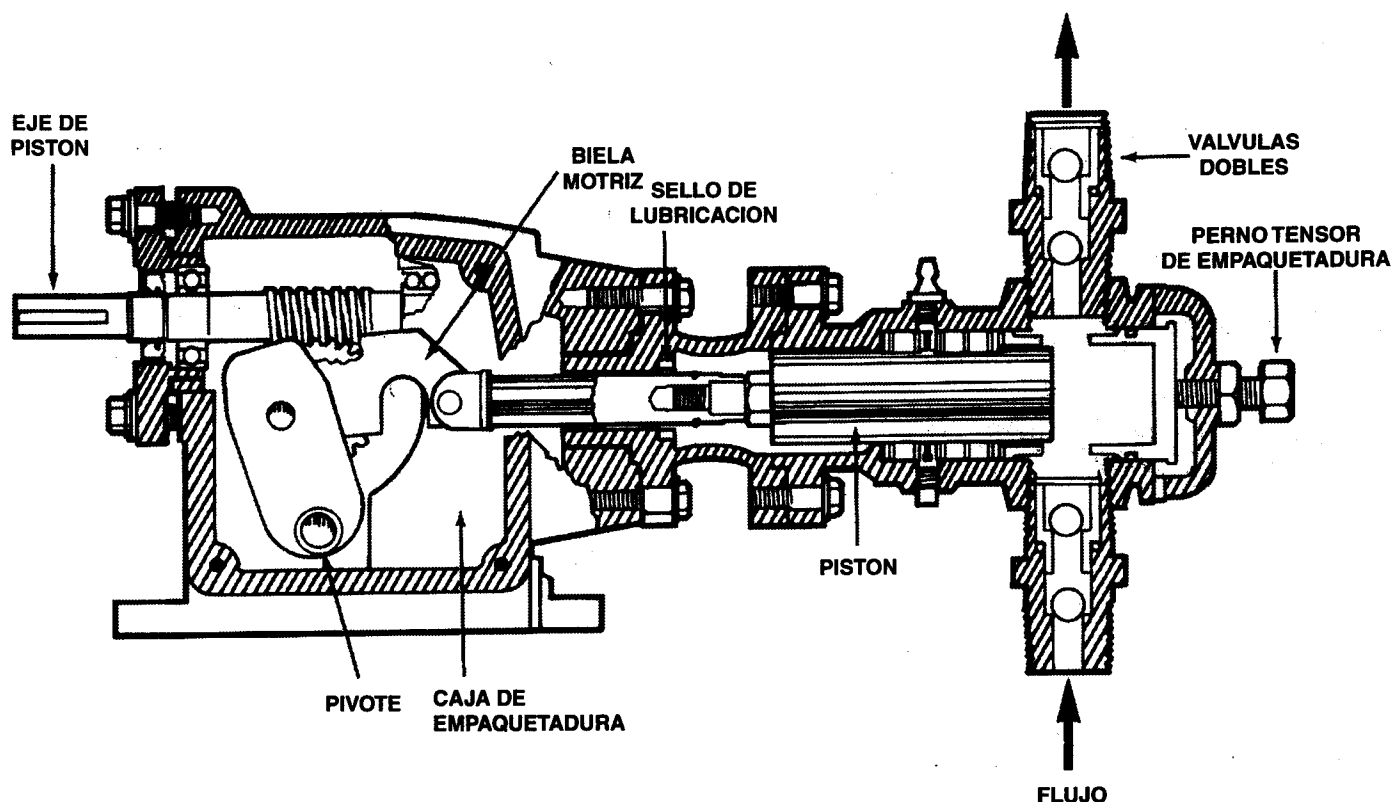
Muchos fabricantes recomiendan que sus bombas medidoras funcionen con una "succión creciente". Esto significa que la bomba debe ser ubicada debajo del nivel del recipiente de almacenamiento. Sin embargo, en la fluoruración es importante que la bomba no opere nunca por debajo del nivel del recipiente de almacenamiento, por el peligro de contrasifonaje y sobrealimentación del químico.

Existen tres tipos de bombas medidoras de desplazamiento positivo que son comúnmente usadas en la fluoruración del agua: la bomba a pistón, la bomba peristáltica y la bomba medidora de diafragma. Como la bomba de diafragma es la que más se emplea en la fluoruración será la única que trataremos en detalle.

3.2.2 Bombas medidoras con pistón

En este tipo de bomba, un pistón alternativo o émbolo impulsa la solución desde un depósito hacia adentro y afuera de una cámara (Véase la Figura 3 - 1). Una leva excéntrica accionada por un motor empuja la cruceta y émbolo de la biela motriz fuera del centro de rotación en una línea recta. Cuando el accionar mecánico de la bomba es un motor eléctrico, el número de carreras en un intervalo de tiempo dado está determinado por una caja de engranajes o sistema de correas y poleas. También existen los accionamientos neumáticos o hidráulicos.

Figura 3-1
BOMBA MEDIDORA A PISTON TIPICA



La bomba medidora con pistón --frecuentemente denominada bomba medidora a émbolo-- por lo general se emplea para descargar una solución de fluoruro en conductos de agua con presiones superiores a 100 lpc. Algunas bombas pueden hacer descargas en conductos de agua a presiones tan altas como 4.000 lpc o superiores. Este sistema es también mucho más costoso y por eso no es tan popular como la bomba de diafragma. Otra desventaja de las bombas con pistón es la presencia de una caja de empaquetadura [stuffing box] que se requiere para que resistan la presión de la solución que está siendo alimentada y para que no se produzcan escapes significativos alrededor del pistón.

3.2.3 Bombas medidoras peristálticas

Estas son bombas de desplazamiento positivo que emplean las ondas alternativas de contracción y dilatación de una tubería plástica para desplazar el líquido (solución de fluoruro) hacia el interior del conducto de agua. (Este principio peristáltico es similar a la acción del intestino grueso en los seres humanos). Un mecanismo rotatorio rueda sobre la tubería plástica creando una succión en el lado de la solución del alimentador. De este modo, la solución fluorurada es arrastrada hacia adentro por uno de los extremos del tubo e impulsada hacia afuera por el otro extremo.

La bomba peristáltica se ajusta por medio de un cuadrante en forma de anillo y por el tamaño de la tubería. Cuando el cuadrante está plenamente ajustado, el rotor da vueltas en forma permanente. En ajustes más bajos del cuadrante, el rotor se pone en marcha y se detiene, moviéndose a intervalos más lentos. En el ajuste más bajo, el rotor se mueve por sacudidas muy leves. El tamaño de la tubería va desde 2" a 3", siendo el tamaño standard de 3/16 pulgadas. La tubería también viene en modelos para

baja presión (hasta de 20 lpc) y de alta presión (hasta de 100 lpc). Para la mayoría de las bombas diseñadas para fluoruración se emplea el modelo de tubería para alta presión.

La bomba medidora peristáltica funciona con autocebadura y no se dañará por el congelamiento de la solución que está siendo bombeada. El margen de alimentación es de 0,5 galones por día hasta 85 galones por día. La tubería está diseñada para durar de uno a dos años, dependiendo del tiempo de uso. Es muy importante que este tipo de tubería se instale correctamente.

Las bombas peristálticas se usan generalmente para sistemas pequeños de fluoruración. En la actualidad no se emplean con mucha frecuencia, pero en algunas partes de los EE.UU. (y en otros países) son muy comunes. Estas presentan diversas ventajas sobre las bombas de diafragma, en razón a que las válvulas de retención, el diafragma y los dispositivos de sifonaje han sido eliminados. El problema más frecuente que presenta la bomba peristáltica es la poca durabilidad de la tubería (Véase la Figura 3-2).

3.2.4 Bombas medidoras de diafragma

3.2.4.1 Introducción

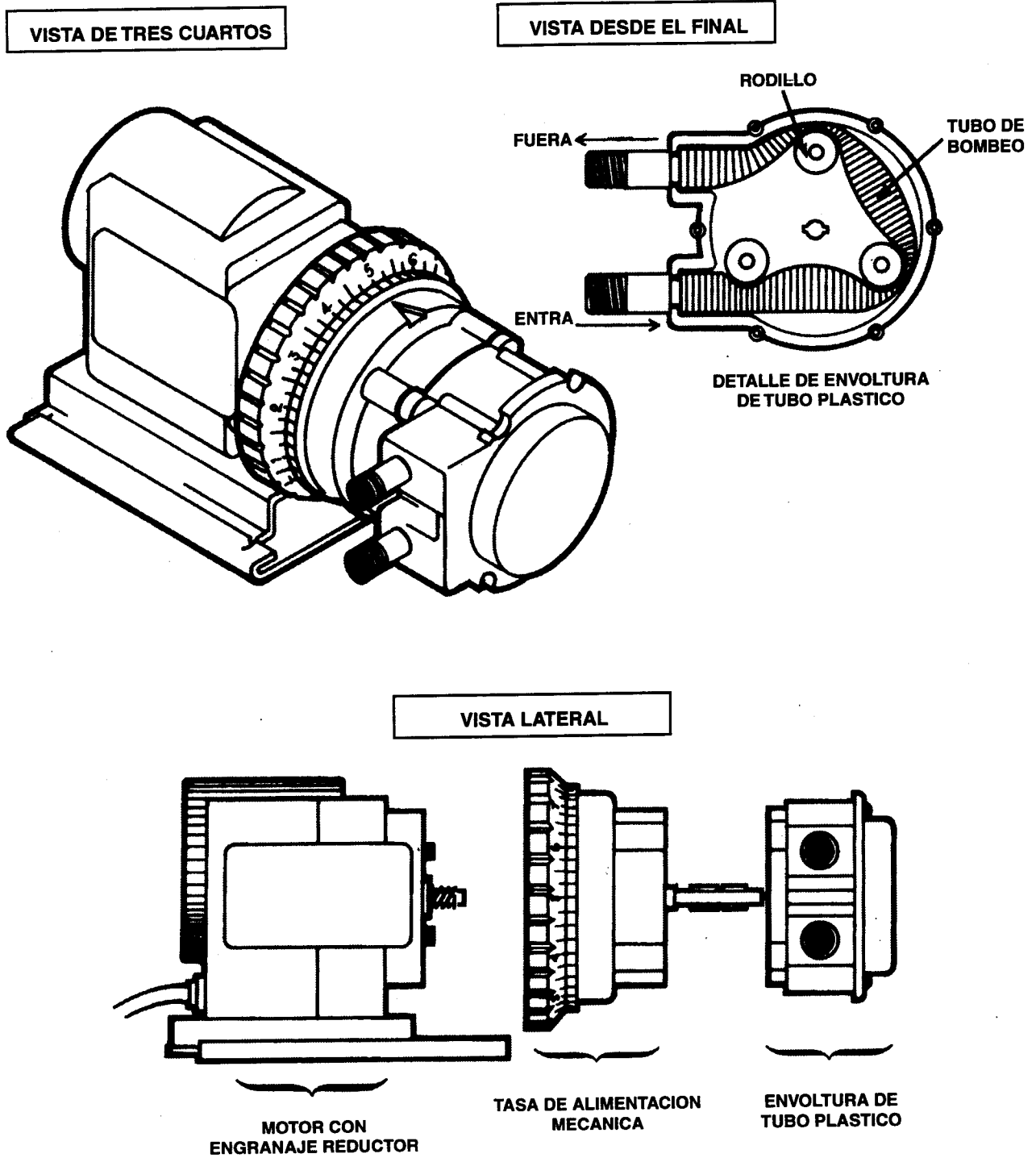
Como se afirmó anteriormente, la bomba de diafragma es el tipo más común de bomba medidora usado en la fluoruración. En ella, un diafragma flexible es accionado alternativamente para forzar una solución fuera de la cámara y, en su carrera de regreso, el diafragma llena la cámara arrastrando la solución desde un depósito. En una bomba de diafragma típica no existe una empaquetadura química que pueda dar lugar a una fuga de gotas de agua a través del portaempaquetadura. El diafragma por lo general está hecho de hypalón, teflón, poliuretano o vitón.

Las bombas de diafragma son especialmente apropiadas para un servicio a presión mediana (hasta cerca de 125 lpc). Estas no se deben emplear contra presiones inferiores a 15 lpc y nunca contra un vacío, como el que se produce en la parte de succión de una bomba de pozo. Una presión positiva constante en la descarga garantiza su precisión continua. Algunas bombas medidoras están equipadas con válvulas de descarga compensadas con resorte o caucho para asegurar el mantenimiento de tales presiones positivas. Los cabezales de succión negativa no deberán exceder los 4 pies. En otras palabras, las bombas medidoras no deben estar a más de 4 pies por encima del contenedor de la solución.

Las bombas de diafragma pueden ser accionadas por casi cualquier fuente de energía: eléctrica (a través de motores de diversas velocidades), hidráulica, solenoide, etc. La característica principal de tales fuentes de energía es que se operan a una velocidad proporcional a la cantidad de agua que se va a tratar.

En la fluoruración se emplean tres tipos corrientes de bombas medidoras de diafragma: la que se acciona mecánicamente, la que se activa hidráulicamente y la electrónica. Existen otros tipos como son la potenciada por agua, la de accionamiento neumático, etc, pero éstas se usan con poca frecuencia en la fluoruración de agua.

Figura 3-2
BOMBA MEDIDORA PERISTALTICA TIPICA

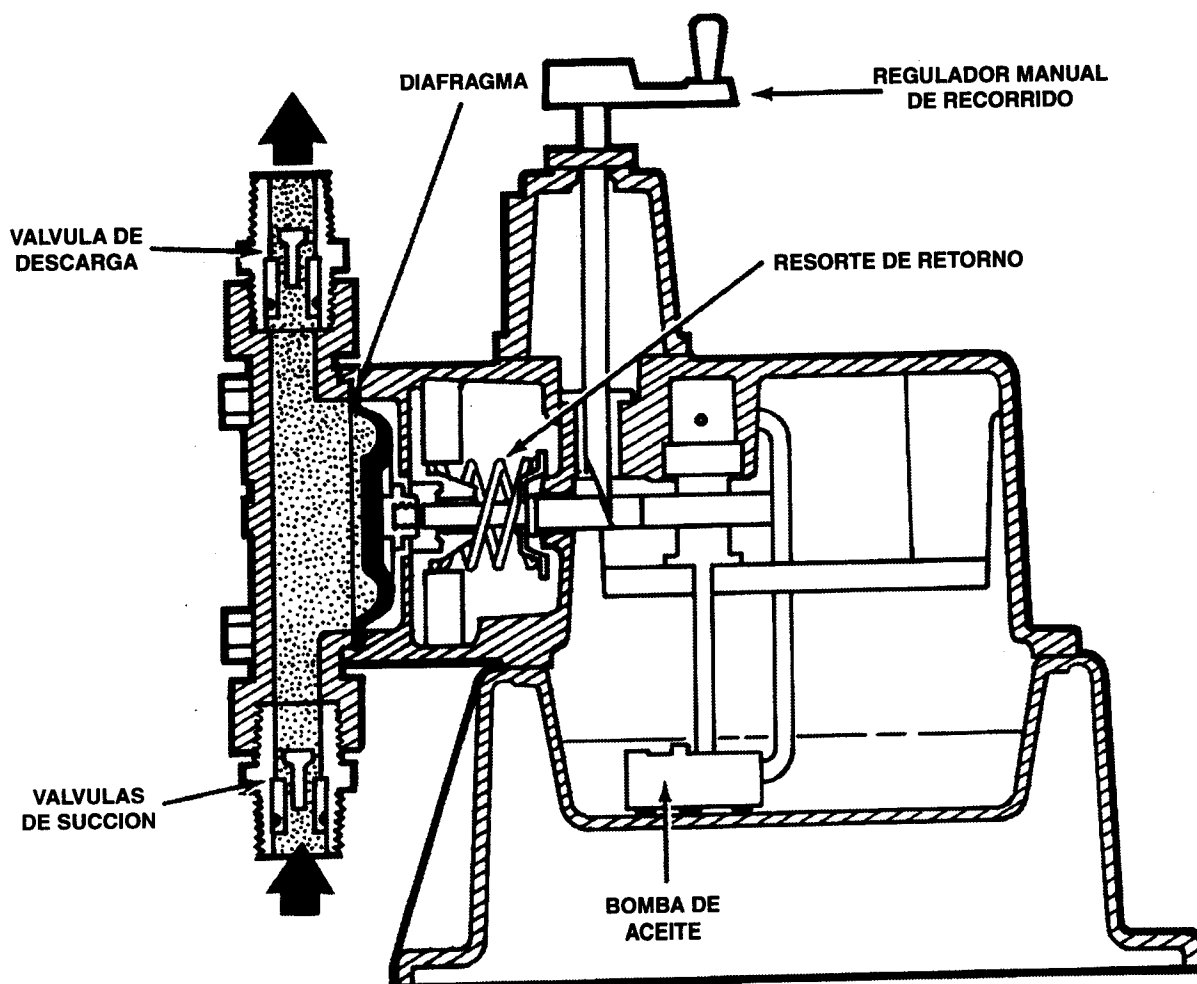


3.2.4.2 Bombas medidoras de diafragma mecanico

En las bombas medidoras de diafragma accionadas mecánicamente, el montaje del vástago de empuje de la excéntrica constituye el corazón del sistema. Un mecanismo excéntrico convierte la energía del motor rotativo en un movimiento recíproco del vástago de empuje. El motor acciona un eje impulsor a través de poleas. Un tornillo sin fin en este eje engrana un engranaje de tornillo sin fin en el eje de la excéntrica para así rotarla. Un anillo accionado por la excéntrica acciona el vástago de empuje de la excéntrica. El movimiento hacia adelante produce el recorrido de descarga. Un pesado anillo retorna el vástago de empuje para la carrera de succión. Un tope ajustable de recorrido de retorno varía el largo de la carrera (Véase la Figura 3-3).

Como con todas las bombas de diafragma, el movimiento alterno expulsa la solución fuera de la cámara y en el recorrido de retorno rellena la cámara arrastrando la solución desde el depósito. Como es típico en todas las demás bombas de diafragma, la contrapresión (presión de la tubería principal del agua) a que éstas operan oscilará entre 15 lpc y 125 lpc. Algunas marcas de bombas mecánicas de diafragma pueden funcionar con una contrapresión hasta de 150 lpc. Existen en el mercado transmisiones de alimentación variable SCR o de control automático de recorrido que se le pueden agregar a la mayoría de las bombas.

Figura 3-3
BOMBA MEDIDORA PARA DIAFRAGMA MECANICO TIPICA



Algunas compañías producen una bomba medidora de accionamiento mecánico con dos diafragmas y un líquido, generalmente aceite de silicona. Esto se hace con el fin de proporcionar una medida de seguridad al mecanismo de accionamiento. Un agujero en el diafragma principal permitirá que se contamine solamente el aceite de silicona. Sin embargo, esta bomba es del tipo que se acciona mecánicamente y no es una bomba medidora hidráulica. Usualmente se la confunde con ésta última.

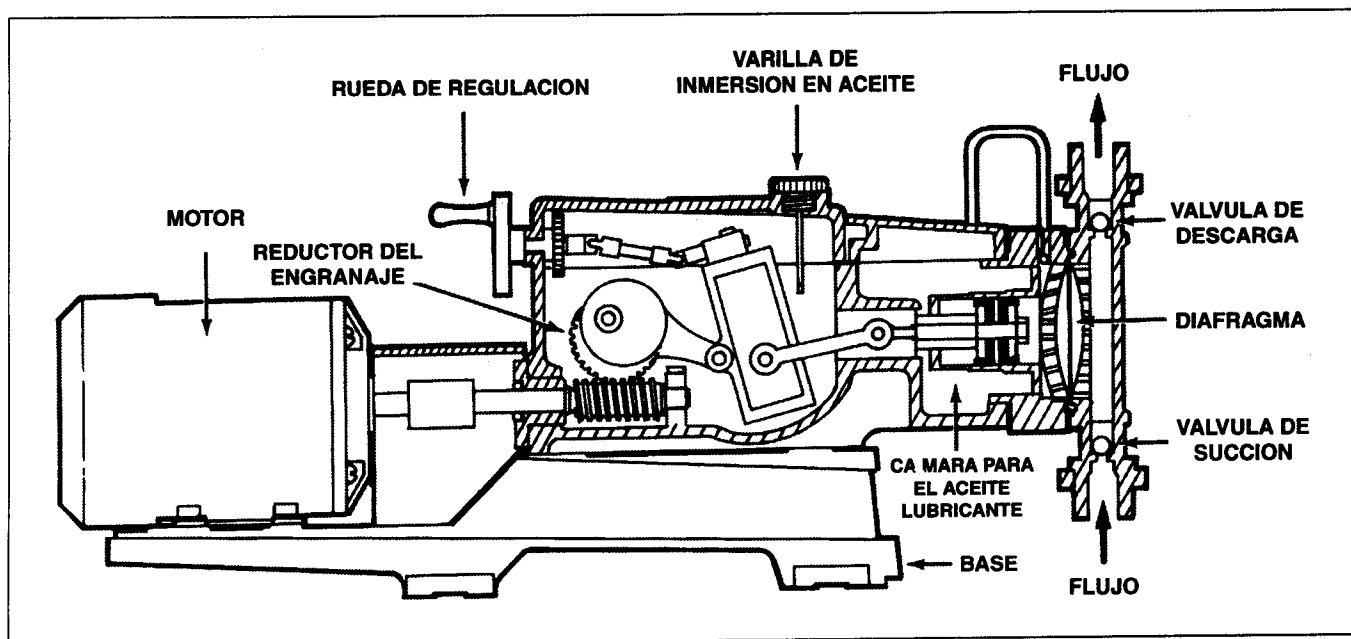
3.2.4.3 Bombas medidoras hidráulicas con diafragma

En una bomba medidora de diafragma accionada hidráulicamente, un émbolo de movimiento alternativo con una carrera fija desplaza líquido hidráulico, lo cual crea la acción de bombeo. La capacidad de la bomba se regula controlando el volumen de líquido hidráulico que pasa a través de una válvula. Un diafragma separa el aceite de la solución de fluoruro. El diafragma está libre para moverse en respuesta exacta al volumen desplazado por el pistón pero no realiza ningún trabajo real: sólo actúa como un separador. Por consiguiente, las cantidades de aceite y de solución de fluoruro desplazadas son iguales.

La acción recíproca del pistón hace que el producto entre a través de la válvula de retención de succión cuando el primero se desplaza hacia la parte posterior de la cámara. Una cantidad similar de producto es liberada a través de la válvula de descarga durante el movimiento del pistón hacia adelante (Véase la Figura 3-4).

Por lo general los ajustes en las tasas de bombeo se realizan en forma manual, pero pueden ser efectuados automáticamente a partir de la señal de un instrumento. Si bien la mayoría de las bombas de diafragma requieren solamente de un mínimo de presión de descarga (contrapresión) de 15 lpc, algunas bombas medidoras hidráulicas requieren por lo menos 50 lpc. Como en el caso de la mayoría de las bombas de diafragma, estas también hacen sus descargas hasta de aproximadamente 150 lpc. Ciertamente en las bombas medidoras hidráulicas más costosas la presión de la descarga puede alcanzar hasta 2.000 lpc.

Figura 3-4
BOMBA MEDIDORA CON DIAFRAGMA HIDRAULICO TIPICA



3.2.4.4 Bombas medidoras electrónicas de diafragma

Hoy en día, la bomba medidora electrónica de diafragma es la más popular en el campo de la fluoruración del agua. Su rápida aceptación se debe a que es ideal para velocidades de flujo más reducidas y por eso predomina en sistemas más pequeños de agua fluorurada y en los sistemas escolares de fluoruración.

La bomba medidora electrónica es una versión especial de una bomba de diafragma (Ver Figura 3-5). Como se ha explicado en las secciones previas, la mayoría de las bombas de diafragma usadas para fluoruración tienen un diafragma flexible accionado por una articulación mecánica. En la bomba medidora electrónica un inducido solenoide energizado periódicamente mueve ese diafragma flexible. Tiene electrónica de estado sólido, interruptores automáticos y potenciómetros internos. La carrera es extremadamente corta con un máximo de recorrido de 1,25 mm de longitud. De esta forma el diafragma se desgasta menos, aun durante un funcionamiento continuo prolongado, pero tiene que ser periódicamente reemplazado.

Otra característica de la bomba electrónica es que si por algún motivo se bloquea o tapona un conducto mientras se halla en funcionamiento, ésta no se romperá o quemará porque no hay escurrimiento mecánico. Cuando la contrapresión en latubería excede la resistencia de la fuerza magnética desarrollada por la bobina de energía, la bomba simplemente detiene su recorrido sin que se produzca ningún daño. Sin embargo, la bomba de diafragma electrónica se considera aún como una bomba de desplazamiento positivo.

La bomba medidora electrónica tiene ventajas adicionales frente a otras bombas de diafragma: solamente tiene una parte movable y es el juego diafragma-armadura que puede ser fácilmente adaptado para que funciones con controles automáticos. Aquí la velocidad real de cada recorrido de descarga es la misma, sin importar qué tan bajo se haya fijado la frecuencia del recorrido. Asimismo, tanto la longitud del recorrido como su frecuencia son ajustables y tienen un efecto multiplicador. El rango más común de ajustabilidad práctica es de 200 a 1. Las bombas electrónicas por lo general no resisten lubricación. Por último, estas bombas usan energía solamente durante la porción de descarga del recorrido, causando así un mínimo de consumo electrónico y baja generación de calor.

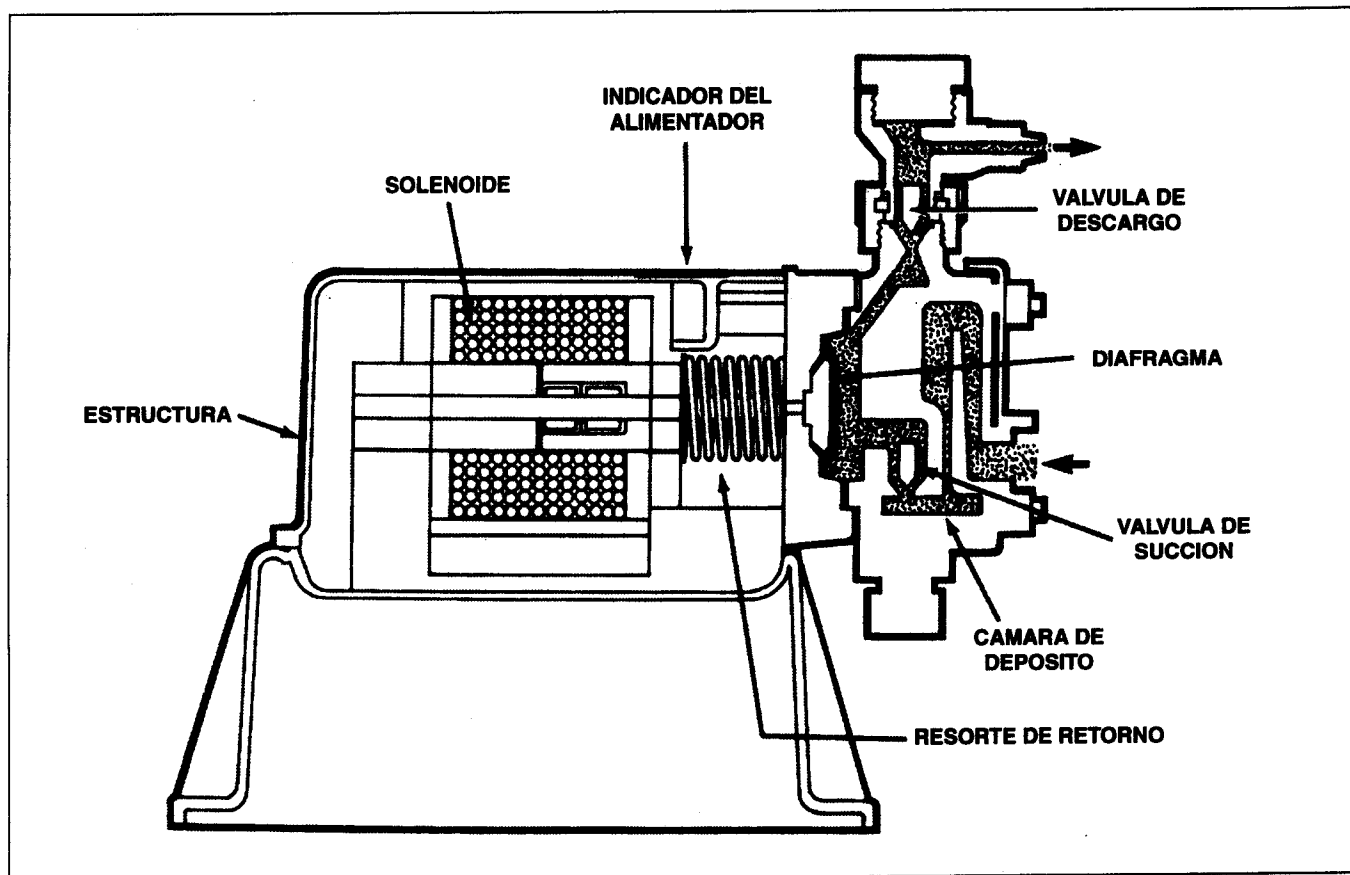
3.2.5 Calibrage de las bombas medidoras

Las bombas medidoras generalmente tiene placas con el nombre o un gráfico que muestra su capacidad de bombeo. Si por alguna razón desafortunada no se dispone de esta información, será necesario calibrar la bomba ensayando varios ajustes y midiendo la cantidad de solución bombeada durante intervalos de tiempo medidos. Este procedimiento se debe repetir periódicamente para comprobar la tasa de entrega de una bomba medidora o para hacer ajustes cuando el tipo de alimentación es muy elevado o demasiado bajo.

No es suficiente con medir simplemente lo que arroja el tubo de salida de la bomba medidora, porque aun el rendimiento de las llamadas “bombas de desplazamiento” positivo varía con la presión. Un procedimiento aceptable es medir el volumen del líquido que está siendo bombeado, preferentemente en un cilindro graduado (sin pérdida por espumación y sin derramar ninguna solución). Alimento durante un intervalo controlado, retire el tubo de succión y anote el volumen de la solución restante. La diferencia representará el volumen alimentado durante el intervalo medido. Al ajustar el

alimentador a los diversos niveles de la balanza se puede desarrollar un gráfico o curva de calibración que representará las condiciones de la bomba y los productos químicos bombeados en ese momento.

Figura 3-5
BOMBA ELECTRONICA TIPICA



Otra forma de calibrar una bomba medidora (superior al método anteriormente descrito, sobre todo cuando se trata de soluciones ácidas), consiste en equipar el tanque de solución con un vidrio de nivel calibrado. (Sin embargo, el "vidrio" de nivel no debe ser de vidrio sino de polietileno claro o de tubería de vinilo). Cuando se cierra la válvula que está entre el vidrio de nivel y el tanque (el vidrio de nivel está colocado en la parte de afuera del tanque paralelo al costado) mientras la bomba medidora está funcionando normalmente, la solución será retirada únicamente del vidrio de nivel pudiéndose calcular así el volumen sobre un intervalo de tiempo limitado. Este sistema tiene la ventaja de que no se ve interrumpido por la adición de fluoruro, evitando así el contacto directo con el compuesto químico que está siendo alimentado. Una vez realizada la medición lo único que resta hacer para reanudar la alimentación normal es abrir la válvula.

La tasa de alimentación en milímetros por minuto se puede calcular a partir de la tasa de alimentación en libras por día. Una vez que ésta última se ha establecido, será sencillo determinar la velocidad de alimentación de la bomba medidora en ml/mn. Véase la sección 4.2 sobre el cálculo de la fluoruración para seguir estas operaciones paso a paso.

3.3 Saturadores

3.3.1 Introducción

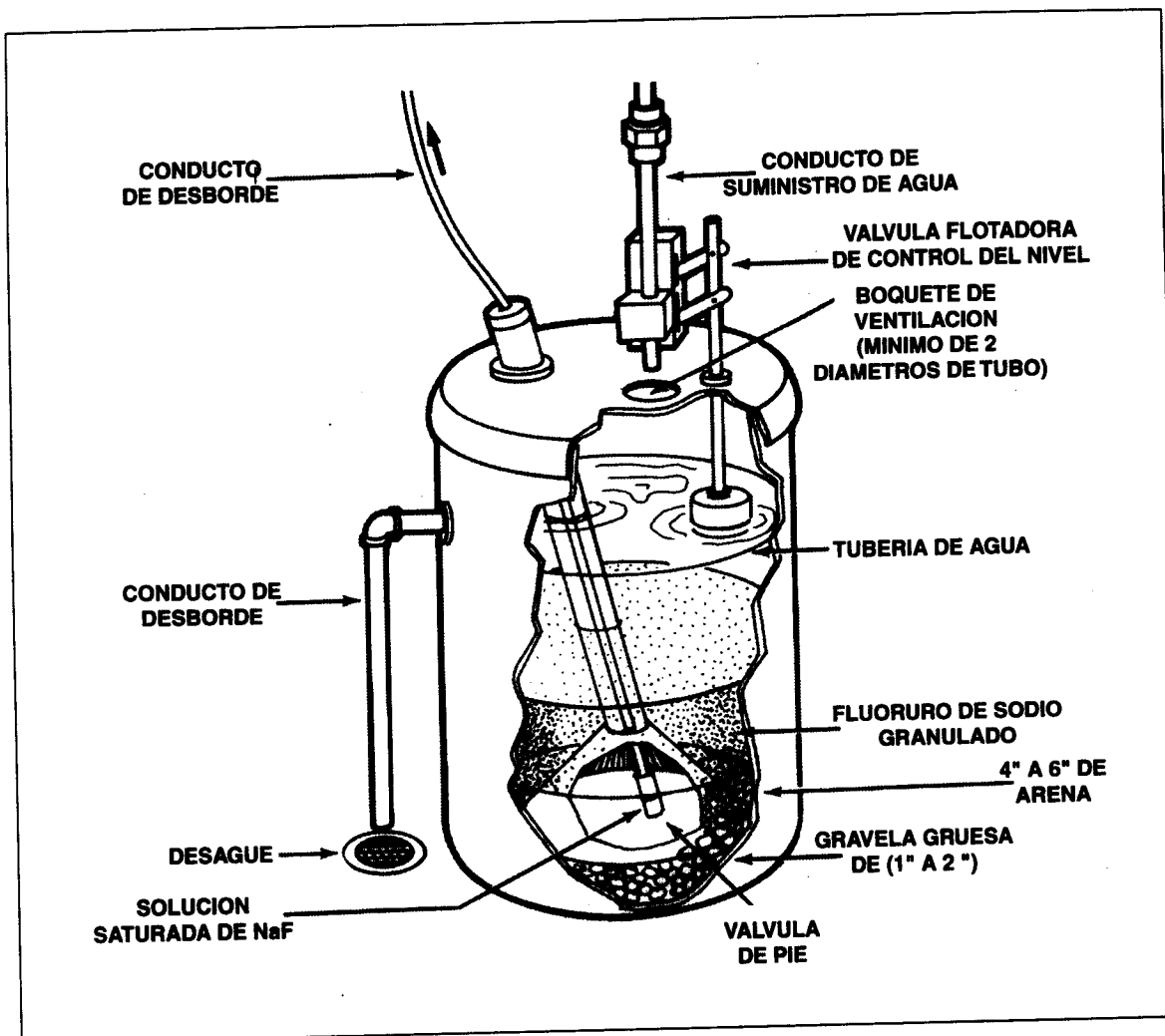
El saturador es un tipo de equipo de alimentación de químicos diseñado únicamente para la fluoruración. El saturador funciona bajo el principio de que es posible obtener una solución saturada de fluoruro dejando escurrir agua a través de un lecho que contiene una gran cantidad de fluoruro de sodio. Posteriormente una bomba pequeña entrega la solución de fluoruro de sodio al sistema de suministro de agua. Las soluciones saturadas de fluoruro de sodio pueden ser preparadas manualmente y en ciertos casos se prefiere que así sea.

Existen dos clases de saturadores: Los de flujo ascendente y los de flujo descendente. El saturador de flujo descendente fue desarrollado a finales de la década de los cuarenta por "Proportioneers Incorporated" e ingenieros vinculados al Servicio de Salud Pública de los EE.UU. Sin embargo, no fue sino hasta finales de los cincuenta y principios de los sesenta cuando se lo comenzó a utilizar ampliamente. A mediados de los setenta se desarrolló el saturador de flujo ascendente, y para finales de esa década este tipo de saturador llegó a ser más popular que el de flujo descendente. Después de 1980 se dejó de fabricar el saturador de flujo descendente y desde entonces ha sido reemplazado en la mayoría de los estados de los EE.UU. por el saturador de flujo ascendente.

3.3.2 Saturadores de flujo descendente

En un saturador de flujo descendente se coloca un lecho de fluoruro de sodio granular en capas de arena y gravilla para impedir que las partículas de fluoruro de sodio no disueltas se filtren hacia el área de la solución colocada bajo el cono o dentro del tubo múltiple de la tubería. La bomba medidora extrae la solución del interior del cono o tubo múltiple colocado en el piso del tambor plástico (Figura 3 - 6). Cuando un saturador de flujo descendente está en funcionamiento, el agua entra por el extremo superior del tanque de saturación (una abertura de aire evita la posibilidad de que se produzca una conexión entre la tubería de agua y la tubería de desagüe) y el nivel está regulado con un controlador de funcionamiento flotante. El agua escurre entonces hacia abajo a través del lecho de fluoruro de sodio, la solución se clarifica en el lecho filtrante de arena y gravilla, y termina como una solución saturada clara en el piso del tanque, de dónde es retirada por la bomba medidora. Lo único que se requiere del operador es que se asegure que en el saturador se mantiene una cantidad adecuada de fluoruro de sodio y que éste se conserva en un estado de relativa limpieza. Esto puede requerir una labor de mantenimiento considerable si el saturador ha sido intensamente utilizado. El saturador de flujo descendente no es tan popular como el de flujo ascendente y después de un tiempo es posible que se torne completamente obsoleto.

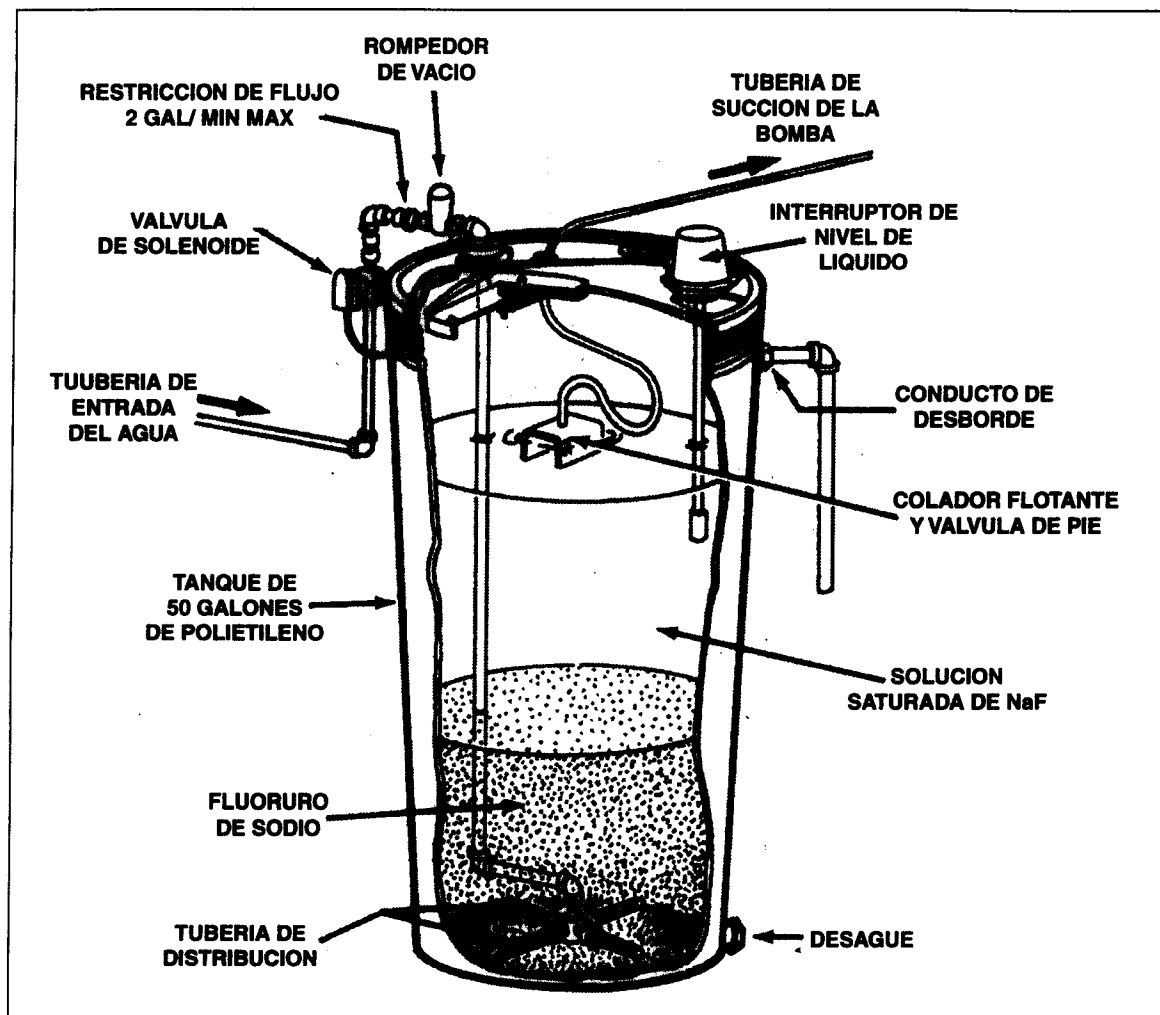
Figura 3-6
SATURADOR DE FLUJO DESCENDENTE TÍPICO



3.3.3 Saturadores de flujo ascendente

En el saturador de flujo ascendente se elimina la capa de arena y gravilla, y el lecho de fluoruro de sodio no disuelto se coloca en el piso del tanque (Véase la Figura 3 - 7). Allí mismo se coloca un distribuidor en forma de estrella con cientos de hendiduras muy pequeñas para el agua. La presión expulsa el agua a través de estas hendiduras desplazándola hacia arriba a través del lecho de fluoruro de sodio a una tasa controlada para así garantizar que la solución conserve la concentración deseada del 4%. El tubo de entrada de la bomba medidora flota en la parte superior de la solución con el fin de evitar que se retire el fluoruro de sodio no disuelto. La presión debe ser de 20 lpc como mínimo y de 125 lpc como máximo; el flujo ascendente no tiene que exceder 2 gpm. Dado que la entrada del agua al fondo del saturador constituye una conexión definitiva entre la tubería de agua y la de desagüe, es necesario incorporar un interruptor mecánico de sifonaje al conducto de agua. Asimismo se debe mantener un mínimo de 12 pulgadas de fluoruro de sodio en el fondo del tanque.

Figura 3-7
SATURADOR ASCENDENTE TIPICO



3.3.4 Saturadores venturi

La mayoría de los sistemas de agua comunitarios emplean saturadores ya sea del tipo ascendente o del tipo descendente. Pero en los años setenta John Leo, un ingeniero del Servicio de Salud (USPHS), diseñó un sistema de alimentación de fluoruro con tubo venturi. El saturador venturi se desarrolló debido a los problemas propios de los saturadores convencionales en muchas reservaciones indígenas (básicamente relacionados con las variaciones en los niveles de fluoruro). Aunque una gran mayoría de los sistemas fluorados del Servicio Indio de Salud emplean ya sea saturadores de flujo ascendente o descendente, algunos están usando ahora el saturador de tubo venturi.

Este saturador opera con un tubo venturi que desplaza el agua de alimentación a través de un suavizador de zeolita; posteriormente atraviesa un lecho de fluoruro de sodio y regresa a la cañería matriz (Véase la Figura 3 - 8). En razón a su diseño, la presión del agua es mayor en el punto en que el agua de alimentación entra al venturi que en el punto en que lo hace la solución saturada. Esta presión diferencial hace que el agua de alimentación fluya a través del suavizador y saturador. Entre

el suavizador y el saturador se halla situada una válvula de agua con tornillo micrométrico. Esta válvula permite ajustes exactos en la velocidad de flujo del agua de alimentación. Un émbolo de eliminación de incrustaciones ubicado en el venturi eliminará cualquiera acumulación de sal en el cuello del orificio. El émbolo se puede usar sin sacar de servicio el sistema venturi. Este émbolo tiene que utilizarse una vez cada dos o tres semanas para eliminar cualquiera acumulación de sal.

El sistema de alimentación con tubo venturi tiene varias ventajas sobre los sistemas de fluoruración convencionales. En primer lugar, no hay posibilidad de que ocurran sobredosis accidentales o de que el sistema de distribución aspire pepitas de fluoruro cuando la bomba de agua de la cañería matriz no está funcionando. Además, dado que se trata de una unidad no eléctrica, puede ser instalada en cualquier parte, incluso en suministros de agua cuya fuente es un manantial. El hecho de que el tanque que contiene el fluoruro esté hecho de un plexiglas claro hace posible que el operdor inspeccione visualmente el nivel del químico en cualquier momento y pueda llenarlo nuevamente.

Joseph Olguin, otro ingeniero de IHS, también ha venido desarrollando un venturi modificado (Véase la Figura 3-9). El principio es el mismo, pero el funcionamiento es un tanto diferente. En este se emplean dos tanques de fibra de vidrio en forma de botella. El agua fluye desde el conducto de la cañería matriz para pasar primero por la cuba de sal, luego por el primer tanque con zeolita y posteriormente a través del segundo tanque con fluoruro de sodio. La cuba de sal está normalmente vacía pero puede ser llenada con sal para regenerar el suavizador de la zeolita. En este caso también se emplea una válvula de aguja para controlar los niveles finales de fluoruro. El agua fluye a través de cada tanque por dos tubos: un tubo de ½ pulgada de PVC perforado que está dentro de un tubo en PVC de ¾ de pulgada.

Muy seguramente el diseño de estos dos saturadores venturi cambiará en los próximos años con el fin de combinarlos en una sola unidad.

3.3.5 Interruptores del nivel del líquido

Como su nombre lo indica, los interruptores del nivel del líquido o controladores se emplean para mantener automáticamente preajustados los niveles del fluoruro en los saturadores. En algunas ocasiones estos interruptores se utilizan con tanques del día con ácido fluorosilícico, cuando estos se llenan desde un tanque de almacenamiento de volumen o son usados con tanques de solución de alimentadores en seco. Los interruptores evitan que los tanques se sequen o que su contenido se derrame, y también pueden usarse para prevenir que una bomba medidora se quede sin solución. El interruptor puede ser de tipo manual (menos costoso) o eléctrico (más costoso) (Veáse la Figura 3-10).

Hoy en día existen en el mercado varios tipos de interruptores que funcionan con base en diferentes principios: mercurio, presión de aire, por electrodo, conductividad y peine encapsulado. En la actualidad, la mayoría de los modelos más recientes son eléctricos (12 ó 115 voltios) y están conectados para controlar una válvula solenoide (válvula operada eléctricamente desde un conducto de agua a un saturador). El interruptor de tipo manual no requiere electricidad, pues emplea la presión del agua o una válvula flotante para activar un tipo de llave de flotador, en forma similar a la válvula flotante común de un sanitario. Los interruptores de nivel de líquido son ajustables, siendo posible cambiar los niveles superior e inferior tantas veces como sea necesario; sin embargo, el nivel del líquido tiene que ajustarse por debajo del tubo de derrame.

