LA FLUORURACION DEL AGUA
UN MANUAL PARA OPERADORES
DE PLANTA DE AGUA

La traducción de este manual fue realizada en Mayo 1997.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente la asistencia de Darrell Sanders y Kim Cowles del personal de DOH, quienes me fueron de gran ayuda en la elaboración de partes de este manual. Finalmente, sin los esfuerzos de Darian White, 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 (milígramos por litro) se emplean en forma intercambiable. Aunque se prefiere mg/l, por razones de claridad se emplea ppm en varias ocasiones.

El término Appm@ 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).

TABLA DE CONTENIDO

PROLOGO 7

CAPITULO UNO FLUORACION Y SALUD PUBLICA 8

1.1 Definición de fluoruración del agua 8

1.2 Historia 8

1.3 Efectos en la salud de la fluoruración del agua 9

1.3.1 Generalidades 9

1.3.2 Beneficios de la fluoruración 10

1.3.3 Efectos sistémicos y topicos de los fluoruros en el agua potable 11

1.3.4 Fluorosis dental 12

1.3.5 Fluorosis osea 12

1.3.6 Cáncer 13

1.3.7 Fracturas oseas 13

1.4 Niveles máximos de contaminación 14

1.5 Alternativas a la fluoruración del agua 14

1.6 La controversia 15

1.7 Estado de la fluoruración del agua 20

PRODUCTOS QUIMICOS DE FLUORURO 21

2.1 Introducción 21

2.2 Fuentes de productos químicos 21

2.3 Compuestos de fluoruro en general 22

2.4 Fluoruro de sodio 23

2.5 Fluorsilicato de sodio 24

2.6 Acido fluorsilícico 25

2.7 Otros compuestos químicos de fluoruro 27

2.8 Niveles optimos de fluoruro 28

2.9 Disponibilidad de productos químicos 29

SISTEMAS DE FLUORURACION 30

3.1 Generalidades 30

3.1.1 Métodos de alimentación de fluoruros 30

3.1.2 Tipos de equipos 31

3.2 Bombas medidoras 32

3.2.1 Introducción 32

3.2.2 Bombas medidoras de diafragma 34

3.2.2.2 Bombas medidoras de diafragma mecánico 35

3.2.2.3 Bombas medidoras hidraúlicas con diafragma 35

3.2.2.4 Bombas medidoras de diafragma electrónicas 36

3.2.3 Calibraje de bombas medidoras 36

3.3 Saturadores 37

3.3.1 Introducción 37

3.3.2 Saturadores de flujo descendente 38

3.3.3 Saturadores de flujo ascendente 38

3.3.4 Interruptores de nivel del liquido 39

3.3.5 Suavizadores 39

3.4 Alimentadores en seco 40
3.4.l Introducción 40
3.4.2 Alimentadores volumetricos 41
3.4.3 Alimentadores gravimetricos 42
3.4.4 Tanques de solucion 43
3.4.5 Accesorios para alimentadores en seco 44
3.4.6 Calibraje de los alimentadores en seco 45
3.5 Equipo auxiliar 46
3.5.1 Introducción 46
3.5.2 Medidores de agua 46
3.5.3. Medidores de paso 47
3.5.4 Rompedores de vacio 48
3.5.5 Válvulas antisifonaje 49
3.5.6 Tanques diarios 49
3.5.7 Mezcladores 50
3.5.8 Balanzas 51
3.5.9 Otros accesorios 52
INSTALACION DE SISTEMAS DE FLUORURACION 55
4.1 Generalidades 55
4.2 Tipos de plantas de agua 56
4.3 Productos químicos empleados en plantas de tratamiento de agua 58
4.4 Punto de inyección del fluoruro 58
4.5 Instalación del equipo 60
4.5.1 Generalidades 60
4.5.2 Instalación de acido fluorsilícico 61
4.5.3 Instalación de fluoruro de sodio (saturadores) 63
4.5.4 Instalación de fluorsilicato de sodio (alimentadores) 64
OPERACION DE SISTEMAS DE FLUORURACION 65
5.1 Introducción 65
5.2 Mantención de registros 65
5.2.1 Introducción 65
5.2.2 Registros requeridos 66
5.2.3 Registros operacionales 66
5.3 Almacenamiento y manejo de productos quimicos 67
5.4 Cálculos para los sistemas de fluoruración 69
5.4.1 Generalidades 69
5.4.2 Nivel óptimo de fluoruro 69
5.4.3 Dosificación 70
5.4.4 Coeficiente maximo de bombeo (capacidad) 70
5.4.5 Pureza de los productos quimicos y disponibilidad en concertaciones de ino fluoruro (AFI) 71
5.4.6 Proporción de alimentación de fluoruro 72
5.4.7 Problemas (proporción de alimentación de fluoruro) 74
5.4.8 Proporciones de la alimentacion de fluoruro para saturador 76
5.4.9 Problemas (proporción de fluoruro a alimentar en saturador) 77
5.4.10 Dosificación calculada 78
5.4.11 Problemas en la dosificación calculada 80

5.5 Aspecto químico de los análisis de fluoruro 85
5.5.1 Introducción 85
5.5.2 Interfencias con el análisis de fluoruro 86
5.5.3 Compilación de muestras de fluoruro 86
5.5.4 Método SPADNS para el análisis de fluoruro 87
5.5.5 Método por electrodo para el análisis de fluoruro 89
5.5.6 Monitores continuos 89
MANTENIMIENTO 90
6.1 Introducción 90
6.2 Alimentadores de fluoruro 90
6.3 Laboratorio 93
6.4 Mantenimiento preventivo 93
6.5 Localización de averías 95
SEGURIDAD 100
7.1 Introducción 100
7.2 Productos químicos de fluoruro 100
7.3 Exposición al fluoruro 102
7.3.1 Exposición tóxica 102
7.3.2 Exposición tóxica crónica 103
7.3.3 Exposición tóxica aguda 103
7.3.4 Primeros auxilios para exposición tóxica aguda 104
7.4 Procedimientos de emergencia en caso de sobrealimentación 106
7.4.1 Introducción 106
ABREVIATURAS 109

LISTA DE TABLAS

Tabla	Título	Página
2-1	Solubilidad de los productos químicos de fluoruro.....	17
2-2	Propiedades del ácido fluosilícico.....	19
2-3	Niveles óptimos de fluoruro recomendados.....	22
2-4	Consumo de productos químicos de fluoruro en Estados Unidos.....	24
4-1	Tipos de sistemas de agua.....	60
4-2	Productos químicos empleados en una planta de tratamiento de agua	63
7-2	Acciones recomendadas a seguir en caso de sobrealimentación de fluoruro	108

INDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
Figura 1-1	*Grados de esmalte veteado y concentración del fluoruro en el agua*	*13*
Figura 1-2	*Las caries y la fluorosis en relación al fluoruro en los suministros de agua públicos*	*13*
Figura 1-3	*Incremento de la fluoruración en relación a la población de Estados Unidos*	*21*
Figura 2-1	*Niveles óptimos de fluoruro en Estados Unidos*	*29*
Figura 3-1	*Bomba elctrónica típica*	*36*
Figura 3-2	*Saturadores de flujo descendente*	*38*
Figura 3-3	*Saturador ascendente típico*	*39*
Figura 3-4	*Controladores del nivel de líquido*	*40*
Figura 3-5	*Ablandador de agua de zolito*	*40*
Figura 3-6	*Alimentador volumétrico del tipo rodillo*	*41*
Figura 3-7	*Alimentador gravimétrico del tipo tornillo rotatorio*	*42*
Figura 3-8	*Alimentador gravimétrico, de tipo banda*	*43*
Figura 3-9	*Rompedor de vacío*	*48*
Figura 3-10	*Válvula de antisifonaje (montada en bomba)*	*49*
Figura 3-11	*Válvula de antisifonaje (en línea)*	*49*
Figura 3-12	*Mezclador mecánico de alta velocidad típico*	*51*
Figura 3-13	*Mezclador en línea típico*	*51*
Figura 3-14	*Balanza de barra típica*	*52*
Figura 3-15	*Interruptor mecánico de flujo típico*	*54*
Figura 3-16	*Equipo de transporte*	*55*
Figura 4-1	*Sistema de agua con pozo único*	*57*
figura 4-4	*Punto de inyección de fluoruro*	*60*
Figura 4-5	*Instalación de ácido fluolisílico: almacenamiento en bombona (tambor)*	*62*
Figura 4-6	*Conexión a bombona (tambor) de ácido H SiF*	*62*
Figura 4-7	*Instalación de la caja de interruptor*	*62*
Figura 4-8	*Instalación de ácido fluosílico*	*64*
Figura 4-9	*Instalación de fluoruro de sodio - saturador de flujo ascendente*	*64*
Figura 4-10	*Instalación de alimentador volumétrico*	*65*

PROLOGO

La Organización Mundial de la Salud se complace en presentar la versión en español de AWater Fluoridation: A Manual for Water Plant Operators@. 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 ACenters 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 podrian hacer a lo largo de sus vidas".

CAPITULO UNO:

FLUORACION Y SALUD PUBLICA

1.1 Definición de fluoruración del agua

La fluoruración del agua es el ajuste ascendente premeditado del oligoelemento natural fluor,- (en la forma iónica de fluoruro) empleando pautas desarrolladas por la investigación médica y científica, con el propósito de promover la salud pública a través de la prevención del deterioro dental. El fluoruro está presente en cantidades pequeñas, pero en cantidades muy variadas en prácticamente todos los suelos, suministros de agua, plantas y animales y es por esto que es un constituyente de toda dieta. En los mamíferos las concentraciones más elevadas se encuentran en los dientes y huesos. Todos los suministros de agua pública en este país contienen al menos vestigios de fluoruro natural.

Pocas medidas de salud pública han producido mayor investigación clínica y de laboratorio, estudio epidemiológico, prueba clínica y la atención del público - tanto favorable como adversa - que la fluoruración de los suministros de agua pública.

1.2 Historia

El descubrimiento del rol del fluoruro flotante en la prevensión de caries dentales es un asunto interesante e intrigante a la vez. Una de las investigaciones más brillantes llevada alguna vez a cabo en la epidemiología de las enfermedades crónicas, fue la serie de estudios que condujo a la demostración que el agua fluorurada tiene propiedades inhibitorias en las caries dentales.

Todo comenzó cuando un joven dentista, Frederick S. McKay, estableció su consultorio en Colorado Springs, Colorado. Observó que muchos de sus pacientes exhibían dientes con una condición que él llamó "Mancha Parda de Colorado." Como esto no estaba descrito en ninguna literatura cintífica de la época, decidió investigar más acerca de ello. Así, en 1908, inició un estudio que condujo a la identificación de la condición que ahora conocemos como fluorosis (esmalte jaspeado). Esta condición prevalecía en los alrededores del condado de El Paso. El Dr. McKay, junto con otra figura importante del mundo dental, el Dr. G. T. Black, escribió detalladas descripciones sobre el esmalte jaspeado.

En los años de 1920, el Dr- McKay, junto con otros colegas, concluyó que algo que forma parte del agua o de falta en ésta, era la causa del esmalte jaspeado. De esta forma, en los últimos años de la década de 1920, el Dr. McKay dió con otro descubrimiento mayor. Los dientes con esmalte jaspeado estaban especialmente libres de caries. En 1931, el fluoruro fue identificado como el elemento del agua potable que causaba esmalte jaspeado, pero que al mismo tiempo inhibía las caries dentales.

En la década de 1930, el Dr. H. Trendley Dean del Servicio Público de Salud de los Estados Unidos y el Dr. McKay, colaboraron para determinar si el fluoruro podía ser añadido al agua potable para prevenir las caries. El Dr. Dean y otros asociados condujeron diversos estudios clásicos para establecer un índice de fluorosis en la comunidad. Esto condujo a posteriores estudios que previó la relación causa-efecto entre la fluoruración y la reducción de las caries dentales y se fijó cuáles deberían ser los niveles óptimos de fluoruro para el agua potable de una comunidad. El Dr.G.J.Cox, investigador dental del Instituto Mellon de Pennsylvania, fue el primero que propuso agregar fluoruro al agua potable para prevenir las caries dentales.

Los estudios sobre fluoruros fueron interrumpidos durante la Segunda Guerra Mundial pero en 1945 y 1947, se iniciaron cuatro estudios clásicos que finalmente probaron los beneficios de la fluoruración del agua al agregarse fluoruro a diversas comunidades. El estudio más importante, bajo la dirección del Dr. Dean, fue iniciado en 1945 en Grand Rapids, Michigan. (La fluoruración se inició en Enero de 1945 en Grand Rapids, Michigan; 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 en forma decidida que la fluoruración es una medida práctica y efectiva de salud pública para la prevención de las caries dentales.