Figura 3-8
SATURADOR VENTURI (LEO)

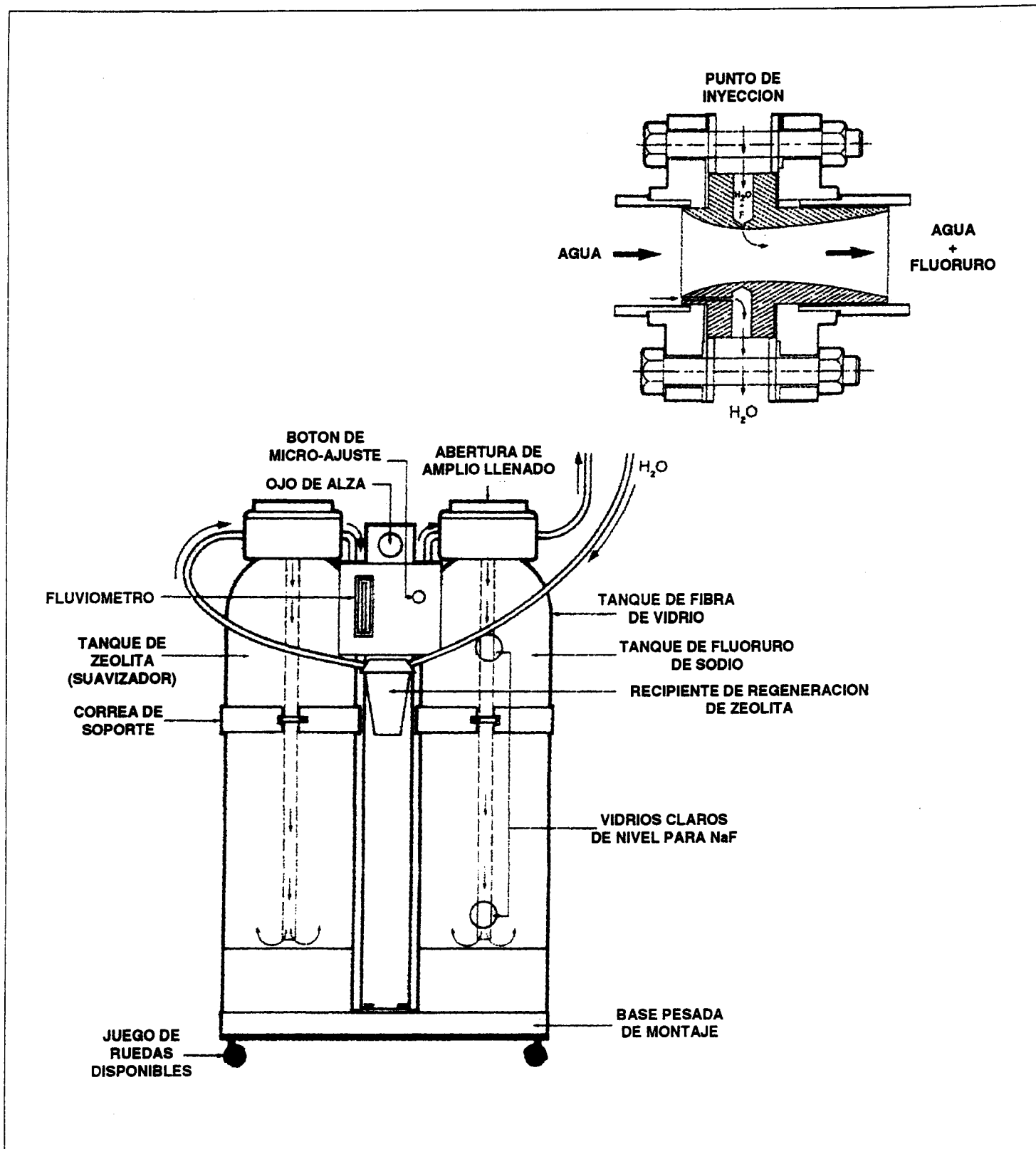


Figura 3-9
SATURADOR VENTURI (OLGUIN)

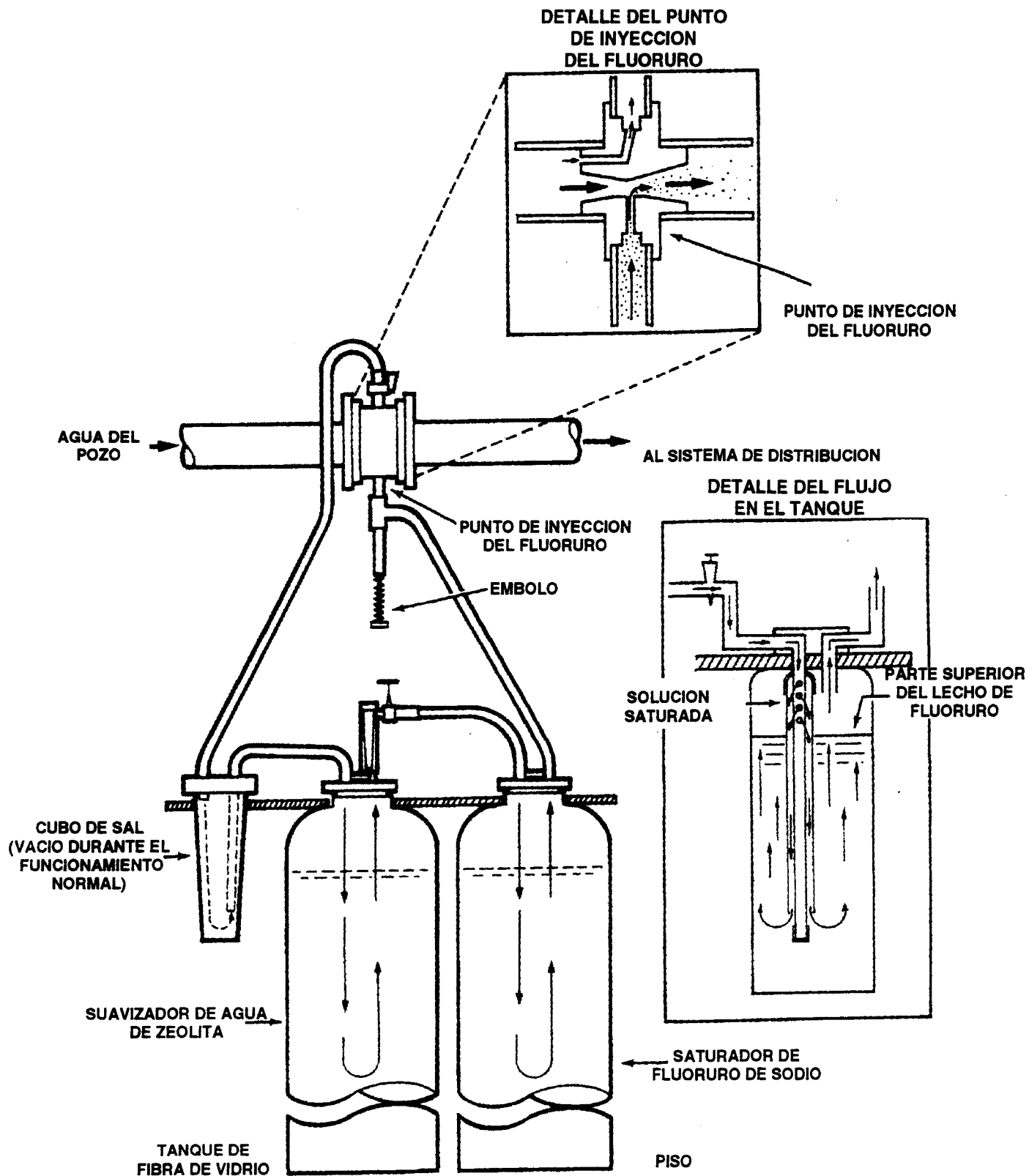
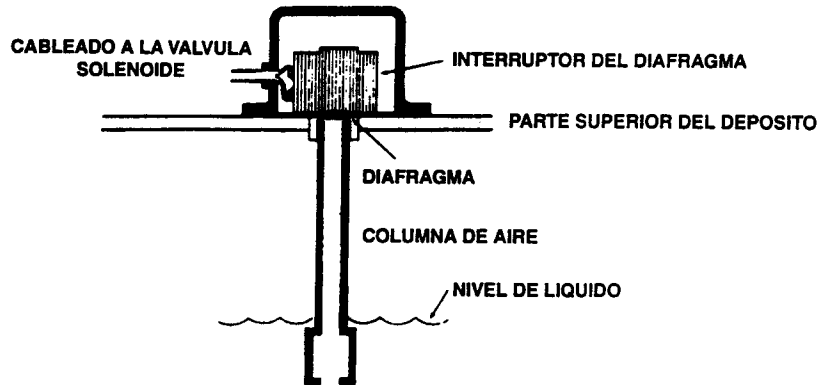
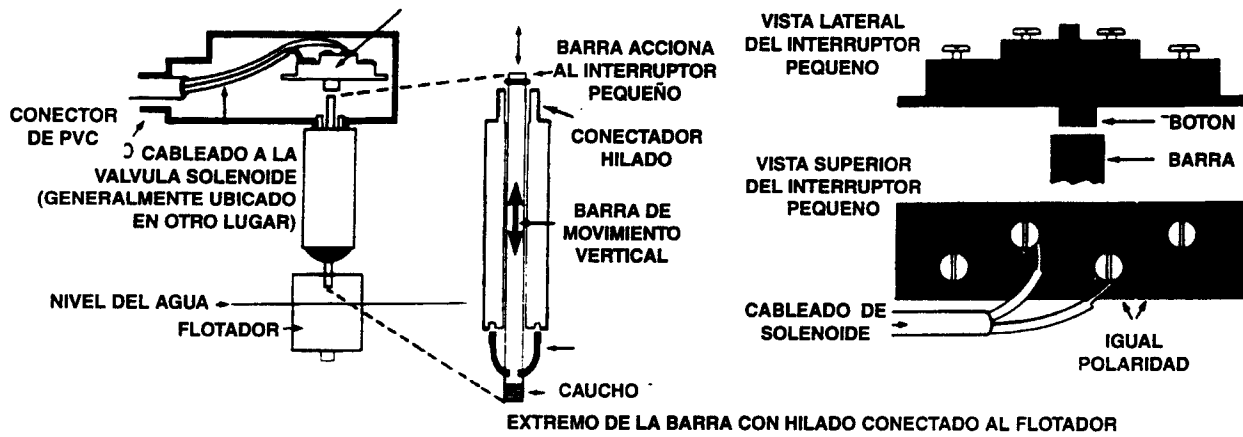


Figura 3-10
CONTROLADORES DEL NIVEL DE LIQUIDO

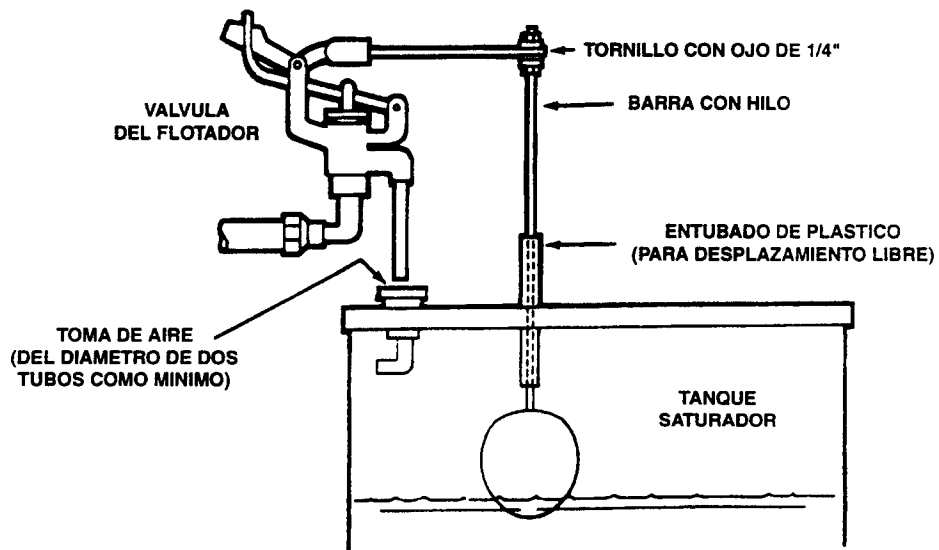
PRUEBA



INTERRUPTOR PEQUEÑO (SE ENCUENTRA EN CUALQUIER TIENDA DEL RAMO) INTERRUPTOR PEQUEÑO



VALVULA DEL FLOTADOR



3.3.6 Suavizadores

Cuando un sistema de fluoruración esté empleando una solución de fluoruro de sodio (especialmente en saturador), recuérdese que si bien este compuesto es totalmente soluble, los fluoruros de calcio y de magnesio no lo son. Así pues, los iones de fluoruro en solución se combinarán con los iones de calcio y de magnesio en el agua de reemplazo y formarán un precipitado que puede atorar la bomba medidora, el lecho del saturador, etc. Por esta razón, el agua que se utilice para los saturadores de fluoruro de sodio debe ser suavizada cada vez que la dureza total exceda los 50 ppm; puede ser menos si la cantidad de trabajo requerida para limpiar los impedimentos o para quitar la balanza es excesivo. Téngase en cuenta que no es necesario suavizar todo el suministro de agua sino solamente aquella que se utilice para preparar la solución (el agua de reemplazo).

Existen dos tipos de tratamiento para suavizar el agua: el intercambio de iones y el uso de polifosfatos (“calgon”, “microme”, etc.). El método de intercambio iónico elimina toda la dureza. Los polifosfatos son usados para mantener en solución el calcio, el magnesio y otros elementos de endurecimiento. La cantidad requerida generalmente oscila entre 5 y 12 mg/L, si bien ahora se dispone de nuevos tipos de polifosfatos más eficientes. Estos se alimentan a un porcentaje de 1 - 2 mg/L a 2 mg/L. El polifosfato se puede añadir directamente al tanque de solución, pero en algunos casos se requerirá una bomba medidora.

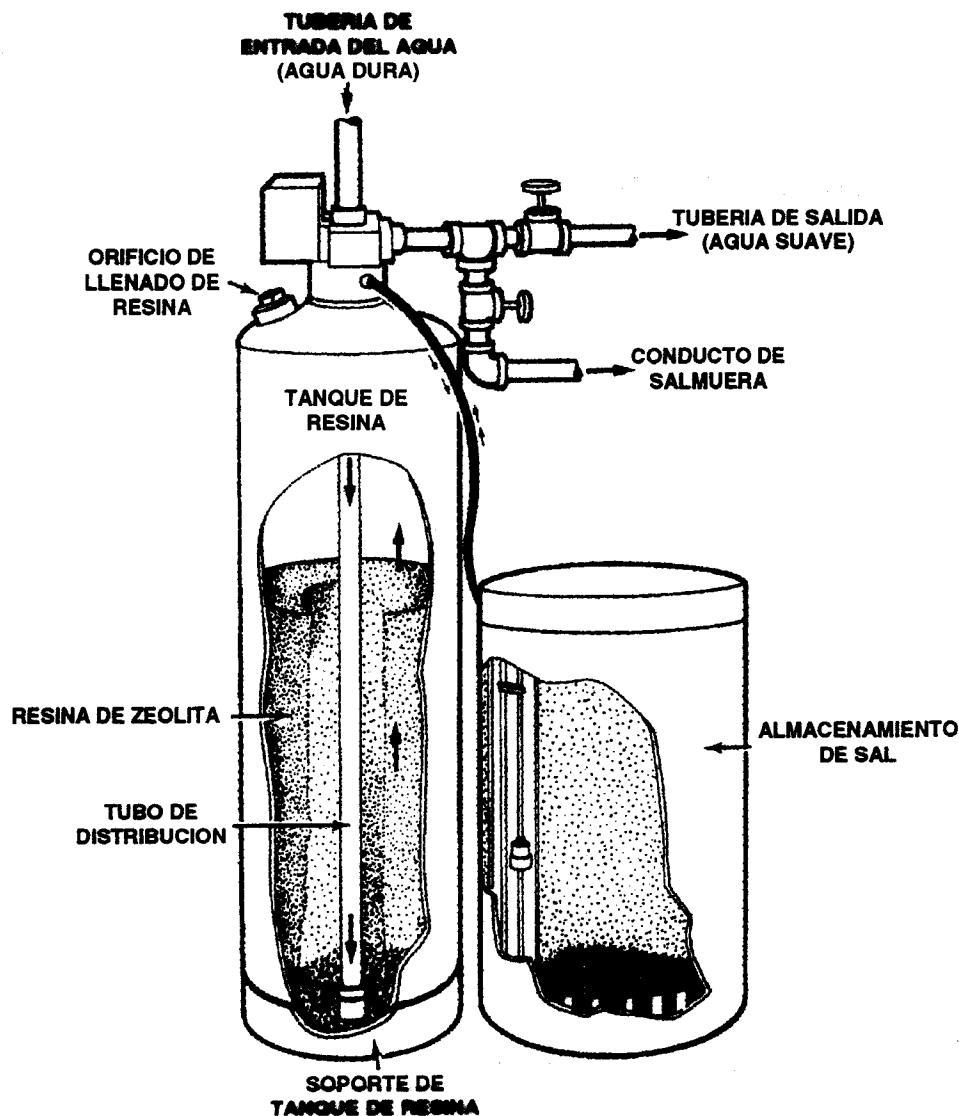
El método de intercambio iónico elimina toda dureza usando un medio de zeolita o de resinas sintéticas. Dado que el volumen de agua a ser suavizado es generalmente muy pequeño, un suavizador casero del tipo zeolita es por lo general más que suficiente. Este tipo de suavizador puede ser instalado directamente en la tubería que se usa para el agua de reemplazo de la solución. Cuando se agota la capacidad de suavizamiento de la zeolita (o resina sintética), ésta puede ser regenerada con salmuera hecha de sal común (Véase la Figura 3-11).

Cuando el suavizador está en servicio se recomienda ampliamente que se efectúe un programa completo de recarga antes de que aquel agote su capacidad. Esto es importante con el fin de proteger el medio acondicionador de posibles daños y para mantener su capacidad. Por ejemplo, las aguas que contienen sulfuro de hidrógeno corrosivo pueden estropear y dañar en forma permanente el medio si se permite que la capacidad de sus filtros se agote. Las aguas portadoras de hierro también pueden hacer que un lecho de medios agotado quede impactado y obstruido con trozos de herrumbre. Si se permite que se presenten estas condiciones, el rendimiento será deficiente y la capacidad del suavizador se reducirá notablemente.

El pH del suministro de agua es un factor importante y debe ser verificado poco antes de que se instale el equipo. Por ejemplo, el agua que tenga un pH inferior a 6,5 puede corroer el medio acondicionador.

La instalación requiere un sistema de desvío, el cual se emplea para desviar el flujo de agua alrededor del acondicionador durante la recarga y/o servicio. También se necesita un tubo de desagüe. Este se usa durante la recarga para dirigir el flujo o regeneración de agua hacia una salida apropiada de desecho. El cloruro de sodio (sal de mesa) se emplea como material de regeneración. Se debe de controlar la presión del agua que va al suavizador. Por lo general, los fabricantes recomiendan un funcionamiento entre 20 lpc y 100 lpc.

Figura 3-11
SUAVIZADOR DE AGUA DE ZEOLITA



3.4 Alimentadores en seco

3.4.1 Introducción

Los alimentadores en seco suministran una cantidad predeterminada de químico de fluoruro en un intervalo de tiempo dado. Existen dos tipos de alimentadores en seco: el volumétrico y el gravimétrico. El alimentador en seco volumétrico entrega una cantidad medida de químico de fluoruro en seco por unidad de tiempo y el alimentador en seco gravimétrico entrega un peso medido de químico por unidad de tiempo.

Muchas plantas de tratamiento de aguas de superficie (como ríos, lagos, embalses, etc.) utilizarán alimentadores en seco para añadir otros productos químicos al agua. De esta forma, es muy probable que en estos casos se considere el uso de alimentadores de fluoruro en seco para que estos sean armonizables con su otro equipo. En procesos de fluoruración los alimentadores en seco se emplean

casi exclusivamente para alimentar fluorosilicato de sodio. Son muy pocos los sistemas de suministro de agua que usan fluoruro de sodio en alimentadores en seco, ya que su alto costo generalmente hace que se opte por el fluorosilicato de sodio.

3.4.2 Alimentadores volumétricos

Los alimentadores volumétricos tienen tres componentes: un mecanismo accionador que entrega un volumen constante de compuesto seco, una tolva para mantener el compuesto, y finalmente una cámara para disolver el compuesto antes de que se descargue en el suministro de agua.

Lo que distingue un tipo de alimentador volumétrico de otro es el mecanismo de entrega de los químicos. Cada fabricante tiene un modelo diferente para alimentar productos químicos en forma volumétrica: los hay de disco rotatorio, de artesa oscilante, de artesa vibratoria, de tornillo rotatorio, de rodillo rotatorio, de rueda de estrella y algunos de estos tipos combinados.

Aquí se hace únicamente una descripción breve de los mecanismos de entrega para indicar la diversidad de principios de operación. Si se requiere información más detallada al respecto se la puede solicitar directamente a los fabricantes.

Uno de los alimentadores más ampliamente usados, particularmente en plantas pequeñas, era el alimentador de tipo rodillo con un ajuste deslizador de alimentación. (Véase la Figura 3-12) Hoy en día éste no es tan popular como los alimentadores de tipo tornillo. En el alimentador tipo rodillo el fluoruro se coloca en la tolva a través de una abertura en la parte superior. Desde allí fluye por gravedad a los rodillos alimentadores.

El material es convertido en una cinta suave de grosor uniforme por el accionar de los rodillos de alimentación de acero inoxidable que operan en sentidos opuestos. Mediante la variación del ancho de la cinta se ajusta externamente la tasa de alimentación en una corredera graduada de alimentación. Si el alimentador está equipado con un mecanismo de velocidad variable no tiene entonces corredera de alimentación; en este caso, el flujo de alimentación se ajusta mediante el cambio de la energía absorbida rpm en la caja de engranaje de tres velocidades. El material sale de los rodillos a una tasa uniforme, cae dentro de un tanque de solución y desde allí se descarga al sistema principal de agua.

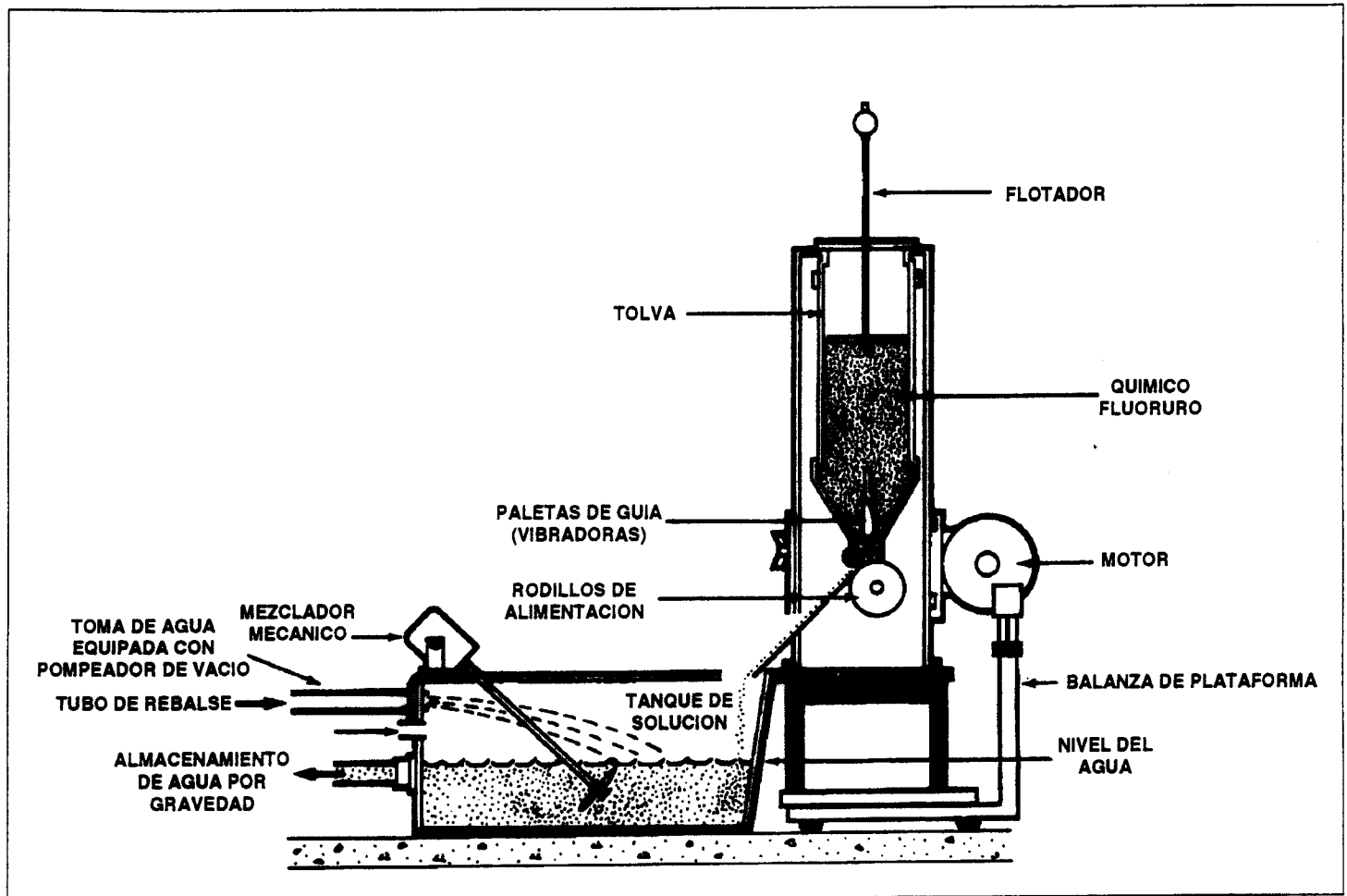
El alimentador volumétrico de tipo rodillo alimenta materias de derrame libre en forma seca granulada o en polvo a velocidades que oscilan entre 6 lbs/hora y 2.100 lbs/hora, si bien el polvo muy fino tenderá a desplazarse libremente a través de los rodillos.

El tipo de alimentador con artesa oscilante consiste esencialmente de una artesa plana y estrecha a la cual cae el compuesto de fluoruro desde la tolva que está encima. La artesa misma, o la parte inferior de la tolva, oscilan lentamente a lo largo del eje de la artesa, lo cual hace que una porción del químico fluya a lo largo de dos bordes abiertos de la artesa. Las tasas de entrega están controladas tanto por la velocidad de oscilación y la longitud de la carrera como por el grosor del producto químico en la artesa.

El alimentador en seco de artesa vibratoria es un dispositivo que sirve para descargar un volumen de químico desde una artesa, conducto o canalón diseñado para vibrar eléctricamente. Un imán es energizado por medio de una corriente pulsativa (ya sea por corriente alterna ordinaria o rectificada, corriente y conectada directamente al imán). La acción de la bandeja ocurre hacia abajo y hacia atrás en la carrera motriz, y hacia arriba y hacia adelante en la carrera siguiente debido a la acción de los

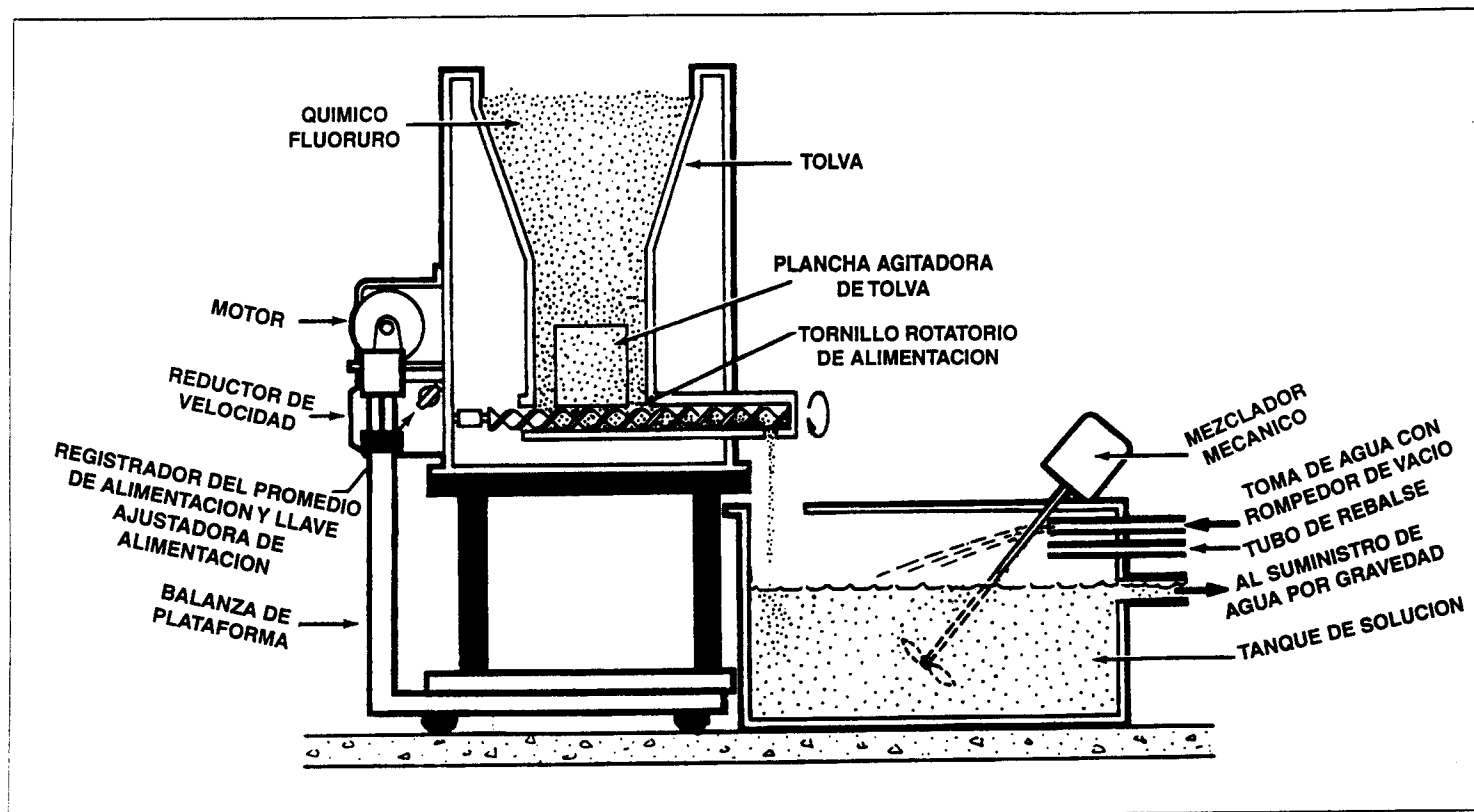
resortes. El material en la bandeja se mueve ligeramente hacia adelante en cada recorrido y parece fluir como agua por la elevada frecuencia de recorrido (3.600 carreras por minuto en corriente de 60 ciclos). El suministro es controlado por un reostato que determina el voltaje y consecuentemente el grado de movimiento de la batea.

Figura 3-12
ALIMENTADOR VOLUMETRICO DEL TIPO RODILLO



El tipo más popular de alimentador volumétrico es el de tornillo sin fin (Véase la Figura 3-13). El químico de fluoruro se coloca en la tolva por la partes superior y se posa en el fondo por gravedad. Un mecanismo de planchas vibratorias en las paredes de la tolva proporciona una agitación constante, la cual se extiende hacia el tornillo alimentador sin fin (en el fondo de la tolva). Este ha sido diseñado para impedir arqueamientos y compactaciones. También ayuda a mantener un suministro uniforme hacia el tornillo sin fin. Una excéntrica en el eje del tornillo alimentador sin fin acciona un brazo oscilante conectado a planchas vibratorias en las paredes de la tolva. El tornillo alimentador entrega un suministro simple de fluoruro al tanque de la solución a una velocidad uniforme a través del conducto de descarga. El margen de velocidades de alimentación oscila 0,02 y 5.00 lbs por hora.

Figura 3-13
ALIMENTADOR GRAVIMETRICO DEL TIPO TORNILLO ROTATORIO



3.4.3 Alimentadores gravimétricos

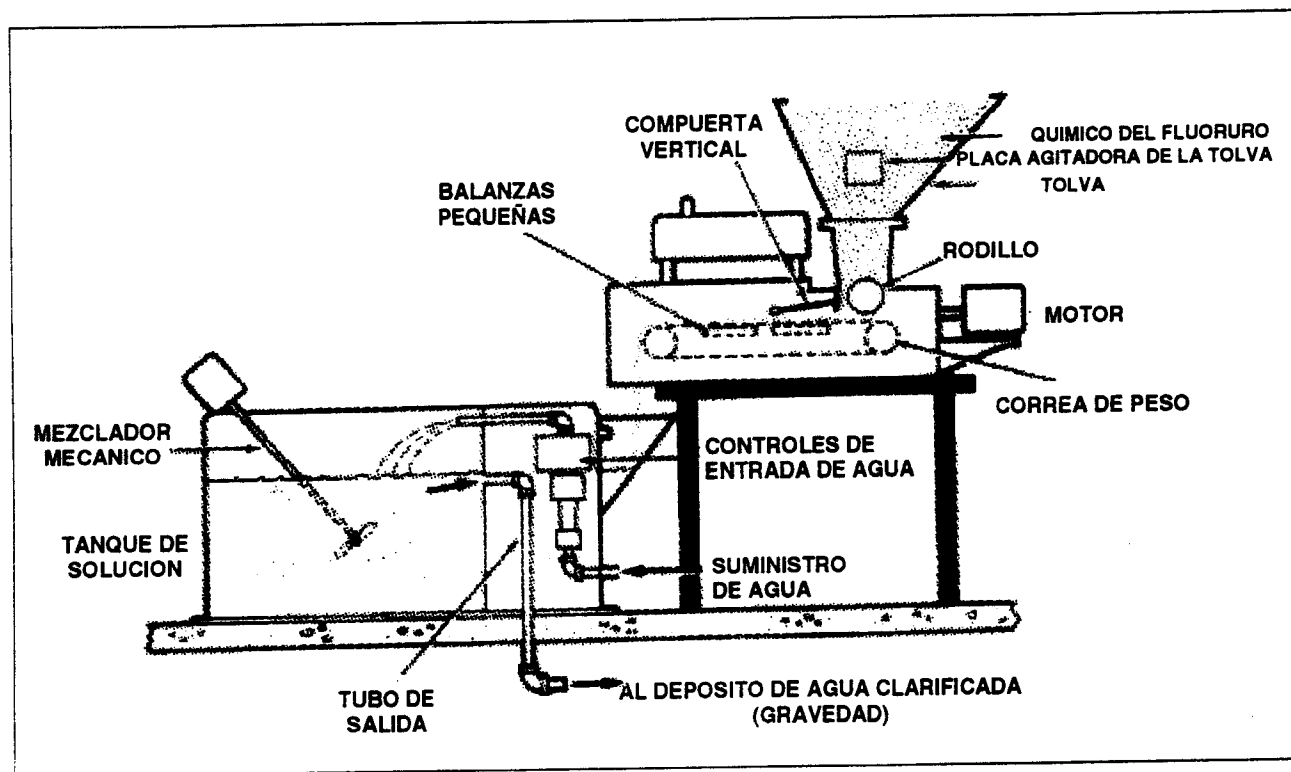
Los alimentadores gravimétricos descargan productos químicos durante un período determinado en un peso constante y no en un volumen constante. Existen dos tipos generales de alimentadores gravimétricos en seco: los que están basados en una pérdida en peso del alimentador y los que están basados en el peso del material en una sección de la correa transportadora. Muchos alimentadores gravimétricos en seco también incorporan algunas de las características de los alimentadores volumétricos, ya que presentan un mecanismo rotativo alimentador entre la tolva y la sección de pasaje o emplean un vibrador mecánico para mover los compuestos químicos fuera de la tolva. Dado que en últimas lo que se mide y regula es el peso del material por unidad de tiempo, variables tales como la densidad o la consistencia del material no tiene efecto en la tasa de alimentación. Esto explica la extrema precisión con que pueden funcionar estos alimentadores.

El primer tipo (pérdida en peso) consta de una tolva suspendida de un sistema de balanza, un sistema electromecánico para mover el contrapeso en el brazo de la balanza, un medio mecánico para mover el compuesto desde la tolva en una cantidad que dependerá de la posición del brazo de la balanza, y un tanque de solución. El tornillo patrón o de avance (un motor sincrónico) mueve el contrapeso a lo largo del brazo a una velocidad pre-ajustada. Si momentáneamente se llegara a alimentar más material del indicado por la posición del contrapeso, entonces el brazo desciende. Esta acción mueve el calce de control (cerca del oscilador) hacia abajo, permitiendo un descenso en la longitud de la carrera que acciona la rueda de estrella o el mecanismo alimentador vibratorio. Hasta que el peso del compuesto

que quede en la tolva no se equilibre nuevamente por el peso del brazo de la balanza se continuará entregando una cantidad menor de material. En este tipo de alimentador, el margen de error en la alimentación es por lo general inferior al 1 %. La cantidad mínima de entrega es de 1,6 libras por hora con un rango de alimentación del orden de 100 a 1; algunos modelos pueden suministrar más de 2 toneladas por hora.

El otro tipo de alimentador gravimétrico es aquel en el que una sección de la correa transportadora cargada se pesa continuamente (Véase la Figura 3-14). El peso de la correa se equilibra con un brazo de balanza. La posición del brazo controla la entrega del compuesto a la correa. Cualquier desviación del peso en la correa hace que la compuerta vertical suba o baje y por tanto que caiga una mayor o menor cantidad de material en la correa. Una excéntrica genera las vibraciones impartidas a un diafragma en la tolva; éstas son transmitidas a través de un calce [wedge] que varía la amplitud de las vibraciones, dependiendo en la posición del brazo de la balanza. La precisión de estos alimentadores es el orden del 99 % o más. El rango de alimentación es hasta de 100 a 1, y los ajustes son hechos rápidamente por el simple movimiento del contrapeso del brazo de la balanza.

Figura 3-14
ALIMENTADOR GRAVIMETRICO, TIPO CORREA



3.4.4 Tanques de solución

Las materias descargadas desde un alimentador en seco se disuelven continuamente en una cámara que está debajo de aquel. Desde esta cámara cae la solución retirada o se la bombea dentro del agua que será tratada. Esta cámara ha sido llamada tanque de la solución, tanque de disolución, recipiente de la solución o cámara de disolución. A pesar de que algunos químicos pueden ser alimentados directamente en canalones o estanques sin usar un tanque de solución, este no es el caso de los fluoruros. Dado que se requieren tasas precisas de alimentación no es posible que se produzca una alimentación grumosa que pueda dar lugar a que se formen amontonamientos de material seco no disuelto.

Los tanques de solución vienen en tamaños de 5 galones o más. El tamaño del tanque frecuentemente dependerá del tamaño del alimentador bajo el cual está montado. Para los compuestos del fluoruro se debe usar el tamaño más grande disponible. La mezcla de los compuesto químicos con el agua se puede realizar con un sistema de desviadores [baffles] y la agitación con una paleta accionada por chorros de agua; los CDC recomiendan que se utilice un mezclador mecánico (Véase la Sección 3.5.7). La experiencia ha demostrado que el mezclador a chorro no es tan seguro como un buen mezclador mecánico, aún bajo condiciones ideales. El tanque de la solución debe estar hecho de acero inoxidable o fibra de vidrio. Dada la naturaleza corrosiva del fluorosilicato de sodio no se recomiendan los tanques metálicos pintados. El no producir una descarga de una solución homogénea y clara desde el tanque de solución de un alimentador en seco indica que: 1) El tanque es muy pequeño; 2) el tiempo de detención es muy breve; 3) el agua que se está proporcionando para la solución es muy poca; 4) la agitación es insuficiente, y/o 5) el químico está haciendo corto circuito y no está siendo adecuadamente mezclado con el agua.

Se ha determinado mediante experimentos que el tiempo de detención (el tiempo que el compuesto de fluoruro permanece en el tanque de solución) debe ser de 5 minutos como mínimo para proporcionar una concentración que es una cuarta parte de la máxima solubilidad, siempre y cuando la temperatura del agua esté por encima de los 60 grados F. y el químico sea un fino polvo. Si el producto químico está en forma de cristales o la temperatura del agua está por debajo de 60 grados F., el tiempo de disolución debe duplicarse; si suceden ambas cosas, el tiempo debe triplicarse (esto es, 15 minutos). El Cuadro 3-2 muestra la relación entre los tiempos de detención y las proporciones de alimentación en seco de fluorosilicato de sodio.

El corto circuito (que corresponde al flujo de agua que va directamente desde el punto de entrada a la boca de salida sin hacer mezcla) es esencialmente un problema del modelo del tanque de solución, y es más probable que se llegue a producir en los tanques más pequeños. Este se remedia añadiendo desviadores [baffles] al tanque, de manera que el paso del producto químico a la boca de salida de la cámara esté lo suficientemente desviado como para proporcionar la mezcla necesaria para la solución.

Dado que por lo general un tanque de solución tiene la boca de entrada por debajo de la boca de salida, existe una conexión entre la tubería de agua y la de desagüe que requiere adecuadas medidas de seguridad. Si ocurre una ruptura en el tubo del agua, se puede hacer que la solución de fluoruro del tanque de solución retroceda hacia dentro del tubo. Si el tanque de solución no está equipado con un rompedor de vacío correctamente colocado, se deberá instalar uno tan cerca como sea posible a la entrada del agua y elevarlo por encima del borde del tanque. Si existe un solenoide o una válvula operada manualmente en el nivel de entrada del agua, el rompedor de vacío tiene que ser instalado entre la válvula y el tanque para proteger adecuadamente la conexión entre la tubería del agua y la de desagüe (Véase la Sección 3.5.4).

Cuadro 3-2
Tiempo de detención del fluorosilicato de sodio en tanques de solución

Tasa de alimen. lbs/hora	Tasa de alimentación mínima de H ₂ O requerida para la solución	Tamaño del tanque de solución					
		5 gal.	10 gal.	25 gal.	35 gal.	50 gal.	100 gal.
1	1 gpm	5 min	10 min	25 min	35 min	50 min	100 min
2	2		5	12,5	17,5	25	50
3	3			8,3	11,7	16,7	33,3
4	4			6,2	8,7	12,5	25
5	5			5	7	10	20
6	6				5	8,3	16,7
7	7					7,1	14,3
8	8					6,2	12,5
9	9					5,5	11,1
10	10					5	10
20	20						5

3.4.5 Accesorios para alimentadores en seco

Muchos alimentadores en seco deben ser apalancados con una pequeña tolva para sostener el químico del fluoruro. En instalaciones grandes se proporciona una extensión adicional por encima de la tolva principal para aumentar la capacidad de almacenaje de químico. El acceso a la tolva de extensión está generalmente ubicado en el piso por encima del alimentador en seco. Si el fluorosilicato de sodio está almacenado en el segundo piso se puede cargar convenientemente dentro de la tolva.

En plantas pequeñas, la tolva de los químicos debe ser lo suficientemente grande como para sostener un poco más de un saco o tambor completo del compuesto. No es necesario que la tolva se haya vaciado completamente antes de agregar un nuevo saco o tambor. De esta manera se minimiza la manipulación de compuestos químicos, el polvo y los derrames.

Cuando la tolva se instala directamente por encima del alimentador, el operador tiene que levantar el saco de químicos a una altura considerable para llenarla. En esta situación es esencial disponer de un cargador de sacos. El cargador es una extensión de la tolva lo bastante grande como para sostener un saco único de 100 lbs de químicos. La parte anterior del cargador está articulada, de manera que descenderá hacia abajo a una altura más accesible. El saco se sujeta haciendo correr un vástago enganchado a través del fondo del mismo. Luego se abre y el cargador retorna hacia atrás a su posición original. Este dispositivo hace más fácil vaciar el saco y minimiza el polvo.

El manejo de compuestos químicos en seco siempre produce polvo. Por esta razón, un operador debe usar un respirador. Cuando se manejan pequeñas cantidades de fluoruro el cuidado ordinario minimizará el polvo, y un buen mantenimiento de las zonas de almacenamiento y carga, mas un ventilador aspirador, las conservará relativamente libres de polvo. No obstante, cuando se manejan cantidades más grandes (más de un saco a un mismo tiempo) se deberá disponer de instalaciones de prevención y recolección de polvo.

Un cobertizo que encierre completamente el llenado de la tolva y que esté equipado con un ventilador aspirador va a impedir que el polvo se disperse por toda la zona de carga. Para impedir que el polvo se escape a la atmósfera y a la zona alrededor de la planta de agua se deben instalar filtros de polvo en el sistema de ventilación. Los recogedores de polvo y los ventiladores aspiradores están algunas veces incorporados a las tolvas o alimentadores en seco más grandes.

Un flotador en la tapa de la tolva indica el nivel de material almacenado. Los lados de la tolva y las aletas de guía [built-in guide vanes] se doblan con un movimiento oscilante para proporcionar una agitación constante. Esto previene el arqueamiento, aglutinación o compactación del químico y asegura una alimentación uniforme a los rodillos.

Si se utiliza una balanza de brazo para pesar los químicos en seco o la soluciones que se van a añadir, se puede incorporar un registro para mantener un récord del peso del químico alimentado. Muchos alimentadores volumétricos en seco disponen de este registro como accesorio.

3.4.6 Calibrage de los alimentadores en seco

En un alimentador en seco de químicos, la tasa de alimentación se puede variar ajustando los controles de acuerdo con una balanza. Los números de esta balanza no tienen ninguna unidad en particular y no pueden ser convertidos a ppm o mg/L hasta tanto no haya sido preparada una curva o gráfico de calibrage. Se requiere un gráfico por separado para cada máquina y para cada producto químico alimentado por la máquina. Si le es posible operar su planta de agua a más de una velocidad, entonces usted tiene que tener también diferentes gráficos de calibrage para cada velocidad.

Para calibrar un alimentador es seco, llene la tolva con el químico a ser alimentado a la profundidad normal. Asegúrese de que el producto químico esté seco, fluya libremente y no contenga terrones.

Ajuste de la máquina en un número bajo, en todo caso más bajo de aquel en que funciona normalmente. Permita que funcione por unos minutos hasta que sea alimentada uniformemente. Utilice una artesa o una caja de cartón (que ha sido pesada cuando estaba vacía) para que recoja la descarga total del químico del alimentador por varios minutos (digamos 5 minutos). Pese el químico en una balanza de laboratorio (en gramos) y registre la cifra en un gráfico.

Repita el mismo procedimiento para los otros ajustes de la balanza en la máquina (generalmente cuatro o cinco diferentes). Asegúrese de cubrir el rango completo en el cual se operará el alimentador. Fije las curvas de calibrage cerca de la máquina (asegúrese de etiquetar cada curva para la máquina correcta), de modo que se las pueda emplear sin errores o pérdida de tiempo.

Cuando se opera la máquina en un determinado ajuste, la tasa de alimentación variará dependiendo del desgaste que aquella haya sufrido, de la humedad, de la variación en la textura del químico que está siendo alimentado, etc; es por esto que no se debe usar una misma curva de calibrage por un período prolongado sin comprobar su exactitud.

3.5 Equipo auxiliar

3.5.1 Introducción

La mayoría de los sistemas de agua que añaden fluoruro necesitan equipo adicional, más allá del mínimo requerido. En las secciones siguientes se explica cada tipo de equipo auxiliar comúnmente usado y a dónde pertenece cada componente de fluoruración. A medida que aumenta el tamaño y complejidad del sistema también aumenta la cantidad y complejidad del equipo auxiliar requerido.

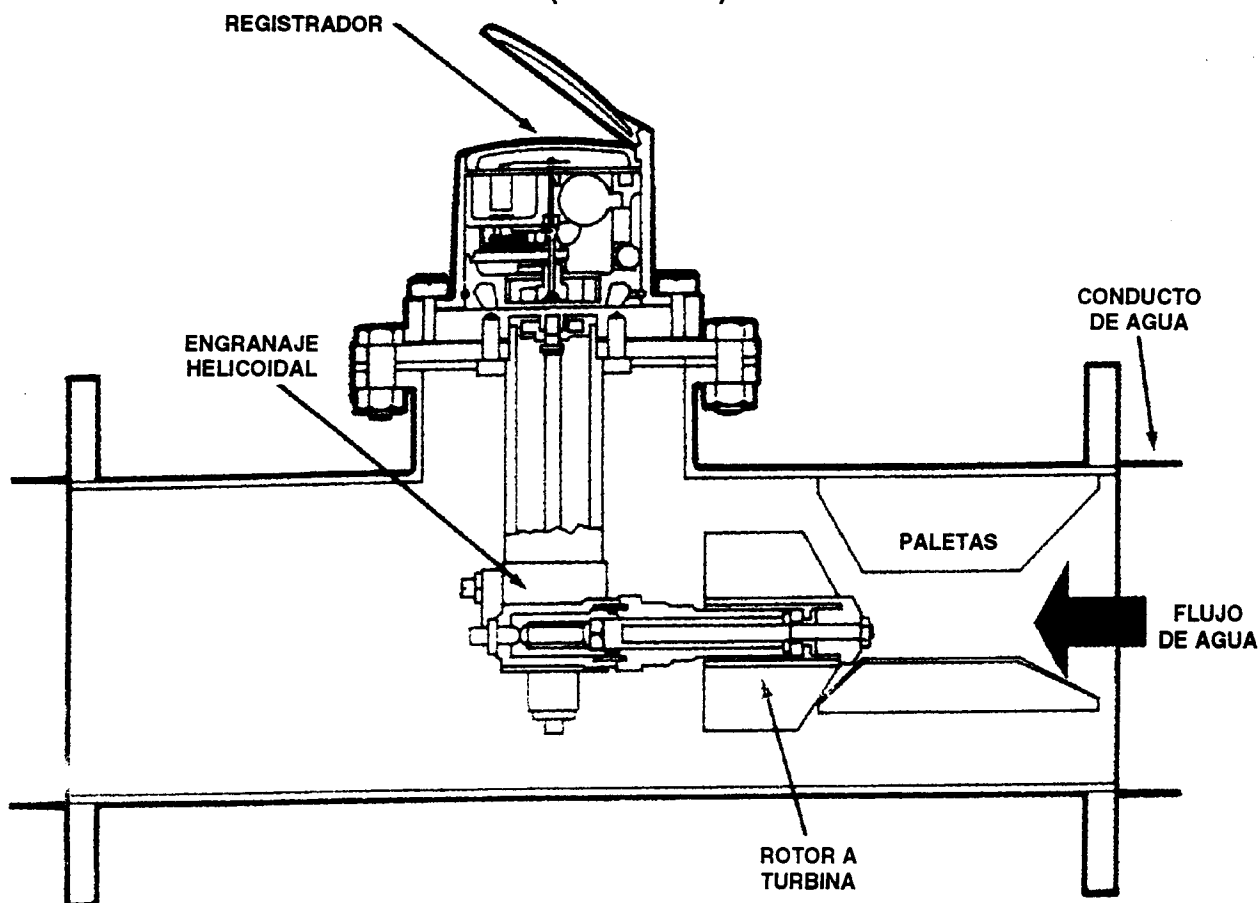
3.5.2 Medidores de agua

En conexión con la fluoruración, los medidores se utilizan con dos propósitos básicos en las plantas de agua. En primer lugar se usan para registrar el flujo total de agua con el fin de determinar la cantidad necesaria de químicos de fluoruro con base en la cantidad de líquido utilizada. En segundo lugar se usan para medir el ritmo en condiciones variables de flujo. El medidor de ritmo variará la frecuencia de una bomba medidora con el propósito de mantener la dosis de fluoruración deseada a cualquier tasa de flujo.