Durante las décadas de 1950 y 1960, emergieron otras dos personas en la escena de la fluoruración. Si bien ya se había determinado que la fluoruración era segura y efectiva, los aspectos técnicos necesitaban refinarse y desarrollarse más antes que se pudiese implementar una fluoruración más extensa del agua de la comunidad. Franz J. Maier, un ingeniero en sanidad y Ervin Bellack, químico, ambos con el Servicio de Salud Pública de Estados Unidos, hicieron las principales contribuciones en los aspectos técnicos de la fluoruración del agua.

Maier y Bellack contribuyeron en determinar cuáles compuestos químicos de fluoruro eran los más prácticos de emplear en la fluoruración del agua, el mejor equipo mecánico a emplearse y los mejores controles del procedimiento. Bellack ayudó a realizar los principales avances en las pruebas de fluoruro. En 1963, Maier publicó el primer libro general sobre los aspectos técnicos de la fluoruración: AManual de la Práctica de Fluoruración del Agua." En 1972 Bellack, publicó junto con la Oficina de Protección Ambiental de Estados Unidos el "Manual de Fluoruración del Ingeniero"

El Servicio de Salud Pública de Estados Unidos, los departamentos de salud del estado y organizaciones no gubernamentales de investigación, han realizado estudios permanentes sobre fluoruros y fluoruración por más de 40 años. Existe gran cantidad de buenos libros de referencia y folletos sobre fluoruración. Para mayor información, dirigirse por escrito a los Centros de Prevención y Control de Enfermedades de Atlanta, Georgia o a la Asociación Dental Americana de Chicago, Illinois.

1.3 Efectos en la salud de la fluoruración del agua

1.3.1 Generalidades

En la salud, el efecto más positivo por fluoruración del agua es la prevención de las caries dentales. El efecto adverso, por altos niveles de fluoruro en el agua potable, es la fluorosis dental.
La controversia sobre la fluoruración prosigue y se han efectuado muchos cargos en contra de ella. Estos cargos se debaten en una sección posterior.

1.3.2 Beneficios de la fluoruración

El porcentaje más elevado de caries dentales se encuentra en escolares. Se inicia prematuramente en la infancia, alcanza un máximo en la adolescencia y disminuye en la edad adulta. En un tiempo, en Estados Unidos, un enorme porcentaje de personas presentaba caries dentales, constituía la enfermedad crónica más predominante en el hombre. Era verdaderamente universal. Antes del empleo extenso de fluoruración del agua, casi 98 de cada 100 americanos experimentaba algún deterioro dental antes de llegar a la edad adulta.

El fluoruro aporta considerables beneficios en la prevención de las caries dentales. Numerosos estudios establecen en forma clara una relación de causa entre la fluoruración del agua y la prevención de las caries dentales. Aunque el deterioro dental es reducido por los dentífricos y enjuagues dentales fluorados, los tratamientos profesionales con fluoruro y los complementos dietéticos fluorados; el método más efectivo es la fluoruración del agua. Esto proporciona mayores beneficios a aquellos que no pueden permitirse el cuidado dental preventivo y de reparación y además reduce las enfermedades dentales, la pérdida de los

dientes, el tiempo perdido en el trabajo o la escuela y los riesgos que implica la aplicación de anestesia en un tratamiento dental.

En la década de 1940, niños que vivían en comunidades con agua potable fluorurada tuvieron de un 20% a 40% en reducción de caries, comparados con aquellos que vivían en comunidades no fluoruradas. Estudios recientes han revelado además que las caries son menos frecuentes en regiones fluoruradas en forma natural o ajustadas; sin embargo, las diferencias en cantidad de caries entre regiones fluoruradas y no fluoruradas no son tan significativas como las observadas en la década de 1940. En las regiones no fluoruradas, este aparente cambio probablemente se explica por la presencia de fluoruro en bebidas, alimentos, productos dentales y complementos dietéticos.

Existe ahora la prueba determinante que la fluoruración del agua no sólo permite que los dientes sean más resistentes a los ácidos bacteriales, sino que realmente inhiben el crecimiento de ciertas clases de bacterias que producen estos ácidos. Asimismo, ahora se ha demostrado que los fluoruros en realidad ayudan a la remineralización del diente, haciendo así que se revierta el proceso de formación de caries después que éste ha comenzado.

De esta forma, la fluoruración realza la apariencia de los dientes, los hace menos sensibles a la acción de los ácidos bacteriales y reduce considerablemente los gastos de curaciones dentales. Por cada dólar que se invierta en fluoruración del agua, se puede ahorrar hasta 50 dólares en gastos de curaciones. El costo de fluoruración del agua es de cerca de 50 centavos por persona por año. Los beneficios de la fluoruración pueden extenderse a lo largo de la vida si uno continúa consumiendo agua fluorurada.

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

Por lo general cuando se bebe agua que contiene fluoruro, una pequeña cantidad se retiene por los fluídos de la boca y se incorpora al diente por asimilación superficial (efecto tópico). La otra parte del fluoruro ingerido, pasa al estómago y es absorbido en forma rápida por simple difusión de las paredes del estómago e intestino. Penetra al plasma sanguíneo y luego se distribuye a través del organismo, incluyendo los dientes (efecto sistemático). A causa del efecto sistemático, el ión fluoruro es capaz de pasar libremente a través de todas las paredes celulares y así se encontrará disponible para todos los órganos y tejidos del organismo. Distribuído en esta forma, el ión fluoruro surtirá a todas las estructuras óseas que pueden retener y almacenar en proporciones que por lo general aumentan con la edad y con la absorción de éste.

Los huesos, dientes, y otras partes del esqueleto tienden a atraer y retener fluoruro. Los tejidos blandos no retienen fluoruros. En forma correcta se ha afirmado que el fluoruro es un "buscador de huesos." Alrededor del 96% del fluoruro en el organismo se encuentra depositado en el esqueleto.

Como los dientes son parte del esqueleto, la incorporación de fluoruro dentro de éstos es básicamente similar a la de otros huesos. La incorporación de fluoruro es más rápida durante el período de formación y crecimiento del niño. Este período se extiende, en forma aproximada, desde del cuarto mes de embarazo hasta los diez años de edad. El octavo año probablemente marca el término del porcentaje máximo de incorporación de fluoruro en los dientes. Los dientes recién salidos se diferencian de otras partes del esqueleto en que una vez que éstos se han formado, con la excepción de la dentina (parte interna del diente) y la raíz, cuentan con poca actividad celular. De esta forma, no se produce un mayor cambio del nivel de fluoruro en los dientes después que éstos 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.

Así como en el caso de los huesos, el fluoruro concentrado en los dientes tiene una relación directa con el nivel

de fluoruro del agua potable y con la edad de la persona. Pero, como no está sujeto a una reposición interna por el organismo, los dientes no tienden a perder fluoruro por reabsorción excepto en la estructura de la raíz. La cantidad de fluoruro en los dientes varía tan ampliamente como el fluoruro en otras partes del esqueleto, desde varios cientos a varios miles de partes por millón (ppm).

Observe que el diente incorpora al fluoruro en estado soluble. Los fluoruros insolubles, tales como las partículas de fluoruro de calcio (CaF_2), pasarán a través del organismo y no serán utilizadas. De igual forma, los fluoruros en estado orgánico no son utilizados por el organismo. Aún no se sabe bien el mecanismo por el cual el ión fluoruro se incorpora en los dientes y huesos. Aunque sí se sabe que el ión fluoruro reemplaza al ión hidróxilo (OH) en el retículo cristalino del esmalte produciendo así un diente más fuerte.

1.3.4 Fluorosis dental

La fluorosis dental es definida como las manchas blanquecinas o pardas que se ve en los dientes. Se ha establecido en forma clara que los elevados niveles de fluoruro en el agua potable causan fluorosis (o "esmalte veteado", como se le llama a veces). La fluorosis dental se detectó a comienzo de este siglo, en personas con alta exposición al fluoruro natural que contiene el agua potable. Siempre ha predominado en regiones fluoruradas comparado a las no fluoruradas. La fluorosis dental tiene lugar sólo durante la formación de los dientes y es aparente una vez que los dientes emergen. Presenta un margen que va de superficies blanquecinas simétricas muy suaves en el diente (fluorosis dental muy suave) a una porosidad del esmalte, frecuentemente asociado con una decoloración parduzca (fluorosis dental grave). La forma muy leve es escasamente detectable, incluso por personal dental experimentado. Las formas moderadas y graves de la fluorosis dental, consideradas por algunos investigadores como un problema cosmético, no parecen producir efectos adversos a la salud dental, como sería la pérdida de la función del diente, y representa menos del seis por ciento de los casos de fluorosis a nivel nacional.

En la década de 1940, alrededor del 15% de la población exhibía una fluorosis dental leve y muy leve cuando la concentración de fluoruro encontrado en forma natural en el agua potable era de cerca de 1 parte por millón (ppm) (ver Figuras 1-1 y 1-2 en la página 5). En los últimos 40 años desde esa fecha, en regiones donde el fluoruro se agrega al agua potable para llevar su nivel total a aproximadamente 1 ppm (zonas óptimamente fluoruradas), puede haberse dado un incremento en el predominio total de fluorosis dental. En regiones no fluoruradas, existe clara evidencia que el predominio total de fluorosis dental ha aumentado en los últimos 40 años.

Cuanto mayor sea el tiempo de exposición al fluoruro durante el desarrollo del diente, mayor será la probabilidad de fluorosis dental. En las décadas de 1940 y 1950, las principales fuentes de fluoruro fueron el agua potable y los alimentos. Desde entonces, se cuenta con numerosas fuentes de fluoruro, incluyendo los productos dentales con contenido de fluoruro (por ejemplo, los dentífricos y enjuagadores orales) y complementos dietéticos con fluoruro. El uso inapropiado de estos productos puede contribuir en forma significativa a una absorción total de fluoruro.

Los aumentos en el predominio de la fluorosis dental en una población debiese ser considerado como evidencia que la exposición al fluoruro va en aumento. Como la fluorosis dental no compromete la salud oral o la función del diente, el aumento de la fluorosis dental, por si sola, no pasa a ser una procupación mayor para la salud pública dental sino que es una indicación de que la exposición total al fluoruro puede ser más que necesaria para prevenir caries dentales. La salud pública indica en forma general, no usar más de una sustancia que la cantidad necesaria para alcanzar el efecto deseado.

1.3.5 Fluorosis osea

Se ha descubierto que las concentraciones altas de fluoruro en el agua que se consume por largos períodos causan fluorosis ósea. La fluorosis ósea paralizante es un efecto del hueso adverso a la salud, resultante de una absorción de fluoruro de 20 mg/día en períodos de 20 años o más. Correspondería a este valor, una concentración de fluoruro en el agua potable de 10 mg/L, con un porcentaje de consumo de 2 litros por día. Se ha observado que la fluorosis ósea severa así como el ataque reumático, dolor y rigidez, se da en personas expuestas en forma crónica al fluoruro del agua potable con niveles de L a 10 mg/ 40 mg/L.