El medidor de agua, que a menudo no hace parte de las plantas de agua más pequeñas, es uno de los requisitos básicos para garantizar que se administren cantidades precisas de fluoruro. Este mide el flujo de agua en una tubería (volumen). Por lo general, se usan los galones o pies cúbicos como unidad de medida. Este tipo de medidor localizado en la tubería de agua de la casa se lee una vez al mes y la diferencia entre las cifras de dos meses es la cantidad de agua usada ese mes. Nótese que con el medidor de agua no hay forma de establecer la velocidad de gasto o cuando se usó el agua (Véanse las Figuras 3-15 y 3-16).

Los medidores pequeños totalizadores también se utilizan para registrar el agua de reemplazo en un saturador de fluoruro de sodio. La cantidad de agua de reemplazo está directamente relacionada con la cantidad de fluoruro de sodio administrado, dado que el saturador proporciona una solución constante al 4%. Al relacionar el agua de reemplazo con el agua total a ser tratada sobre un intervalo de tiempo igual es posible supervisar y ajustar la dosis de fluoruro. Esto requiere del tipo más pequeño de medidor totalizador de agua de desplazamiento positivo (habitualmente de 5/8") que registra flujos bajos, dado que los flujos de reemplazo del saturador son muy bajos. Muchas veces el término "medidor de agua" se emplea para describir medidores de agua, medidores de flujo, medidores de ritmo, medidores de compuestos, etc. A pesar de que esto es incorrecto, ocurre con mucha frecuencia en el campo del agua potable.

Figura 3-15
TÍPICO MEDIDOR (MAESTRO) PROPULSOR DE AGUA



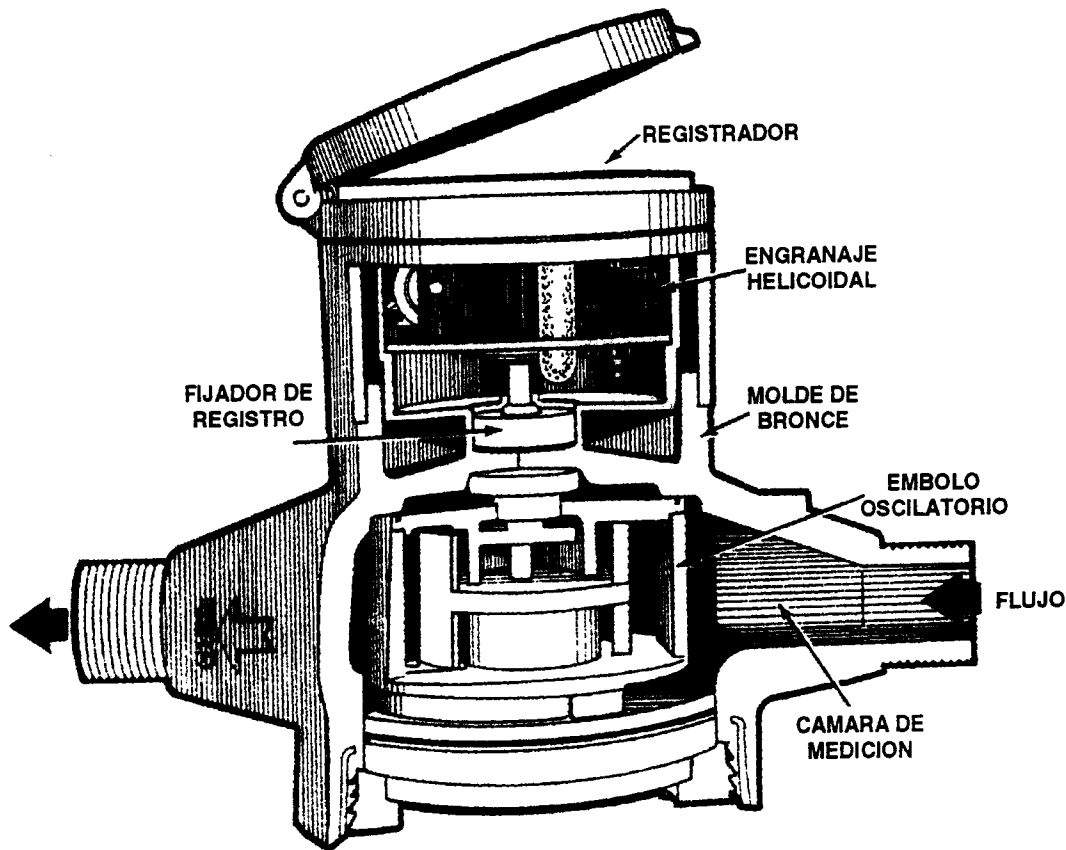
3.5.3 Medidores de ritmo

A diferencia del medidor común de agua, el de flujo mide la tasa de flujo y no su volumen. Este medidor registra las unidades de galones por minuto, galones por hora, pies cúbicos por minuto, etc y se instala en la tubería donde se requiere medir el flujo. Además de medir la tasa de flujo, algunos de estos medidores pueden dar señales relativas a la tasa de gasto.

Por su diseño, muchos sistemas de agua tendrán flujos variables, que pueden producirse a consecuencia de: 1) el flujo de gravedad, 2) sistemas que tienen dos o más bombas de agua que alimentan una línea en común y no siempre operan simultáneamente, y 3) un rendimiento variable de las bombas debido a un cabezal cambiante. Puede resultar más económico usar un sistema de fluoruración cuyo ritmo esté marcado por un medidor en una cañería matriz común, que tener un sistema para cada bomba. Este sistema es generalmente más exacto que una bomba medidora de químicos programada para que se ponga en marcha con una bomba de agua.

Los medidores de ritmo dan una señal que es proporcional a la tasa de flujo. Algunos medidores también cumplen la función de totalizar, que es útil pero no imprescindible. Esta señal proporcional a la tasa de flujo controla el rendimiento de la bomba de inyección de fluoruro, que es directamente proporcional al flujo de agua en la tubería a ser tratada, para mantener así la dosis deseada en todos los tipos posibles de flujo.

Figura 3-16
MEDIDOR DE AGUA RESIDENCIAL TÍPICO



Las bombas de medición de ritmo utilizar por lo general la señal de instrumento análoga standard de 4 a 20 mA de corriente continua [the standard analog 4 to 20 mADC instrument signal] y una señal digital cuya frecuencia es proporcional a la tasa de flujo y digitalmente proporcional al volumen.

Los medidores aquí descritos proporcionan ya sea una señal digital o, con un accesorio, una señal análoga de corriente continua de 4 a 20 mA proporcional al flujo. En este último caso se requiere un convertidor de corriente a frecuencia para convertir la señal análoga en digital en aquellas bombas electrónicas que miden el ritmo. Por lo general los fabricantes de bombas tienen estos convertidores, y en algunos casos se hallan instalados en ciertos modelos de bombas.

Las bombas medidoras electrónicas controladas por uno u otro de los dos mecanismos anteriormente descritos poseen generalmente un rango de control de por lo menos 100 a 1 (Véase la Figura 3-17).

El ritmo de las bombas accionadas por motor puede ser medido con tres métodos distintos. El método más versátil usa un embrague entre el motor y el sistema de reducción del engranaje de la bomba [gear reduction system of the pump]. Este embrague es accionado para dar intervalos controlados de funcionamiento, ya sea con una señal de 4 a 20 mA de corriente continua o una señal digital. Esto proporciona un rango de control hasta de 50 a 1.

El segundo método es con un motor de velocidad variable que puede ser controlado por una señal de 4 a 20 mA de corriente continua, con lo cual la velocidad del motor es proporcional a la de la señal. Esto presenta un rango operacional eficiente de alrededor de 5 a 1 (Véase la Figura 3-18).

Figura 3-17
BOMBA MEDIDORA ELECTRONICA

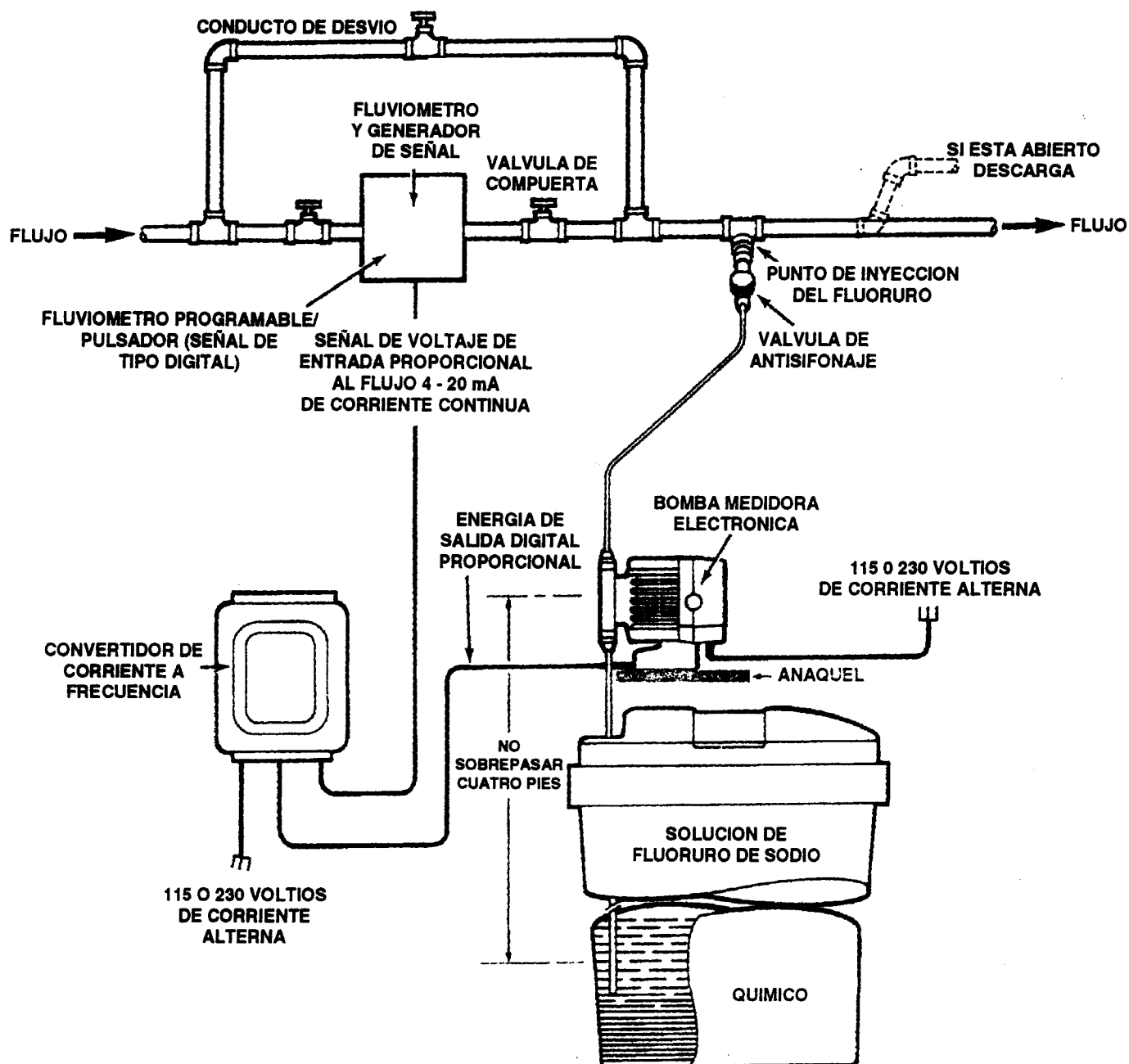
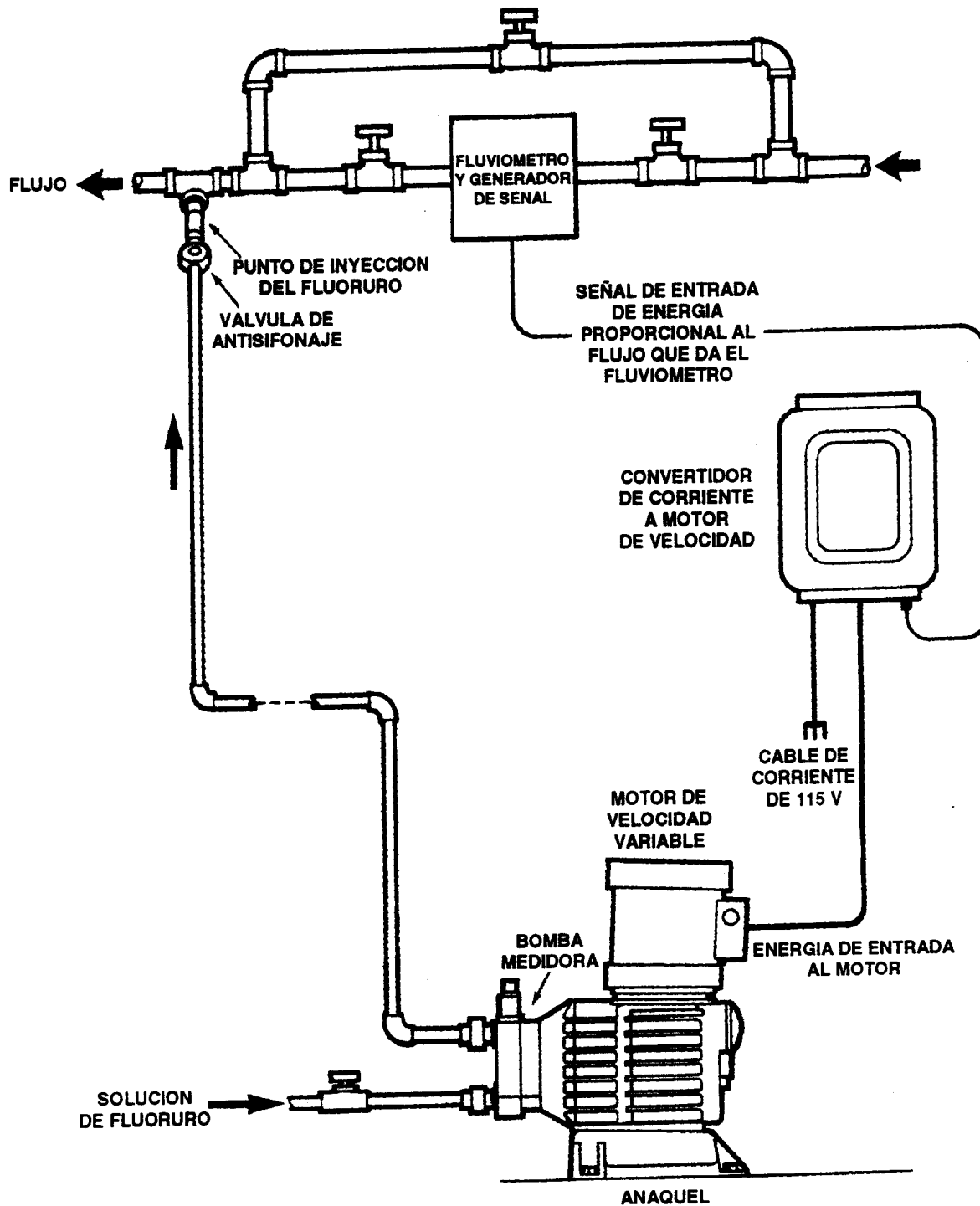
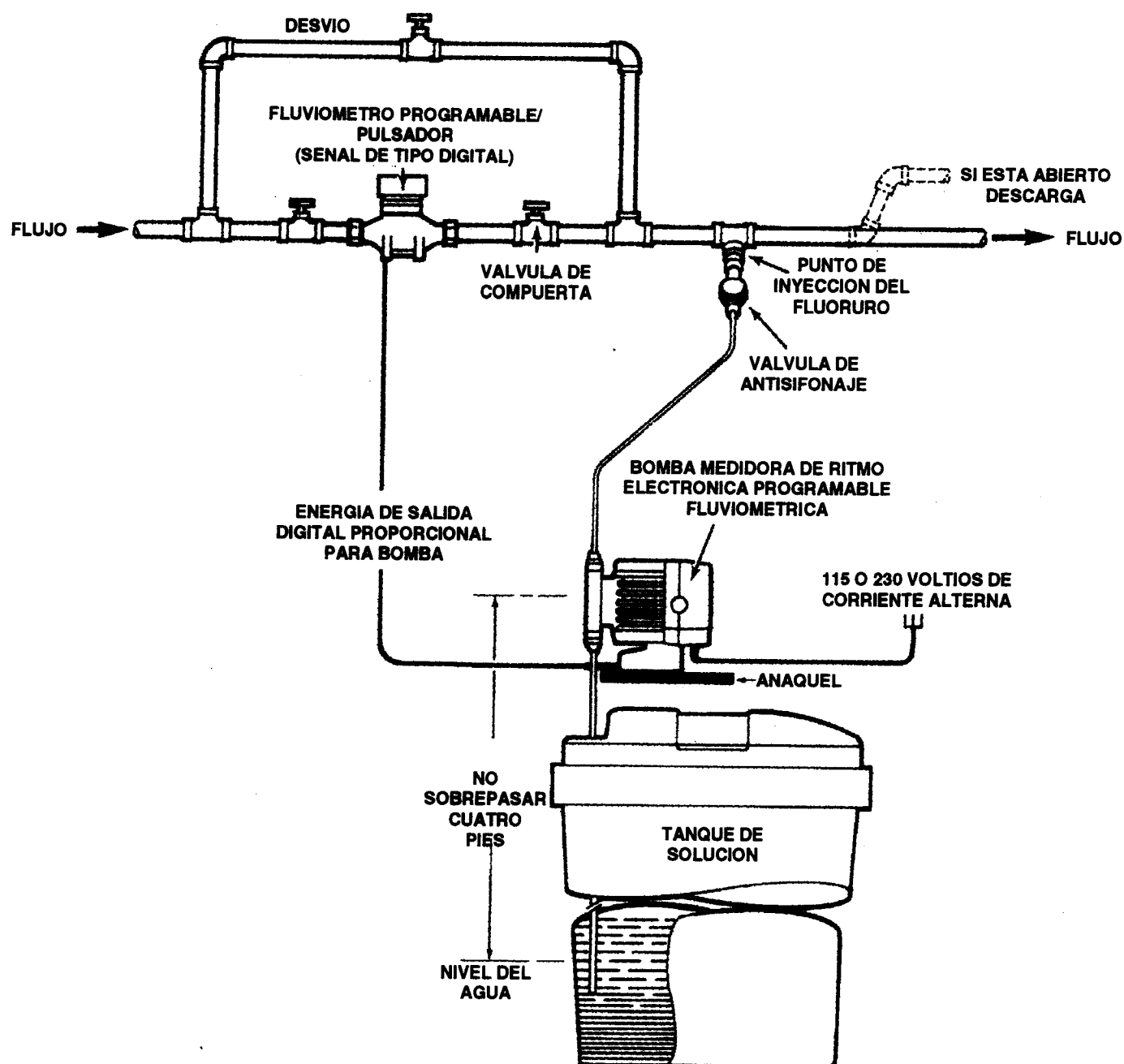


Figura 3-18
CONTROL DE MOTOR DE VELOCIDAD VARIABLE



En muchos sistemas medidores de ritmo pequeños, el medidor de flujo programable de turbina con bomba electrónica medidora es una instalación muy común (Véase la Figura 3-19).

Figura 3-19
MEDIDOR DE RITMO PROGRAMABLE CON SEÑAL DIGITAL



Otro sistema para controlar el rendimiento de las bombas accionadas por motor consiste en variar la longitud del recorrido en forma proporcional a una señal de corriente continua de 4 a 20 mA. Este procedimiento tiene un rango efectivo de 10 a 1. Para rangos mayores se suele combinar el motor de velocidad variable y la longitud del recorrido con el fin de aumentar el rango, pero sale más costoso.

Los medidores deben ser dimensionados según la tasa máxima de flujo y no según el tamaño de la tubería. Esto es importante dado que los medidores tienen rangos de precisión definidos y la tasa de flujo del conducto que se está supervisando tiene que estar dentro de los parámetros del tipo de medidor elegido. Comúnmente se emplean cuatro tipos generales de medidores para dar una señal proporcional a la velocidad de flujo descrita aquí: presión diferencial, velocidad, ultrasónico y electromagnético.

Medidores de presión diferencial : Son los más usados para tasas elevadas de flujo porque se encuentran disponibles en tamaños grandes y su costo es relativamente bajo comparado con el de otros tipos del mismo tamaño. Funcional bajo el principio de que la caída de presión a través del medidor es proporcional al cuadrado de la tasa de flujo. Para medir la presión diferencial y obtener la tasa de flujo se extrae la raíz cuadrada.

Para establecer el ritmo de una bomba medidora de químicos se le debe añadir a este tipo de medidor un dispositivo que da una señal electrónica análoga proporcional a la tasa de flujo. Esta es usualmente la señal standard del instrumento de 4 a 20 mA de corriente continua.

Los medidores de presión diferencial se pueden dividir en diversos tipos:

Los medidores de orificio tienen un costo relativamente bajo, se pueden utilizar a altas tasas de flujo, son fáciles de instalar y no requieren mantenimiento. Entre sus desventajas figuran la necesidad de disponer hasta de 30 diámetros de tubo lineal ascendente y el hecho de que tienen un rango de precisión de sólo 4 a 1.

Los medidores venturi tienen un costo intermedio, se pueden utilizar a altas tasas de flujo, no requieren mantenimiento, pero necesitan 20 diámetros de tubo ascendente, y solamente alcanzan un rango de precisión de 4 a 1.

Los medidores de boquilla de flujo pueden manejar flujos voluminosos con una caída muy baja de la presión a un costo intermedio. Su desventaja es que tienen un rango de precisión de sólo 4 a 1 y necesitan hasta 30 diámetros de tubería lineal ascendente.

Los mediadores de tubo Pilot son simples y se pueden utilizar a altas tasas de flujo con muy poca caída de presión, pero se pueden taponar y tienen un rango de precisión de sólo 3 a 1. Además necesitan 30 diámetros de tubería lineal ascendente.

Los velocímetros se pueden dividir en tres tipos generales: de turbina vertical, de turbina horizontal y de rueda con paletas.

La turbina vertical es la más exacta; tiene rangos de precisión hasta de 125 a 1 y una larga vida útil porque el peso del impulsor es igual a cero en el agua, de manera que se produce poco desgaste. Tienen tasas de flujo y tamaños desde muy bajos hasta medianamente altos y su señal digital es proporcional a las tasas de flujo para medir directamente el ritmo en bombas de medición de químicos

operadas con embrague o electrónicamente. No necesitan ninguna fuente de energía diferente a la que suministra el bajo voltaje de la bomba.

Existen dos tipos de medidores verticales de turbina. Uno da una señal digital proporcional al flujo de un cierre por interruptor de peine, con una posibilidad de 10 diferentes razones preajustadas en la fábrica. El otro tipo da una señal digital proporcional al flujo, es programable por medio de ruedas digitales separadoras, y puede entregar hasta 9999 "ratios". Este tipo es el más versátil y el más fácil de montar para lograr la relación de dosificación deseada.

Los fluviómetros programables de turbina vertical son los medidores preferidos dentro de su rango de flujo por su costo, exactitud y simplicidad. Los medidores de turbina por lo general totalizan y también dan señales para establecer el ritmo de la bomba.

El rango de precisión de la turbina horizontal es más estrecho que el de la turbina vertical y sus rodamientos se desgastan más rápido. También proporcionan tasas de flujo mayores que las turbinas verticales. El principal problema es que no dan una señal para medir el ritmo de una bomba operada electrónicamente o por embrague. La mayoría de los fabricantes de este tipo de medidor también producen un dispositivo que dará una señal de 4 a 20 mA en corriente continua proporcional al flujo. Con esta señal y el convertidor de corriente continua de 4 a 20 mA, las bombas electrónicas y las bombas accionadas por embrague se pueden controlar por la longitud automática del recorrido, o con motores de velocidad variable si se emplean los convertidores intermediarios apropiados. La turbina horizontal requiere una instalación hasta de 10 diámetros de tubería lineal ascendente.

El medidor con rueda de paletas se emplea con flujos elevados, puede establecer directamente el ritmo de una bomba medidora electrónica por señal digital; con los accesorios del caso hace una lectura de tasa de flujo con una señal de corriente continua de 4 a 20 mA y también totalización. El rango de precisión está generalmente alrededor de 10 a 1. Estos medidores tienen que ser calibrados de acuerdo con la instalación, que requiere hasta 30 diámetros de tubería lineal ascendente. Estos son probablemente los medidores preferidos para flujos elevados en donde se pueden proporcionar los criterios necesarios de instalación. Tienen la ventaja de que su costo no aumenta proporcionalmente con el tamaño de la tubería o la tasa del flujo. Una desventaja es que se ven afectados por turbulencias causadas por las asperezas de la tubería.

Los medidores ultrasónicos pueden manejar tasas de flujo muy altas en un rango de precisión de 20 a 1. Requieren hasta 30 diámetros de tubería lineal ascendente. Pueden proporcionar la señal de 4 a 20 mA en corriente continua, pero su costo es elevado y necesitan ser calibrados.

Los medidores electromagnéticos pueden accionar tasas de flujo muy altas y tienen un rango de precisión de 40 a 1. Requieren solamente 5 diámetros de tubería lineal ascendente, pero tienen que ser calibrados y su costo es elevado.

Muchas veces es posible que las plantas de agua tengan ya un medidor, el cual, con los accesorios apropiados, dará la señal standard de 4 a 20 mA de corriente continua que es la básica en muchos medidores de ritmo. La adición de un convertidor de corriente a frecuencia (que se le puede comprar a los fabricantes de bombas electrónicas) realizará una medición directa de ritmo en la mayoría de las bombas electrónicas. Es muy raro que se puedan convertir los medidores existentes a un cierre de cambio utilizable [usable switch closure] en la medición del ritmo de una bomba digital.

La elección del medidor (a excepción del de turbina) requiere de la asistencia técnica de alguien que esté capacitado para especificar el tipo particular a ser elegido, pues en éste manual no se han proporcionado todos los datos necesarios. Los medidores de turbina se pueden escoger con base en los datos proporcionados por el fabricante, tomando en cuenta la tasa de flujo y la pérdida de presión. Los fluviómetros programables y los medidores de cambio de carga con peine de contacto [contacting head reed switch meters] suministrados por los fabricantes de bombas medidoras de químicos generalmente vienen con suficientes datos como para permitir la selección del medidor y la bomba apropiados para proporcionar los rangos de relaciones para las cantidades de necesarias de fluoruro.

Un medidor de ritmo es una pieza de equipo complicada y solamente se debe utilizar en sistemas de fluoruración cuando sea imprescindible. En una planta de agua típica con una sola bomba de pozo que opera a una velocidad fija, el alimentador de fluoruro puede ser conectado eléctricamente a la función de la bomba y no se requiere del medidor de ritmo. Cuando el pozo está en funcionamiento, el flujo de agua es constante y la bomba medidora de fluoruro puede alimentarlo en una proporción constante. Por regla general, el medidor de ritmo sólo se requiere cuando la tasa de flujo que pasa por el punto de inyección varía en más de 15 a 20%.

3.5.4 Rompedores de vacío

El método más simple para impedir una situación potencial de sifonaje de aguas residuales al agua de abastecimiento consiste en colocar un boquete de aire en la tubería. Como a veces es imposible o poco práctico colocar este boquete entoces se instala un dispositivo conocido como rompedor de vacío.

Muchos estados del país exigen que se coloque un rompedor de vacío (sin presión) en las tuberías de agua potable de reemplazo que van a los saturadores de tipo ascendente, a los tanques de solución de los alimentadores en seco, y a las llaves de las mangueras localizadas en la zona de fluoruración. El uso más frecuente en la fluoruración es en los conductos de agua de reemplazo a los saturadores (Véase la Figura 3-20). El rompedor de vacío es diferente a la válvula antisifonaje (contrapresión) de una bomba medidora y no se les debe confundir.

Cuando está en funcionamiento, la presión del agua mantiene cerrado el disco en el rompedor de vacío. Cuando el flujo de agua se detiene, el disco de la válvula cae, con lo cual se abre el respirador atmosférico permitiendo que el aire entre, en vez de arrastrar la solución de fluoruro de vuelta hacia la tubería.

La mayoría de los rompedores de vacío son del tipo atmosférico o sin presión. Por esta razón deben ser instalados después de la última válvula de cierre o válvula de solenoide (corriente hacia abajo) y colocarse 6 pulgadas por encima de la parte superior del nivel de líquido del saturador.

Instale siempre el rompedor de vacío donde sea visible y fácil de limpiar. No lo instale por debajo del agua donde esté sujeto a enfriamiento, fuera de vista, o donde un derrame de agua pueda crear problemas.

Si el rompedor de vacío está funcionando correctamente, la burbujas de aire serán momentáneamente visibles desde el fondo del saturador de tipo ascendente durante cada ciclo de llenado. Si no se ven las burbujas, es seguro que el rompedor de vacío necesita mantenimiento o ser reemplazado de inmediato.

Figura 3-20
ROMPEDOR DE VACIO

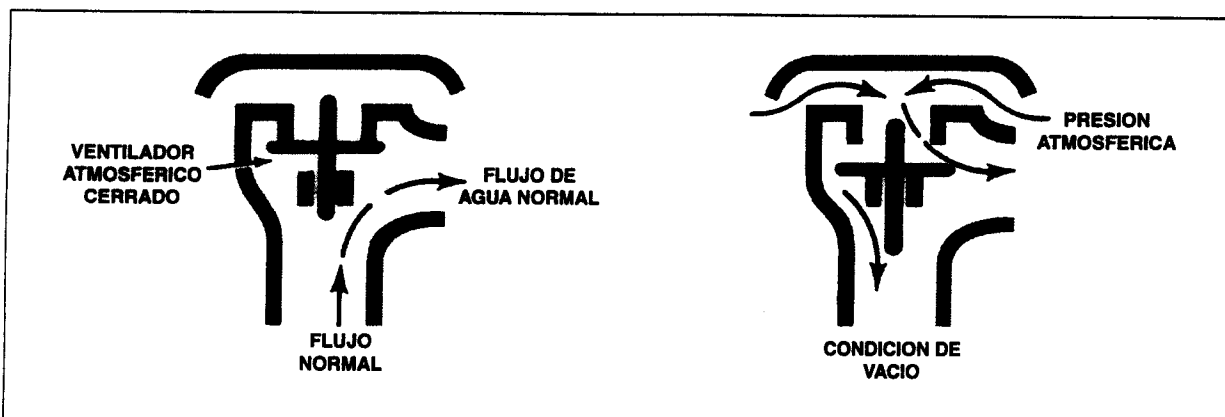


Figura 3-21
VALVULA DE ANTISIFONAJE (MONTADA EN BOMBA)

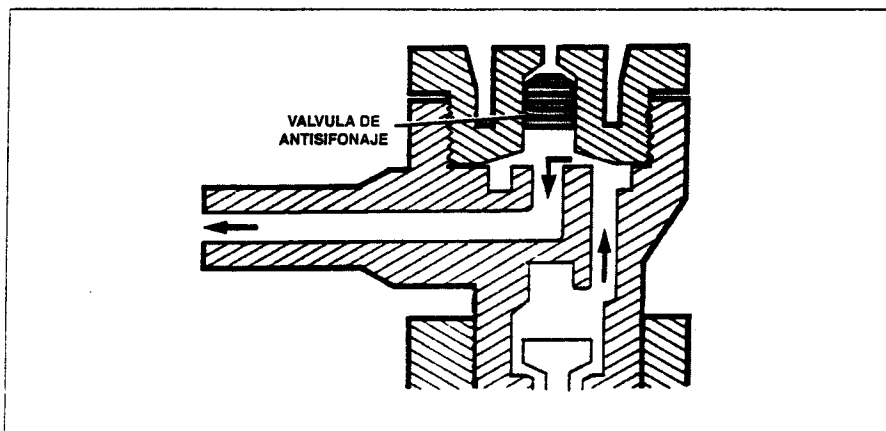
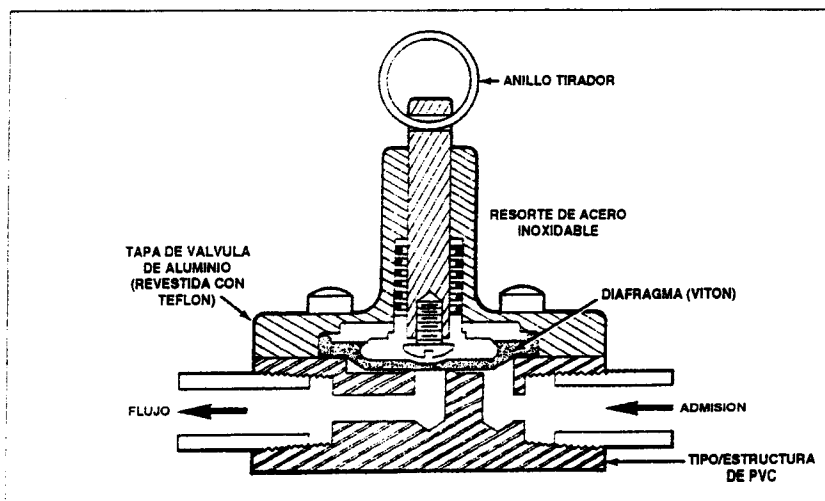


Figura 3-22
VALVULA DE ANTISIFONAJE (EN LINEA)



El rompedor de vacío es importante para proteger adecuadamente la conexión entre la tubería de agua y la de desagüe y no se debe quitar. Mantenga un rompedor de vacío de repuesto a mano, inspeccione el disco anualmente para verificar su nivel de desgaste y reemplácelo tal y como lo indica el fabricante.

3.5.5 Valvulas antisifonaje

En los EE.UU. la mayoría de los estados requieren que se coloque una válvula antisifonaje o un resorte en el lado de descarga de la bomba medidora de fluoruro siempre que se vaya a añadir una solución a cualquier tubería, canal o depósito de agua clarificada. De todo el equipo auxiliar, la válvula antisifonaje es probablemente la pieza más importante desde el punto de vista de la seguridad (Véanse las Figuras 3-21 y 3-22). La ausencia de una válvula de antisifonaje ha causado diversas sobrealimentaciones que se pudieron haber evitado. Como ya se dijo, la válvula de antisifonaje es diferente a un rompedor de vacío del tipo atmosférico o sin presión.

El propósito de la válvula de antisifonaje es prevenir una sobrealimentación potencial de fluoruro, situación que podría ocurrir cuando la bomba medidora no está bombeando o está desenchufada. Esta válvula previene el sifonaje dinámico "marcha a rueda libre" ["free wheeling"] y el paso del flujo [flow-through] cuando la presión de succión excede la descarga de presión. Instale siempre una válvula de antisifonaje en el lado de descarga (presión) del cabezal de la bomba medidora donde sea visible y fácil de limpiar. Instale también una válvula de antisifonaje en el punto de inyección del fluoruro, si este punto está bajo presión. No la coloque donde vaya a quedar bajo el agua o fuera de vista. La válvula antisifonaje es accionada por un resorte que se comprime cuando el diafragma de la bomba hace un recorrido. Habitualmente el resorte se halla protegido por un diafragma de hialón o teflón. Cuando se usa ácido fluorosilícico, el resorte debe estar revestido o protegido por un diafragma. La válvula antisifonaje tipo diafragma es mejor que la revestida porque en ella es el resorte mismo el que está protegido de la solución de fluoruro. Algunas válvulas de antisifonaje se pueden ajustar girando un tornillo y otras vienen preajustadas desde la fábrica. La mayoría están ajustadas en un rango de 15 a 20 ppc. Algunas válvulas antisifonaje se hallan ya instaladas dentro del cabezal de la bomba, pero por lo general se las tiene que adquirir separadamente. Verifique siempre con el fabricante o distribuidor de la bomba si ya trae la válvula antisifonaje.

Anualmente se debe examinar el resorte de la válvula para verificar su desgaste y reemplazarla tal y como lo indica el fabricante. Asimismo es necesario disponer de una válvula de repuesto.

3.5.6 Tanques de día

Un tanque de día no es otra cosa que lo que su nombre indica: un tanque que almacena el suministro de químico de un día para el tratamiento del agua. Es un medio conveniente y a menudo necesario para separar el suministro de la solución de fluoruro que será alimentada durante un día o turno en la planta de agua. Algunas veces estos tanques son denominados tanques de 30 horas. En ocasiones el tanque de día almacena la solución suficiente para una semana, pero esto no es recomendable.

El tanque de día es necesario cuando se alimentan grandes cantidades de ácido fluorosilícico, especialmente si éste se recibe y almacena en un tanque grande (almacenamiento en volumen). Con el fin de tener un registro del peso del ácido alimentado se procede a bombear o sifonear una pequeña cantidad del ácido dentro de un pequeño tanque montado en una balanza de plataforma; es desde este tanque de día que se alimenta el ácido fluorosilícico al sistema de agua.

El tipo de material en que se fabriquen estos tanques de día estará determinado por el químico que se vaya a utilizar. Por lo general los hay de tres tipos: de acero revestidos de caucho, de fibra de vidrio y de polietileno. Los tanques de día de polietileno son los más usuales en los Estados Unidos, pero es necesario protegerlos de la intensa radiación solar. La luz solar fuerte hará que el plástico se “envejezca” y que eventualmente se agriete. El color negro reduce el efecto de la luz solar, pero la mayoría de los tanques de día de plástico son fabricados de polietileno blanco translúcido.

Los tanques de día vienen en formas variadas pero los mejores para la fluoruración son los cilíndricos con fondo plano y sin uniones de soldadura. La tapa debe tener un empaque con reborde y ser hermética. Este tanque debe estar montado sobre una balanza y estar provisto de graduaciones o un calibrador para poder medir los volúmenes aproximados.

En los sistemas que emplean ácido fluorosilícico y almacenaje en volumen, el tanque de día debe estar sellado y desahogado hacia el exterior. La tapa del tanque de día debe estar sellada alrededor de los bordes (o reborde) y en las dos aberturas de donde salen el conducto de desahogo y el conducto de succión de la bomba. Frecuentemente estas aberturas se dejan sin sellar. Si el tanque del día está convenientemente ventilado no se necesita un conducto de sobreflujo. En Sección 5.5.2 véase la caja de interrupción, una aplicación especial del tanque de día.

3.5.7 Mezcladores

Cuando se preparan las soluciones ya sea de fluoruro de sodio en forma manual, de ácido fluorosilícico diluido o a partir del químico que proviene de un alimentador en seco, es particularmente importante que la solución se homogénea. Las soluciones grumosas son inaceptables en la alimentación de fluoruros, ya que si la solución trae compuestos no disueltos de fluoruro se corre el riesgo de que su concentración sea más elevada que la óptima. Si el compuesto de fluoruro no se disuelve, la concentración será inferior a la óptima. El material no disuelto puede asimismo producir un atoramiento del equipo y de otros dispositivos que tienen pequeñas aberturas y, si se permite que se acumule, el desperdicio es considerable.

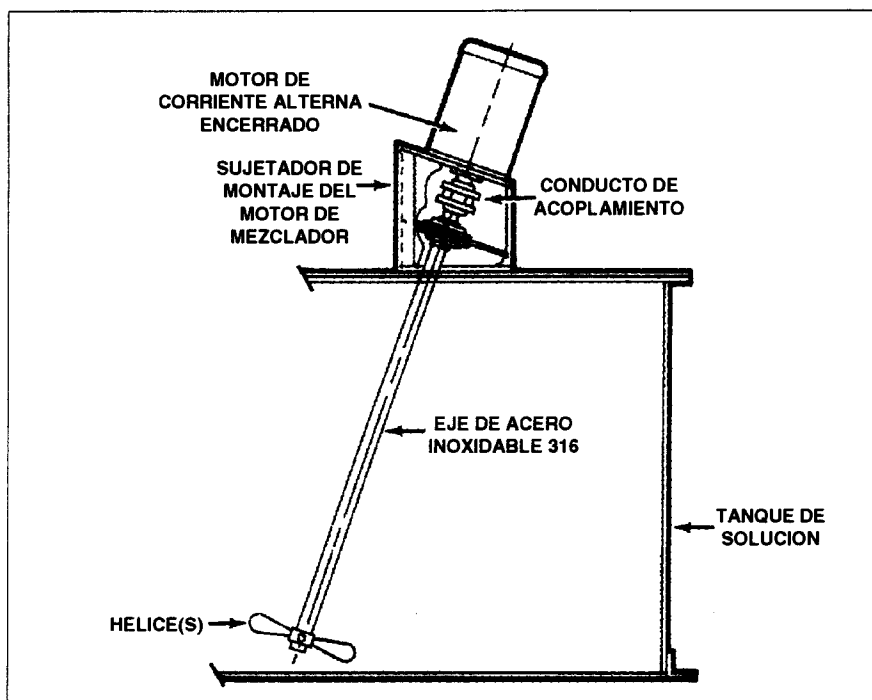
En la fluoruración se emplean comúnmente dos tipos de mezcladores: el mezclador en línea y el pequeño mecánico de alta velocidad. El mezclador en línea se usa en el nivel del agua de la cañería matriz para asegurar una mezcla apropiada de la solución de fluoruro antes de que se consuma el agua potable. El mezclador mecánico se usa en tanques de solución de alimentadores en seco y en la preparación manual de las soluciones fluoruradas.

Cuando se preparan en forma manual, es imperativo que las soluciones estén completamente mezcladas. Incluso cuando se está diluyendo una solución, como ocurre con la preparación del ácido fluorosilícico, las gravedades específicas tienden a estratificarse, lo cual puede resultar en que se administre o bien una solución demasiado concentrada o bien una muy aguada. Aunque el fluoruro de sodio es completamente soluble, hasta las soluciones más diluidas requieren de suficiente agitación. Las materias no disueltas se posarán en el fondo del tanque de solución al tiempo que se administra una solución demasiado diluida; aun si la solución fuerte que se ha formado en el piso del tanque se disuelve gradualmente, tenderá a permanecer en su propio estrato.

Aunque para la preparación manual de una solución diluida en forma óptima es suficiente contar con una paleta acompañada de suficiente “aceite en el codo” (mezcla manual), es preferible utilizar un mezclador mecánico. Estos vienen en diversos tamaños, con ejes y propulsores de diversos materiales. Un mezclador fraccionado en caballos de fuerza (1/2 a 1/3 de hp.) con un eje de acero inoxidable 316

y un propulsor será suficiente para soluciones de fluoruro de sodio o de fluorosilicato de sodio. El ácido fluorosilícico requerirá un mezclador semejante con un eje y propulsor hecho de una aleación resistente a la corrosión o revestido de PVC (Véase la Figura 3-23).

Figura 3-23
MEZCLADOR MECANICO DE ALTA VELOCIDAD TIPICO



La disolución del fluorosilicato de sodio en el tanque de solución de un alimentador en seco se puede realizar con un mezclador a chorro, pero nuevamente se recomienda uno mecánico.

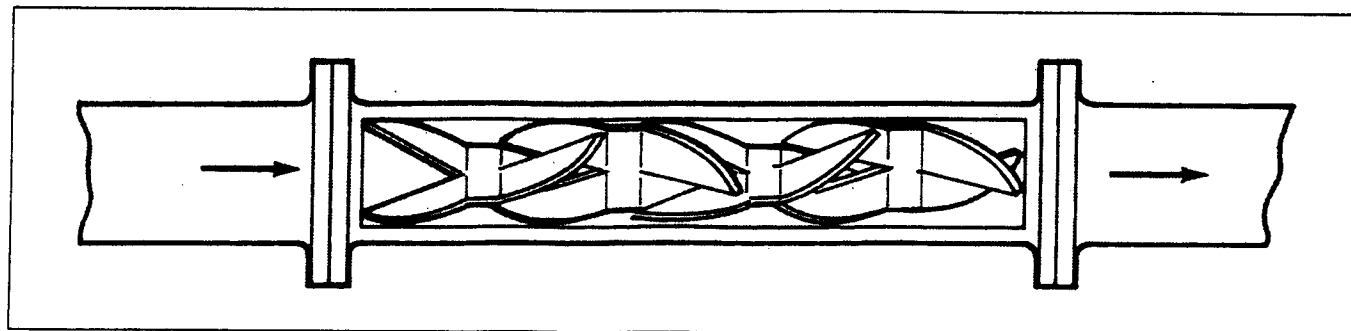
Dada la baja solubilidad de fluorosilicato de sodio, especialmente en agua fría, y el limitado tiempo de detención disponible para disolver el químico, es indispensable agitar violentamente para impedir la descarga de una solución grumosa. Los materiales de fabricación preferidos son: el acero inoxidable 316 o el acero revestido de PVC. Una advertencia: si la mezcla es demasiado fuerte, el agua puede salpicar dentro del mecanismo alimentador y causar problemas de taponamiento.

El mezclador en línea (Véase la Figura 3-24) es un aparato sencillo, inmóvil, elaborado mediante elementos geoméricamente dispuestos que se halla dentro del tubo o tubería. El agua que fluye proporciona la energía necesaria para la mezcla. (En un mezclador en línea no hay piezas móviles). La mayoría de los mezcladores en línea son muy eficientes y experimentan muy poca pérdida de carga. Se les consigue en tamaños de : de pulgada a 6 pies en diámetro. El material de fabricación incluye acero inoxidable, acero al carbono, fibra de vidrio y PVC. Para la fluoruración por lo general se recomienda el mezclador hecho de acero inoxidable 316.

Los mezcladores en línea necesitan muy poco mantenimiento. Es por esto que se pueden instalar en forma subterránea o en otros lugares poco accesibles. Los mezcladores en línea se requieren en aquellos puntos donde se necesita una adecuada mezcla del compuesto químico de fluoruro, pues están cerca del punto de inyección. Los CDC recomiendan utilizar un mezclador en línea si el primer

usuario del servicio de acueducto se encuentra a 100 pies o menos del punto de inyección de fluoruro y no hay ningún tanque de almacenaje ubicado antes de la llegada del tubo a su residencia. Esta es una distancia mínima, suponiendo que las válvulas y curvaturas en el conducto son normales.