Figura 1-1 Grados de esmalte veteado y concentración del fluoruro en el agua

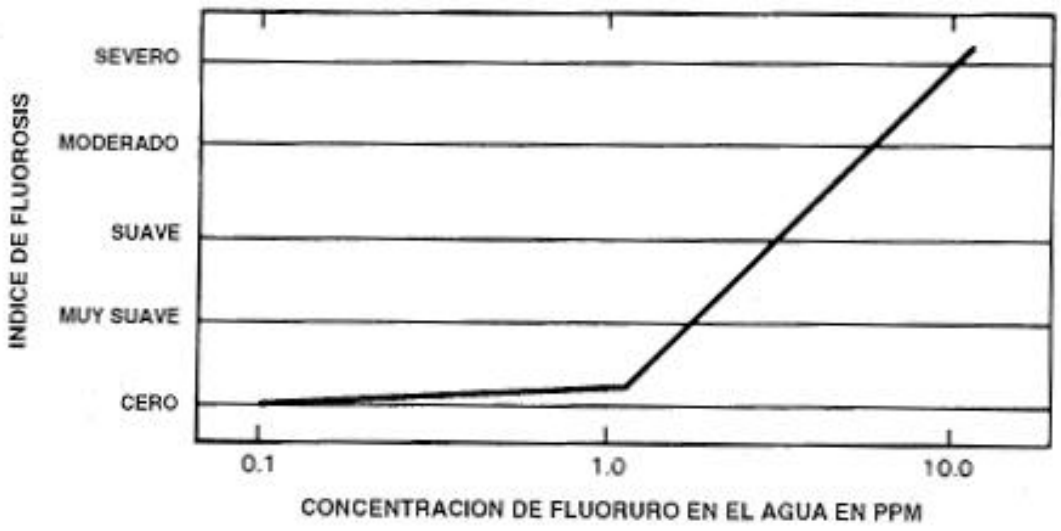
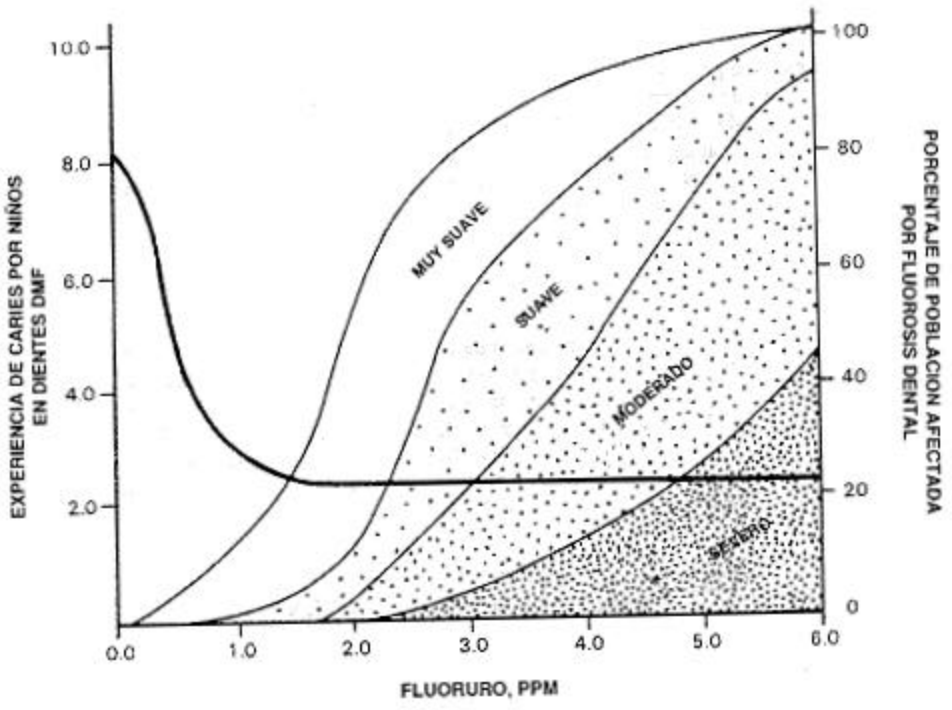


Figura 1-2 Las caries y la fluorosis en relación al fluoruro en los suministros de agua públicos



1.3.6 Cancer

Desde la década de 1940, se ha hecho acusaciones de que el fluoruro provoca cáncer. Esto aún es un motivo de controversia en algunas regiones de Estados Unidos.

Se ha realizado más de 50 estudios epidemiológicos en humanos entre la relación de la fluoruración del agua y el cáncer. Estos estudios por lo general intentan identificar las asociaciones estadísticas entre porcentajes de cáncer y los modelos de agua fluorurada tomados en forma extensa en condados y ciudades. Grupos de expertos han reexaminado este volúmen internacional de literatura documentada y han llegado al acuerdo de que no existe una evidencia aceptable de asociación entre, ya sea del fluoruro natural o del agregado al agua potable, y el cáncer en los seres humanos. (IARC, 1982, Knox 1985).

En su estudio, el NCI no identificó tendencia alguna en riesgo de cáncer que pudiera ser atribuída a la introducción del fluoruro en el agua potable.

1.3.7 Fracturas oseas

Los descubrimientos de algunos estudios epidemiológicos sugieren que la frecuencia de ciertas fracturas óseas pueden ser mayores en algunas comunidades con niveles de fluoruro ya sea ajustados o elevados presentes en forma natural. No obstante, existe un cierto número de factores que se prestan para confusión, lo que hace necesario una resolución a fin de determinar si existe una asociación o no la hay. Además, diferentes estudios no muestran un incremento en la incidencia de fracturas óseas; un estudio dado proporciona evidencia de una menor incidencia de fracturas óseas en una comunidad óptimamente fluorurada, comparada con una comunidad similar con sólo vestigios en sus niveles de fluoruro en el agua. Mientras que es indispensable que se realicen más investigaciones, parece haber escasas posibilidades de que el fluoruro cause cualquier aumento de fracturas óseas.

1.4 Niveles máximos de contaminación

La Agencia para la Protección del Medio Ambiente (USEPA) de Estados Unidos, ha fijado límites regulatorios en el contenido de fluoruro del agua potable. Basado en una revisión detallada de los estudios en fluoruro sobre los efectos en la salud, la USEPA fijó un nivel básico de contaminación máxima (MCL) de 4 mg/L en sistemas de agua para prevenir la fluorosis ósea paralizante. Por lo tanto, el nivel máximo de contaminación (MCL) de 4 mg/L proporciona un adecuado margen de seguridad.

Un nivel secundario de contaminación máxima de 2 mg/L fue establecido por la USEPA como el nivel sobre el cual es probable que ocurra la fluorosis dental. El estado tiene la opción de ajustar a 2 mg/L como su nivel máximo de contaminación (MCL) en ese estado. Diversos estados han implementado esta medida.

Contándose con otros métodos para proporcionar los beneficios del fluoruro, además de la fluoruración por los sistemas municipales de suministro de agua, se debe tener muy claro que la fluoruración municipal del agua es lejos el medio disponible más práctico y efectivo por su costo para reducir la incidencia de las caries en la comunidad. Esta conclusión está basada en la evidencia masiva que demuestra la eficacia de la medida, y en la información actual de los costos de implementación de fluoruración. Otra forma de proporcionar los beneficios de fluoruración del agua es por la fluoruración de las escuelas, pero ésta no debe ser considerada como una alternativa a la fluoruración del agua. Esto es, porque en ambas, tanto en la fluoruración de la escuela como en la de la comunidad, el nivel de fluoruro del agua potable se ajusta en forma ascendente.

1.5 Alternativas a la fluoruración del agua

Contándose con otros métodos para proporcionar los beneficios del fluoruro, además de la fluoruración por los sistemas municipales de suministro de agua, se debe tener muy claro que la fluoruración municipal del agua es lejos el medio disponible más práctico y efectivo por su costo para reducir la incidencia de las caries en la comunidad. Esta conclusión está basada en la evidencia masiva que demuestra la eficacia de la medida, y en la información actual de los costos de implementación de fluoruración. Otra forma de proporcionar los beneficios de fluoruración del agua es por la fluoruración de las escuelas, pero ésta no debe ser considerada como una alternativa a la fluoruración del agua. Esto es, porque en ambas, tanto en la fluoruración de la escuela como en la de la comunidad, el nivel de fluoruro del agua potable se ajusta en forma ascendente.

En general, hay cinco alternativas a la fluoruración del agua que emplean fluoruros tópicos o sistémicos:

A. Fluoruros Tópicos

1. Gel con fluoruro (aplicada por profesionales)

2. Enjuagatorios orales con fluoruro

3. Dentífricos con fluoruro

B. Fluoruros Sistémicos

1. Tabletas con fluoruro

2. Gotas con fluoruro

Aunque los fluoruros tópicos pueden usarse en conjunto con la fluoruración de agua (agua óptimamente fluorurada en una comunidad o sistemas de agua de una escuela o agua fluorurada en forma natural), los fluoruros sistémicos no deben usarse. La utilización de sólo un tipo de fluoruro sistemático es suficiente para prevenir las caries dentales.

1.6 La controversia

Aunque se ha comprobado que la fluoruración del agua es el método más seguro y efectivo por su costo para prevenir las caries dentales, un pequeño porcentaje de la población continúa oponiéndose a su introducción en los sistemas de agua de la comunidad. Cuando se está considerando adoptar la fluoruración del agua en una comunidad, las personas que se oponen a ésta, a menudo presentan cargos o alegatos con los que pretenden refutar los beneficios, seguridad y eficacia de la fluoruración. Muchos de estos cargos van en contra del operador de la planta, del gerente de la instalación y del ingeniero consultor. Generalmente están divididos en dos grupos: cargos del orden técnico y otros médico/legal. A continuación se presenta un ejemplo de estos cargos.

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

   LOS DATOS: Sin dar importancia a la procedencia del ión fluoruro, éste, en el agua potable es el mismo. El elemento flúor está formado de átomos con una estructura definida. Cuando el flúor se combina con otro elemento, cada átomo de flúor gana un electrón y la nueva sustancia formada 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 del flúor y son coherentes, a pesar del origen del ión fluoruro.

2. **LA ACUSACIÓN:** La fluoruración es un despilfarro. Menos de una décima parte de un 1% del agua es bebida por niños. El resto, un 99,9%, se usa con propósitos sanitarios e industriales, combate de incendios, lavado de calles, regado de parques, etc...

   LOS DATOS: Basado en este argumento, la fluoruración puede considerarse un despilfarro pero de manera similar la cloración y todos los otros procedimientos para tratar el agua serían asimismo un desperdicio. No es posible fluorar sólo el agua consumida por niños, de manera que los fluoruros deben añadirse al suministro de agua en su totalidad. Aún admitiendo que haya despilfarro, el costo de este método probado de prevención del deterioro dental en niños es pequeño si se compara a los beneficios recibidos.

3. **LA ACUSACIÓN:** Existe el peligro de, ya sea por accidente o por diseño, que toda una ciudad pueda ser sobre-fluorurada, dando como resultado una intoxicación masiva en la comunidad.

   LOS DATOS: En un sistema diseñado y operado en forma adecuada, el mecanismo, los compuestos químicos y la forma de funcionamiento están planificados, de modo que es remota la posibilidad de administrar una dosis peligrosa a la comunidad. El tipo de equipo que más se emplea, está por lo general diseñado para añadir no más de 2 mg/L (dos veces el nivel óptimo), cuando se opera a una capacidad máxima. Además, el contenido de fluoruro del agua es controlado en forma rutinaria, de manera que al haber cualquier desviación del nivel óptimo, ésto se detecta de inmediato.

La dosis mínima fatal para un ser humano (suponiendo que éste pese 150 lbs.) es de aproximadamente 2 gm de fluoruro (como F-). Para fluorizar 10.000 galones (32 ML) de agua en 1 mg/L se requiere de 190 lb (86 kg) de fluoruro de sodio o 140 lb (64 kg) de fluosilicato de sodio. Para elevar la concentración de fluoruro a un nivel en que la dosis mínima fatal (2 mg) 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 ó 500 toneladas (450.000 kg) de fluosilicato de sodio de sola una vez. Si bien el peligro fuera mayor en sistemas de mayor envergadura que usan alimentadores en seco, la capacidad de la tolva del fluorurador (alimentador en seco) debiese diseñarse para un suministro limitado de dos días (cerca de 50 lb. [23 kg]), e incluso si el suministro de una semana fuese agregado de una sola vez, sería sólo alrededor de una quinienta ava parte de la cantidad necesaria para la dosis mínima fatal. Bajo estas circunstancias, sería imposible colocar en el agua 700 toneladas (635.000 kg) de compuesto químico de fluoruro de una sola vez.

4. **LA ACUSACIÓN:** La fluoruración produce corrosión en la tubería del agua.

LOS DATOS: La corrosión en el agua potable está básicamente relacionada a la cantidad de oxígeno disuelto, pH, temperatura del agua, alcalinidad, dureza, concentración de sal, contenido de sulfuro de hidrógeno y a la presencia de ciertas bacterias. El ión fluoruro mismo, no está relacionado a la corrosión en concentraciones de o cerca del nivel óptimo encontrado en el agua potable. Bajo ciertas condiciones de la calidad del agua, puede observarse un pequeño aumento en la corrosividad del agua potable que de partida es corrosiva, después de un tratamiento con alumbre, cloro, ácido fluosilícico o fluosilicato de sodio. Este aumento en la corrosividad es causado por una depresión del pH como resultado de estos tratamientos y ocurre en agua potable con baja capacidad estabilizadora. El aumento en la corrosividad del agua potable como resultado de la adición del ácido fluosilícico o fluosilicato de sodio, es insignificante para la mayoría de los sistemas de agua, pero donde ésta es significativa, puede ser reducida agregándose pequeñas cantidades de cal o soda cáustica.

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

LOS DATOS: Tanto el sabor, como el color ni el olor son afectados al agregar fluoruro en una concentracidn de 1 mg/L. Los suministros de agua normalmente varían en su sabor, color y olor. Otros materiales, tales como el total de contaminantes sólidos y orgánicos disueltos, son básicamente responsables de estas variaciones.

6. **LA ACUSACIÓN:** La dureza del agua complica la introducción del fluoruro.

   LOS DATOS: El calcio y el magnesio pueden reducir la solubilidad de los fluoruros, pero el efecto es insignificante con las concentraciones presentes en las aguas naturales. Bajo ciertas condiciones, puede que sea necesario que el ablandador de agua que se emplea para preparar la solución fluorurada se agregue al suministro uniformenente. Por ejemplo, puede ser indispensable ablandar el agua de reemplazo que se añade a un saturador de fluoruro. Sin embargo, no es necesario ablandar todo un suministro de agua para agregar compuestos químicos de fluoruro.

7. **LA ACUSACIÓN:** Aunque el fluoruro puede agregarse en un porcentaje uniforme a la fuente del suministro de agua, existe la probabilidad que el fluoruro forme "acumulaciones" en las tuberías de agua lo que podría dar origen a concentraciones disparejas.

   LOS DATOS: En la concentración de 1 mg/LF, 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, si llegara a ocurrir un cambio en la concentración de la planta, habrá un intervalo antes que este cambio alcance las partes exteriores del sistema de distribución. El intervalo depende de la extensión de la tubería a través de la cual el agua tiene que pasar. Las "acumulaciones" no se dan en sistemas de distribución.

8. **LA ACUSACIÓN:** Existen métodos alternativos de bajo costo, tales como las unidades de fluoruración del agua para el hogar que pueden ser empleados por individuos que valorizan la fluoruración.

   LOS DATOS: No existe alternativa razonable en la fluoruración del agua a la comunidad. Es poco práctico y de costo elevado el intentar equipar cada hogar con su propio sistema de fluoruración. Asimismo, los problemas de funcionamiento y mantenimiento serían difíciles de manejar por el promedio de los dueños de casa.

9. **LA ACUSACIÓN:** La fluoruración es promovida por las grandes compañías químicas que obtienen enormes utilidades a raíz de esto.

   LOS DATOS: La producción y venta de compuestos químicos de fluoruro para fluoruración del agua representa sólo una fracción mínima de todos los negocios de la industria química del fluoruro. Existen otros usos industriales para los productos químicos de fluoruro, como ser la industria del aluminio.

10. **LA ACUSACIÓN:** La fluoruración provoca cáncer.

    LOS DATOS: A comienzo de 1975, la Federación Nacional para la Salud emitió una información que implicaba una relación entre la fluoruración y el cáncer. Estos alegatos se han refutado en repetidas oportunidades, tanto en revisiones separadas de sus propios trabajos como por estudios independientes, no sólo en los Estados Unidos, sino que también en otros países. Las revisiones se condujeron en el Instituto Nacional del Cáncer del Instituto Nacional de Salud. Además, estudios independientes llevados a cabo en los Estados Unidos por el Instituto Nacional del Cáncer, el Instituto Nacional para el Corazón, Pulmón y Sangre; y los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC), no detectaron relación entre los porcentajes de fluoruración y de muerte por cáncer. Después de una evaluación de los estudios disponibles sobre la oncogenicidad del fluoruro, la USEPA concluyó de que no existe información adecuada para concluír que el fluoruro presente un riesgo de

cáncer en los seres humanos. Un estudio reciente llevado a cabo en Gran Bretaña, no encontró nada en cualquiera de las principales clases de frecuencia epidemiológica que pudiera conducir a la conclusión, de que ya sea el fluoruro presente en forma natural en el agua o el fluoruro agregado a los suministros de agua, sea capaz de inducir el cáncer o de aumentar la mortalidad por cáncer

11. **LA ACUSACIÓN:** La fluoruración causa enfermedades cardíacas, diabetes, y malestares al hígado y riñón.

LOS DATOS: Estudios efectuados en 64 ciudades (32 de las cuales han utilizado agua fluorurada en forma natural por generaciones y 32 de las cuales no han tenido fluoruración) demostraron de que no existía una diferencia significativa en los porcentajes de mortalidad por estas enfermedades. Estos descubrimientos han sido confirmados por estudios en Illinois, New England, Texas y New York.

12. **LA ACUSACIÓN:** La fluoruración es un tratamiento médico en masa.

LOS DATOS: El fluoruro no es una medicina. No trata ni cura. Es un nutriente que previene el deterioro dental. Como con otros minerales en la dieta, el fluoruro ayuda al organismo a resistir afecciones, como se sabe, el deterioro dental.

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

LOS DATOS: A través de los años, la legalidad de la fluoruración se ha probado en repetidas oportunidades. Los tribunales de más de 25 estados se han hecho cargo de casos de fluoruración, y la constitucionalidad de la fluoruración ha sido defendida por las Cortes Supremas de más de una docena de estados.

Por otro lado, la Corte Suprema, por lo menos en ocho opotunidades, ha declinado el hacerse cargo de estos casos por no envolver ningún problema sustancial de la constitución federal.

La legalidad de la fluoruración se ha sido examinado en las cortes con más frecuecia que cualquier otra medida de salud pública. Comenzando en 1952, los entredichos se produjeron numerosas veces a fin de impedir la iniciación o continuidad de la fluoruración. Estos casos en general se basaban en variados tipos de argumentos: violación de libertad religiosa, violación de los decretos sobre alimentos puros, la falta o abuso del poder policial o de alguna autoridad municipal, una medida innecesaria o no razonable, despilfarro o uso ilegal de fondos públicos, medida de inseguridad o molestia, disposición de alternativas, quiebre de contrato, legislación de clases (sólo en beneficio de los niños), y privación de las libertades fundamentales.

En todos los casos la fluoruración ha prevalecido. Durante 30 años de litigio, la fluoruración ha resistido desafíos bajo objetivos constitucionales (Enmienda 1, 10 y 15). Ha sido apoyada en las más altas cortes en más de una docena de estados, y ha resistido los desafíos legales en más de 25 estados.

14. **LA ACUSACIÓN:** Los fluoruros en el agua potable pueden producir reacciones alérgicas.

LOS DATOS: El fluoruro en la concentración recomendada para la salud dental no produce tales reacciones. La Academia Americana de Alergia efectuó una revisión de informes clínicos de posibles respuestas alérgicas al fluoruro. La Academia no encontró evidencia de alergia o intolerancia. Una vez finalizado el estudio, el comité ejecutivo de la Academia emitió en forma unánime la siguiente declaración: "No existe evidencia alguna de reacción alérgica o intolerancia a los fluoruros, en la forma como estos son empleados en la fluoruración de los

suministros de agua de la comunidad.@

15. **LA ACUSACIÓN:** El efecto acumulativo de fluoruros por un suministro de agua fluorado dañará en forma permanente los tejidos y huesos del organismo.

LOS DATOS: Una parte insignificante del fluoruro ingerido se deposita en los huesos y dientes, el resto es rápidamente excretado a través de los riñones. Los huesos y los dientes acumulan fluoruro por largo tiempo. Este no es un problema de salud, sino más bien un beneficio cuando se le consume en consentración óptima. Como se expuso previamente, los efectos adversos a la salud pueden darse cuando se consume una concentración elevada por un período prolongado.

16. **LA ACUSACIÓN:** El fluoruro es empleado como un veneno contra las ratas y por esto es dañino para los seres humanos.

LOS DATOS: Aunque en el pasado, el fluoruro se empleó como veneno para ratas, éste no fue muy efectivo en reducir la población de estos animales y es así como se dejó de usar en forma paulatina. Actualmente los compuestos de fluoruro no son empleados como raticida. Elevadas dosis de fluoruro son tóxicas para los seres humanos. Sin embargo, es esencial comprender que el fluoruro (como lo son muchos otros productos químicos inorgánicos), tiene una doble naturaleza y es considerado por muchas autoridades de la salud como un nutriente esencial. Aunque es posible que produzca efectos tóxicos graves por dosis masiva de niveles extremadamente altos, las cantidades ínfimas de fluoruros en el agua potable tienen efecto benéfico. La implicación de que los fluoruros poseen los mismos efectos en grandes dosis y en cantidades insignificantes es incorrecto. Muchos elementos químicos que son nutrientes esenciales para los seres humanos, son tóxicos en cantidades mayores que los que requeriere la nutrición, incluyendo el magnesio, el manganeso, el zinc, el yodo y el hierro.

La lista de objeciones a la fluoruración que se refiera ya sea a aspectos técnicos, médicos, legales u otros problemas, puede continuar indefinidamente. Hasta donde compete al operador y al ingeniero de la planta, la adición de fluoruro al suministro de agua está dentro del marco de sus responsabilidades y es su deber el seguir las instrucciones de los funcionarios de salud y del organismo gubernamental de la comunidad, no sólo de agregar fluoruros sino de realizar el trabajo en forma correcta.

Es lamentable que una investigación irrelevante, no discutida o rechazada, se presente a propósito para el perjuicio de la salud pública. También es desafortunado que la interpretación errada de acciones en otros países y declaraciones fuera de contexto continúen circulando y creando temores innecesarios. Por cada informe que siembra dudas acerca de la fluoruración, hay innumerables informes que atestiguan de su seguridad y eficacia. No debe sorprender que puedan producirse diferencias de opinión entre científicos y profesionales en investigación y medicina. Empero lo que si debe sorprender, es el acuerdo casi universal en la seguridad y eficacia de la fluoruración. Desde todo punto científico la fluoruración no es una controversia. Existen pocas medidas de salud pública que cuenten con el apoyo científico y la amplia base de investigación como la que la fluoruración cuenta.

La fluoruración de la comunidad está apoyada por funcionarios del gobierno, el 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 de fluoruración, no ha habido evidencia clínica fundamentada de daño producido a alguien por haber bebido agua óptimamente fluorurada.

Algunas de las cuestionantes más comunes que han surgirdo, se han presentado a operadores de planta de tratamiento de agua. Existen diversos estudios e informes sobre los cargos en contra de la fluoruración que son bastante completos. Si desea información adicional sobre cualquier cargo o de la información de un cargo no cubierto en este manual, diríjase a Informaciones sobre Fluoruración, (publicación de la Asociación Dental Americana) u a otras publicaciones similares; o de otra forma, contáctese con la oficina reguladora para suministros de agua de su estado, el departamento de salud del estado, o la División de Salud Oral en los Centros para la Prevención y Control de Afecciones, Atlanta, Georgia.

1.7 Estado de la fluoruración del agua

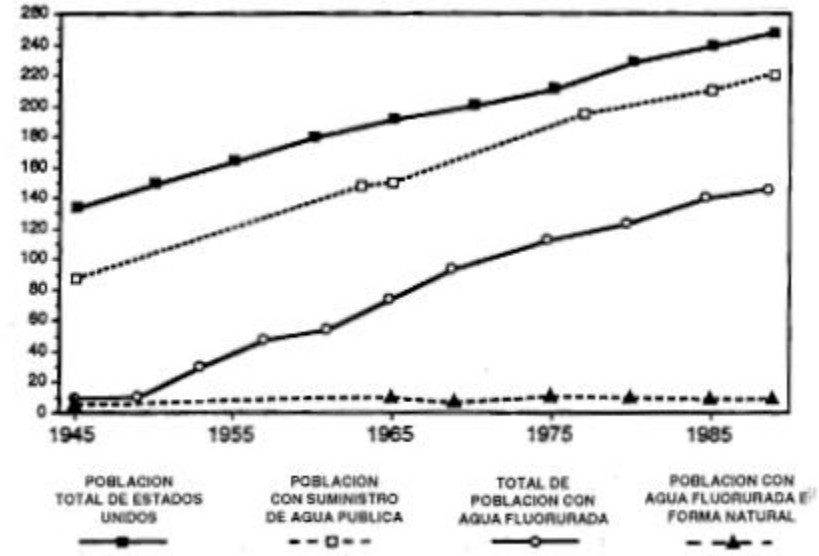
Hasta el año de 1989, la fluoruración en Estados Unidos se aplicaba en aproximadamente 8.100 comunidades, sirviendo a más de 126 millones de personas. Residentes de 1.800 comunidades adicionales, más de 9 millones de personas, consumían agua que contenía al menos 0.7 mg/L de fluoruro de fuentes naturales.