Figura 3-24
MEZCLADOR EN LINEA TÍPICO

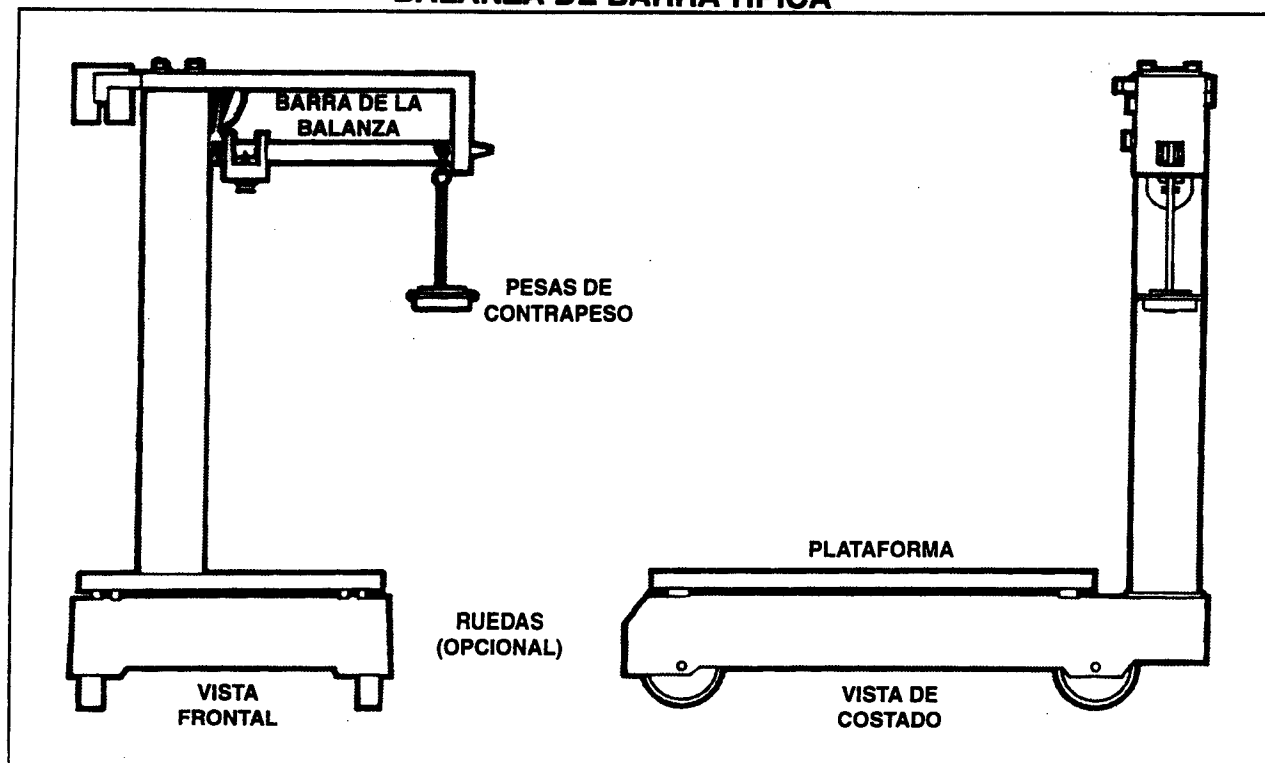


3.5.8 Balanzas

En toda instalación de fluoruración, excepto para las que funcionan con saturadores de fluoruro de sodio, se necesitan balanzas para pesar la cantidad de solución alimentada, o para pesar la cantidad de compuesto de fluoruro en seco o ácido fluorosilícico que entrega el alimentador apropiado.

El tipo de balanza puede variar — desde una doméstica pequeña para pesar una o dos libras de fluoruro de sodio para preparar la solución — a una compleja con un mecanismo incorporado. Por lo general se trata de balanzas de balancín, balanzas con cuadrante (manómetro) y balanzas de lectura digital (muy costosas). Las más usadas son las de balancín con plataforma. A menudo se las denomina, erróneamente, balanzas de plataforma (Véase la Figura 3-25).

Figura 3-25
BALANZA DE BARRA TÍPICA



Sobre la plataforma de las balanzas de balancín se puede colocar toda una bombona de ácido, un tanque de solución o un alimentador volumétrico en seco lleno. Aunque las balanzas se pueden diseñar para aplicaciones específicas (como las suministradas por fabricantes de alimentadores volumétricos en seco), en muchos casos es perfectamente aceptable utilizar una balanza ordinaria como las que venden en las ferreterías. Es posible que sea necesario hacer algunas modificaciones menores --como quitar ruedas o rotar el brazo-- pero mientras tengan la suficiente capacidad y sensibilidad, no hay razones para que no se las emplee. Las únicas consideraciones serias son la capacidad y la sensibilidad. Las balanzas deben tener la capacidad de pesar el tanque y su contenido o el alimentador volumétrico y su tolva cuando estén llenos. Para los alimentadores en seco la medición a la libra más próxima es lo adecuado. El ácido fluorosilícico debe ser pesado a la 2 libra más cercana. En las balanzas pequeñas que se usan para medir el fluoruro de sodio cuando se prepara la solución en forma manual es suficiente la sensibilidad a la onza más próxima. Generalmente se recomienda una balanza para un mínimo de 1.000 libras por que está mejor fabricada. La vida útil de una buena balanza de balancín es de aproximadamente 15 años.

No es común que se presenten problemas cuando se efectúa el montaje de un equipo en la balanza de balancín, excepto cuando existe una conexión con un tubo de agua o conducto de evacuación. Todas estas conexiones deben ser lo suficientemente flexibles como para permitir que la balanza opere adecuadamente. Esta conexión flexible debe ser horizontal para obtener mejores resultados.

3.5.9 Otros accesorios

Uniones

Las uniones son un tipo de accesorios de plomería que se usan para juntar tuberías que será necesario desconectar posteriormente para efectos de mantenimiento o reparación. Las uniones ahorran tiempo y dinero en tanto hacen posible sacar o desconectar los accesorios para efectos de reparación o reemplazo.

Las uniones se pueden fabricar de muchos materiales, incluidos el bronce o PVC, y deben ser compatibles con el químico de fluoruro que fluye por la tubería. El uso de estas uniones se recomienda especialmente en el caso del saturador porque este equipo debe ser sacado, drenado y limpiado con más frecuencia que otros sistemas de fluoruración. El proceso de limpieza requiere que se desmonten las siguientes partes: el tubo de sobreflujo, el conducto sumergido de agua de reemplazo al saturador de flujo ascendente, y la boca de entrada del conducto de agua de reemplazo al saturador. Todas estas conexiones requieren uniones.

Otros lugares a considerar para usar uniones son las conexiones a los suavizadores, los medidores pequeños de agua, y los impeditores de contraflujo por presión reducida. Cuando se utilizan tuberías de plástico en un conducto de reemplazo del saturador se deben incluir uniones.

Coladores

Las válvulas de retención de la bomba, los impeditores de contraflujo de presión reducida y otras piezas del equipo son altamente susceptibles a ensuciarse y propiciar otros tipos de contaminación del agua. Para prevenir la acumulación de suciedad y de sedimento -- lo cual puede causar el mal funcionamiento del equipo-- se recomiendan los coladores en forma de "Y" para la mayoría de los conductos de plomería del agua. Los coladores en "Y" se deben instalar en la dirección del flujo. Es fácil cometer el error de instalarlos en contravía. Los coladores usan generalmente una malla de una

dimensión de cien (0,01 de pulgada al cuadrado) en los sistemas de fluoruración. Es conveniente tener uno de repuesto.

Contadores de tiempo

El contador de tiempo que se usa en la fluoruración es básicamente un mecanismo de relojería, usualmente eléctrico que pondrá en operación a una bomba eléctrica una vez recibida la señal. Con frecuencia estos contadores se usan conjuntamente con contactadores de medidores de agua para hacer funcionar los alimentadores operados por motores eléctricos. De esta forma, los contadores de tiempo sirven para extender el impulso recibido desde el contactador.

El contador de tiempo también se utiliza en aquellas instalaciones donde el ajuste mínimo confiable del alimentador es aún demasiado elevado para el flujo del agua. En estos casos, el contador de tiempo se puede ajustar para entregar una tasa de la alimentación de tiempo completo. Por ejemplo, al ajustar el contador de tiempo para que opere el alimentador en un 75 % en cada período de 10 minutos, la tasa de alimentación será solamente un 75 % de lo que se obtiene sin el uso del contador.

Una advertencia: El uso de un contador de tiempo proporcional en tasas bajas, especialmente en ajustes donde el intervalo es prolongado, puede traer como consecuencia niveles cíclicos de fluoruro. Si el tiempo de detención es insuficiente en depósitos de agua clarificada o tuberías antes que el agua llegue a los consumidores, la acción de activación y desactivación del alimentador resultará en lecturas alternas de fluoruro muy altas o muy bajas. El remedio, que no sea usar una bomba más pequeña de medición, es hacer que el intervalo de tiempo proporcional sea lo más breve posible. Pero lo mejor es no usar contadores de tiempo en la fluoruración del agua.

Alarma

A fin de prevenir la subalimentación o incluso la pérdida de alimentación se pueden instalar sistemas de alarma ya sea en la solución o en los sistemas de alimentación en seco. La alarma alerta al operador cuando el nivel de la solución en el tanque de día es bajo o cuando se requiere colocar un nuevo saco de compuesto químico en seco en la tolva. La alarma también puede indicar que el suministro de agua al saturador o al tanque de disolución se ha detenido o ha disminuido. Las alarmas están equipadas con interruptores de presión.

Interruptores de flujo

En las instalaciones de fluoruración es importante que la bomba medidora de fluoruro opere solamente cuando el agua está fluyendo. Esto es especialmente cierto en los sistemas de fluoruración de los colegios. Los CDC recomiendan que se instale un dispositivo adicional de seguridad, el interruptor de flujo, con la bomba del pozo y la bomba medidora de fluoruro (Véase el Capítulo 6).

Un interruptor de flujo es un dispositivo que se instala en una tubería matriz de agua que va a activar un interruptor eléctrico cuando el agua fluye a través del conducto. Cuando no hay flujo alguno, el interruptor eléctrico quedará abierto. En la fluoruración del agua se utilizan dos interruptores de flujo: los de accionamiento mecánico y los de accionamiento térmico. En los Estados Unidos ambos se usan en los sistemas de fluoruración escolares.

El interruptor mecánico de flujo tiene una paleta o rueda dentro del conducto de agua, como se ve en la Figura 3-26. Cuando hay flujo la paleta (rueda) cerrará un contacto eléctrico. Este tipo de interruptor de flujo sirve para tuberías desde : de pulgada hasta 16 pulgadas de diámetro. Este es un elemento que requiere mantenimiento y cuidado regular. El problema más común es la corrosión o el quiebre de la paleta.

El interruptor de flujo accionado térmicamente es un sensor de flujo diferencial de temperatura. Detecta las variaciones en la velocidad del flujo de agua. La cabeza sensora consta de tres depósitos térmicos de acero inoxidable (dos pares igualados de sensores resistivos de temperatura [uno activo y el otro de referencia] y un elemento calórico de baja energía en el tercer depósito térmico). El elemento calórico está localizado de manera que caliente el sensor activo de temperatura. Esto crea una diferencia térmica entre los sensores activo y de referencia. Los cambios en la velocidad de flujo producen cambios en el diferencial de temperatura. Este último se convierte electrónicamente en una señal inversamente relacionada al flujo (Véase la Figura 3-27).

El interruptor de flujo activado térmicamente es mucho mas costoso que el interruptor mecánico de flujo, pero no exige tanto mantenimiento.

El tiempo de respuesta es muy rápido, entre 2 y 50 segundos, dependiendo del punto de ajuste del interruptor. Puede operar casi con cualquier presión de agua (hasta 2.000 lpc.) y puede detectar tasas de flujo hasta de 0,01 pies/seg.

Interruptores de presión

Estos interruptores son dispositivos simples que se instalan para detectar cambios en la presión. En un conducto de agua, el cambio de presión del líquido hará que el diafragma se doble y así abrirá o cerrará al contacto eléctrico.

Los interruptores de presión se utilizan comúnmente en sistemas individuales de pozo como los que predominan en las escuelas rurales. Si la escuela está fluorurada, el interruptor de presión debe estar eléctricamente engranado con la bomba medidora de fluoruro. Como medida adicional de seguridad, algunos estados han recomendado que el interruptor de presión se instale en línea y eléctricamente en serie con un interruptor o interruptores de flujo para evitar una sobrealimentación de fluoruro. Los CDC creen que esta protección adicional es innecesaria.

Figura 3-26
INTERRUPTOR MECANICO DE FLUJO TIPICO

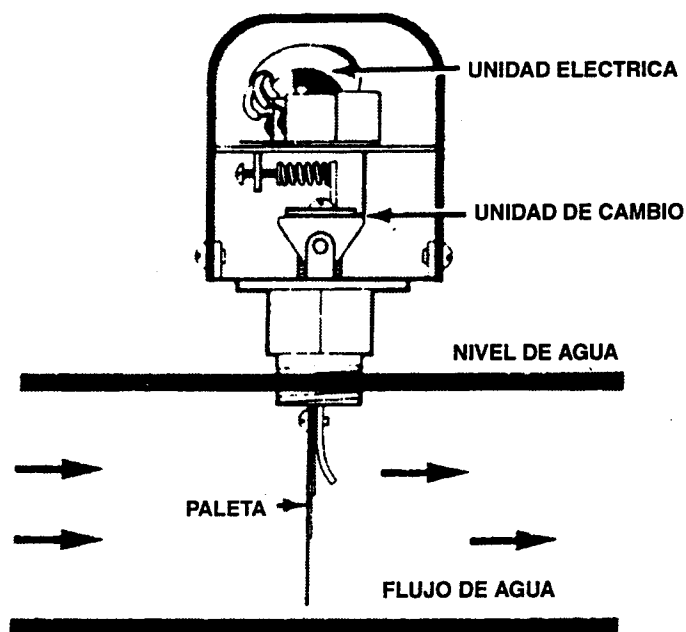
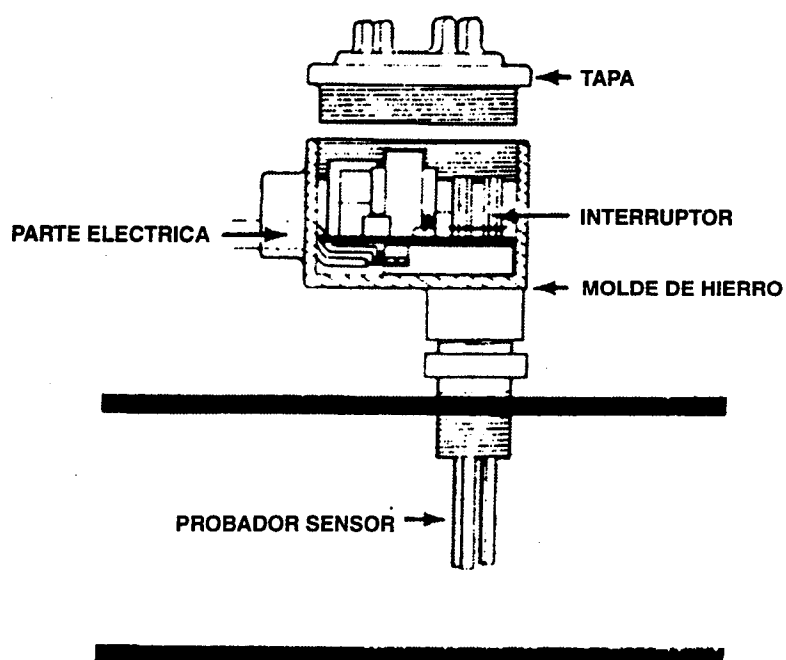


Figura 3-27
INTERRUPTOR TIPICO DE FLUJO ACCIONADO TERMICAMENTE



CAPITULO CUATRO

DISEÑO DE SISTEMAS DE FLUORURACION

4.1 Introducción

Los aspectos técnicos individuales de la fluoruración han sido ya tratados (los químicos del fluoruro, el equipo de fluoruración y el equipo auxiliar); sin embargo, el diseño de un sistema específico de fluoruración requiere de un conocimiento adicional. Es necesario saber cómo calcular las tasas de alimentación del fluoruro, los costos aproximados de los sistemas de fluoruración, y cómo escoger los químicos y el equipo apropiado. Todos estos factores están relacionados con el diseño apropiado de los sistemas de fluoruración y serán tratados más adelante. También existen otros factores a considerar durante esta etapa de diseño. Entre ellos figuran el tipo de personal operacional disponible, y el personal responsable por el suministro de agua del estado, así como los operadores de la planta de agua.

4.2 Sistemas de fluoruración: cálculos

4.2.1 Generalidades

Previo al funcionamiento de cualquier sistema de fluoruración se deben realizar algunos cálculos básicos. Si bien estos cálculos pueden hacer de diversas formas, los resultados tiene que ser los mismos. En este Manual se describe uno de los métodos de cálculo. Ervin Bellack usa otro en su "Manual Técnico de Fluoruración". En los EE.UU., muchos estados tienen sus formas particulares de hacer los cálculos básicos y por lo general todas son correctas. Algunos estados emplean atajos, los ábacos tales como, o constantes para obtener las mismas respuestas. La mayoría de los ingenieros y técnicos del país desarrollarán su propio estilo. El presente material se ofrece como una de las vías para llevar a cabo los cálculos básicos de la fluoruración.

4.2.2 Nivel óptimo de fluoruro

Para encontrar el nivel óptimo de fluoruro se tiene que conocer el promedio anual de la temperatura atmosférica máxima del día. Llame a la oficina metereológica de Estados Unidos para obtener los datos de temperatura de los últimos cinco años. El promedio de estas cinco temperaturas le dará el promedio anual de la temperatura atmosférica máxima diaria para cinco años.

Con esta información se pueda establecer la concentración óptima de fluoruro en el agua potable con el Cuadro a continuación:

Promedio anual de tem. atmosférica máxima diaria - F*	Concentración recomendada de fluoruro en miligramos por litro
50,0 - 53,7	1,2
53,8 - 58,3	1,1
58,4 - 63,8	1,0
63,9 - 70,6	0,9
70,7 - 79,2	0,8
79,3 - 90,5	0,7

* Con base en los datos de temperatura obtenidos por un mínimo de cinco años.

En la mayoría de los estados los funcionarios responsables por los programas de agua potable desearán saber cuál debe ser el nivel óptimo de fluoruro para cada sistema de suministro de agua potable. Para las temperaturas por debajo de 50 grados use 1,2 mg/L, y para temperaturas superiores a 90,5 grados use 0,7 mg/L.

4.2.3 Dosificación

La unidad en que se expresa la dosis, miligramos por litro, se usa en el trabajo de laboratorio para indicar concentraciones muy pequeñas. Es una relación peso/volumen. Miligramos por litro (mg/L) y partes por millón (ppm) son equivalentes siempre y cuando el líquido usado tenga una densidad (gravedad específica) de 1,0 gramos por centímetro cúbico (la gravedad específica del agua es 1,0). En este Manual los términos ppm y mg/L se usan indistintamente. Mientras mg/L es el término preferido, ppm se utiliza en muchos ejemplos por tradición o para mayor claridad.

La dosificación se define como la cantidad de químico de fluoruro que se debe añadir para obtener el nivel óptimo de fluoruro en el agua potable.

La dosificación expresada como miligramos por litro (mg/L) o partes por millón (ppm) se obtiene restando el nivel de fluoruro presente en forma natural del nivel de fluoruro deseado. Por ejemplo, si el nivel de fluoruro deseado es 1,2 mg/L y el nivel de fluoruro natural en el agua a ser fluorurada es de 0,2 mg/L, la dosificación es:

$$\begin{aligned}\text{Dosificación (mg/L)} &= \text{Nivel óptimo (mg/L)} - \text{Nivel natural (mg/L)} \\ \text{Dosificación (mg/L)} &= (\text{mg/L}) = 1,2 \text{ mg/L} - 0,2 \text{ mg/L} \\ \text{Dosificación} &= 1,0 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

4.2.4 Tasa maxima de bombeo (capacidad)

Existe usualmente cierta confusión sobre los términos usados para describir el caudal promedio en el diseño de los alimentadores de fluoruro. En este Manual utilizaremos: tasa máxima de bombeo o capacidad de la planta, la tasa promedio de producción diaria y la producción real por día.

La tasa máxima de bombeo o capacidad de la planta es la cantidad máxima de agua que se puede producir. La capacidad de una planta de agua puede ser medida en galones por minuto (gpm) o millones de galones por día (MGD). La capacidad de la planta es una cantidad fija que está limitada por factores tales como el tamaño de las bombas, área de los filtros, etc. (En algunas instancias hay una diferencia entre la tasa máxima de bombeo y la capacidad de la planta).

Es importante observar que el tamaño de un alimentador de fluoruro está basado en tasa máxima de flujo en el punto de inyección, denominado tasa máxima de bombeo o capacidad de la planta en este Manual.

En esta tasa máxima de bombeo o capacidad de la planta la que se debe usar para determinar la tasa de alimentación de fluoruro. El fluoruro se debe añadir en la proporción correcta para elevarlo al nivel óptimo, sin tener en cuenta el número de horas por día en que la planta está se halla operando, dado que el alimentador de fluoruro estará funcionando únicamente cuando hay un flujo en el punto de inyección.

La tasa promedio de producción diaria es la cantidad promedio de agua producida diariamente la tasa promedio de producción de una planta en MGD se puede utilizar para estimar los costos de los químicos. La tasa promedio de producción diaria de una planta de agua es por lo general significativamente inferior a la capacidad de la planta.

La producción diaria real es la cantidad de agua realmente tratada o producida durante un período de 24 horas. Esta se usa para determinar la dosificación calculada. Existe por lo general una diferencia entre la tasa máxima de bombeo o capacidad de la planta y la cantidad real de agua que una planta trata cada día. Una planta puede operar a una capacidad de aproximadamente 700 gpm o 1,0 MGD; sin embargo, si la planta sólo funciona 12 horas diarias, tratará solamente 0,5 MGD. En este caso, la capacidad sería 1 MGD y la producción real diaria sería de 0,5 MGD.

En términos más simples, el valor de la producción en gpm se puede convertir a MGD cuando se multiplica por el número de minutos en un día. (Observe: gpd = galones por día)

$$700 \text{ gpm} \times 1440 \text{ minutos/día} = 1.008.000 \text{ gpd}$$

$$1.008.000 \text{ gpd} \div 1.000.000 = 1.008 \text{ MGD}$$

4.2.5 Pureza de los químicos y disponibilidad en concentraciones (AFI)

Se sabe con certeza que el ión fluoruro es el que proporciona los beneficios dentales. Hoy en día se utilizan diversos compuestos químicos que forman iones de fluoruro en una solución de agua y también cumplen con las normas de calidad del agua. En cada químico, el ión fluoruro está unido a otros químicos tales como sodio, sílice, etc. Es por ello que cuando estos productos se disuelven en agua, sólo una porción está disponible como ión fluoruro. Los químicos para fluoruración que suministran los fabricantes no son 100% puros. El siguiente Cuadro muestra la concentración de ión fluoruro disponible (IFD) y es la pureza más común para los tres productos químicos comúnmente usados para fluoruración de los sistemas de agua:

Producto químico	Fórmula	Pureza %	Concentración de ión fluoruro disponible (IFD)
Fluoruro de sodio	NaF	98,0	0,452
Fluorosilicato de sodio	Na ₂ SiF ₆	98,5	0,607
Acido fluorosilícico	H ₂ SiF ₆	23,0	0,792

Cuando se multiplica la concentración disponible de ión por la pureza química, el producto representa la porción real del químico disponible como ión fluoruro después de que se disuelve en agua. Por ejemplo, el fluoruro de sodio contiene 45 % y tiene una pureza comercial de 98 % para rendir:

$$\begin{aligned} \% \text{ de fluoruro disponible} &= F - x \% \text{ de pureza comercial} \\ \% \text{ de fluoruro disponible} &= 0,45 \times 0,98 \\ \% \text{ de fluoruro disponible} &= 0,44 \end{aligned}$$

En los cálculos que aparecen de aquí en adelante, la concentración de ión fluoruro disponible se abrevia como IFD.

4.2.6 Tasa de alimentación del fluoruro

El ajuste del nivel de fluoruro en un suministro de agua a un nivel óptimo se realiza agregando la concentración apropiada de un químico del fluoruro en una proporción coherente. Como se mostró previamente para calcular la tasa de alimentación de fluoruro para cualquier alimentador en términos de libras de fluoruro por día se necesita determinar la dosificación, la tasa máxima de bombeo (capacidad), la pureza química y la concentración disponible de ión fluoruro.

La fórmula de la tasa de alimentación de fluoruro es una ecuación general usada para calcular la concentración de un químico agregado al agua. Esta se aplicará para todos los químicos fluorados excepto cuando se trata del fluoruro de sodio usado en un saturador. (Nótese: Como se afirmó en la Sección 5.4.3, mg/L es igual a ppm. La fórmula para establecer la tasa de alimentación de fluoruro (la cantidad requerida de químico para elevar el contenido de fluoruro al nivel óptimo) es la siguiente:

$$\text{Tasa alimentación Fluoruro (lb/día)} = \frac{\text{dosificación (mg/L)} \times \text{capacidad (MGD)} \times 8,34 \text{ lb./ga}}{(\text{IFD}) \times \text{pureza química}}$$

Si la capacidad es en MGD, la tasa de alimentación de fluoruro será en libras por día. Si la capacidad es en gpm, la tasa de alimentación será en libras por minuto, si en el denominador aparece un factor de 1 millón. (Nota: Vea la página previa donde gpm se convierten en MGD):

$$\text{Proporción alimentación de fluoruro (lb.min)} = \frac{\text{dosificación (mg/L)} \times \text{capacidad (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs./ga}}{1.000.000 \times \text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

4.2.7 Problemas (tasa de alimentación de fluoruro)

A continuación se dan algunos ejemplos para determinar la tasa de alimentación de fluoruro:

A. Flururosilicato de sodio

Ejemplo 1: Una planta de agua produce 2.000 gpm y la ciudad quiere añadir 1,1 mg/L de fluoruro. ¿Cual sería la tasa de alimentación de fluoruro?

$$\text{Tasa de alimentación de fluoruro} = \frac{1,1 \text{ mg/L} \times 2,88 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,607 \times 0,985}$$

$$\text{Tasa de alimentación de fluoruro} = 44,19 \text{ lb/día}$$

La tasa de alimentación de fluoruro es de 44,19 libras por día. En algunas hojas de datos diseñados para algunos equipos, algunos valores de alimentación están dados en gramos/minuto. Para convertir en gramos/minuto, dividida por 1440 minutos/día y multiplique por 454 gramos/libra.

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (gm/min)} = 44,19 \text{ lb/día} \div 1440 \text{ min/día} \times 454 \text{ gm/lb}$$

$$\text{Tasa de alimentación de fluoruro} = 13,9 \text{ gm/min}$$

Ejemplo 2: Una planta de agua tiene una producción promedio diaria de 695 gpm y la ciudad quiere tener 1,0 mg/L de nivel fluoruro en el agua final. El nivel natural de fluoruro es inferior a 0,1 mg/L. Encuentre la tasa de alimentación de fluoruro para el fluorosilicato de sodio:

a) Convierta el valor de la planta a MGD

$$\frac{695 \text{ gpm} \times 1440 \text{ min/día}}{1.000.000} = 1,0 \text{ MGD}$$

b) Encuentre la tasa de alimentación de fluoruro

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (lbs/día)} = \frac{\text{dosificación (mg/L} \times \text{capac. (MGD)} \times 8.34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (lbs/día)} = \frac{1,0 \text{ mg/L} \times \text{MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,607 \times 0,985}$$

$$\text{Tasa alimentación fluoruro} = 13,95 \text{ lbs/día}$$

Por lo tanto se requieren cerca de 14 lbs. de fluorosilicato de sodio para tratar 1,0 MG de agua a una concentración de 1,0 mg/L de fluoruro. A veces la tasa de fluoruro tiene que ser dada en pies cúbicos por hora. Como un pie cúbico de fluorosilicato de sodio pesa alrededor de 75 lbs., para convertir a pies cúbicos por hora:

$$\text{Tasa fluoruro a ser alimentado (pies}^3\text{/hr)} = 13,95 \text{ lb/día} \div 75 \text{ lb/pies}^3 \div 24 \text{ hrs/día}$$

$$\text{Proporción alimentación fluoruro} = 0,0078 \text{ pies}^3\text{/hora}$$

B. Acido fluorurosilícico

Ejemplo 1: Si sabe que la tasa de la planta es de 4.000 gpm y la dosificación necesaria es de 0,8 mg/L ¿cuál es la tasa de alimentación de fluoruro en ml/min para 23 % de ácido fluorosilícico?

$$\text{Tasa alimenticia de fluoruro (lb/min)} = \frac{\text{dosificación (mg/L)} \times \text{capacidad (gpm)} \times 8,34 \text{ lb/gal}}{10^6 \times \text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa alimenticia fluoruro (lb/min)} = \frac{0,8 \text{ mg/L} \times 4000 \text{ gpm} \times 8,34 \text{ lb/gal}}{10^6 \times 0,79 \times 0,23}$$

$$\text{Tasa de alimentación de fluoruro} = 0,147 \text{ lb/min.}$$

n galón de 23 % de ácido fluorosilícico pesa 10 libras (Ver Cuadro 2-2) y hay 3785 ml por galón. La siguiente fórmula se puede utilizar para convertir el valor de alimentación en ml/min.:

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (ml/min)} = 0,147 \text{ lb/min} \div 10 \text{ lb/gal} \times 3785 \text{ ml/gal}$$

$$\text{Tasa alimentación fluoruro} = 55,6 \text{ ml/min}$$

Ejemplo 2: ¿Cuál es la tasa de alimentación de fluoruro si la tasa de la planta es 1,0 MGD, el nivel de fluoruro natural es 0,2 mg/L y el nivel de fluoruro deseado es de 1,2 mg/L para ácido fluorosilícico de 23 %?

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (lb/día)} = \frac{\text{dosificación (mg/L)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lb/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (lb/día)} = \frac{(1,2 - 0,2) \text{ mg/L} \times 1,0 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lb/gal}}{0,79 \times 0,23}$$

$$\text{Tasa de alimentación del fluoruro} = 45,9 \text{ lb/día}$$

Es así como se necesitan 45,9 lbs de ácido fluorosilícico de 23 % para tratar 1,0 MG de agua a una concentración de 1,0 mg/L de fluoruro.

C. Fluoruro de sodio

Ejemplo 1: Si una planta pequeña desea usar fluoruro de sodio en un alimentador en seco, y la planta de agua tiene una capacidad (flujo) de 180 gpm, cual sería la tasa de alimentación del fluoruro? (Nota: Los CDC recomienda no usar fluoruro de sodio en un alimentador en seco. Esta en contra de su uso. Suponga que la proporción de fluoruro natural es de 0,1 mg/L y que se quiere que llegue a 1,0 mg/en el agua potable.

$$\text{Tasa alimenticia fluoruro (lbs/min)} = \frac{\text{dosificación (mg/L} \times 180 \text{ gpm} \times 8,34 \text{ lbs/gal)}}{10^6 \times \text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa alimenticia fluoruro (lbs/min)} = \frac{(1,0 - 0,1) \text{ mg/L} \times 180 \text{ gpm} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{10^6 \times 0,45 \times 0,98}$$

$$\text{Tasa de alimentación de fluoruro} = 0,003 \text{ lb/min o } 0,18 \text{ lb/hr.}$$

4.2.8 Tasas de alimentación de fluoruro para saturador

Un saturador de fluoruro de sodio es excepcional en tanto la concentración de la solución saturada que forma es siempre de 18.000 ppm.

Esto se debe a que el fluoruro de sodio tiene una solubilidad que es prácticamente constante a 4,0 gramos por 1000 mililitros de agua a las temperaturas que por lo general se encuentran en las plantas de tratamiento de agua. Esto significa que cada litro de solución contiene 18.000 miligramos de ión fluoruro (40.000 mg/L veces el porcentaje disponible de fluoruro (45 %) es igual a 18.000 mg/L).

Esto simplifica los cálculos porque elimina la necesidad de pesar los químicos. Todo lo que se necesita es el volumen de solución que se le añade al agua; para la dosificación calculada, este volumen lo proporciona un medidor localizado en la bocatoma de agua del saturador.

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (gpm)} = \frac{\text{capacidad (gpm)} \times \text{dosificación (mg/L)}}{18.000 \text{ mg/L}}$$

La tasa alimentación del fluoruro tendrá las mismas unidades que la capacidad. Si la capacidad se da galones por minuto (gpm), la proporción a alimentar será igualmente en gpm. Si la capacidad se da galones por día (gpd), la tasa de alimentación será en gpd.

Para los puristas ofrecemos la siguiente derivación. De la página anterior:

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (gpm)} = \frac{\text{dosificación (mg/L)} \times \text{capacidad (gpm)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{10^6 \times \text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

Para cambiar la tasa de alimentación del fluoruro de libras en seco a galones de solución, dividida por la concentración de fluoruro de sodio y la densidad de la solución (agua). (Nota: La pureza química del fluoruro de sodio en solución será 4% x 8,34 lb/gal

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (gal/min)} = \frac{\text{capacidad (gpm)} \times \text{dosificación (mg/L)} \times 8,34 \text{ lb/gal}}{10^6 \times \text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (gal/min)} = \frac{\text{capacidad (gpm)} \times \text{dosificación (mg/L)} \times 8,34 \text{ lb/gal}}{10^6 \times 0,45 \times 4\% \times 8,34 \text{ lb/gal}}$$

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (gal/min)} = \frac{\text{capacidad (gpm)} \times \text{dosificación (mg/L)}}{10^6 \times 0,45 \times 0,04}$$

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (gpm)} = \frac{\text{capacidad (gpm)} \times \text{dosificación (mg/L)}}{18.000 \text{ mg/L}}$$

4.2.9 Problemas (tasa de alimentación de fluoruro para saturador)

Ejemplo 1: Una planta de agua produce 1,0 MGD y tiene menos de 0,1 mg/L de fluoruro natural. ¿Cuál sería la tasa de alimentación de fluoruro si se quiere obtener 1,0 mg/L en el agua?

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (gpd)} = \frac{\text{capacidad (gpm)} \times \text{dosificación (mg/L)}}{18.000 \text{ mg/L}}$$

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (gpd)} = \frac{1.000.000 \text{ gpm} \times 1,0 \text{ mg/L}}{18.000 \text{ mg/L}}$$

$$\text{Tasa de alimentación del fluoruro} = 55,6 \text{ gpm}$$

Es así como se necesitan cerca de 56 galones de solución saturada para tratar 1 MG de agua a una dosis de 1,0 mg/L.

Ejemplo 2: Suponga que una planta pequeña de agua tendrá un flujo diario de agua potable de 180 gpm y el nivel natural de fluoruro es 0,1 mg/L. Si se quiere alcanzar un nivel de fluoruro de 1,0 mg/L en el agua, ¿a qué tasa, en ml/min, se debe alimentar el fluoruro de sodio?

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (gpm)} = \frac{\text{capacidad (gpm)} \times \text{dosificación (mg/L)}}{18.000 \text{ mg/L}}$$

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (gpm)} = \frac{180 \text{ gpm} \times (1,0 - 0,1)}{18.000 \text{ mg/L}}$$

$$\text{Tasa de alimentación del fluoruro} = 0,009 \text{ gpm}$$

Para convertir a ml/min, multiplique por 3785 ml/gal

$$\text{Tasa de alimentación del fluoruro} = 0,009 \text{ gpm} \times 3785 \text{ ml/gal}$$

$$\text{Tasa de alimentación del fluoruro} = 34,1 \text{ ml/min}$$

De esta forma, para obtener 1,0 mg/L de fluoruro se tiene que alimentar una solución de 34,1 ml/min de fluoruro de sodio en el agua. Nótese que éste es el mismo problema visto en el numeral C en una página anterior. Para comparar cuánto fluoruro de sodio (seco) se usa, cambie los 0,009 gpm de solución de fluoruro de sodio a fluoruro de sodio lb/hr. Hay 18,8 lbs de fluoruro de sodio en 55,6 galones de una solución saturada de fluoruro de sodio.

$$\text{Tasa alimentación fluoruro (lb/hr)} = \frac{0,009 \text{ gal/min} \times 60 \text{ min/hr} \times 18,5 \text{ lbs}}{55,6 \text{ gal}}$$

$$\text{Tasa de alimentación del fluoruro} = 0,18 \text{ lb/hr}$$

Esta es misma cantidad que aparece en el Ejemplo 1 del numeral C en la página 77.

4.2.10 Dosificación calculada

En los EE.UU., algunos estados requieren que se mantengan registros sobre la cantidad de químico usado y que la concentración teórica de producto químico en el agua se determine matemáticamente. Para encontrar la concentración teórica de fluoruro es necesario determinar la dosificación calculada. Al añadir la dosificación calculada al nivel natural de fluoruro en el suministro de agua se producirá la concentración teórica de fluoruro en el agua. Esta cifra --la concentración teórica se calcula como medida de precaución para asegurar que no ocurra una sobrealimentación o accidente. Asimismo ayuda a detectar problemas potenciales. Si la concentración teórica es significativamente mayor o menor a la concentración medida, se deberán dar los pasos necesarios para establecer la discrepancia.

La fórmula de la tasa de alimentación del fluoruro se puede cambiar de la siguiente manera para encontrar la dosificación calculada:

$$\text{Dosificación mg/L} = \frac{\text{Tasa alimentación fluoruro (lbs/día)} \times \text{AFI} \times \text{pureza química}}{\text{capacidad (IFD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}$$

Cuando la tasa de alimentación del fluoruro se cambia al fluoruro alimentado y la capacidad se cambia a la producción real de agua diaria en el sistema, entonces la dosificación se convierte en la dosificación calculada. Las unidades siguen siendo las mismas, excepto que la alimentación fluoruro pasa de lbs/día a lbs. y la producción real pasa de MGD a MG (millones de galones) (se cancelan las unidades "día").

Nótese que la cantidad de fluoruro alimentado (lbs) estará determinada en un período de tiempo (día, semana, etc.) y la producción real será determinada en el mismo período.

$$\text{Dosificación calculada} = \frac{\text{fluoruro alimentado (lbs)} \times \text{IFD} \times \text{pureza química}}{\text{producción real (MG)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}$$

El numerador de la ecuación de las libras de fluoruro iónico que se agrega al agua, mientras que el denominador da los millones de libras de agua tratada. Al dividir las libras de fluoruro por millón de libras de agua se obtienen ppm o mg/L.

A continuación se da la fórmula para la dosificación calculada en el saturador:

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{\text{solución alimentada (gal)} \times 18.000 \text{ mg/L}}{\text{producción real (gal)}}$$

La dosificación calculada para una solución de fluoruro de sodio no saturada está basada en la concentración especial de la solución. Por ejemplo, una solución al 2% de concentración es igual a 9.000 mg/L, a un 1% de concentración es igual a 4500 mg/L o a 1,9% de concentración es igual a 8.550 mg/L. El porcentaje de concentración está basado en las libras de fluoruro de sodio disueltas en una cierta cantidad de agua.

Por ejemplo:

Encuentre la solución porcentual cuando se disuelven 6,5 lbs de fluoruro de sodio en 45 galones de agua:

$$45 \text{ gal} \times 8,34 \text{ lbs/gal} = 375 \text{ lbs. de agua}$$

$$6,5 \text{ lbs NaF} \div 375 \text{ lbs H}_2\text{O} = 1,7\% \text{ solución de NaF}$$

Esto quiere decir que la disolución de 6,5 de producto químico fluoruro en 45 galones de agua producirán una solución al 1,7 %.

Para encontrar la concentración de una solución desconocida de fluoruro de sodio, utilice la siguiente fórmula:

$$\text{Concentración de la solución} = \frac{18.000 \text{ mg/L} \times \text{fuerza de la solución (\%)}}{4\%}$$

Por ejemplo, suponga que se van a disolver 6,5 lbs de NaF en 45 galones de agua, como se dijo previamente. ¿Cuál sería la concentración de la solución?
La fuerza de la solución es de 1,7% (ver arriba)

$$\text{Concentración de la solución} = \frac{18.000 \text{ mg/L} \times \text{fuerza de la solución (\%)}}{4\%}$$

$$\text{Concentración de la solución} = 7.650 \text{ mg/L}$$

La fórmula de dosificación calculada para una solución no saturada de fluoruro de sodio es:

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{\text{Solución alimentada (gal)} \times \text{concentración solución (mg/L)}}{\text{producción real (gal)}}$$

(Observación: Los CDC recomiendan no usar soluciones de fluoruro de sodio en la fluoruración del agua).

4.2.11 Problemas en la dosificación calculada

A. Fluorurosilicato de sodio

Ejemplo 1: Una planta usa 65 lbs. de fluorosilicato de sodio para tratar 5.5540.000 galones de agua en un día. ¿Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{\text{Fluoruro alimentado (lbs)} \times \text{IFD} \times \text{pureza}}{\text{producción real (MG)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}$$

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{65 \text{ lbs} \times 0,607 \times 0,985}{5,540 \text{ MG} \times 8,34 \text{ lbs/L}}$$

Ejemplo 2: Una planta emplea 26 lbs. de fluorosilicato de sodio para tratar 1.756.000 galones de agua. ¿Cuál es la dosificación calculada para esta planta?

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{\text{Fluoruro alimentado (lbs)} \times \text{IFD} \times \text{pureza}}{\text{producción real (MG)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}$$

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{26 \text{ lbs} \times 0,607 \times 0,985}{1,756 \text{ MG} \times 8,34 \text{ lb/gal}}$$

$$\text{Dosificación calculada} = 1,06 \text{ mg/L}$$

Ejemplo 3: Una planta de agua tiene una tasa de producción real de 0,8 MGD. Si se alimentaron 10 lbs de fluorurosilicato de sodio en un día, ¿cuál fue la dosificación calculada?

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{\text{Proporción de fluoruro alimentado (lbs)} \times \text{IFD} \times \text{pureza}}{\text{producción real (MG)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}$$

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{10 \text{ lbs} \times 0,607 \times 0,985}{0,8 \text{ MG} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}$$

$$\text{Dosificación calculada} = 0,90 \text{ mg/L}$$

B. Acido fluorurosilícico

Ejemplo 1: Una planta emplea 43 lbs de ácido fluorosilícico para tratar 1.226.000 galones de agua. Suponga que el ácido tiene una pureza del 23%. ¿Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{\text{fluoruro alimentado (lbs)} \times \text{IFD} \times \text{pureza química}}{\text{producción real (MG)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}$$

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{43 \text{ lbs} \times 0,792 \times 0,23}{1,226 \text{ MG} \times 8,34 \text{ lb/gal}}$$

$$\text{Dosificación calculada} = 0,77 \text{ mg/L}$$

La dosificación calculada es de 0,77 mg/L. Si a esta dosis se le añade el nivel de fluoruro natural, entonces debería ser igual al nivel de fluoruro real en el agua potable.

Ejemplo 2: Una planta utiliza 898 lbs de ácido fluorosilícico al 23 % para tratar 17.058.000 de galones de agua. ¿Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Dosificación calculada} = \frac{\text{fluoruro alimentado (lbs)} \times \text{IFD} \times \text{pureza química}}{\text{producción real (MG)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}$$
$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{898 \text{ lbs} \times 0,792 \times 0,23}{17,058 \text{ MG} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}$$

$$\text{Dosificación calculada} = 1,15 \text{ mg/L}$$

Así pues, la dosificación calculada es de 1,15 mg/L

Ejemplo 3: Una planta de agua usa un total de 2.800 lbs. de ácido fluorosilícico al 28% durante 4 días para fluororar 52 millones de galones de agua. ¿Cuál sería la dosificación calculada ? El nivel de fluoruro natural es de 0,2 mg/L.

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{\text{fluoruro alimentado (lbs)} \times \text{IFD} \times \text{pureza química}}{\text{producción real (MG)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}$$
$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{2.800 \text{ lbs} \times 0,792 \times 0,28}{52 \text{ MG} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}$$

$$\text{Dosificación calculada} = 1,43 \text{ mg/L}$$

Así pues, el nivel de fluoruro calculado es de 1,4 mg/L, mas el nivel natural de fluoruro que es de 0,2 mg/L. Por supuesto que el resultado es muy alto, y si el nivel de fluoruro medido en el agua potable es de 1,0 mg/L, entonces se debe encontrar la causa de la discrepancia.

C. Fluoruro de sodio (seco)

Ejemplo 1: Una planta de agua alimenta fluoruro de sodio en un alimentador en seco, empleando 5,5 lbs del químico para fluorurar 240.000 galones de agua. ¿Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{\text{fluoruro alimentado (lbs)} \times \text{IFD} \times \text{pureza}}{\text{producción real (MG)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}$$
$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{5,5 \text{ lbs} \times 0,45 \times 0,98}{0,24 \text{ MG} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}$$

$$\text{Dosificación calculada} = 1,21 \text{ mg/L}$$

D. Fluoruro de sodio: Saturador

Ejemplo 1: Una planta usa 10 galones de fluoruro de sodio de su saturador para tratar 200.000 galones de agua. ¿Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{\text{solución alimentada (gal)} \times 18.000 \text{ mg/L}}{\text{producción real (gal)}}$$

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{10 \text{ galones} \times 18.000 \text{ mg/L}}{200.000 \text{ galones}}$$

$$\text{Dosificación calculada} = 0,9 \text{ mg/L}$$

Ejemplo 2: Una planta emplea 19 galones de solución de su saturador para tratar 360.000 galones de agua. ¿Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{\text{solución alimentada (gal)} \times 18.000 \text{ mg/L}}{\text{producción real (gal)}}$$

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{19 \text{ galones} \times 18.000 \text{ mg/L}}{360.000 \text{ galones}}$$

$$\text{Dosificación calculada} = 0,95 \text{ mg/L}$$

Ejemplo 3: Una planta de agua pequeña emplea fluoruro de sodio de saturador a una tasa de 1 galón por día, y la planta trata con 4.500 galones de agua por día. ¿Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{\text{solución alimentación (gal)} \times 18.000 \text{ mg/L}}{\text{capacidad (gal)}}$$

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{1,0 \text{ gal} \times 18.000 \text{ mg/L}}{4.500 \text{ gal}}$$

$$\text{Dosificación calculada} = 4,0 \text{ mg/L}$$

E. Fluoruro de sodio: soluciones no saturadas

Ejemplo 1: Una planta de agua añade 93 galones por día de una solución de fluoruro de sodio al 2% para fluorurar 8000.000 gal/día. ¿Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Concentración de solución (mg/L)} = \frac{18.000 \text{ mg/L} \times \text{fuerza de la solución (\%)}}{4\%}$$

$$\text{Concentración de solución (mg/L)} = \frac{18.000 \text{ mg/L} \times 0,02}{0,04}$$

$$\text{Concentración de solución} = 9.000 \text{ mg/L}$$

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{\text{solución alimentada (gal)} \times \text{concentración solución (mg/L)}}{\text{producción real (gal)}}$$

$$\text{Dosificación calculada (mg/L)} = \frac{93 \text{ gal} \times 9.000 \text{ mg/L}}{800.000 \text{ gal}}$$

$$\text{Dosificación calculada} = 1,05 \text{ mg/L}$$

4.3 Costos

4.3.1 Generalidades

Como en todo lo que tiene que ver con ingeniería, los costos cumplen un papel muy importante en la selección del sistema de fluoruración que se va a instalar. A veces es posible justificar el incurrir en costos iniciales más elevados con unos costos operacionales más bajos (químicos). Este es por lo general el caso de comunidades más grandes donde se pueda justificar la instalación de alimentadores en seco o de ácido por volumen debido al menor costo del fluorosilicato de sodio o del ácido fluorosilícico en grandes cantidades. Por el contrario, en sistemas más pequeños que emplean cantidades relativamente pequeñas de productos químicos, el costo de productos químicos más caros tales como fluorosilicato de sodio o ácido fluorosilícico en pequeñas cantidades no es tan significativo como lo son los costos iniciales de instalación. En estos casos son ventajosos los saturadores o la alimentación de ácido de bombonas.

Para hacer los estimativos de costo iniciales para un sistema de fluoruración, es necesario saber el número y disposición anual promedio de agua de cada recurso, el contenido de fluoruro natural de cada recurso y si se necesita o no controlar el flujo de agua. Con esta información se pueden escoger el número de puntos de inyección, el equipo y el tipo de químico a usar, se pueden realizar los diseños preliminares y los estimativos de costos.

En este punto se requiere ser cauteloso. Los costos y los estimativos de costos varían ampliamente. Lo que más varía son las “reglas del sentido común” y las “cifras nacionales”. Los costos varían ampliamente dependiendo de las condiciones locales, forma de envío, disponibilidad y muchos otros factores (algunos de los cuales pueden no conocerse más que localmente). De esta forma, la información sobre costos que aquí proporcionamos no tiene otra intención que dar una pauta aproximada al respecto y por ello tiene que ser usada cuidadosamente. Los ingenieros y técnicos de

fluoruración del municipio deben llegar a ser los “expertos” en costos en su localidad. Los funcionarios que operan en el nivel central deben recurrir al personal del municipio para obtener últimos datos de costos en sus respectivas localidades. Teniendo en cuenta lo antedicho, las siguientes secciones describen algunos costos típicos de la fluoruración.

Los CDC están actualmente realizando un estudio que evalúa el costo de sistemas de fluoruración de agua de diversos tamaños. El estudio de costos incluye los costos del equipo, los costos de los químicos y los costos de instalación.

4.3.2 Costos de los químicos

Los costos de los químicos del fluoruro variará ampliamente (especialmente el ácido fluorosilícico) a causa de los costos de envío. Las tarifas en envío pueden duplicar o incluso triplicar los costos de los químicos y, en el caso del ácido fluorosilícico (23-30%), el transporte puede representar la porción principal del costo. También es muy importante que se consulte con el personal local, ya que este puede tener información que afecte los costos.