Unas cien ciudades con poblaciones de 50.000 o más habitantes, incluyendo Washington, D.C., y Chicago, Illinois, han tenido fluoruración ajustada por más de 20 años. Aproximadamente el 70% de todas las ciudades con poblaciones de 100.000 o más han fluorizado su agua. Más de 22 estados y el Distrito de Columbia proporcionan agua fluorurada a más de la mitad de su población. De las 50 ciudades más grandes de Estados Unidos (según el censo de 1989), 42 están fluoruradas. De las 10 ciudades más grandes, sólo Los Angeles y San Diego, California, no están fluoruradas. Desde el año 1985, ocho estados (Connecticut, Georgia, Illinois, Minnesota, Nebraska, Ohio, Michigan y Dakota del Sur) cuentan con cierto tipo de leyes de fluoruración obligatoria.

En 1990, aproximadamente 38 países reportaron que la fluoruración del agua está beneficiando alrededor 208 millones de personas. Estados Unidos, Canadá, Brasil, Australia, Venezuela y Chile cuentan con un elevado porcentaje de su población consumiendo agua fluorurada. Las ciudades-estado de Hong Kong y Singapur están totalmente fluoruradas. En Europa, se han opuesto en forma terminante a adoptar el sistema. En realidad, en el futuro cercano, habrá escaso progreso para la fluoruración en ese continente.

El crecimiento de la población de Estados Unidos que se beneficia de agua potable fluorurada se muestra en la Figura 1-3 a continuación.

Figura 1-3 Incremento de la fluoruración en relación a la población de Estados Unidos



CAPITULO DOS:

PRODUCTOS QUIMICOS DE 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 que es altamente reactivo. Es el más electronegativo de todos los elementos. No puede ser oxigenado a un estado positivo. E1 flúor nunca se ha encontrado en un estado libre en la naturaleza, pero está siempre en combinación con radicales químicos u otros elementos como compuestos de 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 que se responsabilizan de la reducción de las caries dentales. Existen sólo tres compuestos básicos comunmente empleados para la fluoruración de los suministros de agua potable en los Estados Unidos: Fluoruro de sodio, fluosilicato de sodio y ácido fluosilícico.

2.2 Fuentes de productos químicos

El fluoruro se encuentra en forma sólida en minerales como el espato flúor, la criolita y la apatita. El espato flúor es un mineral que contiene del 30% a 98% de fluoruro de calcio (CaF_2). El espato flúor (también llamado fluorita) se encuentra en casi todo el mundo, teniendo Kentucky e Illinois los mayores depósitos en Estados Unidos. Existen asimismo pequeños depósitos en Nevada y Texas. La mayor parte del espato flúor producido en Estados Unidos proviene de dos compañías mineras en el sur de Illinois. En los últimos años, sólo los Estados Unidos ha producido cerca del 10% del consumo de espato flúor. El resto se ha importado, por lo general de Méjico (alrededor de un 85%), por su bajo costo y elevada pureza.

La criolita (Na_3AlF_6) es un compuesto de aluminio, sodio y fluoruro. En la industria se le prefiere por su bajo punto de derretimiento. En Groenlandia se han descubierto grandes depósitos. La criolita no es la principal fuente de fluoruro en este país.

La apatita (Ca_{10} (PO_4, $C0_3)_6$, (F, C1, OH_2) es un depósito de una mezcla de componentes de calcio. (La coma en la ecuación química denota una mezcla). Estos componentes de calcio básicamente incluyen: fosfatos de calcio, fluoruros de calcio y carbonatos de calcio. Usualmente se presentan vestigios de sulfatos como impurezas. La apatita contiene de 3% a 7% de fluoruro y es la principal fuente de fluoruros empleados en la fluoruración. Constituye asimismo la materia prima empleada para 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. Tres cuartas partes de la producción anual de apatita de los Estados Unidos proviene del centro de Florida.

Debido al poder disolvente y al movimiento del agua en el ciclo hidrológico, el fluoruro se encuentra en forma natural en todas las aguas. Como el agua se mueve a través de la tierra en forma Subterránea, entra en contacto con minerales que contienen fluoruro y lleva los iones de fluoruro lejos de su punto de origen. Como todas las aguas se desplazan hacia los oceános, el agua de mar también contiene fluoruro (aprox. 1.2 ppm). La concentración de fluoruro en aguas frescas varía de acuerdo a factores tales como la profundidad del agua y la cantidad de minerales portadores de fluoruro en la región. De una manera general, cuanto más profunda es el agua subterránea, mayor será la concentración de fluoruro en el agua.

2.3 Compuestos de fluoruro en general

En teoría, cualquier compuesto que forma iones fluoruro en una solución de agua puede emplearse para ajustar el contenido de fluoruro de un suministro de agua. Sin embargo, existen diversas consideraciones prácticas que atañen a la elección de los componentes. En primer lugar, el componente debe tener suficiente solubilidad para permitir su uso en la práctica rutinaria de una planta de agua. Segundo, el catión al cual el ión fluoruro está fijado no debe tener características indeseables. Tercero, el material debe ser relativamente módico y estar disponible con rapidez en grados de tamaño y pureza conveniente al uso que se intenta aplicar. Los compuestos químicos de fluoruro como el cloro, la soda cáustica y muchos otros químicos empleados en el tratamiento del agua pueden presentar un riesgo de seguridad para el operador de una planta de agua; a menos de que sean observadas las precauciones de manejo apropiadas. Es de suma importancia que el operador esté consciente de los peligros asociados con los productos químicos en forma individual antes de su uso.

Los tres productos químicos de fluoruro que se emplean para la fluoruración deben cumplir las normas de las Asociaciones Americanas de Plantas de Agua Potable (AWWA)- fluoruro de sodio (B701-90), fluosilicato de sodio (B702-90) y ácido fluosilícico (B703-90).

2.4 Fluoruro de sodio

El primer compuesto fluorado empleado en la fluoruración del agua fue el fluoruro de sodio. Se escogió en base de los criterios mencionados con anterioridad y también porque su toxicidad y efectos fisiológicos han sido estudiados con profundidad. El fluoruro de sodio ha llegado a ser la norma de referencia que se ocupa para medir la concentración de fluoruro. Otros compuestos comenzaron a emplearse pero el fluoruro de sodio es todavía el preferido por sus características naturales únicas.

El fluoruro de sodio (NaF) es una materia blanca, inodora, disponible ya sea en polvo o en cristales de diversos

tamaños. Es una sal que en el pasado fué elaborada al añadir ácido sulfúrico al espato flúor y luego la mezcla se neutralizó con carbonato de sodio. En los años 1983 y 1984, la industria química introdujo cambios en la fabricaión del fluoruro de sodio. Hoy en día, se produce neutralizando ácido fluosilícico con soda cáustica (NaOH). Su peso por fórmula es de 42,00, gravedad específica de 2,79 y su solubilidad es prácticamente constante en 4,0 gramos por 100 milílitros de agua, a temperaturas encontradas en la práctica de tratamiento del agua (ver Tabla 2-1).

La solubilidad relativamente constante del 4% del fluoruro de sodio es la base para el diseño del saturador. El pH (concentración del ión hidrógeno) de una solución de fluoruro de sodio varía según el tipo y cantidad de impurezas, pero las soluciones preparadas con los grados habituales de fluoruro de sodio exhiben un pH casi neutral (aprox. 7,6). Se ecuentra disponible en un grado de pureza que va de un margen del 97% a sobre el 98% e impurezas consistentes en agua, ácido libre o álcali, fluosilicato de sodio, sulfitos y hierro, más trazas de otras sustancias. 19 libras de fluoruro de sodio agregará 1 ppm de fluoruro a 1 millón de galones de agua aproximadamente.

El fluoruro de sodio en polvo se produce en diferentes densidades, con el grado ligero pesando menos que 65 libras por pie cúbico y el grado pesado pesando aproximadamente 90 libras por pie cúbico. La densidad promedio es de 85 lbs./pie cúbico. Al harnear y analizar el fluoruro de sodio en polvo, muestra 99% a través de 200 mesh y 97% en 325 mesh. El fluoruro de sodio cristalino se produce en seis variedades, a algunas de ellas se les identifica como áspero, fino y extra-fino; los fabricantes proveen de diversos tamaños específicos de malla. (= mesh). Para actividad manual se prefiere el tipo cristalino, ya que éste no presenta el problema de acumulación excesiva de polvo que contituye el peligro más frecuente al operar con fluoruro de sodio. Una exposición más completa de las precauciones a tomar se presenta en secciones posteriores.

TABLA 2-1
SOLUBILIDAD DE LOS PRODUCTOS QUIMICOS DE FLUORURO

Producto Químico	Temperatura	Solubilidad (g por 100mL de H_2O)
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. Fluosilicato de Sodio (Na_2SiF_6)	0.0	0,44
	25,0	0,76
	37,8	0,98
	65,6	1,52
	100.0	2,45
3. Acido Fluosilícico (H_2SiF_6)	Infinita a toda temperatura	

El fluoruro de sodio tiene diversos usos industriales: La fabricación de esmalte vitrificado y vidrios, como agente desgasificador de acero, en electro-laminado, en soldadoras, en compuestos de sales tratados al calor, en equipos de estirilización de cervecerías y destilerías, en pasta y goma de pegar, como preservativo de madera y en la fabricación de papel protejido con tratamientos especiales. En el pasado se utilizó como raticida. Ya no se usa como tal y no está incluído en la lista de raticidas registrados en la Oficina de Protección Ambiental (EPA).

2.5 Fluorsilicato de sodio

El ácido fluosilícico puede convertirse en forma expedita en variadas sales y una de éstas, el fluorsilicato de sodio (Na2SiF6), también conocida como fluorsílico de sodio, se emplea con mucha frecuencia como compuesto químico para la fluoruración del agua. Como con la mayoría de los fluorsilicatos, éste se obtiene como sub-producto de la elaboración de fertilizantes fosfatados. La roca fosfatada se extrae del suelo y se trata con ácido sulfúrico, formándose así un sub producto gaseoso. Este gas reacciona con el agua y forma el ácido fluosilícico. Al ser neutralizado con carbonato de sodio el fluorsilicato de sodio se precipitará. El convertir el ácido fluosilícico (es un sub producto de bajo costo pero contiene demasiada agua para que su embarque resulte económico) a un material seco que contenga un alto porcentaje de fluoruro disponible, da como resultado un compuesto que tiene la mayoría de las ventajas del ácido y pocas de sus desventajas. Una vez que se demostró que los fluorsilicatos forman iones fluoruros en una solución de agua con tanta rapidez como lo hacen los compuestos simples de fluoruro, y de que no existe una diferencia en el efecto fisiológico, los fluorsilicatos (y ácido fluorsilícico) fueron aceptados para la fluoruración del agua y en muchos casos han desplazado el uso del fluoruro de sodio, excepto en saturadores.

El fluorsilicato de sodio es un polvo blanco, cristalino e inodoro. Su peso molecular es 188,06 y su gravedad específica es 2,679. Su solubilidad varía de 0,44 gramos por 100 milílitros de agua a O grados centígrados (C) a 2,45 gramos por 100 milílitros a 100 grados centígrados. (Ver la Tabla 2-1). Los pH de las soluciones están en forma definitiva del lado del ácido, con soluciones saturadas que generalmente exhiben un pH entre 3,0 y 4,0 (aproximadamente 3,6). Se encuentra fluorsilicato de sodio con una pureza de 98% o mayor, siendo las principales impurezas agua, cloruros y silicona. Para aproximadamente 14 lb. de fluorsilicato de sodio, se añadirá 1 ppm de fluoruro a 1 millón de galones de agua.

El fluorsilicato de sodio se vende en dos formas comerciales, regular y en polvo liviano. La densidad del fluorsilicato de sodio va de 65 a 95 libras por pie cúbico (lbs/cf). La densidad promedio es de aproximadamente 75 lbs/cf. Un análisis típico de tamizado del grado regular, muestra más del 99% con un cedazo de 200 mesh y más del 10% con un cedazo de 325 mesh.

E1 fluorsilicato de sodio tiene otros usos industriales: Removedor de suciedad de la ropa en lavandería (jabones neutralizantes cáusticos para la industria), la fabricación de vidrio ópalo y lanas a prueba de polillas. Se empleó como raticida en el pasado, pero como en el caso del fluoruro de sodio, se dejó de hacerlo. La Oficina de Protección Ambiental de Estados Unidos no lo incluye en su listado de raticidas registrados.

Como en el caso del fluoruro de sodio, el principal peligro asociado con el manejo del fluorsilicato de sodio es el polvo. Las precauciones que se deben tomar para su manejo se tratan en secciones posteriores.

2.6 Acido fluorsilícico

El ácido fluorsilícico (H_2SiF_6), también conocido como hidrofluorsilícico, hexafluorsilícico o sílico-fluórico es una solución acuosa de un 20% a 35% con una fórmula de peso de 144,8. Es un líquido de color paja, transparente, humeante, corrosivo, de olor acre y acción irritante en la piel. Las soluciones de un 20% a 35% de ácido fluorsilícico muestran un bajo pH (1,2), y a una concentración de 1 ppm se puede presionar ligeramente el pH de aguas potables escasamente amortiguadas. Debe ser manejado con extremo cuidado porque causa "quemadura retardada@ en la piel. En la Tabla 2-2, se da la gravedad específica y la densidad del ácido

fluorsilícico. La densidad promedio de 23% de ácidez es 10,1 lbs/gal. El ácido fluorsilícico (23%), se congela alrededor de 4 grados F. ó - 15,5 grados centígrados. Toma aproximadamente 46 libras (4,4 galones) de 23% de ácido para añadir 1 ppm de fluoruro a 1 millón de galones de agua.

El ácido fluorsilícico se fabrica por dos diferentes procedimientos, resultando productos con características diferentes. La producción mayor del ácido es el subproducto fertilizante fosfatado manufacturado. La roca fosfatada se extrae del suelo y se trata con ácido sulfúrico lo que da un subproducto gaseoso. Este gas se hace reaccionar con agua y forma así un ácido fluorsílico débil. El ácido se concentrará luego a una solidez de un 23% a un 25% más poderoso. Este tipo de ácido rara vez excede el 30% de solidez. Una cantidad inferior de ácido se puede preparar a partir del ácido fluorsílico (EF) y sílice, resultando un producto más puro a una concentración o solidez ligeramente más elevada. El ácido preparado de rocas fosfatadas contiene sílice coloidal en diversas cantidades, y como esto es de escasa consecuencia cuando el ácido se usa como es recibido, la disolución traerá como resultado la formación de un precipitado de sílice visible. Algunos proveedores de ácido fluorsilícico tienen para la venta ácido "fortificado", que ya lleva añadida una pequeña cantidad de ácido hidrofluórico para impedir la formación del precipitado. E1 ácido preparado de ácido hidrofluórico y sílice normalmente no forma un precipitado cuando es diluído.

TABLA 2 - 2
PROPIEDADES DEL ACIDO FLUOSILICICO

Acidez* (%)	Gravedad Específica (s.g.)	Densidad (lbsgal)
O (agua)	1,0000	8,345
10	1,0831	9,041
20	1,1670	9,739
23	1,1910	9,938
25	1,2080	10,080
30	1,2500	10,431
35	1,2910	10,773

* Basado en el otro porcentaje empleando agua destilada.

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

El ácido hidrofluórico (HF) es una substancia altamente corrosiva. Su presencia en el ácido fluorsilícico, ya sea por adición intencional; es decir, ácido "fortificado" o por procesos normales de producción exige de un cuidadoso manejo. Los gases de HF del ácido fluorsilícico son más livianos que el aire, a diferencia de los gases de cloro que son más pesados que el aire. Es así, como los gases del ácido se elevarán en vez de posarse en el suelo. (El tetrafluoruro de silicona (SiR_6) es un gas que es más pesado que el aire pero que no es tóxico).

Como el ácido fluorsilícico contiene una elevada proporción de agua, el embarque de grandes cantidades puede ser de costo elevado. Los usuarios que lo ocupan en grandes cantidades pueden adquirirlo directamente del fabricante al por mayor (petrolero o camión), pero los usuarios que necesitan menos cantidades pueden obtenerlo de los distribuidores que lo despachan en tambores o bombonas de polietileno. Los productores en vez de intentar de ajustar la concentración del ácido a alguna cifra uniforme, lo venden como viene, y el precio se ajusta para

compensar la concentración del ácido por encima o por abajo de la cifra citada. Nótese que el tipo de precio de "23% base" se aplica sólo en cantidades al por mayor. La práctica habitual del proveedor es entregar informes de prueba sobre la resistencia del ácido por cada partida de camión tanque.

Como todos los otros compuestos de fluoruro, el ácido fluorsilícico tiene varios usos industriales, incluyendo la esterilización de los equipos de las industrias cerveceras y de embotellado, electrolaminado, curtiembre de pieles, grabado en vidrio, refinamiento de plomo, endurecimiento del cemento y preservación de la madera. Al igual que con otros ácidos minerales, el ácido fluorsilícico debe manejarse con cuidado para prevenir el daño físico a los operadores y al equipo cuando ocurren salpicaduras de ácidos o escape de gases. Una presentación más completa sobre las precauciones de manejo se presenta en las secciones posteriores.

2.7 Otros compuestos químicos de 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), se emplean o se han empleado para la fluoruración del agua. Cada uno tiene propiedades particulares que hacen al material deseable para una aplicación específica, pero a la vez, cada uno tiene características no deseables. Ninguno de estos compuestos químicos tiene una aplicación extensa en Estados Unidos, aunque el fluoruro cálcico es empleado en Sudamérica.

El fluoruro silícico de amonio posee la especial ventaja de suministrar todo o parte del ión amonio para la producción de cloramina, cuando este tipo de desinfectante se prefiere al cloro en una situación determinada. Tiene la desventaja de impedir la desinfección, si hay breves espacios en el período de contacto. Además, es de un costo más elevado que el fluorsilicato de sodio.

El fluoruro silícico de magnesio y el fluoruro de potasio presentan la ventaja de su altísima solubilidad, siendo éstos de especial importancia cuando no se desea rellenar con frecuencia los contenedores de la solución en el sistema de fluoruración del agua de las escuelas. Además, el fluoruro de potasio es absolutamente compatible con el hipoclorito de potasio, de manera que una mezcla de las dos soluciones (en el mismo contenedor) puede emplearse para una fluoruración y cloración simultánea. No deben ser alimentados con el tipo seco. Asimismo, ambos son de costo más elevado; el fluoruro de potasio más que el fluorsilicato de sodio. En Europa, fluoruro silícico de magnesio se emplea como un compuesto curativo definitivo por lo que se produce en gran volúmen, pero su costo es aún más elevado que el fluorsilicato de sodio. El fluoruro de potasio es uno de los principales ingredientes en la fabricación de gas neurotóxico.

De todos los compuestos usados para la fluoruración del agua, el de más bajo costo es el fluoruro cálcico (espato flúor) pero es también el menos soluble. Se ha proveído en forma exitosa, disolviéndolo primero en una solución de alumbre y luego utilizando la solución resultante para suministrar tanto el alumbre necesitado para la coagulación como el ión fluoruro. Se ha intentado alimentar el espato flúor en forma directa en su estado de polvo ultra-fino, en la premisa que el 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 ha empleado bases de espato flúor con cierto grado de éxito.

El ácido fluorhídrico (no el ácido fluorsilícico), a pesar de su bajo costo presenta altos riesgos de seguridad y corrosión como para ser aceptado para la fluoruración del agua, aún así, se le utilizó en una instalación diseñada especialmente.

Se ha sugerido muchos otros compuestos químicos de fluoruro para ser empleados en la fluoruración del agua, entre ellos el bifluoruro de amonio y sodio. Estos tienen la ventaja de solubilidad y costo, pero su potencial de

corrosividad ha impedido su aceptación.

2.8 Niveles optimos de fluoruro

Las concentraciones óptimas de fluoruro recomendadas para sistemas de agua fluorurada se entregan en la Tabla 2-3 y en la Figura 2-1. Estos niveles están basados en el promedio anual de la temperatura atmosférica diaria máxima del área de la escuela o comunidad. En las áreas donde la temperatura promedio no se encuentra en el gráfico, el nivel óptimo de fluoruro se puede fijar por la siguiente fórmula:

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

E es el consumo promedio de agua al día estimado para niños de 10 años de edad en onzas de agua por libra de peso. E se obtiene de la fórmula:

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

El margen de control recomendado se desplaza hacia arriba del nivel óptimo de fluoruro por dos razones. En primer lugar, es obvio que muchos operadores de planta de agua tratan de mantener el nivel de fluoruro en su comunidad al nivel más bajo posible. El resultado es que el nivel real de fluoruro en el agua variará alrededor del valor más bajo en el margen, en lugar de alrededor del nivel óptimo. Este problema se logrará superar ajustando el nivel más alto para la base de los límites de control de fluoruro recomendados. En segundo lugar, algunos estudios han demostrado que los fluoruros sub-óptimos son relativamente ineficaces en prevenir las caries dentales. Incluso, una gota de 0,2 pp bajo los niveles óptimos puede reducir significativamente los beneficios dentales. El implementar cambios en los límites de control del nivel óptimo de fluoruro ayudará a asegurar que los beneficios de fluoruración sean mantenidos, incluso si el nivel de fluoruro en el agua varía ligeramente. En la fluoruración del agua, la subalimentación es un problema mucho más serio que la sobrealimentación.

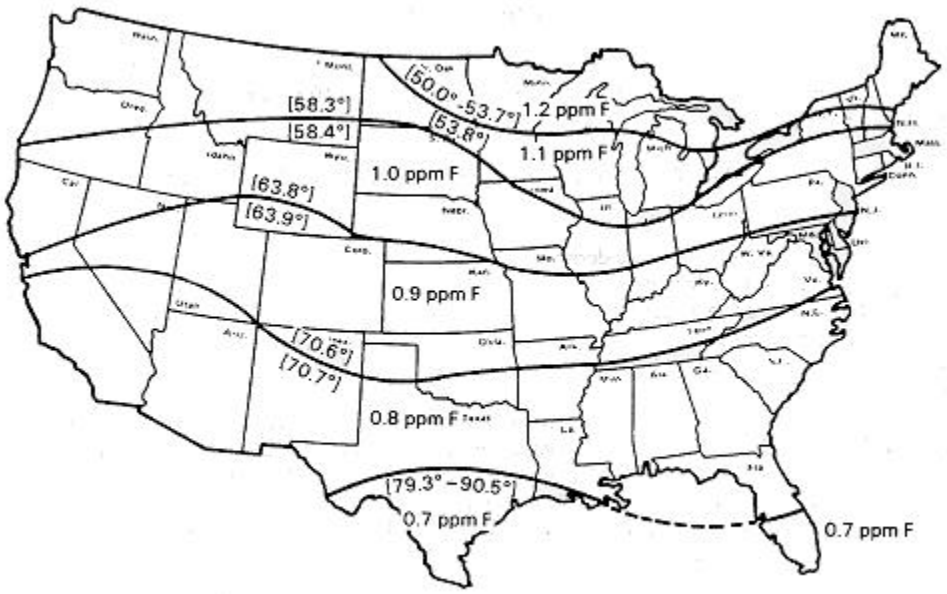
TABLA 2 - 3
NIVEL OPTIMO DE FLUORURO RECOMENDADO

Promedio Anual de Temperaturas Atmosféricas 1 Máxim. Diarias (F)	Concentraciones de Fluoruro Recomendadas en:	Margen de Control Recomendado				
		Sistemas de Comunidad		Sistemas de Escuelas		
	Comunidad (ppm)	Escuela 2 (ppm)	0,1 Bajo	0,5 Sobre	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] Basado en los datos de temperatura obtenidos para un mínimo de cinco años.

[2] Basado en 4,5 veces el nivel óptimo de fluoruro para comunidades.

Figura 2-1 Niveles óptimos de fluoruro en Estados Unidos



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

2.9 Disponibilidad de productos químicos

De tiempo en tiempo surge cierta preocupación acerca de la disponibilidad de fluoruro de sodio, fluorsilicato de sodio y ácido fluorsilícico. Por lo general, la mayoría de las "escaseces" no son tales en la planta del productor, pero si una escasez temporal a nivel local del distribuidor. Este tipo de problema por lo general se elimina rápidamente. En el pasado hubo ciertas deficiencias a nivel de producción, en especial de ácido fluorsilícico y fluorsilicato de sodio.