En el Cuadro 4-1 se da una lista de precios de los químicos se trata de precios FOB, con referencias al año 1986. En el Noreste, los costos generales de fluoruro de sodio van desde 50 a 55 centavos por libra. En el Suroeste costará entre 65 y 90 centavos por libra. El fluorosilicato de sodio costará entre 20 y 25 centavos por libra en las comunidades más grandes en la región centro-norte (Grandes Lagos). En el Oeste costará 30 y 50 centavos por libra. El ácido fluorosilícico en volumen costará de 3 a 15 centavos por libra en la mayor parte de los Estados Unidos.

En partidas por bombona o tambor puede costar hasta 50 centavos por libra. Por lo general los costos de los químicos se incrementan a medida que el comprador avanza hacia el oeste. Los costos más elevados tienden ser en costa oeste.

Con el paso de los años, los precios de los químicos del fluoruro han sido el elemento más variable en el costo de los sistemas de fluoruración. Muchas veces las comunidades no tratan de “buscar los mejores precios” cuando compran nuevos compuestos químicos sino que se dirigen a sus proveedores habituales y pagan no que estos cobren. Frecuentemente, cuando los precios están cayendo, estos pueden ser entre 50 y 100% más elevados que los de la competencia.

En resumen, los costos de los químicos del fluoruro dados en este Manual tienen que ser a menudo actualizados. El estado o la entidad de ingeniería o técnica debe ser consultada por la información más reciente.

Cuadro 4-1
Costos de los químicos del fluoruro *

Elementos	Costo (Dólares/lb)
1. Fluoruro de sodio	\$ 0,60 - \$ 0,90
2. Fluorosilicato de sodio	\$ 0,25 - \$ 0,50
3. Acido fluorosilícico	
a. Adquisiciones por volumen	\$ 0,04 - \$ 0,15
b. Bombonas (diversas)	\$ 0,20 - \$ 0,50
c. Tambores (55 galón)	\$ 0,12 - \$ 0,35

* A julio de 1986

4.3.3 Costos del equipo

Elementos como la disponibilidad local, la capacidad proyectada y otros hacen que sea muy difícil realizar proyecciones precisas sobre el costo del equipo. Sin embargo, en el Cuadro 4-2 se ofrece una estimación sobre los gastos. Estos costos corresponden al mes de julio de 1986. En razón a su costo, los alimentadores volumétricos se prefieren a los gravimétricos. Los alimentadores gravimétricos costarán de dos a tres veces más que los alimentadores volumétricos y no se requieren para alimentar los químicos del fluoruro. En los EE.UU., un alimentador volumétrico costará entre US\$3.000 a US\$8.000 dependiendo del tamaño (capacidad), del fabricante y de la localización geográfica de la comunidad.

Las unidades saturados de flujo ascendente costarán entre US\$500 y US\$1.000 sin la bomba de medición, pero este precio variará de acuerdo al fabricante, al tamaño y las necesidades del estado. En algunos estados el personal del gobierno fabrica sus propios saturadores, y estos sólo cuestan cerca de US\$50. En algunos estados del oeste, los precios de los saturadores son muy altos porque no hay competencia. Actualmente, ningún fabricante produce saturadores de flujo descendente.

Como en el caso de la mayoría del equipo de fluoruración, el costo de las bombas de medición varía ampliamente. Las bombas a pistón son las más caras y pueden llegar a costar varios miles de dólares dependiendo del tamaño y el fabricante. Sin embargo, es posible que haya que adquirirlas cuando es necesario realizar descargas en un tubo de agua que tenga una presión alta (superior a 150 lpc). Si no son absolutamente necesarias las bombas a pistón deben evitarse por su alto costo. El costo de las bombas de medición mecánicas con diafragma oscila entre US\$500 a US\$1.500 o más dependiendo del tamaño, el fabricante y/o las condiciones especiales (como se requieren para el ácido fluorosilícico). Las bombas de medición más populares son las electrónicas con diafragma. Su rango de precio está entre US\$300 a US\$2.000 o más. De nuevo, el precio depende del tamaño, del fabricante y de las condiciones especiales. Una de las razones de su popularidad es su bajo costo.

Los medidores de ritmo se consideran muy costosos y exigen mantenimiento. Estos tienen que ir en el conducto de la cañería matriz, no en un tubo de agua de reemplazo, así que por lo general tienen varias pulgadas de diámetro como mínimo. El precio oscila entre varios cientos de dólares para un medidor de menos de una pulgada hasta varios miles de dólares para un medidor de varias pulgadas de diámetro. Debido a su elevado costo los medidores de pasos deben evitarse en lo posible.

Los accesorios para un sistema de agua fluorurada varían ampliamente dependiendo en los tipos de sistema. Es casi imposible estimar que lo que valdrán. Por lo general sus costos no excederán los del alimentador de fluoruro, saturador o bomba medidora. Los estimativos sobre el precio de los accesorios se deben hacer caso por caso.

Cuadro 4-2
Costos del equipo de fluoruración*

Elementos	Costo en dólares
1. Alimentadores	
Volumétrico (incluido el tanque de solución)	\$ 4.000 - 10.000
Gravimétrico (incluido el tanque de solución)	8.000 - 20.000
Saturador	500 - 1.000
2. Balanzas	500 - 1.000
3. Bombas con pistón	2.000 - 4.000
4. Bombas con diafragma mecánico	500 - 1.500
5. Bombas con diafragma electrónico	300 - 800
6. Medidores de ritmo (¾" - 3")	500 - 2.000
7. Varios (Tubería, etc.)	300 - 2.000
8. Almacenaje de ácido (por galón de almacenamiento)	1.00 - 2.00
9. Honorarios por consultoría técnica	Hasta 15% del costo total

* A julio de 1986

4.3.4 Costos de almacenaje de los químicos

Los compuestos de fluoruro deben ser almacenados, en áreas secas, bien ventiladas y donde no se permita el acceso del personal no autorizado. Para ciertas instalaciones se puede requerir un espacio adicional de almacenaje. Los costos de las instalaciones de almacenaje oscilan entre aproximadamente US\$2 por pie cuadrado (1986) para estructuras convencionales de ladrillo.

La adquisición de químicos por volúmenes requiere almacenamiento por volumen. El costo de un tanque de almacenamiento volumétrico de ácido fluorosilícico dependerá en gran parte de los costos de envío. En los EE.UU., la mayoría de los tanques de almacenaje son fabricados en Medio Oeste, básicamente cerca de St. Luis, Missouri. Si el sistema de agua para el cual se está adquiriendo el tanque de almacenaje volumétrico está localizado cerca de la planta de fabricación, el costo del tanque será de aproximadamente 1 dólar por galón de almacenaje. El tamaño mínimo es generalmente de 4.500 galones, lo que quiere decir que el costo mínimo será aproximadamente de US\$4.500. Si la ciudad que está adquiriendo el tanque de almacenamiento volumétrico está situada a gran distancia de la fábrica, el costo del tanque (a causa de los costos de envío) puede llegar a ser el doble. En algunas partes del oeste de los Estados Unidos en donde los tanques se envían a grandes distancias, el costo del tanque será de aproximadamente US\$2,00 por galón de almacenamiento. Estos precios se han mantenido relativamente estables en los últimos años (hasta 1990).

4.3.5 Costo del equipo para pruebas

En el Cuadro 4-3 se puede apreciar que los costos del equipo para pruebas dependerán del método elegido (nuevamente, los costos se basan en el año 1986). Por lo general, los costos del equipo SPADNS son mucho menos que los del equipo con electrodo iónico, que es el más preciso; hay muchas más interferencias en el método para pruebas SPADNS. El costo del equipo colorimétrico

SPADNS generalmente oscila entre US\$200 a US\$400; algunos de los equipos cuestan hasta US\$1.600. El espectrofotómetro generalmente cuesta entre US\$800 a US\$1.000, aunque un modelo bastante popular cuesta US\$3.000. El equipo de electrodo iónico costará cerca de US\$1.200.

El tipo de equipo para pruebas (SPADNS versus electrodo iónico) que se elija dependerá del costo y tipo de instalaciones de tratamiento de agua. Por lo general, los sistemas de aguas subterráneas (pozos) pueden emplear equipo colorimétrico SPADNS, mientras que las plantas de tratamiento de agua de superficie (o plantas de suavización del agua) deben usar el equipo de electrodo iónico. Si se presentan interferencias en las aguas subterráneas, serán constantes y por lo tanto corregidas para el análisis final de fluoruro. En las plantas de agua en superficie hay interferencias fluctuantes (alumbre por ejemplo), por lo que se debe usar el método por electrodo iónico. El tamaño del sistema de agua no tiene tanta importancia. Así por ejemplo, una gran ciudad con muchos pozos puede usar el equipo colorimétrico.

Se recomienda el agitador magnético para accionar el método de análisis de fluoruro por electrodo iónico. La destilación no es necesaria o recomendada por la CDC en el método de análisis SPADNS para el seguimiento diario de resultados en las plantas de agua.

El método de electrodo iónico requiere de dos electrodos: el electrodo de referencia y el electrodo de fluoruro. Generalmente, el electrodo de referencia dura varios años, mientras que el electrodo de fluoruro puede no durar tanto. Dependiendo del usuario o del laboratorio, el electrodo de fluoruro durará de seis meses a cinco años. Por lo general dura entre un año y 18 meses. Por ello es necesario tener en cuenta el costo de reemplazo de este electrodo.

Las comunidades de fluoruran sus aguas tienen que someter sus pruebas diarias a la verificación ya sea de laboratorios locales o del estado.

Los laboratorios estatales necesitan mantener un mayor grado de exactitud que las comunidades fluoruradas que toman pruebas diariamente. Es por esto que conducir pruebas de fluoruros, los laboratorios del estado deben emplear el método por electrodo iónico, que es más preciso que el método por electrodo iónico, que es más preciso que el método SPADNS.

Cuadro 4-3
Costos del equipo para pruebas*

Elementos	Costo en dólares
1. Equipo específico de ión	
a. Medidor específico de ión	\$ 600 - 3.000
b. Electrodo de fluoruro	400 - 450
c. Electrodo de referencia	100
d. Agitador magnético	50 - 100
2. Equipo SPADNS	
a. Colorimétrico	200 - 1.600
b. Espectrofotométrico	800 - 3.000

* A julio de 1986

4.3.6 Costos de instalación

Los costos de instalación son más difíciles de determinar. En los EE.UU., algunos estados instalan la mayoría del equipo por su propia cuenta. Otros contratan toda la instalación. Los costos de instalación varían ampliamente según la localidad y tienen que ser determinados en forma individual con base en las prácticas locales, códigos y normas, mano de obra y costos materiales. Por regla general, en las instalaciones más pequeñas, los costos por equipo serán aproximadamente iguales a costos de instalación. Por ejemplo, si es necesario instalar un sistema pequeño de ácido y el costo del equipo es de US\$1.200, el costo de la instalación no debiera exceder los US\$1.000. Para sistemas más grandes, consulte con un fabricante local de equipo de fluoruración.

4.4 Elección de los sistemas de fluoruración

4.4.1 Generalidades

Si bien no hay un tipo específico de sistema de fluoruración que sea aplicable solamente a una situación específica, sí existen algunas limitaciones generales derivadas del tamaño y tipo de la instalación de agua. Por ejemplo, es difícil que en una gran planta metropolitana de agua se considere la instalación de un sistema de fluoruración que incluya la preparación manual de una solución de fluoruro de sodio, como tampoco es factible que para una pequeña instalación que consta de un pozo no atendido se considere la instalación de un alimentador gravimétrico en seco.

Para la planta de agua más pequeña casi siempre se selecciona algún tipo de alimentación de solución. Por lo general no hay límite inferior en los rangos en que se producen las bombas de medición pequeñas. Por el contrario, casi no existe límite superior respecto a la capacidad de los alimentadores volumétricos o gravimétricos en seco.

4.4.2 Elección de químicos

4.4.2.1 Generalidades

Antes de realizar el diseño real del sistema de fluoruración se debe tomar la decisión sobre el tipo de químico que se va a usar. Esto determinará en gran medida el tipo de sistema de agua fluorurada que se va a diseñar.

Para determinar el químico de fluoruro a utilizar y por consiguiente el tipo de sistema de fluoruración a ser diseñado se tienen que considerar los siguientes elementos:

1. Disponibilidad de químicos
2. Utilización del agua
3. Tipo de instalaciones existentes
 - a. Compatibilidad con el sistema propuesto
 - b. Espacio disponible
 - c. Número de sitios de tratamiento requeridos (puntos de inyección del fluoruro)
4. Características del agua
 - a. Niveles de fluoruro natural y óptimo
 - b. Tipo flujo (variable o continuo)
 - c. Presión (descarga)

5. Costos totales estimados
 - a. Capital inicial
 - b. Costos de operación y mantenimiento
 - c. Costos por productos químicos
6. Preferencia y habilidad del operador
7. Reglas estatales, disposiciones y preferencia

Para los sistemas de agua más pequeños, la cantidad de químico usada es lo suficientemente pequeña como para que el costo por libra de químico no sea tan importante como los costos de equipo. Es por ello que es posible emplear fluoruro de sodio o ácido fluorosilícico, si bien son relativamente costosos cuando se los compra en pequeñas partidas. La decisión de usar ya sea el saturador o el ácido fluorosilícico depende de las cantidades a ser alimentadas, de la habilidad del operado, de la disponibilidad del ácido si es lo que se quiere usar y, finalmente, de la preferencia personal.

Quizás la instalación más simple de fluoruración es la que se basa en el uso del ácido fluorosilícico. El ácido es suministrado en bombonas o tambores que se colocan en una balanza de plataforma. Una bomba medidora montada en un soporte por encima de la bombona extrae el ácido y lo inyecta dentro de una tubería matriz de agua en proporción al flujo de agua.

El ácido en las bombonas viene por lo general en una concentración de alrededor de un 23 %, lo cual puede ser demasiado si se alimenta sin diluir cuando se trata de suministros muy pequeños de agua. La alimentación por dilución requiere un tanque de mezcla y un método para transferir el ácido con presión al sistema mencionado,. Por regla general esto no es aconsejable debido a que aumentan las posibilidades de que el operador cometa errores en la dilución y también el riesgo relativo a la seguridad por la necesidad de una manipulación más prolongada del ácido.

Como alternativa se puede usar un saturador de fluoruro de sodio. Este es un medio relativamente simple de alimentar la solución que no requiere excesiva atención. El operador debe leer diariamente el número de galones alimentados (después de que el tanque está lleno), adicionar periódicamente químicos sin pesar), y limpiar el saturador cada seis meses o una vez por año (dependiendo de la calidad del agua).

El uso del fluorosilicato de sodio está limitado a aquellas plantas de agua que sean lo suficientemente grandes como para acomodar un alimentador volumétrico o gravimétrico. Este siempre se alimenta en seco. En general el fluorosilicato de sodio se emplea en plantas de tratamiento en superficie de 4 MGD o mayores. La descarga de un alimentador en seco debe ir a un punto de inyección no presurizado (flujo gravitacional).

Los químicos del fluoruro son abundantes, pero no es tan simple como parece tener el producto correcto en el lugar exacto en el momento preciso. La disponibilidad de los compuestos derivados de la producción de fertilizantes fosfatados, a saber, ácido fluorosilícico, fluoruro de sodio y fluorosilicato de sodio está relacionada con las ventas de los fertilizantes; Así que si se presenta una caída en tales ventas, disminuye a su vez la recuperación de los compuestos fluorados. Tales situaciones son raras y pueden ser evitadas en gran medida adquiriendo químicos por contrato. La situación más crítica en materia de disponibilidad se produce con aquellos usuarios de ácido fluorosilícico en grandes cantidades pues la adquisición de cargas de carro tanque de 5.000 a 10.000 galones puede agotar rápidamente el inventario de un proveedor. (Nota: Los CDC recomiendan

mantener a disposición en almacenaje el equivalente a tres meses de suministro de químicos del fluoruro como mínimo).

Sería prudente investigar la disponibilidad de los químicos de fluoruro a través de un proveedor local antes de hacer la elección del caso. Comúnmente el inventario de químicos que mantienen los distribuidores locales en sus depósitos es suficiente para abastecer las plantas más pequeñas de agua, incluso si se presentara una escasez temporal. El usuario potencial de ácido fluorosilícico en grandes volúmenes debe asegurarse de que existe un suministro amplio antes de comprometerse con una instalación que se basa en el uso de este ácido para fluoruración. Se necesita hacer una visita al sitio especialmente si tal instalación es realmente una extensión de un sistema existente.

La decisión sobre el tipo de químico se toma sólo después de haber considerado algunos de los elementos mencionados más arriba en todas ellas. Tenga presente que diferentes personas emitirán juicios distintos sobre una misma situación mientras que en muchos casos un producto químico se verá ampliamente favorecido, en otros casos no será así; por esto, personas bien informadas y con un cierto nivel de conocimientos pueden llegar a diferentes conclusiones.

Para demostrar cómo elegir el químico del fluoruro correcto a ser usado en un sistema particular de agua, este manual considerará diferentes situaciones reales (los nombres han sido cambiados para proteger a los involucrados). El proceso de elección será ilustrado en los problemas dados. Es importante que los lectores sigan cuidadosamente los problemas y soluciones. Es posible que en situaciones muy particulares sea necesario hacer otras consideraciones. Nos referimos por ejemplo a los temas técnicos que se pueden suscitar en un referendun sobre fluoruración.

En aras de la simplicidad, los problemas y las soluciones se apoyarán en ciertos supuestos. Si estos son incorrectos, la solución podría cambiar.

4.4.2.2 Problemas (selección de químicos)

Los siguientes ejemplos ilustrarán en qué forma se puede elegir el químico de fluoruro adecuado.

Problema 4 - 1

La ciudad de Pelion, Iowa con una población de 525 habitantes, ha decidido fluorar su abastecimiento de agua. El sistema de agua de la ciudad también suministra el líquido a una gran escuela rural (población 2.000). Este consiste de dos pozos de ciudad que no son atendidos de tiempo completo. La tasa promedio de producción diaria es de 0,2 MGD. El nivel óptimo de fluoruro para este sistema de agua comunitario es de 0,8 mg-1. Un proveedor cercano tiene siempre en inventario los tres químicos del fluoruro.

El pozo No. 1 tiene una tasa máximo de bombeo (capacidad) de 290gpm por bomba (417.600 gpd) y una presión de descarga de 65 lpc. El pozo No. 2 tiene una capacidad de 250 gpm (360.000 gpd) y una presión de descarga de 60 lpc. El nivel del fluoruro natural en el agua de ambos pozos es de 0,1 mg-1.

Los pozos están ubicados a una distancia de 1 milla. Ambas casas de los pozos son grandes y contienen equipo para alimentar cloro, polifosfato y soda comercial. Las casas de los pozos también están dotadas de electricidad y tienen las tuberías necesarias. ¿Qué tipo de químico del fluoruro debe ser usado en esta comunidad?

Solución 4 - 1

Como el pueblo tiene dos pozos relativamente pequeños que están atendidos, se tiene que descartar inmediatamente el uso de fluorosilicato de sodio para alimentadores en seco. De esta forma se debe elegir entre el fluoruro de sodio y un saturador, o el ácido fluorosilícico en bombonas con una bomba medidora.

Un saturador requerirá ligeramente más espacio, lo cual no constituye un problema en este caso. Tanto el sistema de ácido como el sistema de saturador son compatibles con el sistema de agua. Debido a la ubicación de los pozos habrá dos puntos de inyección de fluoruro, uno en cada pozo. Existe un flujo continuo y una presión adecuada en cada pozo.

Si bien los químicos están ampliamente disponibles, habrá una diferencia en los costos tanto de los químicos como del capital. Por lo tanto es necesario estimar, comparar y evaluar estos costos:

Datos conocidos:

Tasa promedio de producción diaria = 0,2 MGD

Dosificación (mg/l) = nivel óptimo de fluoruro (mg/l) - nivel de fluoruro natural (mg/l)

Dosificación = 0,8 mg/l - 0,1 mg/l

Dosificación = 0,7 mg/l

Cantidad de fluoruro de sodio (saturador) necesaria:

$$\text{Tasa de alimentación del fluoruro (lbs/día)} = \frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capacidad (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa alimentac. fluoruro} = \frac{0,7 \text{ mg/l} \times 0,2 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,45 \times 0,98}$$

$$\text{Tasa alimentac. fluoruro} = 2,65 \text{ lbs/día}$$

$$\text{NaF necesitado/anual.} = 2,65 \text{ lbs/día} \times 365 \text{ días/año}$$

$$\text{NaF necesario} = 967,3 \text{ lbs/año}$$

Nota: Se puede usar un camino más corto para determinar la cantidad de químico consumido por año. Como se estableció anteriormente, 19 lbs de fluoruro de sodio fluorarán 1 millón de galones de agua en una proporción de 1,0 ppm de fluoruro. Así:

$$\text{NaF necesario/año} = \frac{19 \text{ lbs}}{1 \text{ MG} \times 1 \text{ ppm} \times 0,7 \text{ ppm} \times 0,2 \text{ MD} \times 5 \text{ días/año}} = 970,9 \text{ lbs/año}$$

Cantidad necesaria de ácido fluorosilícico (23%):

$$\text{Tasa alimentac. fluoruro (lbs/día)} = \frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa alimentac. fluoruro} = \frac{0,7 \text{ mg/l} \times 0,2 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,79 \times 0,23}$$

$$\text{Tasa alimentac. fluoruro a alimentar} = 6,4 \text{ lbs/día}$$

$$\text{Acido (23\%) neces./anual} = 6,4 \text{ lbs/día} \times 365 \text{ días/año}$$

$$\text{Acido (23\%) necesario} = 2.336 \text{ lbs/año}$$

Apoyándose en la sección 4.3 suponga que el costo de un ingeniero consultor será el 15 % del total de los costos; que el costo de un saturador será de \$1.500, la bomba de medición de ácido y el equipo serán de \$1.000, y los costos de instalación representarán un 90 % del costo total. Asuma igualmente que el equipo colorimétrico para pruebas tendrá un costo de \$350.

Comparación de costos de los químicos

Químico (Item)	Costo (c/lb)	Químico usado (lbs/año)	Costo químico (\$/año)	Diferencia (\$)
Naf	90	966	870	170
Acido	30	2.345	703	0

Comparación de costos de capital

Químico (item)	Equipo (\$ c/uno)	Instal. (\$)	Prueba equipo (\$)	Capital total (\$)	Ingeniero consultor (\$)	Total (\$)	Diferencia (\$)
NaF	1.500	1.350	350	6.050	907	6.957	2.200
Acido	1.000	900	350	4.150	622	4.772	0

Existe una diferencia aproximadamente de US\$170 en los costos anuales dependiendo de los químicos si se usa ácido fluorosilícico o si se usa fluoruro de sodio. También hay una diferencia de cerca de \$2.200 en costos de capital. Como la instalación del ácido y los costos anuales del químico son menores, se puede asumir que se preferirá el sistema de ácido (El hecho de que el sistema de agua de Pelion también abastezca a una escuela rural grande no es un factor que influya en la elección del químico de fluoruro. Nota: Por regla general es mejor que la elección del químico a utilizar esté basado en los costos. Es así como en este problema la mejor decisión es la de usar ácido fluorosilícico.

Será necesario considerar muchos otros factores intangibles. Es posible que el programa de agua potable del estado prefiera usar ácido diluido en sistemas fluorados más pequeños, mientras que la ciudad no quiere usar la dilución. Si se emplea ácido diluido, es probable que los costos operacionales y de capital del sistema de ácido aumenten sólo en una pequeña cantidad. El Estado puede estar

definitivamente predispuesto en contra del uso del ácido y preferir el saturador. Uno de estos factores o todos ellos pueden llegar a ser muy imprecisos a medida que evolucionan los proyectos, se escogen los tipos específicos de equipos, se hacen diseños aproximados y se reúne información adicional. Si esto sucede, se debe hacer otra comparación de costos para así asegurarse de que es todavía más económico usar el ácido.

Los costos estimados pueden llegar a ser muy imprecisos a medida que evolucionan los proyectos, se escogen los tipos específicos de equipos, se hacen diseños aproximados y se reúne información adicional. Si esto sucede, se debe hacer otra comparación de costos para así asegurarse de que es todavía más económico usar el ácido.

Problema 4 - 2

El pueblo de Cripple Creek, West Virginia (población 1.220), recientemente votó en favor de la fluoruración de su sistema de suministro de agua. Ellos tienen un sólo pozo de ciudad con una capacidad máxima de bombeo de 352 gpm y una presión de descarga de 60 lpc. El nivel de fluoruro natural del agua es inferior a 0,1 mg/l y el Estado recomienda un nivel óptimo de fluoruro de 1.0 mg/l. El índice promedio de producción diaria es de 0,15 MGD. La casa del pozo es amplia y tiene electricidad y la tubería indispensable. Actualmente la ciudad sólo le está aplicando cloro al agua del pozo. El Estado ha recomendado que las comunidades de un tamaño similar en West Virginia usen saturadores de fluoruro de sodio cuando efectúen la fluoruración. El Estado también proporciona fondos para el equipo y dos años de suministro de químicos. ¿Qué tipo de químico del fluoruro debe usar Cripple Creek en su sistema de agua?

Solución 4 - 2

Dado que obviamente el pozo de Cripple Creek no es atendido tiempo completo, el uso de fluorosilicato de sodio se debe excluir de inmediato. Se debe elegir entonces entre fluoruro de sodio y un saturador, o ácido fluorosilícico en bombonas y una bomba medidora.

El espacio no presenta problemas. El pozo tiene un flujo constante y una presión adecuada. Los dos químicos se hallan ampliamente disponibles, pero los costos de envío pueden ser elevados. Por tanto se debe estimar y comparar la diferencia en los costos.

Datos conocidos:

Índice promedio de producción diaria = 0,15 MGD

Dosificación (mg/l) = nivel óptimo de fluoruro (mg/l) - nivel de fluoruro natural (mg/l)

Dosificación = 1,0 mg/l - 0,0 mg/l

Dosificación = 1,0 mg/l

Cantidad necesaria de fluoruro de sodio (saturador):

Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día) =
$$\frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = \frac{1,0 \text{ mg/l} \times 0,15 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,45 \times 0,98}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = 2,83 \text{ lbs/día}$$

$$\text{Cantidad necesaria de NaF/anual.} = 2,83 \text{ lbs/día} \times 365 \text{ días/año}$$

$$\text{NaF necesario} = 1,033 \text{ lbs/año}$$

Cantidad necesaria de ácido fluorosilícico (23%):

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)} = \frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = \frac{1,0 \text{ mg/l} \times 0,15 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,79 \times 0,23}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = 6,9 \text{ lbs/día}$$

$$\text{Acido (23\%) necesario/año} = 6,9 \text{ lbs/día} \times 365 \text{ días/año}$$

$$\text{Acido (23\%) necesario} = 2.519 \text{ lbs/año}$$

A partir de la sección 4.3 se asume que el costo de un ingeniero consultor representa el % de los costos totales que el costo del saturador será de US\$1.400, que la bomba medidora de ácido y el equipo costarán US\$1.200, y que los costos de instalación representarán n 85 % de los costos de capital. Asimismo se supone que el equipo de colorimétrico de pruebas tendrá un costo de US\$350.

Comparación de costos de los químicos

Químico (Item)	Costo (c/lb)	Químico usado (lbs/año)	Costo químico (\$/año)	Diferencia (\$)
Naf	80	1.033	826	0
Acido	45	2.519	1.134	308

Comparación de costos de capital

Químico (item)	Equipo (\$ c/uno)	Instal. (\$)	Prueba equipo (\$)	Capital total (\$)	Ingeniero consultor (\$)	Total (\$)	Diferencia (\$)
NaF	1.400	1.190	350	2.940	441	3.381	425
Acido	1.200	1.020	350	2.570	386	2.956	0

El ácido costará cerca de US\$300 más por año, mientras que la adquisición del equipo y su instalación cuestan US\$425 menos. Para esta comunidad en particular estas diferencias en el costo son

relativamente insignificantes pero por lo general, cuando los costos de los químicos favorecen a un producto en concreto y los costos de capital favorecen a otro, se elige el químico de más bajo precio. Obviamente opinión variará aun entre los ingenieros o técnicos más preparados.

En este caso existe un factor adicional a tener en cuenta. El Estado parece preferir el uso de fluoruro de sodio y el saturador. Como las diferencias de costo son pequeñas, Cripple Creek debería usar entonces el fluoruro de sodio como su químico de preferencia.

Problema 4 - 3

La comunidad de Greenrule, S. C. (población de 39.000) ha decidido fluorar su sistema de suministro de agua. Greenrule tiene una planta de tratamiento de agua en superficie con un personal de operadores de tiempo completo. La planta tiene una capacidad e 12 MGD con un índice promedio de producción de 9 MGD. La fuente de agua natural de Greenrule es un lago con un nivel de fluoruro natural de 0,1 mg/l. El Estado recomienda un nivel óptimo de fluoruro de 1,0 mg/l. La planta tiene una gran cantidad de espacio disponible con una habitación extra que no usa pero que fue originalmente diseñada para alimentar cloro. La planta tiene dos puntos de inyección con flujo variable. El agua tratada por los filtros fluye por gravedad a los pozos de agua clarificada. La planta tiene dos sistemas separados que son copia exacta el uno del otro. ¿Cuál sería el compuesto químico de fluoruro a utilizar?

Solución 4 - 3

De los tres químicos de fluoruro disponibles, se puede eliminar el fluoruro de sodio con saturador. (Nótese que el flujo máximo a tratar con un saturador es de 2.6 MGD. Ver el cuadro 4 - 4. Es posible emplear fluoruro de sodio con un alimentador en seco, aunque los CDC no lo recomiendan. Es por ello que teóricamente se puede usar cualquier compuestos químicos de fluoruro y es necesario hacer una comparación de costos.

Datos conocidos:

Tasa promedio de producción diaria 9 MGD

Dosificación (mg/l) = nivel óptimo de fluoruro (mg/l) - nivel de fluoruro natural (mg/l)

Dosificación = 1,0 mg/l - 0,1 mg/l

Dosificación = 0,9 mg/l

Cantidad necesaria de fluoruro de sodio (alimentador en seco):

Tasa de alimentación del fluoruro (lbs/día) =
$$\frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capac.} \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día) =
$$\frac{0,9 \text{ mg/l} \times 9 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,45 \times 0,98}$$

Tasa de alimentación del fluoruro = 153 lbs/día

$$\text{NaF necesario/año} = 153 \text{ lbs/día} \times 365 \text{ días/año}$$

$$\text{NaF necesario} = 55.845 \text{ lbs/año}$$

Cantidad necesaria de ácido fluorosilícico (23%):

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)} = \frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)} = \frac{0,9 \text{ mg/l} \times 9 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,79 \times 0,23}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = 372 \text{ lbs/día}$$

$$\text{Acido (23\%) necesario/año} = 372 \text{ lbs/día} \times 365 \text{ días/año}$$

$$\text{Acido (23\%) necesario} = 136.000 \text{ lbs/año}$$

Cantidad necesaria de fluorosilícico de sodio:

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)} = \frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = \frac{0,9 \text{ mg/l} \times 9 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,607 \times 0,98}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = 113 \text{ lbs/día}$$

$$\text{Acido (23\%) necesario/año} = 113 \text{ lbs/día} \times 365 \text{ días/año}$$

$$\text{Acido (23\%) necesario} = 41.250 \text{ lbs/año}$$

A partir de la sección 4.3 se puede suponer que el costo del equipo para el fluorosilicato de sodio será el siguiente:

Un alimentador volumétrico (incluyendo tanque solución)	US\$ 7.500
Una balanza	500
	US\$ 8.000

El costo del equipo para el ácido será de US\$8.000, lo que incluye además dos bombas de medición y accesorios. Asuma además que el equipo de test iónico específico tendrá un valor de US\$1.500 y los costos de consultoría con ingeniero representarán el 15% de los costos de capital.

Comparación de costos de los químicos

Químico (Item)	Costo (c/lb)	Químico usado (lbs/año)	Costo químico (\$/año)	Diferencia (\$)
Naf	85	55.845	47.500	35.100
Acido	10	136.000	13.600	1.200
Na ₂ SiF ₆	30	41.250	12.400	0

Dado que el costo del fluoruro de sodio es obviamente muy elevado, se le puede eliminar como una de las opciones química para fluorar Greenrule.

Comparación de costos de capital

Químico (item)	Equipo (\$ c/uno)	Almac. Volum. *	Instal. (\$)	Prueba equipo (\$)	Capital total (\$)	Ingeniero consultor (\$)	Total (\$)	Diferencia (\$)
Na ₂ SiF ₆	16.000	...	11.000	1.500	28.500	4.275	32.775	1.150
Acido	8.000	8.000	10.000	1.500	27.500	4.125	31.625	0

* Incluyendo el costo de una bomba de transferencia

Los costos de capital son esencialmente los mismos; así pues, con base en los costos de los químicos se debe elegir el fluorosilicato de sodio.

Problema 4 - 4

Suponga que una ciudad en Colorado con una población de 20.500 va a fluorar su sistema de agua. La ciudad tiene cinco pozos. El pozo N. 5 se usa únicamente durante los meses de verano en la época de turismo. La capacidad de los pozos y sus niveles de fluoruro son los siguientes:

No. del pozo	Nivel de fluoruro	Capacidad (gpm)
1	0,4	400
2	0,4	400
3	0,2	550
4	0,2	550
5	0,1	300
		<u>2.200</u>

El nivel óptimo de fluoruro es de 1,0 ppm, con una presión de descarga en cada pozo de 100 lpc. El promedio de agua consumida es 1,8 MGD. El agua no ha sido tratada excepto con cloro. (No hay alimentadores en seco en la planta). Por lo general se trata de agua endurecida, pero sus características no deberían constituir problema alguno. En cada pozo hay un flujo continuo, pero cuando los conductos están combinados habrá un flujo variable. La presión de descarga en cada pozo es de 60 lpc. Los tubos de descarga de los pozos pueden ser combinados. ¿qué tipo de químico del fluoruro debe usar?

Solución 4 - 4

Se trata de una ciudad de tamaño mediano y con teoría cualquiera de los tres compuestos químicos de fluoruro. Sin embargo, no hay ninguna planta de tratamiento y no se usan alimentadores en seco. Es por esto que el fluorosilicato de sodio debe ser alimentado como una de las opciones

químicas. Tanto el ácido como el fluoruro de sodio en un saturador son compatibles con el sistema de agua.

Será necesario comparar el costo de cinco instalaciones individuales con el de una instalación en común. Asimismo, se debe evaluar el costo del ácido frente al del fluoruro de sodio. La cantidad de químicos usados es la siguiente: (Suponga un promedio de 0,3 de fluoruro natural sólo para la comparación de costos.

Datos conocidos:

Tasa promedio de producción diaria = 1,8 MGD

Dosificación (mg/l) = nivel óptimo de fluoruro (mg/l) - nivel de fluoruro natural (mg/l)

Dosificación = 1,0 mg/l - 0,1 mg/l

Dosificación = 0,7 mg/l

Cantidad necesaria de fluoruro de sodio (saturador):

$$\text{Tasa de alimentación del fluoruro (lbs/día)} = \frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)} = \frac{0,7 \text{ mg/l} \times 1,8 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,45 \times 0,98}$$

Tasa de alimentación del fluoruro = 23,8 lbs/día

NaF necesario/año = 23,8 lbs/día x 365 días/año

NaF necesario = 8.690 lbs/año

Cantidad necesaria de ácido fluorosilícico (23%):

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)} = \frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = \frac{0,7 \text{ mg/l} \times 1,8 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,79 \times 0,23}$$

Tasa de alimentac. del fluoruro = 57,8 lbs/día

Acido (23%) necesario/año = 57,8 lbs/día x 365 días/año

Acido (23%) necesario = 21.100 lbs/año

Con base en la sección 4.3 se suponen los siguientes costos:

Comparación de costos de los químicos

Químico (Item)	Costo (c/lb)	Químico usado (lbs/año)	Costo químico (\$/año)	Diferencia (\$)
Naf	85	8.690	7.386	3.166
Acido	20	21.110	4.220	0

A continuación aparece una comparación de costos para los cinco puntos de inyección. Suponga de cada saturador costará US\$1.600 y la instalación por unidad US\$1.500. Suponga asimismo que el equipo para la alimentación de ácido (bombas, tuberías válvulas, etc.) costará US\$1.000 y la instalación del mismo US\$1.200. Se empleará también un equipo colorimétrico para pruebas de \$300. El costo del ingeniero consultor representará el 15% de los costos de capital.

Comparación de costos de capital

Químico (item)	Equipo (\$ c/uno)	Instal. (\$)	Prueba equipo (\$)	Capital total (\$)	Ingeniero consultor (\$)	Total (\$)	Diferencia (\$)
NaF	1.600	1.500	300	15.800	2.370	18.170	5.170
Acido	1.000	1.200	300	11.300	1.700	13.000	0

A continuación se presenta comparación de costos para un solo punto de inyección. Suponga que para un solo punto de inyección los costos de equipo, instalación etc. Serán ligeramente superiores. Se tendrá que añadir un medidor de ritmo, un cambio de tuberías y almacenamiento por volumen. Suponga que la capacidad del tanque de almacenamiento es de 5.000 galones.

Comparación de costos de capital

Químico (item)	Equipo (\$)	Almac. Volum.	Instal. (\$)	Med.	Cambio tubería	Prueba equipo (\$)	Capital total (\$)	Ingeniero consultor (\$)	Total (\$)	Diferencia (\$)
Na ₂ SiF ₆	1.800	...	1.600	2.500	3.000	300	9.200	1.380	10.580	0
Acido	1.200	5.000	1.400	2.500	3.000	300	13.400	2.010	15.410	4.830

Los costos de los compuestos químicos favorecen la instalación del ácido fluosilícico. Existe una diferencia entre los costos de capital de cinco puntos de inyección y los de uno solo, siendo este último el menos costos. Pero los ahorros son de cerca de US\$5.000, mientras que el costo del ácido para un período de dos años muestra que aquí los ahorros serían de aproximadamente US\$6.000. Por ello, con base en todos los costos, se concluye que el químico preferido sería el ácido con los cinco puntos de inyección. La diferencia de costo entre el ácido y los cinco puntos de inyecciones muy significativa (cerca de US\$2.500), así que la ciudad puede preferir el ácido y un punto de inyección para minimizar los requerimientos de mano de obra para operar el equipo.

Sin embargo, recuérdese que cada pozo tiene diferentes niveles de fluoruro. De esta forma, si se usó un punto de inyección, cada vez que se cambie la combinación de pozos, es posible que el nivel del fluoruro natural cambie. Nuevamente es necesario emitir un juicio. Si una cierta combinación de pozos se usó por un período prolongado, es posible usar un único punto de inyección. En este ejemplo

se supone que los cambios frecuentes no serían necesarios, de modo que fácilmente se puede usar un solo punto de inyección.

Con base en lo dicho anteriormente y en los costos, la decisión final debe favorecer el uso del ácido fluorosilícico y un solo punto de inyección.

Tenga presente que la elección del compuesto químico es muy importante, ya que este determinará el tipo de equipo a utilizar. Por eso la elección se debe hacer en forma cuidadosa. Desafortunadamente, en muchos casos el químico se elige sólo con base en la tradición.

4.4.3 Elección del alimentador de fluoruro

4.4.3.1 Generalidades

Una vez que se ha seleccionado el químico del fluoruro se limitarán las opciones en lo que se refiere a la selección del alimentador de fluoruro. Si se desea usar ácido fluorosilícico, entonces se requerirá una bomba medidora. Lo mismo si se va a usar un saturador (con fluoruro de sodio). Si se va a emplear fluoruro de sodio en seco o fluorosilicato de sodio, entonces se necesita un alimentador en seco. Será necesario determinar las especificidades de cada tipo general de alimentador una vez se haya elegido el químico a utilizar (Ver el cuadro 4 - 4).

El tipo de alimentador escogido para una instalación particular de fluoruro está determinado por el costo (básicamente), disponibilidad, reputación de servicio del fabricante o representante de ventas y, como siempre, por la preferencia personal. Entre los tipos de bombas medidoras figuran las de pistón diafragma mecánico, diafragma hidráulico, diafragma electrónico y las peristálticas.

Si se ha tomado la decisión de usar un saturador, se debe definir entonces si se usa uno de flujo ascendente o uno de flujo descendente. El saturador no es otra cosa que una aplicación especial de un alimentador de solución. Recientemente el saturador de flujo ascendente ha ganado mayor popularidad y es por lo general el tipo preferido.

La alternativa de elección de alimentadores en seco está entre los volumétricos y los gravimétricos. El alimentador volumétrico es casi siempre la mejor elección por su costo. El gravimétrico es el más costoso y también el más preciso, pero la exactitud del volumétrico es suficiente para la fluoruración.

La decisión sobre el tipo de alimentador volumétrico que se va a usar depende solamente de la preferencia personal y de la disponibilidad del equipo. Algunos alimentadores volumétricos en seco pueden alimentar el fluoruro a tasas muy bajas; los tipos más pequeños con disco, como los que se usan en instalaciones de plantas piloto, alcanzan a manejar flujos de agua muy baja (16 gpm). Sin embargo, no se recomienda utilizar el alimentador en seco para fluoruración con flujos inferiores a 25 gpm. Si no se dispone de un canal abierto para alimentar por gravedad (desde el tanque de solución), se puede emplear una bomba centrífuga para inyectar la solución de fluoruro en una cañería matriz de agua. Cualquiera de los alimentadores en seco se puede usar con fluorosilicato de sodio

Cuadro 4-4
Comparación entre los sistemas de fluoruración

Químico y sistema	Fluoruro de sodio		Acido fluorosilícico 23 al 35%	Fluorosilicato de sodio Alimentador en seco	
	Fluoruro de sodio ¹ Preparac. manual	Preparación automática (saturador de flujo ascendente)		Volumétrico	Gravimétrico
Flujo de agua tratado ² Población servida ⁴ (por cada pozo o sistema)	Maximo	175 gpm (0,25MGD)	18.050 gpm (26 MGD)	ilimitado	ilimitado
	Mínimo	12 gpm	7,6 gpm	16 gpm	1.400 gpm (2MGD)
	Maximo	1.700	173.000	ilimitado	ilimitado
	Mínimo	500 ⁵	500 ⁵	500 ⁵	15,000 ⁵
Equipo necesario	- bomba med. - tanque mezclador - balanzas - mezclador mecánico	- bomba med. - saturador - medidor de agua	- bomba med. - tanque de día - balanzas	- aliment. en seco volumétr. - balanzas - tolva - tanque de solución	- aliment. en seco gravim. - tolva - tanque de solución
Características físicas	- sólido blanquecino - polvo - cristalino	- sólido blanquecino - cristalino fino - cristalino grueso	- líquido de un color paja	- sólido blanquecino - en polvo - cristalino	
Contenedores de embarque	- sacos de 50 lbs - sacos de 100 lbs - tambores 125 lbs	- sacos de 50 lbs - sacos de 100 lbs - tambores 125 lbs	- carro-tanque - camión-tanque - tambores - bombonas	- sacos de 50 lbs - sacos de 100 lbs - tambores de 125 lbs - tambores de 400 lbs	
Exigencias de manejo	- pesaje - mezcla - medición (manual)	- sólo descargar sacos completos - vaciar tambores	- todo el manejo por bomba	- cargadores de saco o por cantidad - equipo de manejo exigido	
Otros requisitos	- agua de solución (puede requerir suavización)	- agua de solución (puede requerir suavización)	- tanque de almacenam. a prueba de ácido - Orificio de ventilación atmosférica	- zona en seco de almacenamiento - recogedores de polvo - tanque solución - mezcladores	
Peligros	- polvo - derrame - error en la preparación de la solución	- polvo - derrame	- corrosión (especialmente de piezas eléctricas y vidrio) - escurrimiento - gases	- polvo - derrame - arqueamiento y crecida en tolva - corrosión	

1 Basado en una concentración máxima de 2% de NaF, tanque de 50 galones, preparación cada dos días.

2 Basado en el equipo operando en una capacidad de amplitud media.

3 Suponiendo que se agregan no más de 100 lbs de fluoruro de sodio cada dos días.

4 Población servida correlativa con los índices de flujo máximo (basado en 150 galones por persona al día).

5 Cuando el total de la población es inferior a 500 habitantes es más difícil mantener el nivel óptimo de fluoruro.

4.4.3.2 Problemas (selección del alimentador)

Una vez más se ilustrará la elección del equipo por medio de ejemplos. Los problemas de la sección previa se utilizarán para mostrar cómo elegir un tipo de alimentador específico. Como ya se ha elegido el químico del fluoruro, ahora se seleccionará el alimentador.

Problema 4 - 5

En el Problema 4 - 1 visto anteriormente el ácido fluorosilícico se escogió al 23 % como el compuesto químico a utilizar en la fluoruración del agua en un pequeño pueblo del sur de Iowa. Escoja y dimensiona un sistema de ácido para este pueblo, teniendo en cuenta que existen dos pozos que le suministran agua a esta localidad.

Solución 4 - 5

En el diseño de un sistema de ácido, la clave está en escoger la bomba medidora apropiada. La elección de las balanzas, el tamaño de la tubería y otros detalles similares a cualquier otro diseño en la planta de agua y no será tratada en este manual.

Como la ciudad tiene dos pozos habrá dos puntos de inyección y por ello se necesitarán dos bombas de medición. Existen diversos fabricantes de equipo de fluoruración, pero suponga que se ha escogido la Compañía Precisión.

Pozo número uno

$$\text{Dosificación de fluoruro} = 0,8 \text{ mg/l} - 0,1 \text{ mg/l}$$

$$\text{Dosificación fluoruro} = 0,7 \text{ mg/l}$$

$$\text{Tasa de bombeo 1} = 290 \text{ gpm} = 417.6000 \text{ gal/día}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)} = \frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro 1} = \frac{0,7 \text{ mg/l} \times 0,417 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,79 \times 0,23}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro 1} = 13,4 \text{ lbs/día}$$

De esta forma, la tasa de alimentación del fluoruro en el pozo número uno sería de 13,4 lbs/día

Suponga que se selecciona la bomba medidora a Precisión debido a que los cloradores son bombas medidoras de la misma marca. Todos los fabricantes publican especificaciones o datos de diseño para sus equipos. En el cuadro 4 - 5 aparece la hoja de datos de Precisión. (Nota: Las capacidades de las bombas están dadas en galones por hora y se requiere saber la presión de descarga es de un máximo de 65 lpc. La capacidad sería de:

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = \frac{13,4 \text{ lbs/día}}{24 \text{ hr/día} \times 10 \text{ lbs/gal}}$$

Tasa de alimentac. del fluoruro = 0,059 gal/hr.

Del cuadro 4-5, se debe encontrar una capacidad de 0,12 gal/hr la presión máxima.

Con base en el costo, la capacidad y la presión de descarga la bomba electrónica serie No. 10001-32 sería más aconsejable.

Pozo número dos

Dosificación de fluoruro = 0,8 mg/l - 0,1 mg/l

Dosificación fluoruro = 0,7 mg/l

Velocidad de bombeo₂ = 250 gpm = 360.000 gal/día

Tasa de alimentac. del fluoruro₂ (lbs/día) =
$$\frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

Tasa de alimentac. del fluoruro₂ =
$$\frac{0,7 \text{ mg/l} \times 0,36 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,79 \times 0,23}$$

Tasa de alimentac. del fluoruro = 11,6 lbs/día

La tasa de alimentación de fluoruro para el pozo número dos es de 11,6 lbs/día, pero se necesita convertir esta cantidad en galones por hora.

Tasa de alimentac. del fluoruro =
$$\frac{11,6 \text{ lbs/día}}{24 \text{ hr/día} \times 10 \text{ lbs/gal}}$$

Tasa de alimentac. del fluoruro₂ = 0,048 galones/hora

Del cuadro 4-5, si se usan 0,10 galones por horas es posible que se pueda emplear una bomba electrónica de la serie No. 10001-32. (Nota: Esta capacidad es demasiado grande. Si el tamaño de la bomba medidora hubiese sido menor, se hubiera debido considerar una compañía diferente). Donde haya pozos múltiples, lo mejor es usar la misma clase de bomba medidora para la conveniencia del operador de la planta de agua.

Problema 4 - 6

En el Problema 4 - 2, el pueblo de Cripple Creek (West Virginia) optó emplear fluoruro de sodio con un saturador. Allí hay solamente un pozo de ciudad. Favor escoger y calibrar una unidad saturadora para esta comunidad.