Como el ácido fluorsilícico y el fluorsilicato de sodio (y ahora la mayor parte del fluoruro de sodio) son sub-productos del ácido fosfórico (el ingrediente principal del fertilizante fosfatado), la venta de fertilizantes va a tener un efecto directo en el volúmen de productos químicos que se produzcan. En el pasado hubo dificultad en la venta de fertilizante, resultando asi una escases temporal de estos dos compuestos químicos de fluoruro. Estas dificultades fueron relativamente leves, porque el número de comunidades fluoruradas era mucho más bajo y se necesitaba un volúmen menor de fluorsilicato de sodio y ácido fluorsilícico que actualmente. Hubo carencias en 1955 - 1956, en el verano de 1969, en la primavera de 1974, en el verano de 1982 y finalmenteen los primeros meses de 1986. A causa de esos períodos de escases, la CDC recomienda que el almacenamiento de compuestos químicos de fluoruro se aumente más allá de lo que se considere práctico. Se recomienda que se mantenga siempre como mínimo, un suministro para tres meses.

El fluoruro de sodio y el fluorsilicato de sodio pueden importarse de Bélgica y Japón. El fluoruro de sodio belga se producía sólo en polvo pero ahora lo produce también en cristal. Japón lo fabrica tanto en polvo como en cristal.

Las compañías de fertilizantes fosfatados producen sólo cerca de la mitad de la cantidad de compuestos químicos de fluoruro que potencialmente podrían producir. Si se produjera y convirtiera todo el potencial ácido fluorsilícico

en un ácido de graduación municipal, las compañías de fertilizantes podrían producir más de 200.000 toneladas de ácido por año. No lo hacen debido a los contratos a corto plazo con municipalidades y al costo del equipo necesario para producir ácido de graduación municipal. Comprensiblemente las compañías de fertilizantes se muestran reacias a hacer un compromiso de alto costo, a menos que puedan asegurarse de la demanda por parte de los consumidores.

Los productos químicos de fluoruro se emplean en tres extensas áreas: En las industrias del aluminio, de la fluoruración del agua y otros variados usos. En 1984, la industria de aluminio efectuó sus principales cambios en los procesos de fundición de aluminio, ésto puede significar reducciones en la cantidad de ácido fluorosilícico en el futuro. Los variados usos incluyen sales fluoruradas en dentífricos, enjuagadores orales, tabletas, etc., y compuestos fluorados para usos industriales, tal como la electrolaminación, curtido de pieles, grabado en vidrio y endurecimiento del cemento. En la Tabla 2-4 se aprecia la cantidad de compuestos químicos de fluoruro producidos en Estados Unidos. Estas cifras son aproximaciones y variarán de año en año.

TABLA 2 - 4
CONSUMO DE PRODUCTOS QUIMICOS DE FLUORURO EN ESTADOS UNIDOS

Nombre Industrial	Cantidad Empleada* (tonsaño)
1. Aluminio	150.000 - 200.000
2. Fluoruración del Agua	
A. Acido Fluorsilícico (23%)	150.000
B. Fluorsilicato de Sodio	20.000
C. Fluoruro de Sodio	5.600
3. Usos varios	75.000 - 1.000.0000

*Cifras aproximadas basadas en datos de 1986 del AL.C.I.@, ASRI - International@ y de la ACompañía de Químicos Kaiser@.

CAPITULO TRES:

SISTEMAS DE FLUORURACION

3.1 Generalidades

3.1.1 Métodos de alimentación de fluoruros

El fluoruro debe alimentarse al sistema de suministro de agua en forma líquida o como una solución. Esto es válido para los alimentadores de productos químicos en seco y alimentadores de solución.

Un suministro de agua puede proveerse de fluoruros de las siguientes formas:

1. Alimentación de productos químicos en seco

La cantidad del compuesto de producto químico en seco (generalmente fluorsilicato de sodio) se puede medir con una máquina, luego agregarla a un tanque de mezcla (tanque de solución) en donde se mezclará profusamente para luego entrar al flujo principal de agua, ya sea por gravedad o empleando una bomba para solución.

2. Alimentación ácida

Se puede utilizar una bomba pequeña para añadir soluciones de ácido fluorsilícico directamente al sistema de suministro de agua. Este método puede utilizar el ácido a medida que fluye.

3. Alimentación de solución saturada

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

4. Alimentación de solución insaturada

Las soluciones no saturadas de fluorsilicato de sodio o fluoruro de sodio pueden prepararse por pesaje de las cantidades de los componentes, midiendo las cantidades de agua y mezclándolos en su totalidad. Este no es el método preferido para de alimentación de fluoruros y debe evitarse.

3.1.2 Tipos de equipos

Para ser precisos, diremos que los dispositivos para la alimentacicón de fluoruros se adaptaron de máquinas originalmente diseñadas para alimentar productos químicos líquidos o sólidos en el tratamiento de aguas y plantas industriales. En muchos casos el equipo es el mismo.

Los productos químicos siempre se agregan al suministro de agua en estado líquido pero pueden ser medidos ya sea en estado líquido o sólido. Los fluoruros sólidos deben disolverse en una solución antes de integrarlos al sistema de abastecimiento de agua. Por ésto los compuestos químicos pueden dividirse en dos tipos: 1) Bombas medidoras, que son específicamente pequeñas, empleadas para alimentar una cantidad medida de fluoruro líquido en una solución durante un tiempo determinado, y 2) Alimentadores en seco, que entregan una cantidad predeterminada del material sólido durante un intervalo de tiempo dado. El término de "bomba medidora" es empleado en este manual para los términos: "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 alimentada. El tipo de alimentación dependerá del contenido de fluoruro deseado en el agua tratada, la cantidad de agua a tratarse después de pasar un punto dado, y el contenido de fluoruro del agua no tratada. Por regla general, las bombas medidoras (con ácido o con saturadores) se emplean para sistemas de abastecimiento de poca envergadura y los alimentadores en seco para sistemas más grandes. Existe un amplio margen dentro del cual ya sea un tipo u otro puede ser igualmente exitoso.

3.2 Bombas medidoras

3.2.1 introducción

Las bombas pueden clasificarse como a vapor, eléctricas, por energía hidraúlica, por energía del viento, etc., de acuerdo con la clase de energía empleada. También se pueden clasificar como bombas de pozo, de bajo servicio, de alto servicio, o bombas medidoras, según la clase de servicio que ofrecen. También pueden clasificarse como bombas de desplazamiento positivo, por fuerza centrífuga, de impulso y bomba vertical con válvula en el émbolo, de acuerdo a los principios mecánicos de su funcionamiento. Las bombas de energía eléctrica (bombas con motor eléctrico) se emplean por lo general para la alimentación de soluciones de fluoruro, como también para la mayoría de otros productos químicos para tratamiento del agua. Estas son clasificadas como bombas medidoras y respecto a su clasificación mecánica, las bombas alimentadoras de fluoruro son casi siempre del tipo de desplazamiento positivo. Sólo las bombas de transferencia no se clasifican como bombas de desplazamiento positivo - por lo general éstas son bombas centrífugas.

Por regla general, una bomba medidora no es más que una pequeña bomba de la cual existen casi ilimitadas variedades. Para la alimentación de soluciones de fluoruro, puede utilizarse prácticamente cualquier tipo de bomba medidora que se emplee para alimentar otros compuestos químicos en el tratamiento del agua, con no más de sólo una modificación menor en los detalles de construcción. Si en verdad existe un requisito para una bomba medidora de fluoruro que la distinga de bombas medidoras para otros propósitos, es la precisión y constancia de suministro. El nivel óptimo de fluoruro se ha prescrito con límites muy precisos y ordena que el fluoruro que se agregue sea en proporción precisa a la cantidad de agua a ser tratada. Este requisito favorece al tipo de desplazamiento positivo de la bomba medidora.

La bomba de desplazamiento positivo, como la que se ocupa en la industria de las empresas de agua potable, es un dispositivo que atrae y expele líquido como resultado del llenado y vaciado alternativo de una cámara cerrada. Entrega un volumen específico de líquido por cada recorrido de un pistón o diafragma. Muy pocas bombas son capaces de entregar un volumen duplicado bajo todas las condiciones; ya que factores como presión y viscocidad pueden afectar el volumen desplazado por la pieza que acciona la bomba. Sin embargo, al emplearse soluciones de fluoruro de concentración fija, alimertar en contra una presión fija y bombear dentro de un flujo constante de agua, la bomba medidora de desplazamiento positivo ha demostrado ser de suficiente confiabilidad. La bomba de desplazamiento positivo puede presentar el problema de que por si cualquier motivo la tubería llegase a obstruirse, la bomba continuará operando hasta que algo se rompa. (Se exceptúa de esto a la bomba medidora electrónica).

Comunmente los dispositivos de alimentación de solución como las bombas centrífugas, las bombas verticales con válvula en el émbolo, las bombas de gravitación por gravedad, los alimentadores de recipientes o también los tanques en altura no son empleados para fluoruración a causa de su relativa inexactitud. Diversos tipos de bombas rotativas califican como alimentadores de desplazamiento positivo. Estas incluyen a las accionadas por engranaje, las bombas rotativas de paletas oscilantes, las bombas rotativas de paletas corredizas, el tornillo oscilante, las bombas excéntricas y las bombas de leva, como también a estas mismas bombas a las que se les ha hecho modificaciones. Estas generalmente no se emplean en la fluoruración. Los criterios usados al elegir una bomba medidora son capacidad, resistencia a la corrosión, capacidad a la presión, exactitud y durabilidad. Un punto a considerar es que la mayoría de las bombas actúan con más exactitud cerca de su margen medio, tanto del largo del recorrido como de la frecuencia y deben elegirse en concordancia. La mayoría de las bombas medidoras vienen equipadas con cabezales plásticos y válvulas de retención elásticas, las que por lo general son satisfactorias para descargar presiones de hasta 150 psi. En la construcción del cabezal de la bomba medidora que sufre presiones más altas, se necesitan aleaciones resistentes a la corrosión, tales como el acero inoxidable 316 ó Carpenter 20. El tipo de plástico que debe emplearse para la fabricación de cabezales de bombas de medición, depende del producto químico fluorado que se utilice. Para el ácido fluorsilícico así como para fluoruro de sodio y fluorsilicato de sodio, puede utilizarse cabezales de acrílico, polipropileno y pvc. Con el fluoruro de sodio y el fluorsilicato de sodio puede además utilizarse los cabezales Kynar, Ryton y Tril. Los cabezales de bombas medidoras de acero inoxidable (SS)316, así como las aleaciones SS de la serie 20, pueden usarse con todos los tres productos químicos de fluoruro.

Las válvulas de retención se pueden fabricar con cerámica, teflón, o acero inoxidable 316. Si se emplea ácido fluorsilícico, las válvulas de retención a bolas y el resorte deben revestirse con teflón o su equivalente. Al emplear ácido fluorsilícico, tenga muy presente el no utilizar válvulas de retención a bolas de cerámica. El cabezal acrílico es uno de los más populares que se utiliza en bombas medidoras para fluoruración de agua.

El volumen de solución injectada por bomba medidora, en la mayoría de los casos, está ajustado tanto por el largo del recorrido que determina el volumen de líquido entregado por bombeo como por la frecuencia de éste que usualmente se expresa en bombeos por minuto (SPM). Ambos factores deben considerarse al elegir el tamaño de la bomba para una aplicación determinada.

En todos los tipos de bombas medidoras, el flujo pulsante de la solución de productos químicos hacia la tubería de agua se produce por la naturaleza recíproca del mecanismo de funcionamiento. Ordinariamente, esto no es objetable en los casos en que no es posible detectar las variaciones en los niveles de fluoruro en el sistema de distribución. Sin embargo, si el consumidor más cercano a la planta de agua obtiene agua potable con un nivel de fluoruro que varía en más de O.l ppm., habría entonces que utilizar un método que suprima esta variación. Esto puede implementarse de cuatro maneras distintas: 1) Se puede introducir un estanque de mezcla o un tanque de detención en la tubería después que se haya añadido el punto de aplicación de la solución de fluoruro o un mezclador estático en línea; 2) se puede aumentar la frecuencia del recorrido de la bomba medidora - esto requerirá de una reducción proporcional en la cantidad de solución entregada por recorrido; 3) Se puede utilizar bombas medidoras dobles, de manera que el recorrido de alimentación de una va a ocurrir durante el bombeo de entrada de la otra - para este plan se necesita una disolución de la solución de fluoruro, 4) o puede ser necesario

un medidor del flujo de la solución de fluoruro. El tercer método de empleo de bombas de medición dobles, por lo general no se le considera recomendable.