Solución 4 - 6

En el diseño de un sistema de fluoruración con saturador se puede elegir entre un sistema de flujo ascendente o uno descendente. Siempre se elige ascendente. Son varias las compañías que venden saturadores de flujo ascendente pero, con base en la preferencia de la comunidad se ha escogido la

compañía Liquid Metronics, Inc. (LMI). Para establecer el tamaño apropiado de saturador se tiene que determinar primero el tamaño de la bomba medidora.

$$\text{Dosificación fluoruro} = 1,0 \text{ ppm}$$

$$\text{Velocidad de bombeo} = 352 \text{ gpm} = 506.900 \text{ gal/día}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)} = \frac{\text{capacidad (gpm)} \times \text{dosificación (mg/1)}}{18.000 \text{ ppm}}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = \frac{506.900 \text{ gal/día} \times 1,0 \text{ ppm}}{18.000 \text{ ppm}}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = 28,2 \text{ gal/día}$$

Vea el cuadro 4 - 6. Ya sea la serie B o D de la bomba medidora electrónica bombearía 28 galones por día, pero se debe seleccionar una bomba medidora que opera en el rango intermedio. Así pues, el rango máximo debe estar cerca a los 56 gal/día. Se va a seleccionar un modelo de bomba B 72. La presión máxima de descarga es de 100 lpc. LMI tiene sólo un tanque saturador que se puede usar con estas bombas electrónicas: el modelo 28850. Se trata de un tanque de polietileno de 50 galones.

Problema 4 - 7

En el problema 4 - 3, una comunidad en Carolina del Sur con una planta de tratamiento de agua ha decidido fluorar su sistema de suministro de agua usando fluorosilicato de sodio. Ahora es necesario diseñar un sistema de fluoruración.

Solución 4 - 7

Si se usa fluorurosilicato de sodio se tendrá que escoger un alimentador volumétrico, ya que el costo no justifica optar por uno gravimétrico. La planta tiene dos puntos de inyección idénticos, con un flujo de 6 MGD en cada localización. En el problema 4 - 3 ya se afirmó que la planta tiene un flujo variable, debido a que se usan diversas bombas de bajo servicio. La ciudad ha decidido que el operador de la planta de agua ajuste los alimentadores en seco en forma manual cuando el flujo cambie. Así, si se ha determinado el tamaño de los alimentadores volumétricos se puede proceder a hacer el diseño de la fluoruración.

$$\text{Dosificación fluoruro} = 1,0 \text{ mg/1} - 0,1 \text{ mg/1}$$

$$\text{Dosificación fluoruro} = 0,9 \text{ mg/1}$$

$$\text{Tasa de bombeo} = 6 \text{ MGD}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)} = \frac{\text{dosificación (mg/1)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = \frac{0,9 \text{ mg/1} \times 6 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,607 \times 0,98}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = 75,7 \text{ lbs/día}$$

Cuadro 4-5
Datos técnicos: Capacidad de bomba y precisión

Serie de la bomba	Presión		Rendimiento de la bomba					Max CC/Stroke	Peso de embarque Lbs. (Approx)	Dimensiones en pulgadas (approx)		
	Max LPC	Max kg/cm ²	Max GPH	Max LPH	Max GPM	Max CC/Min	Max SPM			W	L	H
H1001-120	600	42,2	5,6	21,2	0,09	350	60	5,9	140	8	17 ½	18
H1001-140	600	42,2	11,2	42,4	0,18	700	120	5,9	140	8	17 ½	18
H2001-120	400	28,1	8,8	33,3	0,15	560	60	9,3	140	8	17 ½	18
H2001-140	400	28,1	17,6	66,6	0,30	1.120	120	9,3	140	8	17 ½	18
H3001-120	125	8,8	30	113,5	0,50	1.890	60	30,3	140	9	18 ½	18
H3001-140	125	8,8	60	227	1,00	3.780	120	30,3	140	9	18 ½	18
H4001-1R0	50	3,5	110	416	1,83	6.930	60	115,5	145	9	26 ½	18
H4001-140	35	2,4	220	832	3,67	13.860	120	115,5	145	9	26 ½	18
5001-110	150	10,5	5,0	18,9	0,08	315	37,5	8,4	45	17	15	10
5001-120	150	10,5	10,0	37,8	0,16	630	75	8,4	45	17	15	10
5001-130	150	10,5	13,5	51,1	0,22	850	101	8,4	45	17	15	10
6001-10F	60	4,2	2,5	9,4	0,04	160	36	4,4	21	12 ½	9	7
6001-20F	60	4,2	5,0	18,9	0,08	315	72	4,4	21	12 ½	9	7
7001-1R0	1200	84,4	5,0	18,9	0,08	315	60	8,4	100	20	26	14
7001-140	1200	84,4	10,0	37,8	0,16	630	120	8,4	100	20	26	14
8001-10	100	7,0	0,83	3,1	0,01	50	36	1,45	17	8 ½	9 ½	8
8001-20	60	4,2	1,6	6,1	0,03	100	72	1,45	17	8 ½	9 ½	8
9001-10	125	8,8	2,5	9,4	0,04	160	36	4,4	18	8 ½	10	9
9002-10	125	8,8	5,0	18,9	0,08	315	36	4,4	21	8 ½	14	9
9001-20	60	4,2	5,0	18,9	0,08	315	72	4,4	18	8 ½	10	9
9002-20	50	3,5	10,0	37,8	0,16	630	72	4,4	21	8 ½	14	9
10001-320	75	5,3	0,14	0,53	0,002	9	15	0,6	8	4 ½	7	9
10001-360	75	5,3	0,57	2,2	0,009	35	60	0,6	8	4 ½	7	9
11001-320	45	3,1	25	0,95	0,004	15	15	1,05	9	4 ½	9	7
11001-360	45	3,1	1,0	3,8	0,016	60	60	1,05	9	4 ½	9	7
12001-10	80	5,6	1,6	6,1	0,03	100	72	1,4	15	7 ½	10	12
12002-10	80	5,6	3,2	12,1	0,06	200	72	1,4	15	7 ½	10	12
13001-10	150	10,5	1,6	6,1	0,03	100	72	1,4	22	7 ½	11	12
13001-10HO	90	6,3	4,0	15,1	0,07	250	72	3,5	25	7 ½	15	12
14001-110	35	2,4	10,0	37,8	0,16	630	72	8,4	30	7 ½	15 ½	11 ½
15001-10	500	35	0,25	0,95	0,004	15	72	0,22	15	7 ½	13	9 ½
16001-10	900	63	0,25	0,95	0,004	15	72	0,22	20	7 ½	14	9 ½
17001-580	75	5,3	0,79	3,0	0,01	50	83	0,6	13	4 ½	11 ½	12 ½

PSI LPC
 kg/cm² Kilogramos por centímetro cuadrado
 LPH Litros por hora
 CC/Min Centímetro cúbico por minuto
 GPH Galones/hora
 GPM Galones/minuto
 SPM Carreras/minuto

Utilice un alimentador volumétrico del tipo de tornillo sin fin fabricado por Wallace y Tiernan (Ver el cuadro 4 - 6). Estas capacidades están dadas en pies cúbicos por hora (pch). La densidad del fluorosilicato de sodio es de aproximadamente 65 lbs/pc.

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = \frac{75,7 \text{ lbs/día}}{65 \text{ lbs/pc} \times 24 \text{ hrs/día}}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro} = 0,05 \text{ pch}$$

Se seleccionará un alimentador volumétrico Wallace y Tiernan. Recuerde que la capacidad promedio es de 0,05 pch, y que los datos técnicos especifican la capacidad máxima. Así pues utilice un valor de 0,10 para escoger el alimentador. Según el cuadro 4 - 7, la caja de engranajes de alta velocidad, Paso 1, y un tornillo de $\frac{3}{4}$ de pulgada serían la mejor elección. Por esta razón cada una de las dos plantas idénticas deberían tener un alimentador volumétrico Wallace y Tiernan Modelo de Serie 32-055, con una caja de engranajes de alta velocidad y un tornillo sin fin de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

Problema 4 - 8

En el Problema 4 - 4, una comunidad en Colorado va a fluorar su sistema de agua usando ácido fluorosilícico y un punto de inyección.

Solución 4 - 8

En diseño de la bomba medidora para el sistema a ácido sería similar al tratado en el Problema 4-5. Para elegir la bomba medidora apropiada es necesario tener en cuenta la tasa de flujo más elevada tomando diversos niveles de fluoruro. Es por ello que se deben encontrar las tasas de alimentación de fluoruro más altas y bajas. Como se realizará un cambio manual del ajuste cada vez que se conecta o se desconecta una bomba de un pozo no se necesita un medidor de ritmo.

La tasa más alta de alimentación de fluoruro se producirá cuando todos los pozos estén abiertos.

Nivel natural de fluoruro_n

$$= \frac{(0,4 \times 400) + (0,4 \times 400) + (0,2 \times 550) + (0,2 \times 550) + (0,1 \times 300)}{2.200}$$

$$\text{Nivel natural de fluoruro}_n = 0,25 \text{ mg/l}$$

$$\text{Dosificación de fluoruro}_h = 0,1 \text{ mg/l} - 0,25 \text{ mg/l} = 0,75 \text{ mg/l}$$

$$\text{Velocidad de bombeo}_h = 2.200 \text{ gpm} = 3.168.000 \text{ gal/día}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)}_h = \frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

$$\text{Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)}_h = \frac{0,75 \text{ mg/l} \times 3,17 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,79 \times 0,23}$$

Cuadro 4 - 6
Datos técnicos - LMI

Especificaciones - Serie A

Series	A14 A74		A34		A15 A75		A16 A76	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Galones por día	0,14	14,0	0,04	14,0	0,24	24,0	0,48	48,0
Galones por hora	0,006	0,6	0,002	0,6	0,01	1,0	0,02	2,0
Litros por hora	0,023	2,19	0,008	2,19	0,038	3,79	0,076	7,57
Mililitro o cm ³ / minuto	0,80	38,0	0,13	38,0	0,63	63,0	1,26	126,0
Rendimiento por recorrido o carrera - Mililitro o cm ³	0,08	0,38	0,08	0,38	0,13	0,63	0,26	1,26
Presión máxima de inyección	250 PSI (17,5 kg/cm)		250 PSI (17,5 kg/cm)		110 PSI (7,7 kg/cm)		55 PSI (3,85 kg/cm)	

Especificaciones - Serie B

Series	B11 B71 BE1		B12 B72 BE2		B13 B73 BE3	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Galones por día	0,19	38,5	0,31	60,0	0,50	108,0
Galones por hora	0,008	1,6	0,012	2,5	0,022	4,5
Litros por hora	0,03	6,0	0,05	9,5	0,085	17,0
Mililitro o cm ³ / minuto	0,50	100,0	0,79	158,0	1,42	284,0
Rendimiento por recorrido o carrera - Mililitro o cm ³	0,10	1,0	0,16	1,58	0,28	2,84
Presión máxima de inyección	150 PSI (10,5 kg/cm)		100 PSI (7 kg/cm)		50 PSI (3,5 kg/cm)	

Especificaciones - Serie D

Series	D10 D70 DE0		D11 D71 DE1		D12 D72 DE2		D13 D73 DE3		D14 D74 DE4	
Capacidad de rendimiento	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Galones por día	0,16	31	0,30	60	0,48	96	1,2	240	2,4	480
Galones por hora	0,006	1,3	0,012	2,5	0,02	4	0,05	10	0,1	20
Litros por hora	0,024	4,9	0,047	9,5	0,076	15,2	0,19	38	0,379	76
Mililitro o cm ³ / minuto	0,4	82	0,783	158	1,26	253	3,16	631	6,3	1262
Rendimiento por recorrido o carrera - Mililitro o cm ³	0,1	1,02	0,20	1,98	0,32	3,16	0,79	7,9	1,6	15,8
Presión máxima de inyección	300 PSI (21 kg/cm)		150 PSI (10,5 kg/cm)		100 PSI (7 kg/cm)		35 PSI (2,45 kg/cm)		20 PSI (1,4 kg/cm)	

Especificaciones - Serie S

Series	S11		S12		S13		S14	
Capacidad de rendimiento	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Galones por día	6,0	60,0	12,0	120,0	19,0	190	31,0	312
Galones por hora	0,25	2,5	0,50	5,0	0,79	7,9	1,3	13
Litros por hora	0,95	9,5	1,9	19,0	3,0	30	5,0	50
Mililitro o cm ³ / minuto	16,0	160	31,5	315,0	50,0	500	82,0	820
Rendimiento por recorrido o carrera - Mililitro o cm ³	0,10	1,03	0,21	2,06	0,33	3,26	0,54	5,36
Presión máxima de inyección	300 PSI (21 kg/cm)		150 PSI (10,5 kg/cm)		90 PSI (6,3 kg/cm)		60 PSI (4,2 kg/cm)	

Especificaciones - Serie L

Series	L11 L71	L41 L81	L12 L72	L42 L82
Capacidad de rendimiento	min.	max.	min.	max.
Galones por día	84	840	168	1680
Galones por hora	3,5	35	7	70
Litros por hora	13,25	132,5	26,5	265
Mililitro o cm ³ / minuto	221	2208	442	4416
Rendimiento por recorrido o carrera - Mililitro o cm ³	3	30	3	30
Presión máxima de inyección	150 PSI (10,5 kg/cm)		150 PSI (10,5 kg/cm)	

Tasa de alimentac. del fluoruro_h = 109 lbs/día

La tasa más baja de alimentación del fluoruro sería con el pozo No. 1 o con el pozo No. 5.

Dosificación fluoruro₁ = 0,1 mg/l - 0,4 mg/l = 0,6 mg/l

Velocidad de bombeo₁ = 400 gpm = 0,57 MGD

Tasa de alimentac. del fluoruro =
$$\frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)₁ =
$$\frac{0,6 \text{ mg/l} \times 0,57 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,79 \times 0,23}$$

Tasa de alimentac. del fluoruro₁ = 15,7 lbs/día

Dosificación fluoruro₅ = 1,0 mg/l - 0,1 mg/l

Dosificación fluoruro₅ = 0,9 mg/l

Velocidad de bombeo₅ = 300 gpm = 0,43 MGD

Tasa de alimentac. del fluoruro =
$$\frac{\text{dosificación (mg/l)} \times \text{capac. (MGD)} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{\text{IFD} \times \text{pureza química}}$$

Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)₅ =
$$\frac{0,9 \text{ mg/l} \times 0,43 \text{ MGD} \times 8,34 \text{ lbs/gal}}{0,79 \times 0,23}$$

Tasa de alimentac. del fluoruro₅ = 17,76 lbs/día

Por lo tanto la tasa más baja de alimentación del fluoruro se producirá solo cuando el pozo No. 1 (o el pozo No. 2) está conectado.

Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)_h = 109 lbs/día ÷ 10 lbs/gal = 10,9 gal/día

Tasa de alimentac. del fluoruro (lbs/día)_L = 15,7 lbs/día ÷ 10 lbs/gal = 1,57 gal/día

Se debe seleccionar una bomba medidora que maneje un rango de 3 a 20 galones por día recordando que lo mejor es operarla en el rango intermedio. La mejor elección sería una bomba medidora electrónica LMI (del cuadro 4 - 6) de la serie "A", Modelo A 74. Una presión comprobada de descarga de 100 lpc es satisfactoria. (Nota: Cuando el flujo es bajo, la bomba medidora estará operando por encima del mínimo fijado por el fabricante de 0,24, aunque es inferior que lo que generalmente recomiendan los CDC).

Cuadro 4 - 7
Datos técnicos - W&T

Capacidad volumétricas máximas (pies³/hora)

Polea de accionamiento de 4 pasos		Tamaño del tornillo sin fin			
Paso	Relación	¾"	1-½"	2-½"	4"
Caja de engranajes de baja velocidad					
1	12:1	0,03	0,2	1,0	4
2	8:1	0,04	0,3	1,4	6
3	5.3:1	0,06	0,45	2,2	9
4	4:1	0,08	0,6	3,0	12
Caja de engranajes de alta velocidad					
1	12:1	0,10	0,8	4	16
2	8:1	0,16	1,2	6	24
3	5.3:1	0,24	1,8	9	36
4	4:1	0,32	2,4	12	50

CAPITULO CINCO

INSTALACION DE SISTEMAS DE FLUORURACION

5.1 Generalidades

Es imposible hablar sobre la instalación de equipos de fluoruración sin poseer conocimientos básicos sobre los sistemas de tratamiento de agua. Si bien las descripciones detalladas trascienden el campo de este Manual, se presentarán algunos hechos básicos, lo cuales serán simplificados en aras de la claridad. Este capítulo incluye términos como filtros rápidos de arena, depósitos de agua clarificada, estanques de floculación, estanques de contacto sólido, etc., sin proporcionar explicaciones detalladas al respecto. Sugerimos que el lector se apoye en un buen texto sobre diseño de plantas de tratamiento de agua si requiere información adicional.

No existen leyes, disposiciones o requisitos gubernamentales que reglamentan el diseño o instalación de equipo de fluoruración. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA) fija estándares para la cantidad máxima de fluoruro natural que pueda haber en el agua potable - Niveles Máximos de Contenido (NMC) - pero estas normas no se aplican directamente a la fluoruración ajustada. Las leyes, disposiciones y requisitos para la fluoruración ajustada. Las leyes disposiciones y requisitos para la fluoruración del agua proceden de los programas individuales para agua potable del estado. Los CDC ha sido el foco nacional para la fluoruración del agua y han desarrollado muchas recomendaciones sobre los aspectos técnicos de fluoruración.

En los EE.UU. por regla general los programas estatales de agua potable siguen las prácticas enunciadas a continuación sobre los aspectos técnicos de la fluoruración:

Casi siempre se exige un permiso estatal antes de que la comunidad (o colegio) pueda fluorurar su suministro de agua.

Es necesario preparar los planes y especificaciones (en muchos estados lo debe hacer un ingeniero profesional) y someterlos al estado para su aprobación antes de iniciar la construcción.

Se requieren dispositivos de seguridad. Estos varían ampliamente de un estado a otro, pero por lo general incluyen rompedores de vacío, dispositivos de antisifonaje y conductos de desvío.

En muchos estados un sistema de fluoruración no se puede poner en marcha hasta tanto no haya sido inspeccionado y aprobado por los ingenieros del estado. Algunos estados requieren que los operadores adquieran una capacitación formal antes de poner en marcha el sistema.

La mayoría de los estados requieren que los operadores utilicen un equipo de seguridad compuesto por guantes largos de guantelete, delantales químicos, respiradores, gafas protectoras, duchas, instalaciones para lavarse los ojos, etc. Estos aspectos requieren mayor atención y una aplicación más estricta una vez se realiza la inspección final de la construcción.

Casi todos los estados exigen ahora algún nivel de certificación para el operador antes de que comience a manejar el sistema de fluoruración.

Prácticamente todos los estados exigen un muestreo diario de los fluoruros. Muchos exigen un muestreo diario de cada fuente individual (pozo).

Generalmente todos los estados requieren que se mantengan ciertos registros como son los resultados diarios del muestreo, las cantidades diarias de agua tratada, el peso diario de los químicos, el cálculo de los niveles de fluoruro, etc. Las copias de estos registros se envían a la oficina estatal apropiada.

La mayoría de los estados aplican estas reglas y reglamentos respecto a la fluoruración con laxitud. La fluoruración del agua no está cubierta por el Decreto de Seguridad del Agua Potable de 1974 (o por su enmendada de 1986), y por eso se le ha dado una menor prioridad que los elementos cubiertos por la Ley. Aunque algunas personas vinculadas a los procesos de su fluoruración tienden a no estar de acuerdo con esta posición, es una realidad y probablemente no cambiará.

5.2 Tipos de plantas de agua

La instalación del equipo de fluoruración, y especialmente el punto de inyección, depende en gran medida del tipo de sistema o planta de tratamiento de agua. Como la clasificación de las plantas de agua puede ser confusa incluso para los ingenieros, identificaremos los tipos generales de sistemas. (Ver Cuadro 5-1).

Los tres principales sistemas de agua son el pozo individual, la planta de tratamiento en superficie y la planta de tratamiento para suavizar el agua. El sistema de pozos múltiples es una versión completa del sistema de pozo único. Combina la mezcla rápida, floculación, y estanques de ajuste en una sola unidad. La planta de tratamiento de eliminación de manganeso y hierro es una planta de tratamiento por aireación y una versión de un sistema de pozo único (Ver las Figuras 5-1, 5-2, 5-3).

Obviamente existen varias combinaciones de los sistemas mencionados. Por ejemplo, un sistema grande de agua puede incluir un campo con pozo y un embalse de ciudad, combinado así el tratamiento en superficie y el suavizamiento del agua. Algunas veces es difícil encasillar una planta de agua en un tipo determinado pues puede contener elementos de los diversos tipos dentro de sus sistema. Es posible que sea tan simple como una tubería de distribución de agua, o tan complejo como un sistema de tratamiento de tipo múltiple. Afortunadamente la mayoría de los aproximadamente 60.000 sistemas de agua que existen en los EE.UU. cabe dentro de uno de los tipos de sistema de agua existentes.

5.3 Químicos empleados en plantas de tratamiento de agua

La cantidad y clase de químicos usados en una planta de tratamiento de agua varía ampliamente. (Ver Cuadro 5-2). En general, los compuestos usados dependen más de las características del agua que se van a cambiar, más que en el tipo de planta de agua. Por ejemplo, el cloro se usa para desinfectar, los fluoruros para la fluoruración, el carbón activado para controlar el olor y el sabor, etc. El tipo específico de compuesto químico de cloro o fluoruro a ser empleado si puede depender del tipo de planta de agua, por ejemplo, el fluoruro de sodio para un sistema de pozo único o la cloración de gas en una planta de tratamiento en superficie.

Con el fin de facilitar la identificación de las tuberías, una buena práctica consiste en pintar las tuberías en las galerías de tubería de las plantas de tratamiento de agua. La codificación por colores ayuda a prevenir posibles errores cuando de tomas las muestras o se realiza el mantenimiento. En el Informe de 1992 sobre Normas Recomendadas para Empresas de Agua Potable del Consejo de Ingenieros del Estado del Comité de los Grandes Lagos y del Mississippi superior se recomienda usar este esquema de colores. Asimismo, la palabra “fluoruro” y la dirección del flujo deben aparecer en la tubería.

Cuadro 5-1
Tipos de sistemas de agua

Tipo de sistema	Fuente de agua	Químicos usados comunmente*
Distribución	Otros sistemas	Cloro
Pozo unico	Suelo	Cloro, fluoruro, polifosfato
Pozos múltiples	Suelo	Cloro, fluoruro, polifosfato
Planta de tratamiento en superficie	Superficie (lago, rio)	Cloro, fluoruro, cal, alumbre, carbón activado, permanganato de potasio, polielectrólito
Planta de contacto sólido (Suavización del agua)	Suelo	Cloro, fluoruro, alumbre, cal, polifosfato, dióxido de carbono
Planta de eliminación de Manganeseo-Hierro	Suelo	Cloro, fluoruro, permanganato de potasio, arenisca verde de manganeseo
Intercambio iónico	Suelo/superficie	Cloro, fluoruro, zeolita, resinas poliestirénicas

* Se pueden usar muchos otros productos químicos, dependiendo de las características del agua (vease el cuadro 5-2).

5.4 Punto de inyección del fluoruro

Lo primero que se debe tener presente al elegir el punto de inyección del fluoruro es que por allí pase toda el agua a ser tratada. En una planta de agua, este punto puede estar en un canal en el que se añadan los otros compuestos químicos de tratamiento del agua, en una tubería principal que proviene de los filtros o en un depósito de agua clarificada. Si hay una combinación de instalaciones, como por ejemplo una planta de tratamiento para agua de superficie mas pozos complementarios, se debe utilizar aquel punto por donde pasa toda el agua de todas las fuentes. Si no existe este punto común, será necesario hacer instalaciones separadas de alimentación de fluoruro para cada instalación de agua.

Otro aspecto a considerar al elegir el punto de inyección del fluoruro es el problema de las pérdidas de fluoruro en los filtros. Siempre que sea posible, se debe agregar el fluoruro después de la filtración para evitar las pérdidas sustanciales que se pueden producir, especialmente con dosis pesadas de alumbre o cuando hay presencia de magnesio presente y se está usando el procedimiento de suavización de ceniza de soda - cal. Puede haber una pérdida hasta un 30% si el porcentaje de dosificación de alumbre es de 100 ppm. En raras ocasiones se puede requerir agregar el fluoruro antes de la filtración; tal es el caso cuando el pozo de aguas clarificadas es inaccesible o está tan lejos

de la planta que el traslado de productos químicos no sería económico, o cuando se quiere evitar un segundo punto separado de inyección.

Cuando otros químicos están siendo alimentados se debe considerar la compatibilidad de los compuestos. Si cualquiera de estos otros químicos contiene calcio, el punto de inyección de fluoruro debe estar tan lejos de éste como sea posible a fin de minimizar la pérdida de fluoruro por precipitación. Por ejemplo, si se está añadiendo cal (para el control del pH) a la tubería principal que viene de los filtros, el fluoruro se puede agregar a la misma tubería pero en otro punto, o se puede añadir en el pozo de aguas clarificadas. Si se le está añadiendo, cal al pozo de aguas clarificadas, el fluoruro se debe agregar en el lado opuesto. En caso de que no fuese posible separar los puntos de inyección, se tendrá que usar un mezclador en línea. Si se agrega cal de envío al tratamiento de agua, es preferible usar fluoruro de sodio a través de un conducto de agua de reemplazo antes de añadir la cal.

En un sistema de pozo único, el punto de inyección de fluoruro estará en el conducto de descarga de una bomba. Si existe más de una bomba, puede ser en el conducto que va al tanque elevado o a otra instalación de almacenamiento. En la planta de tratamiento de agua en superficie y en la planta de suavización del agua, el punto ideal de inyección para el fluoruro es el conducto que va de los filtros rápidos de arena al pozo de aguas clarificadas. Esto proporcionará una mezcla máxima. Algunas veces el pozo de aguas clarificadas está situado inmediatamente por debajo del filtro rápido de arena, y por ello se dificulta la descarga de cualquier producto químico en forma directa al pozo de aguas clarificadas.

Figura 5-1
SISTEMA DE AGUA CON POZO UNICO

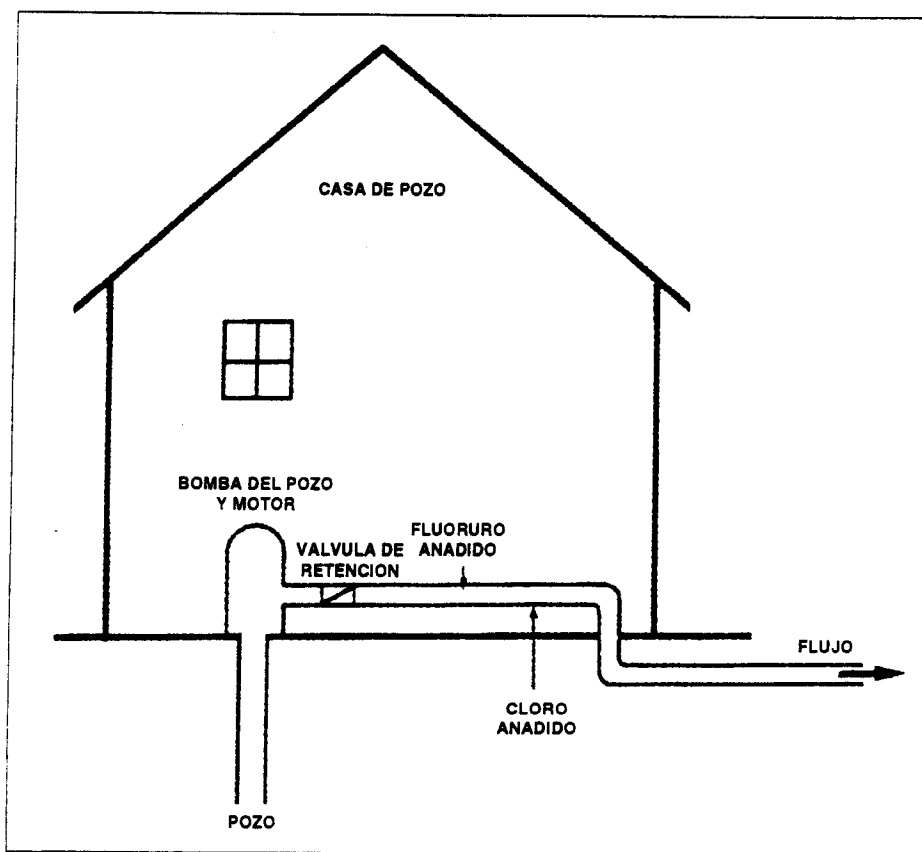


Figura 5-2
ESQUEMA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE SUPERFICIE

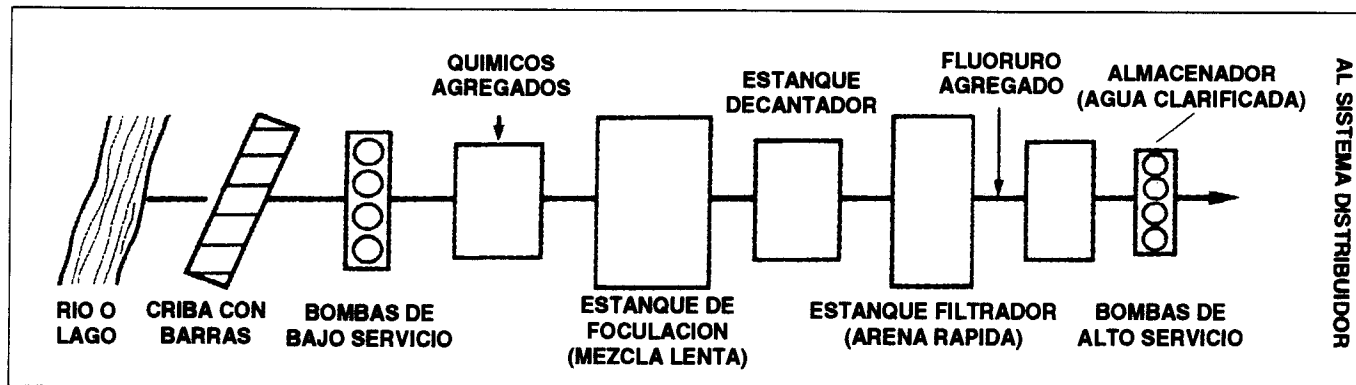
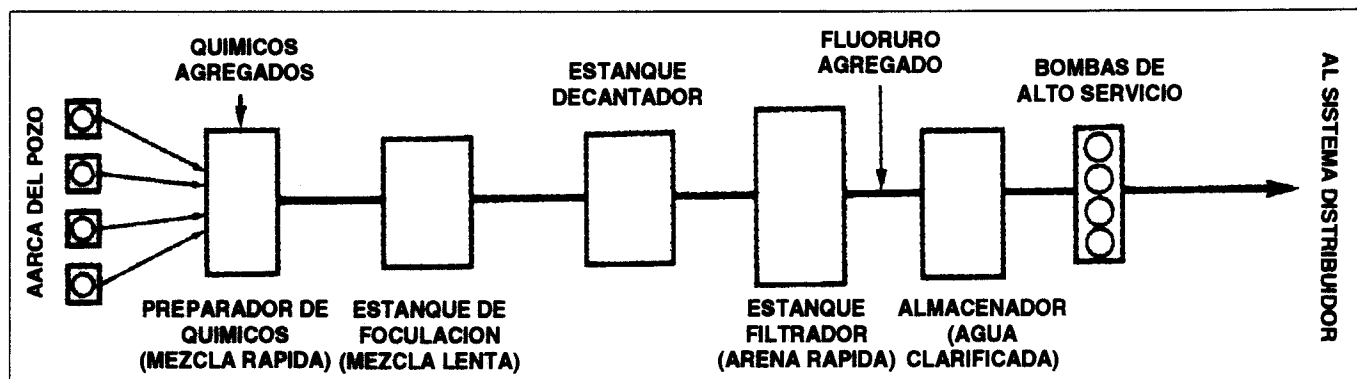


Figura 5-3
ESQUEMA DE UNA PLANTA SUAVIZADORA DE AGUA



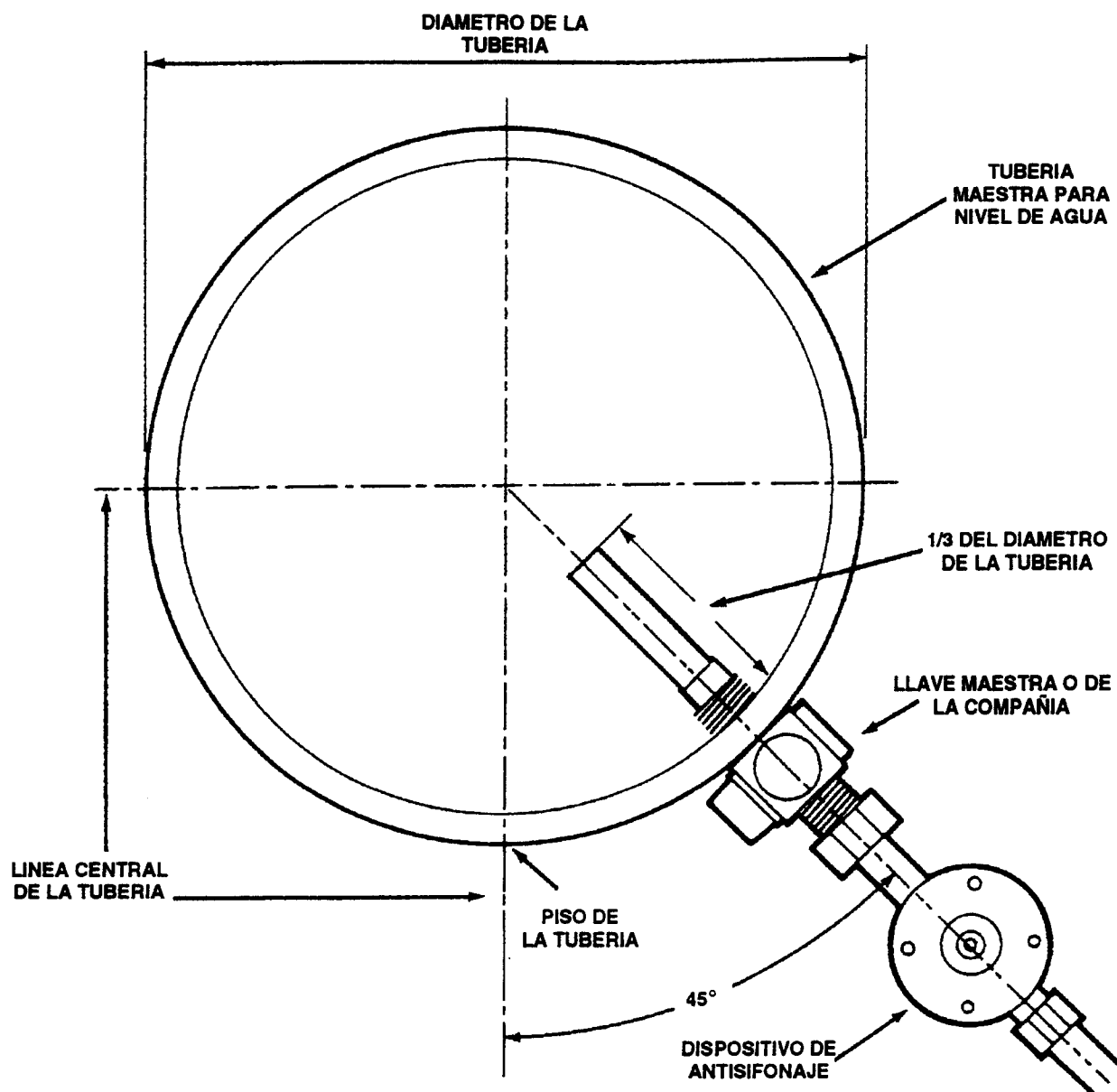
Cuadro 5-2
Químicos utilizados en una planta de tratamiento de agua

Nombre	Uso
1. Amoniaco (anhidrido) *	Desinfección
2. Hidróxido de amonio *	Desinfección
3. Sulfato de amonio	Desinfección
4. Bromo	Desinfección
5. Cloro (gas) *	Desinfección, agente de oxidación
6. Dióxido de cloro	Desinfección
7. Hidrocloritos	
- Hipoclorito de calcio (HTH)	Desinfección
- Hipoclorito de sodio (blanqueador de hogar)	Desinfección
- Hipoclorito de litio	Desinfección
8. Ozono *	Desinfección
9. Nitrato de plata	Desinfección (unidades del hogar)
10. Luz ultravioleta	Desinfección
11. Carbón activado	Material de absorción
12. Carbón vegetal	Material de absorción
13. Sulfato amónico de aluminio	Coagulante metálico, desclorinador
14. Anhídrido sulfuroso	Agente de desclorinación
15. Sulfito de sodio	Agente de desclorinación
16. Bisulfito de sodio	Agente de desclorinación
17. Tiosulfato de sodio	Agente de desclorinación
18. Resinas de intercambio iónico	Medios suavizadores de agua
19. Cloruro de sodio (sal)	Medios suavizadores de agua
20. Glaucónita (arena de sílice)	Medios suavizadores de agua
21. Arena de sílice	Medios filtrantes
22. Antracita	Medios filtrantes
23. Sulfato de aluminio (alumbre)	Coagulante metálico
24. Sulfato férrico	Coagulante metálico
25. Sulfato de hierro	Coagulante metálico
26. Cloruro férrico *	Coagulante
27. Aluminato sódico	Coagulante, control del pH
28. Sulfato potásico de aluminio	Coagulante
29. Óxido de calcio (cal gruesa) *	Control del pH, coagulante
30. Hidróxido de calcio (cal hidratada)	Control del pH, coagulante
31. Arcilla (Bentonita)	Auxiliar coagulante
32. Carbonato de calcio	Auxiliar coagulante, control pH
33. Sílice activado	Auxiliar coagulante
34. Silicato de sodio	Auxiliar coagulante
35. Carbonato de sodio (sosa comercial)	Control pH, coagulante
36. Anhídrido carbónico (gas)	Control pH
37. Ácido hidrolórico *	Control pH
38. Hidróxido de sodio *	Control pH, control corrosión
39. Ácido sulfúrico *	Control pH
40. Permanganato de potasio	Desinfección, eliminador color, oxidante
41. Polielectrólitos	Auxiliar coagulante
42. Polifosfatos	
- polifosfato de calcio	Control de corrosión, control del hierro
- polifosfato de zinc	Control de corrosión, control del hierro
- tri-polifosfato de sodio	Control de corrosión
- hexa-metafosfato de sodio	Control de corrosión
43. Fluoruro de sodio	Fluoruración
44. Fluorosilicato de sodio	Fluoruración
45. Ácido fluorosilícico *	Fluoruración
46. Sulfato de cobre	Control de las algas

* Material extremadamente peligroso para el operador de la planta

En el punto de inyección de fluoruro, la ubicación del conducto de los químicos debe estar 45 grados del fondo de la tubería y sobresalir 1/3 del diámetro de la tubería dentro de la misma. Esto permitirá una mejor mezcla y evitará que se acumulen sedimentos alrededor del punto de inyección. El punto de inyección del fluoruro no debe estar nunca en la parte superior del conducto debido a los problemas de fricción por aire. La instalación también debe incluir una válvula, una tobera de inyección, o una llave maestra. Asimismo se recomienda que se incluya siempre un mecanismo de antisifonaje (Ver Figura 5-4)

Figura 5-4
PUNTO DE INYECCION DE FLORURO



5.5 Instalación del equipo

5.5.1 Generalidades

La instalación de la fluoruración se debe considerar durante la etapa de diseño. Las decisiones que se tomen durante esta fase afectarán en gran medida la instalación. La mejor instalación es aquella que incorpora tantos de los siguientes factores como sea posible:

1. Equipo de alimentación simple y preciso.
2. Un manejo mínimo de productos.
3. En consonancia con los dos factores anteriores, el menor costo total con base en la amortización del equipo y en el costo de los químicos.
4. Facilidad para reunir registros fidedignos.
5. Mantenimiento mínimo del alimentador, tubería y equipo inyector.

Para determinar la mejor instalación se requiere un conocimiento cabal de los tipos de equipos disponibles.

Antes de escoger el tipo de alimentador se debe contar con el espacio suficiente y apropiado para instalarlo. Si ya existe una planta de agua donde se están alimentando otros compuestos químicos por lo general no habrá ningún problema en encontrar el espacio necesario para un alimentador adicional. Si no hay planta de tratamiento, como ocurre frecuentemente con los sistemas de pozo puede haber una casa que lo contenga incluso algún tipo de cobertizo, cerca del punto de inyección del fluoruro, preferiblemente en un lugar con espacio para almacenar los químicos, dotado de energía eléctrica (en la mayoría de los casos) y con un conducto de agua para la preparación de la solución. El lugar debe ser accesible para facilitar el reaprovisionamiento de químicos y el mantenimiento. Además de cumplir con estos requisitos básicos, se debe tener en cuenta que es aconsejable mantener los químicos aislados de otros materiales almacenados, que la ventilación sea adecuada y en general velar por que todo funcione en forma apropiada.

Cuando el sistema de fluoruración está conectado eléctricamente a la bomba del pozo se debe asegurar que sea imposible enchufar la bomba medidora de fluoruro dentro de cualquier tomacorriente "caliente". La bomba solo debe ser enchufada en el circuito que contenga protección de sobrealimentación. Una forma de asegurar que esto suceda es proporcionar un enchufe especial en la bomba medidora que sea compatible únicamente con una toma eléctrica especial en el punto apropiado. Este enchufe especial debe ser claramente etiquetado. Esta recomendación es válida tanto para la alimentación con ácidos como para los sistemas con saturador.

5.5.2 Instalación de ácido fluorosilícico

La instalación más simple y sencilla de fluoruración es un sistema de alimentación de ácido con un pozo único. La instalación típica incluiría una bombona de ácido (o tambor), una pequeña bomba medidora y balanzas (Ver Figura 5-5) La bombona (o tambor) debe contar con un respiradero hacia el exterior y estar sellada alrededor del conducto de entrada a la bomba y del conducto de desahogo. Si el espacio donde está ubicado el equipo de fluoruro queda expuesto a la acción directa y fuerte del sol, el pigmento de la tubería debe ser de color negro. Este elimina los rayos ultravioletas que son los que ocasionan el agrietamiento de los tubos translúcidos.

La bomba medidora debe colocarse en un anaquel a nomás de 4 pies por encima de la bombona o contenedor de la solución, si es posible. Nota: Muchos fabricantes recomiendan que la bomba se coloque de tal manera que tenga un conducto (bajo) de succión de la crecida (flooded suction line). Sin embargo esto no es recomendable en la fluoruración. El conducto de succión debe ser tan corto y recto como sea posible, debe haber una válvula de pie y un colador en el fondo, y un peso para mantenerlo abajo si fuera necesario.

El conducto de descarga de la bomba medidora también debe ser tan corto y recto como sea posible. Evite las curvaturas o recodos en el conducto. Asimismo se debe evitar inyectar la solución por la parte más superior de la tubería, ya que el aire se aposenta allí y puede abrirse camino hacia el interior de la válvula de retención de la bomba medidora o al conducto de descarga y producir una fricción por aire (air-binding). Se recomienda entonces que se instale una válvula antisifonaje en el punto de inyección.

Muchas bombas medidoras vienen equipadas o disponen de una válvula de descarga antisifonaje como accesorio. Esta se puede montar directamente en el cabezal de la bomba. Se debe usar una válvula de descarga "compensada", si la solución va a ser alimentada dentro de un canal abierto o en una tubería de baja presión. Se trata de una válvula diafragmática o de retención compensada por resorte que no se abrirá hasta que la presión de descarga de la bomba exceda un cierto valor establecido. El ajuste más común es de 15 lpc.

Como se mencionó anteriormente, la bombona de ácido debe estar completamente sellada. Este es uno de los principales problemas en muchos sitios de fluoruración. Son diversas las clases de bombonas que se usan como contenedores de ácido. La más común (y el último estilo) es la que tiene la parte superior plana. En la Figura 5-6 aparece un ejemplo de cómo sellar la bombona o el contenedor de tambor.

Figura 5-5
INSTALACION DE ACIDO FLUOLISILICO:
ALMACENAMIENTO EN BOMBONA (TAMBOR)

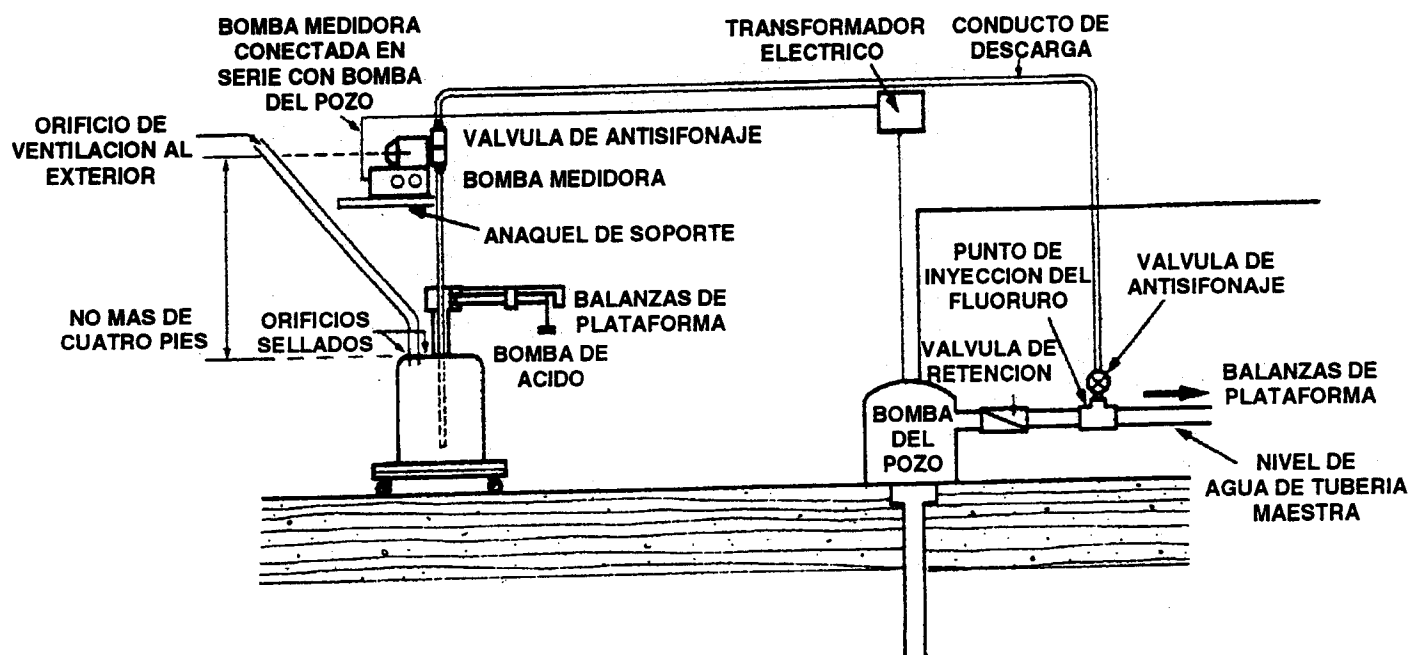


Figura 5-6
CONEXION A BOMBONA (TAMBOR) DE ADICO H SIF

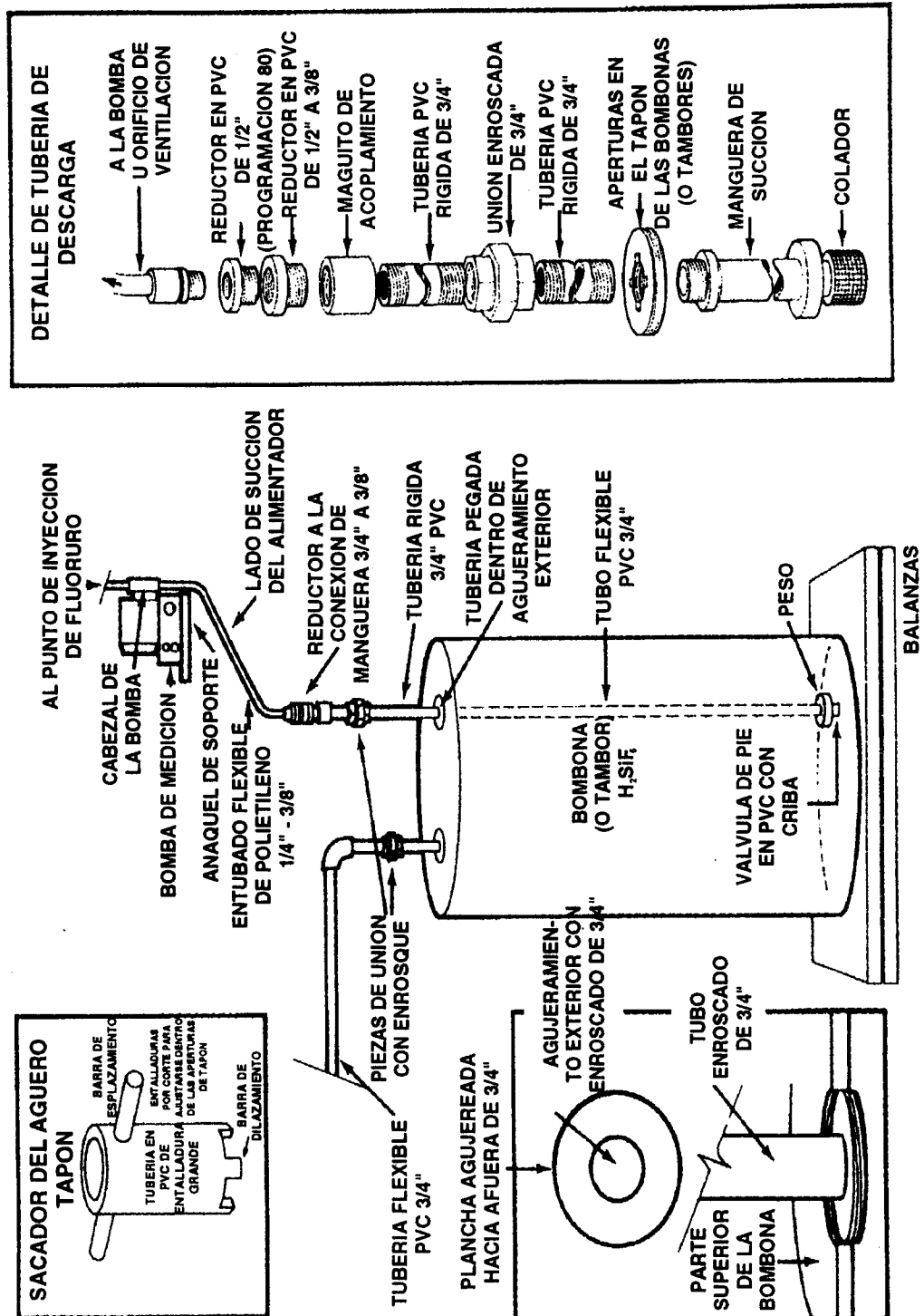


Figura 5-7
INSTALACION DE LA CAJA DE INTERRUPTOR

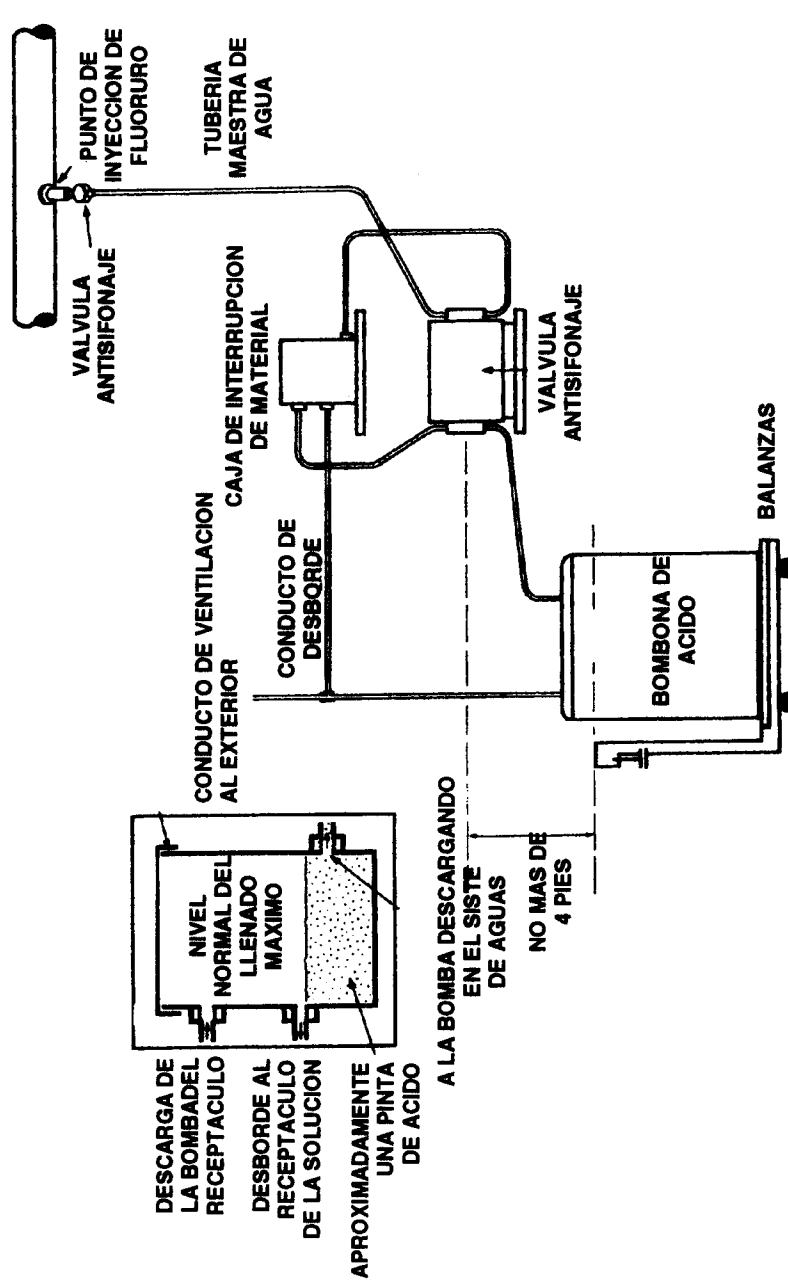
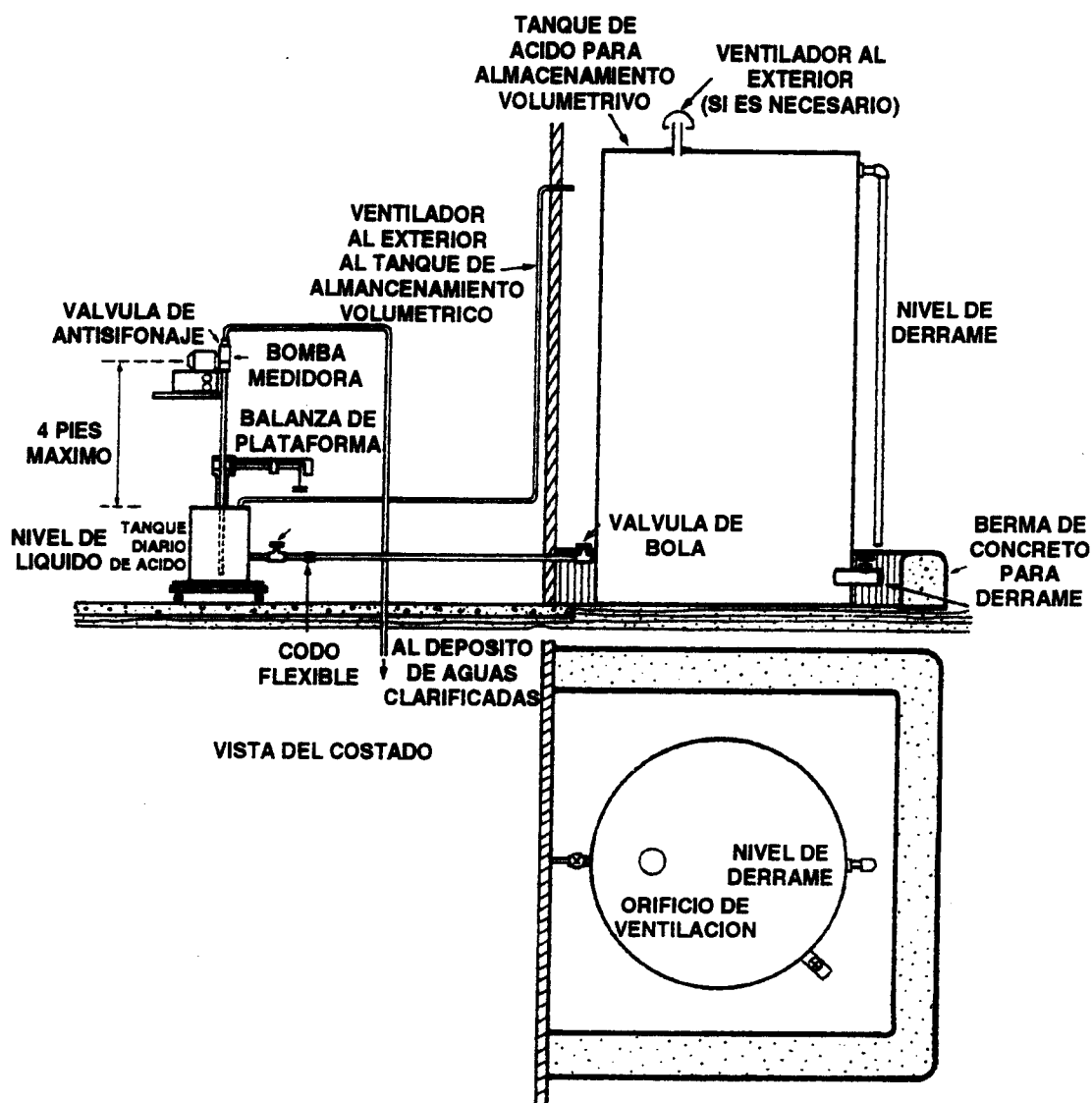


Figura 5-8
INSTALACION DE ACIDO FLUOSILICO



En los EE.UU., muchos estados tienen la preocupación de que se produzca una sobrealimentación de fluoruro, no solamente por el riesgo que esto representa para la salud pública, sino también por la publicidad adversa. Para evitar estar peligro remoto, se puede usar una caja de interrupción del material (Ver Figura 5-7). Esta caja reduce la posibilidad de una sobrealimentación por sifonaje con un aumento muy leve en el costo. Sólo la cantidad de ácido que se encuentra en la caja de interrupción puede ser enviada a través del sifón hacia la cañería de agua principal. Incluso en instalaciones muy pequeñas, se trata de una cantidad relativamente insignificante. Esta ingeniosa instalación fue desarrollada por el estado de Minnesota. La mayor diferencia en términos de costo la constituye la bomba medidora de doble cabezal en vez de una con un solo.

Con algunas excepciones la instalación de un sistema de alimentación de ácido en una planta de agua más grande que usa almacenaje en volumen es semejante a la de pozo. (Ver Figura 5-8). Aquí se necesita un tanque de día en lugar de una bombona. En condiciones normales de funcionamiento, el tanque día no debe contener más de dos días de suministros de ácido. El tanque de día también tiene que estar sellado alrededor del borde exterior del contenedor, en el orificio de desahogo, en la abertura del conducto de succión de la bomba y en la entrada de llenado de la tubería.

Si la tubería no es flexible, deben existir conexiones flexibles en el conducto de almacenaje volumétrico. Esto se hace para prevenir una lectura poco exacta de las balanzas. El conducto de desahogo debe ir desde el tanque de día hasta el tanque de almacenaje volumétrico (cerca de la parte superior) y no sólo a una pared exterior. La bomba medidora debe descargar el ácido dentro del conducto que va al depósito de agua clarificada. Si la descarga se hace directamente dentro del depósito de agua clarificada, no se necesita un dispositivo de antisifonaje en este punto de descarga.

El tanque de almacenamiento volumétrico debe tener una abertura en su parte superior y estar rodeado por una berma para contener cualquier tipo de derrame que se pueda producir. El ácido se congelará si se halla expuesto a temperaturas sostenidas de 4 grados F o inferiores. Es por esto que en los estados localizados más al norte el tanque de almacenamiento volumétrico tiene que estar protegido de las heladas.

Por lo general, en este tipo de instalaciones de fluoruración las bombas medidoras grandes no están conectadas eléctricamente a las bombas de alto o bajo servicio. Las bombas medidoras se cuadran en forma manual. Por ejemplo, si se añade el ácido al depósito de aguas clarificadas, el cambio en el número de bombas de alto servicio que se hallan en uso resultaría en un cambio manual en el ajuste de la bomba de medición.

5.5.3 Instalación del fluoruro de sodio (saturadores)

El saturador de fluoruro de sodio es un sistema muy simple de fluoruración. Sólo requiere un poco más de espacio y tuberías que la alimentación de ácido directa. Muchos de los comentarios que se han hecho sobre las instalaciones de alimentación de ácido se aplican a las de saturadores. La bomba medidora debe estar situada a no más de cuatro pies por encima de la tubería inferior saturada del saturador. El conducto de succión debe ser tan corto como sea posible. La bomba medidora debe estar equipada con una válvula antisifonaje. Igualmente debe haber una válvula antisifonaje en el punto de inyección del fluoruro si la solución se inyecta en una cañería principal de agua.

El saturador de fluoruro no requiere ser sellado tan fuertemente como la bombona de ácido. Los sistemas con saturador deben contar con un medidor de agua y, si es necesario, con un suavizador de

agua. El conducto de alimentación de agua debe contener un colador en forma "Y" y suficientes piezas de unión para permitir que la tubería se pueda quitar fácilmente.

Al montar una bomba medidora en una anaquel o plataforma por encima del saturador, es aconsejable acordarla lo suficiente como para permitir el acceso al contenedor para efectos de llenado y limpieza. No se recomienda montar la bomba medidora en la tapa del saturador.

Las capacidades del saturador están basadas en la temperatura del agua de reemplazo. En el Cuadro 5-3 aparecen las tasas máximas de retiro. Nota: En teoría, es posible fluorar a una tasa máxima de retiro en el nivel mínimo del lecho de 12 pulgadas de 7,93 galones por hora. Esto fluoraría un flujo hasta de 3,4 MGD.

Cuadro 5-3
Capacidades del saturador* (proporción máxima de retiro)
(galones por hora)

Profundidad del lecho húmedo (pulgadas)	Temperatura del agua		
	60°F	50°F	40°F
12"	7,93	7,53	7,14
13	8,72	8,33	7,94
14	9,51	9,13	8,73
15	10,31	9,92	9,53
16	11,10	10,72	10,32
17	11,89	11,51	11,12
18	12,69	12,31	11,91
19	13,48	13,10	12,71
20	14,27	13,90	13,50
21	15,07	14,69	14,30
22	15,86	15,49	15,09
23	16,65	16,28	15,89
24	17,45	17,08	16,68

* Aproximaciones; no están basadas en datos reales.

No se debe llevar jamás al saturador a su límite de capacidad por ningún período. Cuando se llega al límite de capacidad del saturador es necesario considerar un método de fluoruración como es el ácido fluorosilícico.

Como se explicó anteriormente, el saturador de flujo descendente no es tan popular como el de flujo ascendente. Es posible que con el tiempo se deje de fabricar definitivamente, pero todavía se lo utiliza (Ver Figura 5-9. La siguiente información es esencial para preparar un saturador de flujo descendente antes de ser utilizado:

- A. 1. Con el tubo múltiple en su lugar, coloque cuidadosamente con las manos una capa de 2 a 3" de gravilla; limpie la gravilla (de 1 a 2" de tamaño) en el tanque saturador alrededor del tubo múltiple o cono y sobre el tubo múltiple o sobre el borde inferior del cono. Paso seguido coloque otra capa de 2 a 3" de gravilla más fina (de ½ a 1" de tamaño) sobre la más gruesa.

2. Coloque una capa de 6 a 9" de arena filtrante gruesa y limpia sobre la gravilla (No use arena de playa, "arcillosa" o tierra ordinaria). Nivela la superficie de la arena (Una capacidad de 1/8" a 1/4" de gravilla filtrante sustituir las capas de gravilla gruesa y de arena).
- B. Añada 200 lbs. de fluoruro de sodio cristalino grueso (No use NaF en polvo o en cristal fino). Agregue agua para mantener el polvo abajo y para ayudar a nivelar la superficie de fluoruro.
- C. Compruebe si el flotador tiene suficiente espacio para operar. Si es necesario, haga una depresión en la superficie de fluoruro para proporcionar espacio libre tanto para el flotador como para su barra.
- D. Si no lo ha hecho todavía, conecte el conducto de suministro de agua fría a la toma de agua del saturador. El conducto debe contener un pequeño medidor de agua que se usa para calcular la velocidad de alimentación; deba haber una válvula de cierre entre el medidor y el saturador.
- E. Abra la llave del suministro de agua y ajuste la posición del flotador si es necesario. El nivel de agua baja debe estar a no menos de 2" por encima de la superficie de fluoruro y el nivel de agua superior debe estar justo por debajo de la bocanoma de salida de desborde.
- F. Introduzca el conducto de succión de la bomba medidora dentro del tubo que lleva al cono o al tubo múltiple, según el caso. Ajuste el largo del tubo de succión, de manera que la válvula de pié y el colador estén a 2 ó 3" por encima del piso del tanque del saturador. Ahora el saturador está listo para ser usado.
- G. Cuando se mira a través de la pared translúcida del tanque de saturación, se deben distinguir claramente las capas de fluoruro, arena y gravilla. Al disminuir el grosor de la capa de fluoruro a 12", añada otras 100 lbs. del químico. Sería prudente agregar el fluoruro cuando el agua esté en su nivel mínimo o, si es necesario, cortarla temporalmente hasta que haya suficiente espacio para el fluoruro sin hacer que el agua salga a través de la abertura de desborde o derrame.
- H. Antes de añadir más fluoruro al saturador, se debe raspar la superficie de químico del saturador para eliminar la suciedad acumulada, el material insoluble o la película viscosa de finas partículas que algunas veces se forma. Este mantenimiento de rutina permite una mejor filtración del agua a través de la capa de fluoruro y prolonga el tiempo entre una limpieza y la siguiente.
- I. Será necesario limpiar el interior del saturador en intervalos regulares, dependiendo de la intensidad de uso. Por lo general se aconseja que la limpieza se haga cada tres meses o cuando la cantidad de agua tratada ha excedido 1500 gpm y la acumulación de suciedad en el saturador es moderada.

La instalación de un saturador de flujo ascendente es muy similar la de un flujo descendente, con algunas excepciones (Ver Figura 5-9). Si se emplea un interruptor de nivel de líquido, los CDC recomiendan que se instale una válvula solenoide y un rompedor de vacío. El rompedor de vacío tiene que estar entre la válvula solenoide y la toma de entrada de agua. Asimismo, los CDC recomiendan que se instale un restrictor de flujo con un máximo de flujo de dos galones por minuto para permitir un tiempo de contacto adecuado. (Observe: Muchos estados permiten restrictores de flujo hasta de 4 gpm). Tiene que haber un mínimo de presión de agua en el conducto en su punto de entrada de 20 lpc.

Figura 5-9
INSTALACION DE FLUORURO DE SODIO - SATURADOR DE FLUJO DESCENDENTES

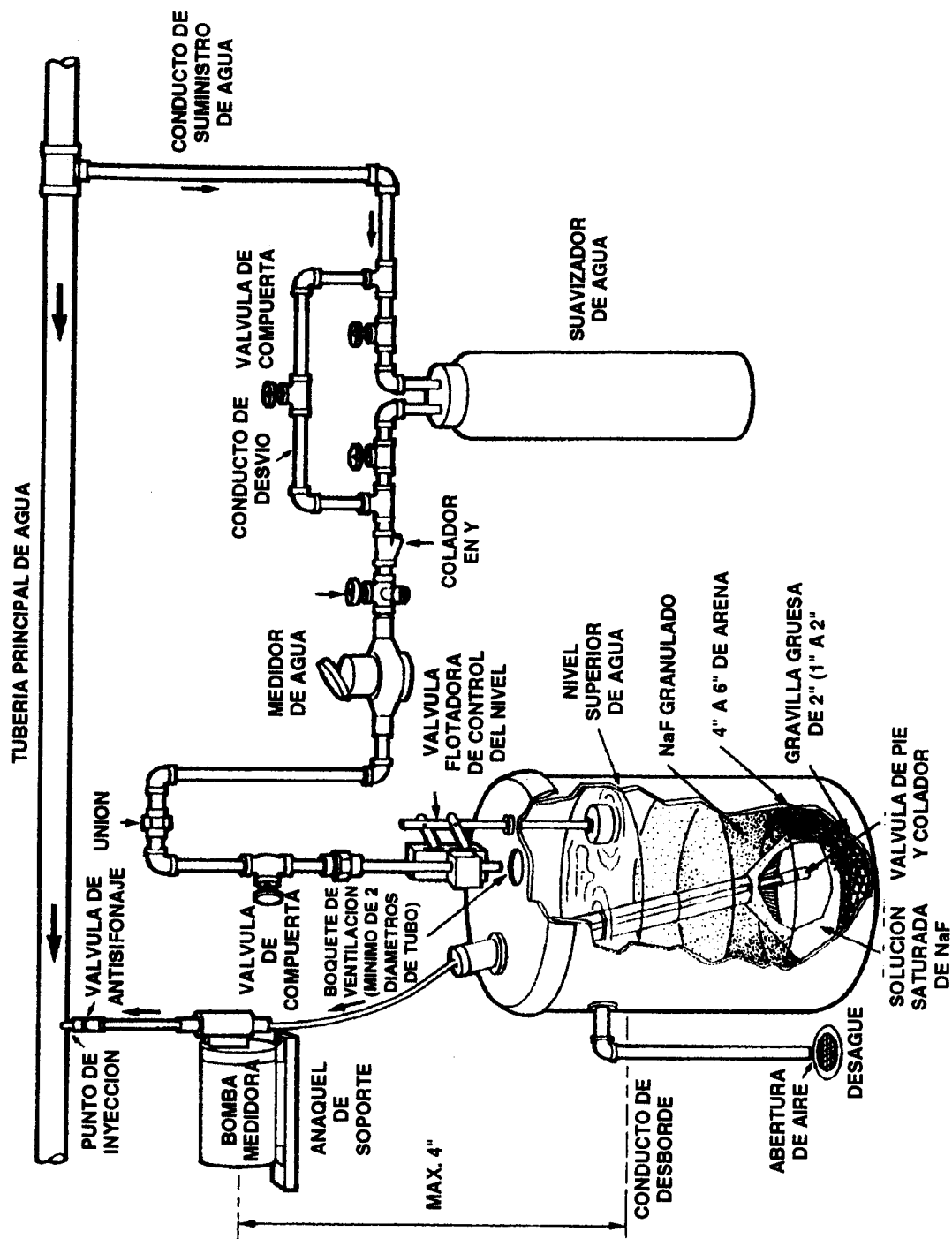
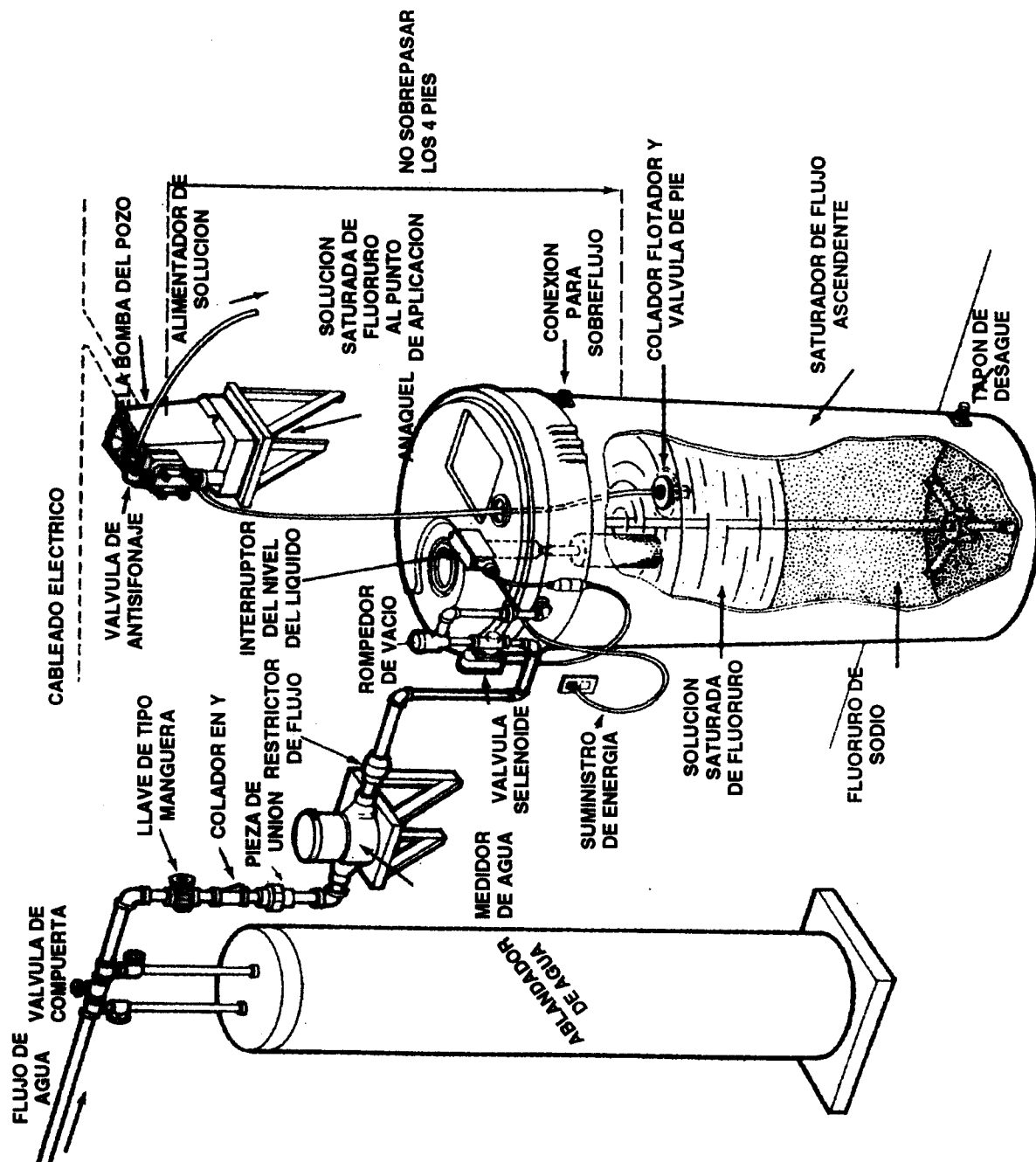


Figura 5-10
INSTALACION DE FLUORURO DE SODIO - SATURADOR DE FLUJO ASCENDENTE



Aquí es especialmente importante la recomendación de que se tenga un tipo diferente de enchufe de bomba medidora para prevenir que ésta se conecte en una toma de salida eléctrica "caliente". Esto se debe a que la válvula solenoide sí requiere una conexión eléctrica "caliente" y por ello es muy fácil llegar a equivocarse.

Al preparar un saturador de flujo ascendente para ser usado se deben seguir los siguientes pasos:

- A. Cuando los tubos de distribuidor están ya en su lugar y se ha retirado el dispositivo flotador de succión, añada entre 200 y 300 libras de fluoruro de sodio directamente al tanque. Se puede utilizar cualquier tipo de fluoruro de sodio, desde el que viene en forma de cristal grueso hasta el que viene como cristal fino; éste último se disolverá mejor. Se puede usar el fluoruro de sodio en polvo, pero no es tan deseable como la forma cristalina.
- B. Conecte la válvula solenoide a una toma eléctrica y abra el suministro de agua. El nivel de agua debe estar ligeramente por debajo del desborde. Si no es así, será necesario ajustar el interruptor del nivel de líquido.
- C. Coloque nuevamente el flotador de admisión y conéctelo al conducto de admisión del alimentador. El saturador está listo para ser usado.
- D. Es posible determinar el nivel de fluoruro de sodio no disuelto mirando a través la pared translúcida del tanque del saturador. Cada vez que el nivel está lo suficientemente bajo se debiese añadir un máximo de 50 libras (en el original dice 100) de fluoruro para así evitar una carga de choque. Además, el tanque del saturador debe ser marcado en el lado de afuera (puede ser con un "indicador mágico") en las líneas de llenado máximo y mínimo.
- E. Se supone que las hendiduras del distribuidor de agua esencialmente se limpian solas; así la acumulación de sustancias insolubles y precipitados no constituye un problema tan serio como lo es en un saturador de flujo descendente. Sin embargo, es necesario realizar una limpieza periódica. La frecuencia de la limpieza estará dictada por la intensidad de uso y la proporción de desechos acumulados.
- F. Debido a que el saturador de flujo ascendente el lecho de fluoruro de sodio es más grueso saturador de flujo ascendente, las tasas de retiros serán más elevadas. Con 300 libras de fluoruro de sodio en el tanque del saturador se pueden alimentar más de 15 galones de solución saturada por hora, una proporción suficiente para tratar cerca de 5.000 galones de agua por minuto a un nivel de fluoruro de 1,0 ppm.
- G. El método para calcular la cantidad de fluoruro a alimentar es el mismo para ambos tipos de saturador. La tasa de 2 gpm establecida para el punto de admisión del agua debe registrarse como satisfactoria en un medidor de 5/8".

5.5.4 Instalación de fluorosilicato de sodio (alimentadores en seco)

Aquí sólo trataremos la instalación del alimentador volumétrico en seco porque es la que más se usa (Ver Figura 5-11). La instalación del alimentador gravimétrico sería esencialmente la misma. Al instalar un alimentador en seco su ubicación debe ser tal que la solución del tanque de solución pueda caer directamente dentro del canal alimentador de químicos, si es posible. Si en razón a otras

consideraciones el alimentador se coloca a cierta distancia del punto de aplicación, el conducto de desagüe debiera ser lo más directo posible, con una inclinación adecuada y un tamaño suficiente como para evitar aumentos en la precipitación y las consiguientes obstrucciones.

Es evidente que el alimentador en seco tiene que se instalado en unos cimientos nivelados y firmes, se espera que las balanzas trabajen satisfactoriamente. El alimentador tiene una pequeña tolva, ésta debe ser de fácil acceso para permitir el llenado; si se usa una tolva de extensión, ésta debe extenderse verticalmente hacia arriba al área de llenado, sin ángulos que puedan atrapar material. Para el conducto de suministro de agua a un alimentador volumétrico debe haber una sección de manguera flexible entre el tanque de solución y la tubería de agua para permitir el libre movimiento del alimentador y la plataforma de la balanza.

El conducto de suministro de agua a un alimentador en seco tiene que estar equipado con un boquete de aire, con un rompedor de vacío o algún otro dispositivo de antisifonaje. El boquete de aire es la protección más efectiva contra los peligros de una conexión entre la tubería de agua y la tubería de desagüe. Si la presión del agua es demasiado alta como para permitir el uso de un boquete de aire, se puede usar uno de los otros dispositivos; en cualquier caso, el rompedor de vacío tiene que estar ubicado entre el punto de entrada al tanque de solución y cualquier dispositivo restrictivo en el conducto, y debe ser instalado en una posición elevada.

5.6 Mantenimiento

Con el fin de que se produzcan los beneficios completos de la fluoruración es muy importante que el contenido óptimo de fluoruro sea mantenido uniformemente en el suministro de agua potable. Para asegurar una alimentación constante de fluoruro, es esencial darle el mantenimiento apropiado al equipo de fluoruración. Esto incluye no solamente el alimentador de fluoruro, sino también todos los accesorios, conductos de alimentación y equipo de prueba de laboratorio. La experiencia ha demostrado que la razón básica para que se produzcan niveles bajos o erráticos de fluoruro es una operación y mantenimiento deficiente de equipo.

Al igual que todo aparato mecánico, es necesario mantener limpio y lubricado el alimentador del fluoruro para que funcione en forma eficiente. Un programa regular de mantenimiento minimizará averías costosas y asegurará una prolongada duración del equipo. Los motores eléctricos llegan generalmente con un programa establecido de lubricación en el que se especifican el tipo correcto, la cantidad y frecuencia del procedimiento. Las cajas de cambios deben mantenerse llenas con el lubricante adecuado hasta el nivel prescrito, y todas las piezas móviles y superficies de metal sin pintura tienen que mantenerse limpias y libres de óxido. Si hay accesorios que requieren engrasados, deberá garantizarse el grado apropiado, cantidad y frecuencia del procedimiento.

Los mejores alimentadores de fluoruro operarán en forma adecuada con solo mantener limpio y en operación el mecanismo de medición. Por eso es necesario examinarlo regularmente para detectar signos de desgaste o daño y hacer las reparaciones y reemplazos del caso antes de que la máquina se averíe.

Al igual que otros alimentadores en seco de químicos los alimentadores en seco para fluorosilicato de sodio tienen que lubricarse asegurando así una prolongada duración. Sin embargo, a diferencia de muchos otros compuestos químicos que se alimentan en seco, el fluorosilicato forma un ácido con un pH de 3,5 cuando entra en contacto con el agua. El agua puede venir del tanque de disolución o de

la humedad en la atmósfera. Este ácido es corrosivo y por lo tanto estropea las piezas metálicas del alimentador. Es por esto que es importante limpiar y pintar en forma regular las superficies del alimentador en seco para limitar la corrosión. Al pintar cualquier equipo de alimentación, recuerde siempre cubrir con cinta adhesiva el número de serie y de modelo, de tal manera que el alimentador o la bomba sean identificables. Ocasionalmente es necesario limpiar el tanque de disolución para eliminar la costra que se puede formar alrededor de los bordes.

En el pasado, muchas plantas han tenido problemas para obtener un fluorosilicato de sodio conveniente. Se ha señalado cómo las plantas que tienen un alimentador en seco rodillo no pueden usar fluorosilicato de sodio que contenga un agente libremente fluyendo, ya que no se puede controlar el flujo de los químicos a través de los rodillos. Por eso estas plantas se necesita asegurar que el producto químico de estas plantas seguras de que no contenga el agente libremente fluyendo.

Por lo general, la mayoría de las bombas medidoras de fluoruro no requieren demasiado mantenimiento. Muchas de las bombas pequeñas que se emplean actualmente en fluoruración son electrónicamente y no los requieren. No obstante, la mayoría de las bombas todavía tienen engranajes aceitados y por lo tanto necesitan que se les haga mantenimiento. La falla más común en una bomba de medición de químicos es el agrietamiento del diafragma. La mayor parte de las bombas tienen un cabezal de acrílico o PVC y se puede ver el diafragma. Si se resquebraja el diafragma en una bomba que está usando ácido, es necesario sacar el cabezal lo más rápido posible por que el ácido puede corroer inmediatamente las piezas interiores de la bomba. Los diafragmas no son costosos y se deben tener los repuestos a mano.

Los sistemas de alimentación que emplean ácido fluorosilícico presentan problemas especiales porque los gases del ácido pueden corroer el metal o el vidrio grabado (Observación: Los gases del ácido HF son más livianos que el aire, mientras que los gases de SiF_6 son más pesados. Un sistema de alimentación de ácido tiene que tener la ventilación apropiada, especialmente si el almacenamiento del químico está ubicado cerca de cualquier contacto eléctrico o superficies medidoras hechas de vidrio. El sistema de ventilación más simple consta de dos orificios que se pueden perforar en la parte superior del tanque de almacenamiento (bombona) (Ver capítulo 4). Uno de los orificios puede ser usado para conectar la tubería flexible de manera que sirva de respiradero hacia el exterior, mientras que el otro puede ser usado para la entrada de la bomba medidora. Si el tanque de almacenamiento (bombona), se llena con una bomba de traslado habrá un tercer orificio. Es muy importante que estos orificios estén completamente sellados!

Cuando se adquieren los alimentadores de fluoruro y equipo adjunto, generalmente vienen acompañados por un catálogo de instrucciones y/o lista de piezas. El folleto de instrucciones contendrá información sobre mantenimiento y reparaciones, y la lista de componentes capacitará al operador para escoger las piezas de repuesto cuando sea necesario. Si se llegan a perder los folletos o listas es posible obtener copias a través del fabricante del equipo o de su representante. El representante del equipo también puede sugerir cuáles son las piezas de repuesto que se deben mantener a mano. Con ello se puede minimizar en gran medida la duración del cierre del servicio debido a fallas en el equipo. En plantas de agua más grandes se ha demostrado que es prudente tener a disposición todas las piezas de repuesto del alimentador.

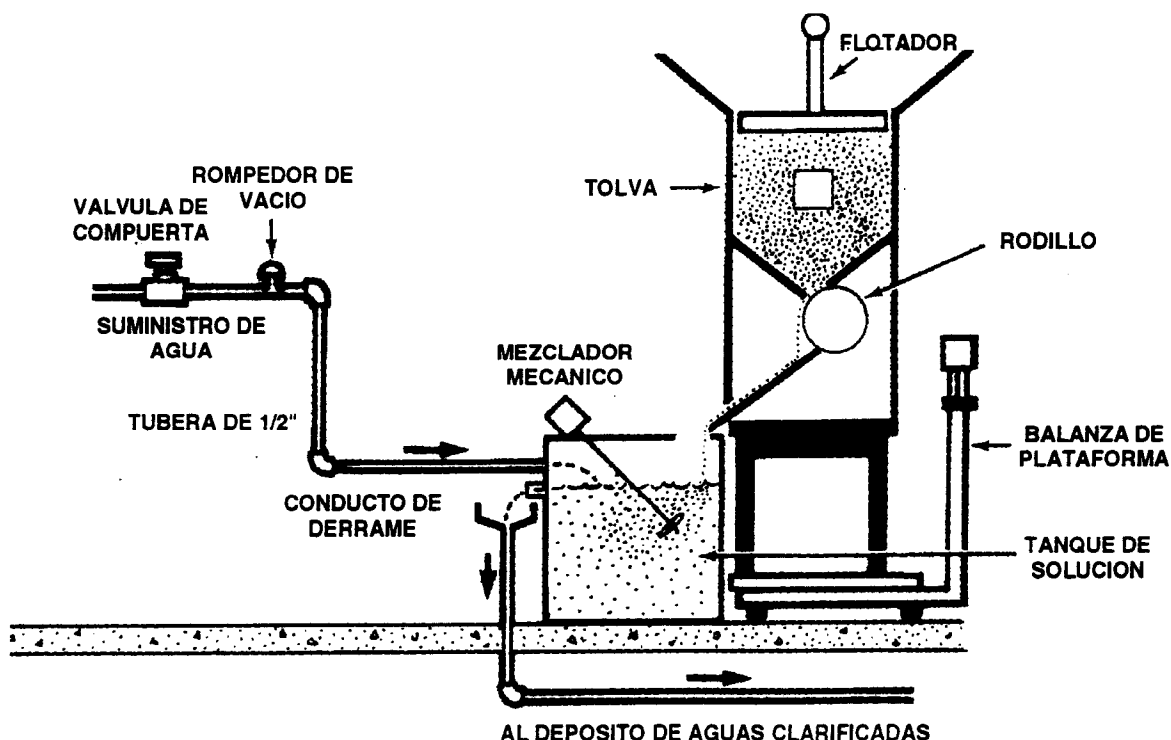
Las fugas que se producen en el conducto de descarga de una bomba medidora y sus alrededores son un fastidio y pueden afectar la cantidad de solución administrada, lo cual puede resultar en niveles bajos de fluoruro. Las fugas o goteos son corrosivas y pueden estropear el alimentador, los accesorios

o el equipo adyacente si se dejan sin atender. Las fugas de soluciones fuertes conducen a la formación de depósitos cristalinos, que pueden dificultar la limpieza si se dejan aumentar. Una fuga en el conducto de succión de una bomba medidora será evidente inmediatamente y afectará en forma adversa la entrega del químico; eventualmente esto puede llevar a que se produzca una fricción por aire y a que cese el proceso de alimentación.

Cada vez que se usen soluciones fuertes surge la posibilidad de que aumente la precipitación. En un sistema de alimentación de solución, los precipitados en la cámara de bombeo del alimentador o en las válvulas de retención afectarán la tasa de suministro e incluso detendrán la bomba por completo. Los depósitos en los conductos de succión o de alimentación pueden acumularse hasta el punto de hacer que el flujo se detenga; un revestimiento de materia insoluble en el lecho del saturador puede impedir que el agua se filtre. Si estos depósitos se crean como resultado del endurecimiento del agua, la suavización del agua de reemplazo eliminará el problema. Si no es posible realizar este procedimiento, tendrán que realizarse inspecciones frecuentes y eliminar los depósitos. Incluso si el agua es suave, las impurezas de los químicos y otros constituyentes minerales pueden acumularse hasta obstruir las aberturas pequeñas, lo cual obstaculiza o detiene la alimentación.

Los tanques en que se preparan las soluciones muestran invariablemente precipitados de las impurezas insolubles del químico usado o de compuestos insolubles formados por la reacción del producto con los constituyentes minerales del agua. Si un tanque apartado es usado para preparar la solución y la capa clara sobrenadante es trasladada a un tanque por el día, entonces los problemas serán minimizados pero no necesariamente completamente eliminados.

Figura 5-11
INSTALACION DE ALIMENTADOR VOLUMETRICO



CAPITULO SEIS

FLUORURACION DE LOS COLEGIOS

6.1 Generalidades

Los niños que viven en regiones de los Estados Unidos que no cuentan con suministros de agua comunitaria, a menudo se hallan privados de los beneficios que proporciona beber agua que ha sido fluorurada en un nivel óptimo. Alrededor de 26 millones de personas (11,4% de la población de los EE.UU) residen en zonas que carecen de sistemas de agua. Como en estas regiones no es factible la fluoruración de la comunidad, es necesario desarrollar otras vías de prevención de las caries dentales si los fluoruros naturales no están presentes en la cantidad adecuada en el suministro de agua. Se han sugerido otros métodos, entre los cuales figuran los fluoruradores individuales para el hogar, las tabletas de fluoruro y la fluoruración de los suministros de agua de los colegios rurales. Este último método parece ser particularmente llamativo pues cubre un número considerable de niños con una demanda mínima de personal, equipo y fondos. Los trabajos iniciales sobre la fluoruración escolar fueron realizados por el Dr. Joseph A. Yacovone en Rhode Island y, más tarde, por los Drs. H. S. Horowitz y Stanley Heifetz.

Los colegios que no están cubiertos por un sistema municipal de agua tienen pozos privados en los que se facilita fluorurar el agua. En los EE.UU, casi todos los niños en edad escolar pasan entre un 20 y un 25% del día en el colegio. El porcentaje del agua total consumida por estos niños que proviene del suministro de agua de los colegios es probablemente similar.

La restricción más obvia a la fluoruración del agua de los colegios es que los niños no comienzan a asistir regularmente sino hasta cuando tienen seis años de edad, mientras que los máximos beneficios dentales de la fluoruración se obtienen cuando el agua fluorurada se consume desde el nacimiento. Sin embargo, los datos provenientes de comunidades en las que se ha hecho una fluoruración ajustada indican que los niños que tienen seis años de edad o más al momento de iniciarse la fluoruración también obtienen beneficios dentales. Estos hallazgos no son sorprendentes si se considera que a la edad de seis años todavía no se ha producido una cantidad significativa de calcificación que tendrá lugar cuando salgan mas tarde los dientes permanentes. Además, una absorción considerable de fluoruro tiene lugar entre la salida inicial y finalización de la calcificación de los dientes permanentes. La evidencia también indica que la acción tópica del agua fluorurada prestará a los nuevos dientes cierta protección contra las caries.

Un segundo factor limitante, en términos de la efectividad de la fluoruración sólo en el suministro de agua del colegio, es que la exposición al agua fluorurada en el colegio es intermitente, ya que los niños asisten sólo cinco días a la semana a los planteles educativos y están allí sólo una parte del día por una parte del año únicamente.

6.2 Nivel óptimo de fluoruro

El nivel de fluoruro en el sistema escolar se debe mantener 4,5 veces por encima del óptimo recomendado para la fluoruración de la comunidad. Estudios realizados en Pike County, Kentucky,

y Elk Lake, Pennsylvania, han demostrado que a este nivel se produce una reducción del deterioro dental cercana al 35 ó 40%.

A partir de aquellos estudios que han indicado que el aumento del nivel del fluoruro en los colegios ha conducido a una mayor reducción del deterioro dental, se ha propuesto la teoría de que con niveles más altos se podrían obtener incluso mayores beneficios. Empero, una investigación realizada durante doce años en un colegio cerca de Seagrove, Carolina del Norte, en donde el nivel de fluoruro superaba en siete veces el nivel óptimo recomendado, demostró que los beneficios adicionales eran leves; es por ello que no se recomiendan niveles más altos.

Cuando se discute la fluoruración de los colegios (4,5 veces por encima del nivel óptimo), se debe tener siempre en cuenta el aspecto de la seguridad, dado que se sabe que la exposición de tiempo completo a niveles de fluoruro inferiores al doble del óptimo puede causar cierto grado de fluorurosis. No obstante, los hallazgos de los primeros estudios epidemiológicos han demostrado que los niños que consumían en el hogar agua que estaba prácticamente libre de fluoruro, pero que en el colegio la bebían con fluoruro natural en niveles de 6 ppm y 14 ppm, estaban uniformemente libres de cualquier signo objetable de fluorurosis dental. Como la fluorurosis es una perturbación del desarrollo que se puede producir solamente en la etapa inicial de la formación del esmalte, los dientes de los niños en edad escolar ya están demasiado desarrollados como para que se puedan ver adversamente afectados por niveles más altos de fluoruro. Otros resultados epidemiológicos apoyan esta evidencia. Así, un nivel 4,5 veces por encima del óptimo para las comunidades no causará ninguna fluorurosis que se pueda objetar.

6.3 Criterios sobre fluoruración

Normalmente, en una escuela servida por el suministro de agua de la comunidad no se recomienda la fluoruración. Si existe alguna posibilidad de fluorurar el suministro de la comunidad es más ventajoso trabajar hacia este fin que fluorurar el colegio. Asimismo, son varios los problemas técnicos que se presentan para fluorurar un único edificio o un grupo de edificios que ya están conectados al suministro municipal de agua. Desde un punto de vista técnico, para un colegio es más deseable un suministro individual por pozo.

Al considerar la fluoruración se debe hacer una evaluación del contenido de fluoruro del agua que consumen en el hogar los estudiantes que asisten a ese colegio. Si ninguno de los niños que asisten al colegio bebe agua adecuadamente fluorurada en el hogar, ese colegio es un candidato para la fluoruración. No obstante, a veces se presentan situaciones donde únicamente algunos de los niños que asisten a un determinado colegio consumen agua fluorurada en el hogar. Esto puede ocurrir cuando tanto los niños de una comunidad como los de una zona rural aledaña asisten a un colegio y (1) la comunidad está fluorurada pero los hogares rurales no lo están, ó (2) algunos de los hogares rurales poseen niveles adecuados de fluoruro natural mientras que la comunidad no está fluorurada. Tales situaciones necesitan ser evaluadas cuidadosamente, tomando en cuenta el número relativo de niños que no consumen agua fluorurada en el hogar, los aspectos económicos de fluorurar una escuela para sólo una porción de los niños, y los efectos fisiológicos potenciales. Por regla general, si se sabe que más del 25% de los niños que asisten a una escuela ya reciben agua fluorurada en el hogar, el colegio no debe ser fluorurado.

Figura 6-1
SUAVIZADOR DE AGUA DE ZEOLITA

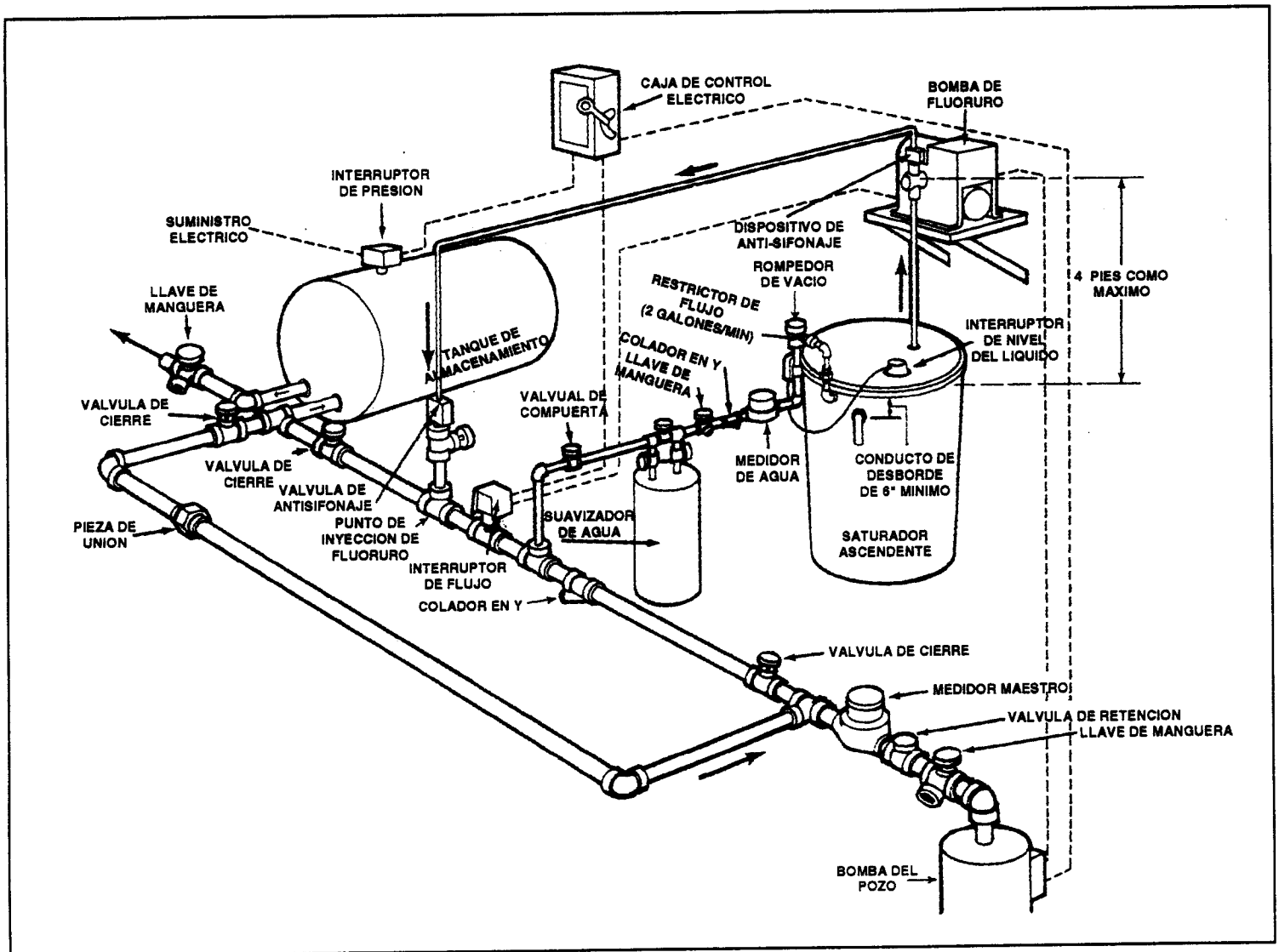
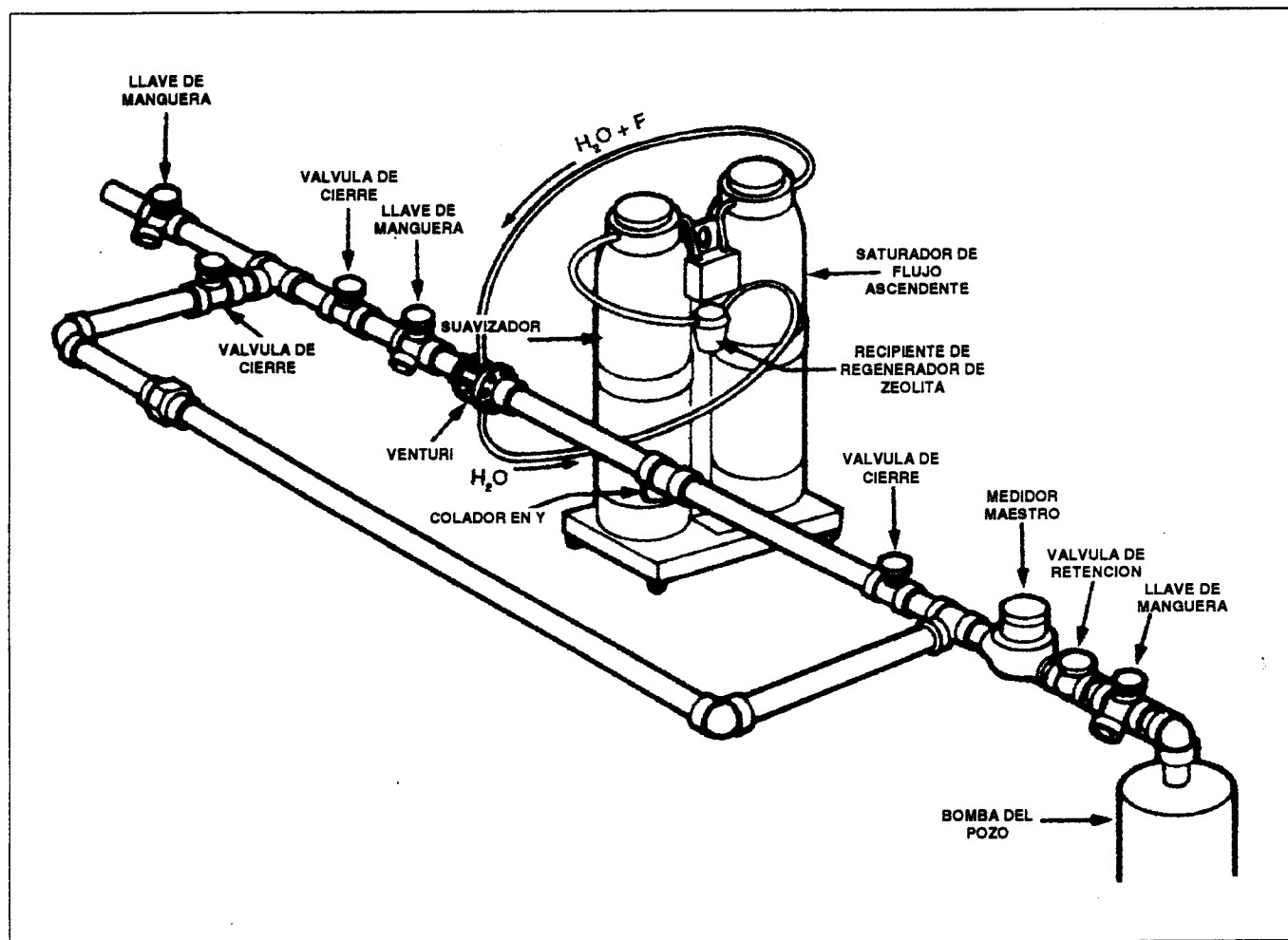


Figura 6-2
SISTEMA VENTIRI PARA FLUORACION ESCOLAR TIPICO



6.4 Recomendaciones de los CDC para la fluoruración de los colegios

Las siguientes recomendaciones incorporan la experiencia de diversos estados que han llevado a cabo amplios programas de fluoruración en colegios; asimismo representan lo más avanzado de la técnica para la fluoruración de los planteles educativos. Varias de las recomendaciones tienen que ver con la necesidad de una protección contra la sobrealimentación en los sistemas de fluoruración en colegios.

6.4.1 Aspectos administrativos

1. El personal del colegio debe estar a cargo únicamente de las operaciones y mantenimiento más superficiales del equipo y de la vigilancia del mismo. El peso principal del funcionamiento y mantenimiento del equipo de fluoruración del colegio debe recaer en el estado. Se sugiere realizar visitas regulares a cada sistema escolar, así como una reparación general e inspección total del equipo (generalmente durante los meses de verano). Un programa de fluoruración escolar no se debe llevar a cabo a menos que se hayan identificado los recursos necesarios y que estos estén disponibles a nivel estatal para poder cumplir a cabalidad las responsabilidades de operación y de mantenimiento. Los requisitos exactos variarán de un estado a otro, principalmente por factores geográficos, pero por lo general se debe asignar un técnico a tiempo completo para cada 25 a 30 colegios.
2. Si llegase a ocurrir una sobrealimentación, los funcionarios del colegio deben actuar de acuerdo con un procedimiento operacional establecido que comprenda: el cierre del equipo, la prohibición del consumo de agua excesivamente fluorurada y la notificación al personal apropiado del estado.

6.4.2 Supervisión y vigilancia

1. Antes del inicio del cada día escolar se debe llevar a cabo una muestreo y análisis del agua en cada colegio. No se debe instalar ningún sistema nuevo de fluoruración escolar a menos que se haya efectuado un acuerdo para este fin con los funcionarios apropiados del colegio. La toma de muestras antes de que comience cada día escolar no impedirá necesariamente que ocurran sobrealimentaciones, pero si prevendrá el consumo de agua potable con niveles elevados de fluoruro.
2. El estado debe realizar análisis de las muestras de comprobación para cada sistema escolar por lo menos una vez a la semana, con el fin de confirmar el uso adecuado de técnicas analíticas en cada plantel. Estos resultados se deben comparar con los resultados obtenidos en el colegio.

6.4.3 Equipo e instalación

1. Se recomienda el uso de saturadores y fluoruro de sodio (Véase las Figuras 6-1 y 6-2). No se recomienda la preparación manual de partidas de solución de fluoruro de sodio por la dificultad de mantener una concentración uniforme en la solución a administrar y porque la preparación manual de la solución a menudo implica la participación de personal no capacitado. En los colegios donde la utilización del agua es relativamente baja vale la pena considerar la participación del personal del estado en el llenado manual de los tanques del saturador. Esto permite que la solución esté uniformemente saturada y también es mejor desde el punto de vista de protección contra la sobrealimentación, dado que únicamente se dispone de una cantidad finita de solución y que no es necesario utilizar ningún tomacorriente eléctrico “vivo” para el interruptor de control

del nivel del líquido (Véanse las recomendaciones relacionadas con el equipo en el Punto 5). También se eliminarían los problemas potenciales que pudieran surgir con válvulas de solenoide pegajosas.

2. Los sistemas de fluoruración se deben instalar solamente donde el suministro de agua se origine en la bomba de un pozo que tenga un flujo uniforme. Es por esto que no se recomienda la instalación de sistemas de fluoruración para colegios en un conducto del suministro de agua municipal.
3. En general, los sistemas de los colegios deben evitar emplear medidores de ritmo en situaciones de flujo variable. Sin embargo, algunas veces es imposible instalar un equipo de fluoruración en un colegio sin un medidor de ritmo que controle la bomba de alimentación de la solución. En tales casos se prefieren los medidores “electrónicos” de flujo con contactadores operados en forma magnética. Donde se requiera un medidor de ritmo, éste se debe usar con interruptor de flujo conectado eléctricamente en serie. Asimismo, se deben tomar las precauciones del caso (como colocar una válvula de retención doble) para asegurar que ningún contraflujo haga que el medidor de contacto rote hacia atrás.
4. La bomba medidora debe ser conectada eléctricamente en serie con el interruptor de flujo y la bomba principal del pozo.
5. La bomba medidora debe estar equipada en el lado de la descarga con un dispositivo de antisifonaje con diafragma compensando con resorte.
6. Se debe instalar un dispositivo de antisifonaje en el punto de inyección del fluoruro. La válvula debe usar un diafragma compensando con resorte en la posición cerrada. Asimismo se tiene que usar una llave de paso o de cierre en el tubo de inyección de fluoruro en el tubo del agua.
7. El conducto principal de agua cerca del cabezal del pozo debe tener una válvula de comprobación. Esta válvula se debe chequear frecuentemente para constatar la presencia de fugas o escurrimientos.
8. Se debe instalar un rompedor de vacío en el conducto de suministro de agua al saturador. Este tiene que ser instalado en el punto alto entre la válvula de solenoide y el tanque del saturador.
9. En el conducto de la bocatoma del saturador se debe instalar un restringente de flujo con un flujo máximo de 2 galones/minuto, de manera que el tanque no se llene demasiado rápido antes de entregar la solución saturada.
10. Las bombas medidoras deben ser calibradas para que funcionen a una tasa de alimentación cercana al punto medio de su rango, que es donde son más exactas. Se debe evitar el uso de bombas de alimentación de gran tamaño, las cuales podrían producir una sobrealimentación si accidentalmente se las ajusta en un punto demasiado alto.
11. Debe ser materialmente imposible enchufar la bomba de alimentación de la solución en cualquier tomacorriente eléctrico “caliente”. La bomba debe ser enchufada en el circuito que contenga protección contra la sobrealimentación. Un método para asegurar que esto no ocurra consiste en

dotar a la bomba de alimentación con un enchufe especial que sea solamente compatible con un tomacorriente especial en el tomacorriente eléctrico apropiado.

12. El sistema se debe instalar con un mecanismo de bypass (desvío), de manera que durante los períodos de inspección y reparación el equipo de fluoruración pueda quedar totalmente aislado. Al usar tal mecanismo, el equipo se puede dejar fuera de servicio sin necesidad de cerrar el suministro de agua del colegio. En algunos estados se emplea una llave de corporación [corporation stop] para cumplir una parte de esta función. Otros emplean una vía de desvío a la tubería con válvulas de compuerta que aíslan el punto de inyección, medidores, coladores, válvulas de retención, agua de reemplazo, accesorios de derivación, etc.
13. Se recomienda el uso de un medidor maestro en el conducto de servicio de agua del colegio y de un medidor de agua de reemplazo, con el fin de poder hacer los cálculos que confirmen que se están administrando las cantidades apropiadas de solución de fluoruro. Estos medidores deben ser leídos periódicamente y se debe mantener un registro con los resultados. También se deben guardar registros de la cantidad de fluoruro de sodio empleada en la preparación de las soluciones de alimentación en cada escuela.
14. Se debe instalar un interruptor de flujo eléctrico en serie con la bomba medidora y la bomba del pozo. Los interruptores de flujo deben ser adecuadamente calibrados e instalados para que operen en los rangos de flujo que predominan en cada colegio. Se lo debe colocar “aguas arriba”, por encima del punto de inyección del fluoruro.
15. Algunas bombas electrónicas de alimentación de solución medidoras de ritmo tienen interruptores que pueden ser operados en forma manual. Tales interruptores deben ser compensados con un resorte para impedir que la bomba proporcione una alimentación continua si por error se la pone a funcionar con el interruptor en la posición manual.
16. El equipo de fluoruración debe colocarse en una zona donde no se vaya a estropear o a dañar por causa de actos vandálicos.
17. Se debe planificar una rutina de mantenimiento especificando los intervalos de tiempo en que se han de realizar las diversas acciones. Entre los elementos que deben ser verificados figuran: el diafragma de la bomba, la válvula de retención, los coladores en Y, los puntos de inyección (por si hay atascamientos), el interruptor de contacto de flujo y las paletas, el tambor saturador (para limpieza), el interruptor de presión, la válvula solenoide, el interruptor flotador y la válvula de pie.
18. Se deben tomar las medidas adecuadas de control para prevenir que se produzca una conexión entre la tubería de agua y la de desagüe.

CAPITULO SIETE

ANALISIS DEL FLUORURO

7.1 Generalidades

Es muy importante que los fluoruros sean alimentados con precisión en la planta de tratamiento de agua. La determinación frecuente del contenido de fluoruro de las muestras de agua es una forma de confirmar que la fluoruración es adecuada. Los resultados de tales pruebas de laboratorio para fluoruros revela la concentración en el instante en que se tomó la muestra. Este capítulo tratará sobre los niveles óptimos de fluoruro recomendados para la fluoruración tanto en los colegios como en las comunidades, e indicará los métodos que se pueden usar para analizar el fluoruro.

7.2 Aspecto químico de los análisis de fluoruro

7.2.1 Introducción

El análisis de fluoruro en el agua comprende la determinación de la cantidad de fluoruro presente en la solución, sea cual sea el origen de ese ión. No existe un método mediante el cual se pueda distinguir el fluoruro natural del fluoruro añadido, así que los resultados de las pruebas serán dados en términos del fluoruro total presente en el agua. (Recuerde que estas pruebas para el fluoruro total no incluyen los fluoruros insolubles o los orgánicos).

El método analítico tiene que ser preciso y altamente selectivo, debido a que las concentraciones de fluoruro recomendadas para el agua potable son muy pequeñas. Los métodos basados en técnicas gravimétricas o volumétricas no son generalmente aplicables.

Hasta hace unos años, los métodos colorimétricos eran los únicos apropiados para medir cantidades minúsculas de fluoruro. Hoy en día el analista puede usar la prueba específica de fluoruro por electrodo iónico en vez de la prueba calorimétrica tradicional del fluoruro (SPADNS). Cada método tiene la sensibilidad requerida; sin embargo, el método por electrodo tiene mucho menos interferencias.

Bajo el Decreto de Seguridad para el Agua Potable de los EE.UU. es necesario cumplir exigencias analíticas rigurosas en las pruebas de fluoruro destinadas a medir el fluoruro natural en el agua potable para determinar los efectos en la salud en el largo plazo. Empero, las pruebas diarias de los niveles ajustados del fluoruro son pruebas operacionales o para efectos de monitoreo y no necesitan ser tan precisas. Por ejemplo, bajo el decreto mencionado, las muestras a ser analizadas colorimétricamente tienen que ser destiladas antes de desarrollar color. Las pruebas operacionales diarias no necesitan ser destiladas.

7.2.2 Interferencias con el análisis de fluoruro

En el Cuadro 7-1 se listan las sustancias que interfieren con el análisis del ión fluoruro. Como se puede ver, con el método colorimétrico (SPADNS) algunas de las interferencias ocurren en concentraciones muy bajas, las cuales están definitivamente dentro del rango que se produce durante

la operación normal de las plantas de agua. Sin embargo, la presencia de la mayoría de las sustancias de interferencia será bastante constante en los sistemas de agua subterráneos y por eso se facilita ampliamente dar cuenta de esta interferencia en los resultados de supervisión diaria. Solamente cuando las sustancias de interferencia fluctúan ampliamente --como en los sistemas de agua en superficie-- es necesario considerar el paso de la destilación o el uso de un método específico de electrodo iónico para la supervisión diaria del nivel de fluoruro.

Cuadro 7-1
Sustancias de interferencia*
Concentración (en mg/L) de la sustancia requerida
para causar error de más o menos 0,1 mg/L de fluoruro

Sustancias de interferencia	SPADNS	Electrodo
Alcalinidad (CaCO ₃)	5.000 (-)	7.000 (+)
Aluminio (Al)	0,1 (-) **	3,0 (-)
Cloruro (Cl)	7.000 (+)	20.000 (-)
Hierro (Fe)	10 (-)	200 (-)
Hexametáfosfato (NaPO ₃)	1,0 (+)	50.000
Fosfato (PO ₄)	16 (+)	50.000
Sulfato (SO ₄)	200 (-)	50.000 (-)
Cloro	Debe ser completamente eliminado con arsenito	
Color y turbidez	Debe ser eliminado o compensado	

* American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Deferation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th Ed., 1985, pp 359-360.

** La cifra de más arriba es para una lectura inmediata.

7.2.3 Recolección de muestras de fluoruro

La confiabilidad de un análisis de las concentraciones de fluoruro en una muestra de agua depende del método de recolección de muestras. Estas tienen que ser representativas del agua que va a ser examinada. En otras palabras, las muestras de agua tienen que ser recolectadas en un punto donde el fluoruro ha llegado a mezclarse completamente con el volumen total de agua que entra al sistema de distribución. De otro modo, los resultados no tendrán significado.

Si la muestra se toma de una llave, lo primero que se debe hacer es dejar correr el agua lo suficiente como para vaciar la tubería de servicio y así obtener una muestra representativa del agua de la tubería maestra.

En general no es posible especificar los puntos de toma de muestras que serían aplicables a un suministro de agua en particular. El punto clave es que las muestras tomadas para el análisis revelen el contenido de fluoruro del agua que llega al consumidor. Un punto posible de muestreo podría ser la llave del agua en la residencia del operador de la planta, si su residencia se halla atendida por el sistema de distribución que está siendo examinado.

El operador de la planta debe recolectar y examinar las muestras de agua por lo menos diariamente. En algunas localidades, el operador debe hacer las pruebas más de una vez al día. Consulte en la

oficina de programas de agua potable del estado para determinar con qué frecuencia deben reunirse las muestras para realizar las pruebas.

El estado puede requerir un cierto número de muestras de agua para someterlas a un análisis mensual de fluoruro. Estas son las muestras de comprobación. Cuando se recogen tales muestras de agua, es aconsejable tomar dos al mismo tiempo: una para que sea examinada en el laboratorio del estado y la otra para que sea analizada por el operador de la planta. La comparación de estos dos resultados puede verificar su exactitud o señalar sus discrepancias.

7.2.4 SPADNS: Método para el análisis de fluoruro

El método colorimétrico (o método fotométrico SPADNS) está basado en una reacción en la que se forma una laca de tinte (un color cargado) a partir de zirconio y tinte SPADNS-2 (SPADNS es 2 sodio - (parasulfophenylazo) - 1,8 - bihidróxido - 3,6 - bisulfonato de naftalina). Cualquier fluoruro presente en la muestra de agua elimina el zirconio de la reacción, con lo que decrece la intensidad del color presente. El color de la mezcla reactiva (muestra de agua más reactivo) va desde un rojo profundo en ausencia del fluoruro hasta un rojo suave cuando la concentración de fluoruro es elevada.

Los colores producidos por diferentes concentraciones de iones fluoruros son todos matices del rojo, y es casi siempre imposible detectar visualmente la diferencia. Se requiere entonces el uso de un fotómetro para detectar tales diferencias y así determinar la concentración del fluoruro en el suministro de agua. Un fotómetro es un instrumento diseñado para detectar diferencias de color y consta de una fuente de luz, un filtro para producir luz monocromática y una fotocélula para medir la intensidad de la luz transmitida a través de la muestra.

El procedimiento para usar el fotómetro en el análisis de la concentración de fluoruro en una muestra de agua consiste en agregar un volumen medido de reactivo a un volumen medido de la muestra de agua, colocar una porción de la mezcla en una celdilla, colocar tal celdilla en el instrumento y determinar la concentración de fluoruro en partes por millón (ppm) en la balanza del instrumento.

El análisis del fluoruro presente en el agua es una operación comparativamente delicada pues involucra mínimas cantidades y requiere la mayor exactitud posible. Por estas razones es necesario tomar las siguientes precauciones especiales con cualquiera de los procedimientos SPADNS:

- Asegúrese de que la temperatura de la muestra standard y de la muestra de agua sea la misma, preferiblemente alrededor de 20 grados (± 1 grado) C. ó 68° F. si la temperatura de la muestra standard y de la que se desconoce son diferentes, entonces los resultados no darán una lectura correcta del contenido de fluoruro.
- Asegúrese de que los objetos no estén rayados ni resquebrajados. Recuerde que la concentración de fluoruro a determinarse es extremadamente pequeña. Cualquier prueba de fluoruro es muy sensible a la presencia de pequeños residuos de diversos compuestos químicos que pueden interferir. Por ello, *es absolutamente necesario que las botellas colorimétricas y todos los objetos de cristal estén limpios*. Para garantizar la exactitud de la prueba se recomienda repetirla usando los mismos cilindros graduados y botellas colorimétricas. Cuando repita la prueba asegúrese de que los artículos de cristal estén libres de la interferencia de compuestos químicos.
- Mida en forma precisa el reactivo (use pipeta para SPADNS).

- Si se detecta la presencia de cloro, elimínelo usando una solución de arsenito.
- Para estandarizar el equipo de prueba, emplee una solución standard de fluoruro que tenga un contenido cercano al ideal para la muestra que está siendo examinada. Por ejemplo, si las muestras para las pruebas de rutina tienen cerca de 1,5 ppm de fluoruro, se recomienda que se compre una solución standard de fluoruro de 1,5 ppm en vez de usar una 1,0 ppm
- Quizás la fuente más importante de error es la presencia de iones de interferencia en la muestra de agua. Ninguno de los métodos colorimétricos es totalmente específico para fluoruro, de manera que muchos de los otros iones encontrados en el agua afectan el análisis de fluoruro en uno u otro grado. Los reactivos están diseñados para eliminar los efectos de estos iones de interferencia o para minimizar los efectos tanto como sea posible. Sin embargo, si un abastecimiento de agua contiene una gran cantidad de iones de interferencia, el reactivo puede ser incapaz de minimizar sus efectos para poder determinar con precisión la cantidad de fluoruro presente en el agua. Si las interferencias llegan a convertirse en un problema se debe considerar el método del electrodo iónico.

El método SPADNS es directamente aplicable a muestras de fluoruro en el rango de 0,1 a 2,0 ppm. Por encima de este rango, las diluciones tendrán que hacerse en agua desionizada para así obtener una medición precisa de la concentración de fluoruro. Es necesario hacer las diluciones en forma cuidadosa.

7.2.5 Método de análisis de fluoruro por electrodo fluoruro

El método por electrodo puede medir concentraciones de fluoruro desde 0,1 hasta 10 ppm. La ventaja principal de este método es que las muestras generalmente no necesitan ser destiladas para eliminar las interferencias.

La base para este método está en el electrodo de fluoruro mismo. La mayoría de los electrodos contienen una solución de fluoruro; en la punta del electrodo hay un cristal compuesto de iones de fluoruro. El cristal actúa como un conductor iónico, de manera que cuando la concentración de fluoruro por fuera del electrodo es mayor que la que está dentro, los iones se mueven hacia adentro estableciendo un potencial de voltaje proporcional a la diferencia en la concentración de fluoruro. Por consiguiente, cuando la concentración externa es más baja que la interna se establece un potencial proporcional o de signo opuesto. En la mayoría de los electrodos de fluoruro, la solución interna es cercana a 10^{-3} molar en fluoruro, de manera que las concentraciones inferiores a 19 ppm resultan en lecturas de voltaje positivo. Algunos electrodos no contienen solución interna alguna, pero el principio de operación es similar.

CAPITULO OCHO

PROGRAMA DE LOS CENTROS PARA LA PREVENCION Y EL CONTROL DE LAS ENFERMEDADES

8.1 Generalidades

Los Centros para la Prevención y el Control de las Enfermedades (CDC) han sido encomendados para que lleven a cabo una iniciativa del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos dirigida a fomentar la salud oral, incluida la fluoruración del agua. Este plan de acción afirma que para 1990 prácticamente todos los ciudadanos que son atendidos en los Estados Unidos por los sistemas públicos de abastecimiento de agua comunitaria deberán obtener los beneficios de la fluoruración. Esta meta de una fluoruración casi total se verá acompañada de un fuerte énfasis en la supervisión y vigilancia para asegurar así que aquellos que estén cubiertos por los sistemas de agua fluorurada reciban niveles óptimos de fluoruro en su agua potable.

Durante los años fiscales de 1977 a 1981, los CDC proporcionaron asistencia mediante donaciones a un proyecto categórico en 36 Estados, Guam y 18 comunidades para expandir la disponibilidad de agua fluorurada en un nivel óptimo. Durante este período se adjudicó un total de \$10.950.000, lo que dio como resultado la fluoruración de 681 suministros de agua comunitarios y escolares que cubren a más de 7.7000.000 personas. Las donaciones categóricas para la fluoruración s incluyen ahora en la donaciones en bloque para la Salud Previsional del Estado.

Los CDC continúan siendo los centros nacionales para la prevención y el control de las enfermedades dentales y orales, lo cual incluye la fluoruración. En concreto, los CDC tienen las siguientes responsabilidades frente a la fluoruración:

1. Prepara y difunde material educativo y de investigación relacionado con la prevención de afecciones dentales y la fluoruración del agua.
2. Lleva a cabo seminarios de capacitación básicos y avanzados para ingenieros y técnicos del Estado, con el fin de asegurar una vigilancia estandarizada, mantenimiento y supervisión de los sistemas de agua fluorurada.
3. Imparte y administra un curso de estudio a distancia sobre los aspectos técnicos de la fluoruración para operadores de plantas de agua.
4. Continúa el "Programa de Pruebas de Competencia del Agua Fluorurada" para los laboratorios del estado, asegurando así la exactitud de los programas de pruebas del fluoruro.
5. Mantiene en forma permanente el estado de la fluoruración del agua en los Estados Unidos.
6. Presta servicios de consultoría técnica general y especializada, así como asistencia a las agencias de salud locales y del estado, y a organizaciones privadas. Esto comprende el enlace con otras oficinas e instituciones federales e internacionales.

7. Identifica los problemas que afectan los programas para la prevención de afecciones orales y dentales y aboga por su solución.

8.2 Supervisión estatal y programa de vigilancia

Es muy importante que se lleve a cabo un buen programa de supervisión y vigilancia si se quiere que los sistemas de agua fluorurada proporcionen un nivel óptimo de fluoruro a sus consumidores. Es necesario definir primero qué se entiende por supervisión y vigilancia. Supervisar quiere decir hacer una prueba para una sustancia en particular. Cuando una comunidad hace pruebas de fluoruro en su agua potable está supervisando los niveles de fluoruro. Vigilancia significa examinar los resultados de la supervisión. Cuando un estado examina los análisis diarios de fluoruro por un período dado para una comunidad, está realizando la vigilancia de los niveles de fluoruro en el sistema de agua de esa comunidad. Si el estado examina los datos de supervisión de todas las comunidades fluoruradas dentro de sus confines, está realizando la vigilancia sobre los niveles de fluoruro para todo el estado.

Salvo algunas excepciones, los elementos para un buen programa de supervisión y vigilancia serán similares para la mayoría de los estados. Estos elementos son:

1. Especialista estatal en fluoruración

Cuando un estado tiene un número suficiente de comunidades o colegios fluorados, se debe contar como un mínimo con un técnico responsable por la supervisión y vigilancia del programa de fluoruración. Esta persona debe ser técnicamente competente (ya sea un ingeniero o un técnico en ingeniería) que asista a las comunidades y colegios examinando los datos obtenidos a partir de la supervisión que se realice de sus fuentes de agua. Se insiste en la necesidad de que no se le añada esta responsabilidad a los ingenieros regionales del Estado. La experiencia ha demostrado que cuando se agrega esta responsabilidad a las otras actividades regionales de ingeniería se desarrollan incoherencias en el programa. Si el estado tiene un programa de fluoruración en un colegio, entonces se necesitará personal técnico adicional (Véase el Capítulo 6).

2. Datos de la supervisión

Debe haber un método para recibir y revisar los datos de la supervisión de todos los sistemas de agua fluorurada. Este debe incluir: a) un método para obtener los datos del análisis diario del sistema comunitario y/o escolar y los datos de la muestra mensual de comprobación por parte del Estado, b) un plan para anunciar los resultados, y c) un sistema para examinar y analizar la información. Los datos de supervisión deben incluir todos los análisis diarios de fluoruro de todas las comunidades fluoruradas y todos los de los sistemas escolares fluorados (días de clases).

3. Procedimientos de seguimiento

Después de que todos los datos de todos los análisis del fluoruro han sido revisados se debe diseñar un sistema para detectar y corregir problemas. Este procedimiento es la clave para cualquier programa bien estructurado de supervisión y vigilancia. Los procedimientos de seguimiento pueden incluir llamadas por teléfono, visitas, cartas y, en casos extremos, la ejecución de acciones.

4. Capacitación del operador

Es esencial contar con un programa de capacitación para operadores, asegurándose así de que los consumidores de agua fluorurada de una comunidad o colegio están recibiendo el nivel óptimo de

fluoruro. Los cursos de capacitación deben ser de uno a dos días de duración, estar abiertos a todos los operadores interesados, y llevarse a cabo con regularidad. Un objetivo de este manual es el de ofrecerle al personal del estado el conocimiento y la información para conducir tales cursos.

5. Asistencia técnica

El especialista en fluoruración del estado debe proporcionar asistencia técnica regular (incluidas visitas de rutina) a todos los sistemas de agua fluorurada. Si el estado no cuenta con un especialista en fluoruración debe obtener los servicios de tiempo parcial de personas técnicamente competentes, ya sea vinculadas a otros programas del estado o de fuera.

6. Procedimientos de emergencia

Se debe desarrollar un plan para que los funcionarios de una comunidad o colegio y oficiales del estado tengan la capacidad de hacerle frente a un problema de sobrealimentación grave. Aunque la posibilidad de que tal sobrealimentación se produzca es en realidad muy pequeña, todos los involucrados deben estar preparados para actuar.

Por algún tiempo, la falta de buenos programas de supervisión y vigilancia en los estados con comunidades fluoruradas ha constituido una preocupación para los Directores del Servicio Dental del Estado y de los CDC. Una queja relacionada con los esfuerzos para fortalecer los logros en la supervisión y vigilancia de la fluoruración de los estados es que no se dispone de normas o pautas definidas. Es por eso que los CDC y los directores de odontología del estado a través de ASTDD han tratado de desarrollar tales normas. Los CDC han creado un grupo de trabajo constituido por expertos nacionales para que las desarrollen.

Los esfuerzos del grupo de trabajo de los CDC y del comité especial del ASTDD en materia de fluoruración ha dado como resultado el establecimiento de pautas voluntarias para garantizar que haya un buen programa de supervisión y vigilancia de la fluoruración del estado. La meta de estas pautas es garantizar una fluoruración de calidad en los Estados Unidos a través del establecimiento del programas estatales voluntarios de supervisión y vigilancia. Estas pautas se incluyen en el anexo.

8.3 Procedimientos de emergencia por sobrealimentación

8.3.1 Generalidades

Cuando una comunidad está fluorada su agua potable existe siempre un potencial latente de sobrealimentación. La mayoría de las sobrealimentaciones no tienen consecuencias graves pero deben ser corregidas. Por ejemplo, si el nivel óptimo de fluoruro en el agua potable de una comunidad es de 1,0 ppm y la sobrealimentación lo llevó a 2,0 ppm por varios años la consecuencia será una fluorosis muy suave en unas pocas personas. Es posible aceptar niveles más altos de fluoruro por períodos más breves sin ningún tipo de efectos adversos. (Véase el Cuadro 8-1). Como se mostró previamente, es una escuela rural en Seabrook, Carolina del Norte, el nivel de fluoruro había sido ajustado siete veces por encima del nivel óptimo por 12 años sin que se produjeran niveles de fluorosis inaceptables. De este modo, aunque siempre presente, el peligro de sobrealimentación no debe ser enfatizado en demasía.

Tanto los sistemas de fluoruración de la comunidad como los de las escuelas rurales pueden presentar sobrealimentaciones de fluoruro, pero los efectos serían más graves si se produjeran en el sistema

escolar rural, dado que allí el nivel de fluoruro mantenido es 4,5 veces por encima del óptimo, los conductos de distribución son más cortos, el peso corporal de los afectados es bajo y el nivel de pericia técnica es inferior. La preocupación principal es obviamente que se ingiera un gran “trago” de agua con un contenido muy alto de fluoruro que puede causar envenenamiento.

Cuadro 8-1
Acciones recomendadas en caso de sobrealimentación de fluoruro

Si el contenido de fluoruro (mg/l) es:	Acciones recomendadas
3,0 o más bajo	1. Deje abierto el sistema de fluoruración. 2. Determine qué ha funcionado mal y repárelo.
3,0 a 5,0	1. Deje abierto el sistema de fluoruración. 2. Notifique a su supervisor. 3. Notifique el incidente a los departamentos de salud apropiados del condado y del estado. 4. Determine qué ha funcionado mal y repárelo.
5,0 a 10,0	1. Si no puede encontrar el problema y corregirlo rápidamente, cierre el sistema de fluoruración. 2. Notifique a su supervisor. 3. Tome muestras de agua en diversos puntos del sistema de distribución y haga una prueba del contenido de fluoruro. 4. Notifique el incidente a los departamentos de salud apropiados del condado y del estado. 5. Determine qué ha funcionado mal y repárelo.
10,0 o más elevado	1. Cierre inmediatamente el sistema de fluoruración. 2. Notifique inmediatamente a su supervisor y a los departamentos de salud e ingeniería apropiados del condado y del estado y siga sus instrucciones. 3. Tome muestras de agua en diversos puntos del sistema de distribución y haga una prueba del contenido de fluoruro. Reserve parte de la muestra para enviarla al laboratorio estatal. 4. Determine qué ha funcionado mal y repárelo.

En las sobrealimentaciones hay tres puntos muy importantes que recordar: en primer lugar, el número de emergencias por sobrealimentación es extremadamente pequeño comparado con el número de sistemas que se someten a la fluoruración. Desde mediados de los sesentas se han registrado solamente 20 emergencias. En segundo lugar, todos los efectos resultantes de una sobredosis de fluoruro han sido suaves y de corta duración. En tercer lugar, es muy difícil tragar fluoruro en cantidades suficientes como para afectar seriamente a una persona. Uno de los síntomas de envenenamiento por fluoruro es una severa náusea, de la que la gente se pueda librar simplemente provocándose el vomitando.

8.3.2 Emergencias específicas: colegios

Lo que viene a continuación son breves descripciones de emergencias por sobrealimentación que han ocurrido en sistemas de fluoruración escolares:

1. Durante un picnic se utilizó el suministro de agua de un colegio. El empleado del colegio (operador) “sintió que el nivel de fluoruro en el agua no era lo suficiente alto” e hizo funcionar la bomba medidora de fluoruro mientras el suministro de agua estaba cerrado. La consecuencia fue una sobrealimentación.
2. Se estableció que el agua empleada para preparar jugo de naranjas en un recreo de la mañana contenía un elevado nivel de fluoruro. Previamente, cuando el colegio estaba cerrado por ser día festivo, la bomba medidora de fluoruro alimentó fluoruro mientras la bomba del pozo no estaba funcionando. (La bomba medidora de fluoruro había estado funcionando esporádicamente por cerca de un mes). Se había instalado un interruptor de flujo, pero la bomba medidora no estaba conectada con el circuito de la bomba del pozo. Cuando la bomba medidora comenzó a funcionar mal y el interruptor de flujo falló, no hubo un sistema alternativo que impidiera la sobrealimentación.
3. Otra emergencia tuvo lugar en un sistema donde el agua de un pozo servía a dos edificios separados de un colegio. La bomba medidora estaba conectada con la bomba del pozo, pero no se había instalado ningún interruptor de flujo. La sobrealimentación ocurrió cuando la bomba del pozo funcionó defectuosamente y lo siguió haciendo mientras la bomba medidora alimentaba fluoruro al sistema.
4. Otra emergencia tuvo lugar cuando un operador desenchufó la bomba medidora para repararla y la conectó nuevamente en un tomacorriente eléctrico “vivo” cercano. Esto hizo que la bomba medidora funcionara en forma continua y alimentara fluoruro incluso cuando la bomba del pozo (que normalmente controlaba la bomba medidora) no estaba encendida.
5. Un grupo de vándalos fue responsable de una sobrealimentación en la cual la bomba de un pozo de colegio se averió y no estaba entregando agua, aún cuando el interruptor de presión la estaba pidiendo. Aunque había un interruptor de flujo —que normalmente habría evitado la sobrealimentación—conectado al sistema, los cables habían sido cortados a ambos lados del mecanismo inutilizándolo completamente.

8.3.3 Emergencias específicas: comunidades

Lo que viene a continuación son breves descripciones de emergencias por sobrealimentación que han tenido lugar en algunos sistemas de agua fluorurada comunitaria:

1. Un operador con buenas intenciones pero poca capacitación técnica fue responsable de una sobrealimentación porque percibió que la concentración de la solución en el saturador estaba demasiado baja y por ello añadió un mezclador. Esto hizo que el químico del fluoruro a ser alimentado se convirtiera en una pasta aguada.
2. Una sobrealimentación tuvo lugar cuando aparentemente se averió una válvula de retención doble en el conducto principal de agua permitiendo que el flujo se desplazara en ambos sentidos a través de un medidor de ritmo de contacto magnético, fuera que el flujo estuviera hacia adelante o hacia atrás.

3. Otra emergencia ocurrió cuando se arruinó un interruptor de mercurio en un medidor viejo. Esto hizo que el alimentador alimentase fluoruro continuamente, produciendo de esta forma una sobrealimentación.
4. El accidente (reportado como sobrealimentación) que ocurrió en Annapolis, Maryland, es un caso especial. Este es el primer ejemplo conocido de una sobre-exposición al fluoruro que haya ocasionado una enfermedad seria en los 40 años desde que se inició la fluoruración de los suministros de agua de la comunidad. A continuación se resumen los hechos:
 - a) Un empleado de una planta de agua de Annapolis dejó abierta una válvula en el tanque de almacenamiento volumétrico, lo que hizo que aproximadamente 1.000 galones de ácido fluorosilícico se derramaran hacia el exterior antes de que se detectara el hecho a la mañana siguiente.
 - b) Ocho pacientes en un centro de diálisis cercano recibieron un tratamiento de hemodiálisis y se enfermaron. Todos los pacientes exhibieron síntomas severos y poco usuales (náusea, vómitos, diarrea, dolor al pecho, etc.). Un paciente regresó a su hogar y se quejó de que se sentía soñoliento, pero rehusó a hospitalizarse cuando el centro de diálisis le recomendó que lo hiciese. El paciente falleció a la mañana siguiente.
 - c) Ocho días más tarde, los funcionarios del departamento de salud del condado se enteraron informalmente del derrame de fluoruro y preguntaron al estado si se podía hacer una prueba de fluoruro en la clínica. Al día siguiente se le notificó por primera vez el incidente del fluoruro a los funcionarios de salud del estado. El informe de la autopsia del paciente que falleció se hizo 17 días después de la emergencia. Allí se reportó que la causa inmediata de muerte había sido una afección hipertensiva y cardiovascular, lo cual se había visto complicado por una intoxicación aguda con fluoruro ocurrida durante la hemodiálisis.

No se reportaron otros enfermos graves relacionados con la intoxicación por fluoruro en Annapolis. Si hubo evidencia de que los oficinistas del edificio del centro experimentaron una reacción suave al fluoruro. Se estimó que el nivel de fluoruro alcanzó hasta 36 ppm en el agua potable en algún punto de ese período. Annapolis continúa fluorando su suministro de agua.

Como resultado de estas emergencias por sobrealimentación se han ajustado las reglas y disposiciones estatales que rigen los aspectos técnicos de la fluoruración. Por ejemplo, la emergencia causada por un interruptor de flujo defectuoso hizo que el estado exigiera la instalación de dos interruptores de flujo en todos los sistemas escolares de fluoruración.

8.4 Situación actual de la fluoruración

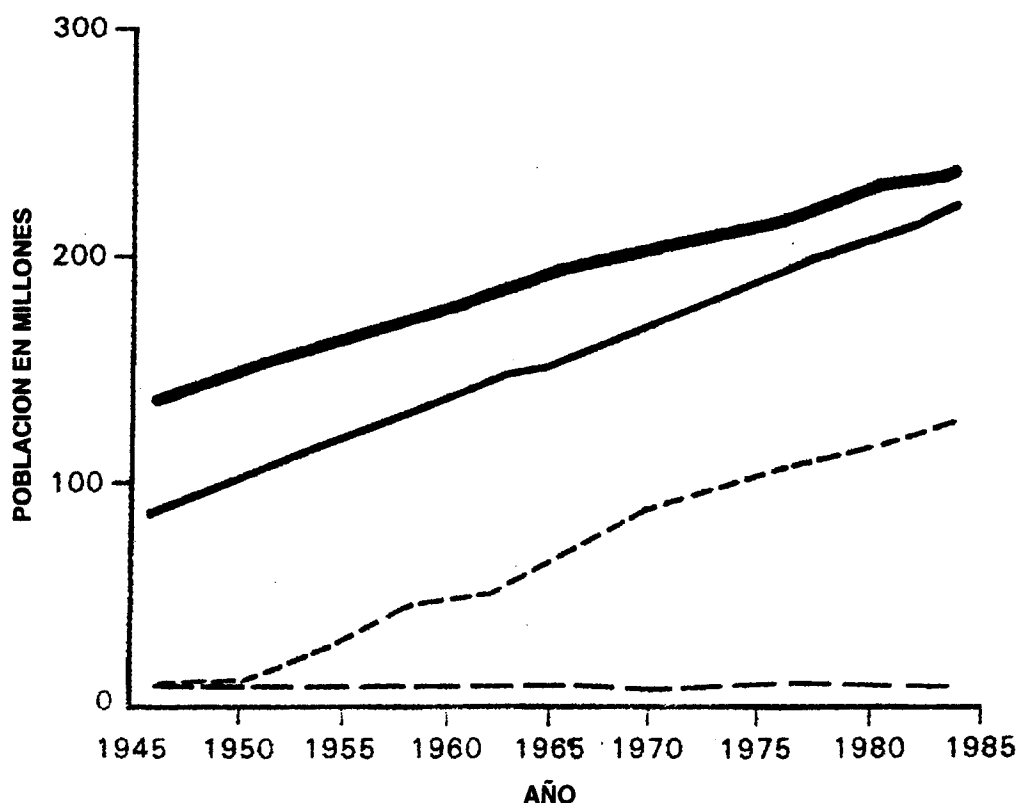
Según el Censo de Fluoruración realizado por los CDC en 1980, al 1 de enero 1980 aproximadamente 116 millones de estadounidenses o alrededor de 56,5% de la población servida por suministros de agua pública consumían diariamente agua fluorurada. De este total, unos 9,8 millones de personas se hallan servidas por suministros fluorados en forma natural. Se ha estimado que 131 millones de ciudadanos están actualmente recibiendo los beneficios del agua fluorurada. Para 1980 había 4.846 sistemas de agua sirviendo a 8.278 comunidades que habían ajustado el contenido de fluoruro de su suministro de agua, y otros 3.010 sistemas de agua sirviendo a 3.063 comunidades que reciben agua fluorurada en

forma natural a niveles óptimos o más elevados. Unos 24 millones de habitantes en más de 100 ciudades, con poblaciones de 50.000 o más, han estado expuestos a la fluoruración ajustadas por más de 20 años. Aproximadamente un 70% de todas las ciudades con poblaciones de 100.000 o más tienen agua fluorurada. Más de 22 Estados, el Distrito de Columbia y Puerto Rico proporcionan agua fluorurada a más de la mitad de su población. En la Figura 8-1 se muestra el crecimiento de la población de Estados Unidos servida por sistemas de agua potable fluorurada.

En 1980, 38 países informaron que la fluoruración del agua comunitaria estaba beneficiando a cerca de 208 millones de personas. La antigua Unión Soviética, los Estados Unidos, Canadá, Brasil, Australia, Venezuela y Chile tienen grandes poblaciones que consumen agua fluorurada. Las ciudades - estados de Hong Kong y de Singapur están totalmente fluoruradas. La fluoruración ha sido seriamente obstaculizada en Europa por sus opositores. En realidad, no se espera que se produzca un gran progreso en Europa en el campo de la fluoruración en un futuro cercano.

En América Central y Sudamérica, especialmente en Brasil - donde ahora existe una ley federal que exige la fluoruración para todas las comunidades con más de 50.000 habitantes -- se ha progresado mucho hacia la Fluoruración de la comunidad. El fluoruro de calcio ha alcanzado un amplio uso en Brasil, así como en varios otros países de Centro y Sudamérica. La Organización Panamericana de la Salud (la oficina regional para la Américas de la Organización Mundial de la Salud) ha sido muy activa en la promoción de la fluoruración en América Latina, donde son pocos quienes se oponen a ella.

Figura 8-1
AUMENTO DE LA FLUORURACION EN RELACION CON
LA POBLACION, EE.UU., 1945-1985



ABREVIATURAS

En este manual se emplean los siguientes símbolos y abreviaciones.

AAP	= Academia Americana de Pediatría
AC	= Corriente Alterna
ADA	= Asociación Dental Americana
AFI	= Concentración de ión fluoruro disponible
AWWA	= Asociación Americana de Plantas de Agua Potable
C	= Grados Centígrados
cc	= Centímetro cúbico
cc/min	= Centímetro cúbico por minuto
CDC	= Centros para el Control y Prevención de Enfermedades
cf	= Pies cúbicos por hora
DC	= Corriente Continua
DOH	= División de Salud Oral
deg.	= Grado
DHHS	= Departamento de Salud y de Servicios Sociales de Estados Unidos
DMF	= Dentición cariada, Perdida y Empastada
EPA	= Oficina de Protección Ambiental de Estados Unidos
F	= Grados Fahrenheit
F-	= Ión Fluoruro
FOB	= Carga a Bordo
ft ³ /día	= Pies cúbicos por día
ft/hr	= Pies cúbicos por hora
ft/seg	= Pies por segundo
gr	= Gramo
gr/lb	= Gramo por libra
gpd	= Galones por día
gph	= Galones por hora
gpm	= Galones por minuto
gal	= Galones
HHS	= Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos
hr	= Hora
hr/día	= Horas por día
Hz	= Hertz
in	= Pulgadas
kg	= Kilógramo
Kg/cm ²	= Kilógramo por centímetro cuadrado
l	= Litros
lbs	= Libras
lbs/cf	= Libras por pie cúbico
lbs/día	= Libras por día
lbs/ft ³	= Libras por pie cúbico
lbs/gal	= Libras por galón
lbs/hr	= Libras por hora
lbs/min	= Libras por minuto
LCI	= Químicos Unidos Lucier

l/min	= Litros por minuto
l/hr	= Litros por hora
mA	= Miliamperio
max	= Máximo
MCL	= Nivel Máximo de Contaminación
m	= Milígramo
mg/m ³	= Milígramos por metro cúbico
MG	= Millón de galones
MGD	= Millón de galones por día
mg/L	= Milígramos por litro
min	= Minuto
min/día	= Minutos por día
ml	= Mililitro
ml/gal	= Mililitros por galón
ml/min	= Mililitros por minuto
mm	= Milímetro
MSHS	= Administración de Seguridad y Salud en Minas
NIOSH	= Instituto Nacional de Salud y Seguridad Laboral
OZ	= Onza
pH	= Concentración de ión hidrógeno
PHS	= Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos
ppm	= Partes por millón
psi	= Libras por pulgada cuadrada
pvc	= Cloruro de polivinilo
rpm	= Revoluciones por minuto
SCR	= Rectificador de control de recorrido
sec	= Segundo
SPADNS	= Sodio 2-(parasulfofenilazo)-1,8-bihidroxico- 3,6-bisulfonato de naftalina
SPM	= Pulsaciones por minuto
SG	= Gravedad específica
SRI	= Instituto de Investigación de Stamford
SS	= Acero inoxidable
TLV	= Punto de partida del promedio del nivel
USEPA	= Oficina de Protección Ambiental de Estados Unidos
V	= Voltios