Muchos fabricantes recomiendan que sus bombas medidoras funcionen con una Asucción creciente". Esto significa que la bomba debe ser ubicada debajo del nivel del recipiente de almacenamiento. Sin embargo, cuando se opera en fluoruración es importante que la bomba nunca funcione por debajo del nivel del recipiente de almacenamiento por el peligro de contrasifonaje y sobrealimentación del producto químico.

Existen tres tipos de bombas medidoras de desplazamiento positivo que se utilizan para la fluoruración del agua: la bomba a pistón, la bomba peristáltica y la bomba medidora de diafragma. Como la bomba de diafragma es la más empleada en fluoruración, será la única que se tratará en detalle.

3.2.2 Bombas medidoras de diafragma

3.2.2.1 Introducción

Como se afirmó anteriormente, la bomba de diafragma es lejos el tipo de bomba medidora más utilizado para la fluoruración. Un diafragma flexible es accionado para forzar una solución fuera de la cámara en forma alternativa y en el bombeo de vuelta el diafragma rellena la cámara al arrastrar la solución del depósito. En una bomba de diafragma típica, no se acepta una empaquetadura química que permita la filtración de agua a través de la porta-empaquetadura. El diafragma es generalmente hecho de hypalón, teflón, poliuretano o vitón. Las bombas de diafragma son ideales para utilizarse con presión mediana - hasta cerca de 150 (libras por pulgada cuadrada - psi). No deben utilizarse con presiones menores de 15 psi y nunca en vacío, como el que se encuentra al lado de la succión de una bomba de pozo. Una presión positiva constante en la descarga es una garantía de su precisión contínua. Algunas bombas medidoras se equipan con válvulas de descarga compensadas con resorte o caucho, las que asegurarán la mantención de tales presiones positivas. Los cabezales de succión negativa no deben exceder los 4 pies. En otras palabras, las bombas medidoras no deben colocarse 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, tales como: motores eléctricos de diversas velocidades, por presión hidraúlica, por solenoide, etc. La característica principal de tales fuentes de energía es que operan a una velocidad proporcional a la cantidad de agua que se trata.

Para la fluoruración del agua se emplea tres tipos corrientes de bombas medidoras de diafragma: La accionada mecánicamente, la activada hidraúlicamente y la electrónica. Se encuentra disponibles otros tipos, tales como la impulsada por agua, la de accionamiento neumático, etc., pero éstas rara vez se emplean en la fluoruración del agua.

3.2.2.2 Bombas medidoras de diafragma mecánico

En las bombas medidoras de diafragma accionadas en forma mecánica, el montaje del vástago de empuje excéntrico es el corazón del sistema. El mecanismo excéntrico convierte la energía absorbida por el motor rotativo en un movimiento recíproco del vástago de empuje. El motor acciona un eje impulsor a través de poleas. Un tornillo de este eje hace engranaje al tornillo en el eje del excéntrico para así poder rotarlo. Un anillo accionado por el excéntrico acciona el vástago de empuje. El movimiento hacia adelante produce el bombeo de descarga. Un pesado anillo retorna el vástago de empuje para el bombeo de succión. Un tope ajustable de bombeo de retorno varía la extensión del bombeo.

En todas las bombas de diafragma, el movimiento alternante expele la solución fuera de la cámara y en el bombeo de retorno rellena la cámara al arrastrar solución de un depósito. Ahora, como es típico en todas las otras bombas de diafragma, la contrapresión (presión de la tubería principal de agua) con que estas bombas operan, irá de un margen de 15 psi a 125 psi. Algunas marcas de bombas mecánicas de diafragma pueden funcionar con una contrapresión de hasta de 150 psi. Hay disponibilidad de transmisiones de alimentación variable SCR, o de control automático de bombeo, para agregársele a la mayoría de las bombas.

Algunas compañías producen bombas medidoras de accionamiento mecánico con dos diafragmas y líquido entre ellos, generalmente aceite de silicona. Esto se hace para proporcionar una medida de seguridad al mecanismo de accionamiento. Una rotura en el diafragma principal permitirá que sólo se contamine el aceite de silicona. Sin embargo, esta bomba es del tipo de bomba accionada mecánicamente y no es una bomba medidora hidraúlica, con la que se le confunde usualmente.

3.2.2.3 Bombas medidoras hidraúlicas con diafragma

En una bomba medidora de diafragma accionada hidraúlicamente, un émbolo de movimiento alternativo de bombeo fijo desplaza el líquido hidraúlico que produce una acción de bombeo. La capacidad de la bomba es regulada para controlar el volumen de fluído hidraúlico 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 el diafragma no ejecuta un trabajo real, sino que sólo actúa como separador. Por consiguiente, el desplazamiento de aceite es convertido a una cantidad igual de desplazamiento de solución de fluoruro.

La acción recíproca del pistón permite que el producto entre a través de la válvula de retención de succión cuando el pistón se desplaza a la parte posterior de la cámara. Una cantidad similar de producto fluye a través de la válvula de descarga en el movimiento que el pistón ejecuta hacia adelante.

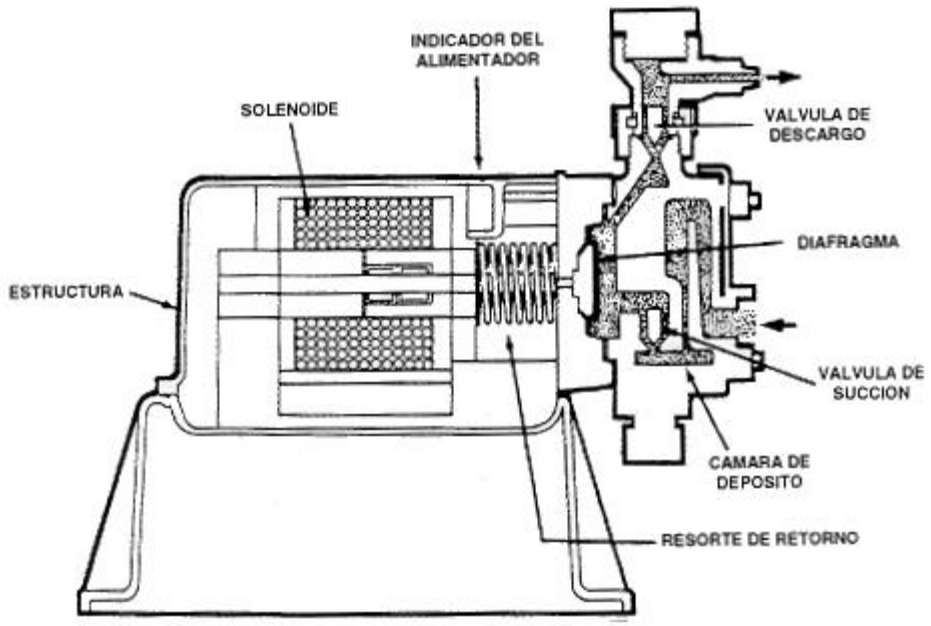
Por lo general los ajustes de los porcentajes de bombeo son realizados en forma manual pero pueden ser efectuados automáticamente a través de la señal de un instrumento. Si bien la mayoría de las bombas de diafragma requieren sólo de un mínimo de presión de descarga (contrapresión), 15 psi, algunas bombas medidoras hidraúlicas necesitan al menos 50 psi de presión. Como con la mayoría de las bombas de diafragma, éstas se descargan en el agua con presiones de hasta aproximadamente 150 psi, aunque las bombas medidoras hidraúlicas de más elevado costo pueden descargar en presiones de hasta 2.000 psi .

3.2.2.4 Bombas medidoras de diafragma electrónicas

La bomba medidora de diafragma eletrónica es la bomba medidora de fluoruro más popular en este campo hoy en día. Esta bomba ha tenido una rápida aceptación porque es ideal para flujos de porcentajes más bajos - por lo tanto su utilización predomina en los sistemas de agua fluoruradas de menos envergadura y en los sistemas de fluoruración de escuelas.

Figura 3-1 Bomba elctrónica típica

La bomba medidora electrónica es una versión especial de bomba de diafragma. (Ver la figura 3-1). La mayoría



de las bombas de diafragma empleadas para fluoruración, como se ha explicado en secciones anteriores, tienen un diafragma flexible accionado por una articulación mecánica. En la bomba medidora electrónica un inducido solenoide que es períodicamente energizado pone en movimiento el diafragma flexible. Cuenta con un sólido marco electrónico, interruptores automáticos y potenciómetros instalados por dentro. El bombeo es extremadamente corto, con un máximo de recorrido de 1,25 mm. de longitud. De esta forma el diafragma se desgasta menos, incluso durante un funcionamiento continuo prolongado - pero debe ser períodicamente reemplazado. Otra característica de la bomba electrónica es que cuando un conducto se encuentra bloqueado o obstruído durante el funcionamiento, la bomba no se romperá ni quemará, por no haber escurrimiento mecánico. Cuando la contrapresión de la tubería excede la resistencia de la fuerza magnética desarrollada por la bobina de energía, la bomba simplemente se detiene y de esta forma no se daña. Hasta ahora, la bomba de diafragma electrónica aún es considerada como una bomba de desplazamiento positivo.

Existen diversas ventajas de la bomba medidora electrónica si se le compara a otras bombas de diafragma: Esta tiene sólo una parte movible - el sistema de diafragma-armadura - que puede ser adaptado a controles automáticos con facilidad, quedando igual la velocidad concreta por cada bombeo de descarga, sin importar lo bajo a que la frecuencia del bombeo esté ajustado. Además, tanto la duración del bombeo como la frecuencia del mismo son ajustables y tienen efecto multiplicador. Un margen de ajustabilidad práctica de 200 a 1 es lo común. Las bombas electrónicas por lo general no requieren de lubricación. Y por último, las bombas electrónicas emplean energía sólo durante el tiempo de descarga, lo que resulta en un mínimo de consumo de energía eléctrica y baja generación de calor.

3.2.3 Calibraje de bombas medidoras

Las bombas medidoras generalmente tienen placas con el nombre o un gráfico que indica la capacidad de bombeo. Si no se cuenta con esta información, la bomba debe ser calibrada, sometiéndola a diversos ajustes y midiendo la cantidad de solución bombeada durante intervalos de tiempo medidos. Esto debe hacerse también períodicamente para comprobar el porcentaje de entrega de la bomba medidora o para hacer ajustes cuando la alimentación es muy elevada o demasiado baja.

Se dirá en forma simple que no es satisfactorio medir el flujo producido por la bomba de medición desde el punto

de descarga ya que aún el flujo producido por las así llamadas bombas de desplazamiento positivo, varía con la presión. Una método aceptable es medir el volumen del líquido que se está bombeando, de preferencia con un cilindro graduado (sin perder parte de la mezcla o provocar el derrame de cualquier solución). Alimente por un intervalo controlado, retire el tubo de succión y anote el volumen de solución que quedó. La diferencia representará el volumen alimentado durante el intervalo medido. Al someter el alimentador a diversos ajustes de la balanza puede desarrollarse un gráfico de calibración o curva que representará las condiciones de la bomba y los productos químicos bombeados en el momento.

Otra vía para calibrar una bomba medidora que es aún superior al método anterior, sobretodo con soluciones ácidas, es el de equipar el tanque de solución con un vidrio de nivel calibrado. (Sin embargo, el vidrio de nivel no debe estar hecho de vidrio, sino que de polietileno claro o de entubado de vinilo). Cerrar la válvula entre el vidrio de nivel y el tanque (el vidrio de nivel está en la parte exterior del tanque, en forma paralela al costado), mientras que la bomba medidora esté funcionando en forma normal, la solución se retirará sólo del vidrio de nivel y se podrá calcular el volumen sobre un intervalo de tiempo limitado. Este sistema tiene la ventaja de estar libre de interrupción por la adición de fluoruro, así como de evitar contacto directo con el compuesto químico que se está integrando. Después de la medición, el abrir la válvula es todo lo que se necesita efectuar para reanudar la alimentación normal.

El porcentaje de alimentación en milílitros por minuto puede ser calculado del porcentaje de alimentación en libras por día. Una vez que el porcentaje de alimentación se ha calculado en libras por día, es sencillo determinar el porcentaje de alimentación de la bomba medidora en mlmn. Ver la sección de cálculo de fluoruración (Sección 4.2) para los cálculos paso a paso.

3.3 Saturadores

3.3.1 Introducción

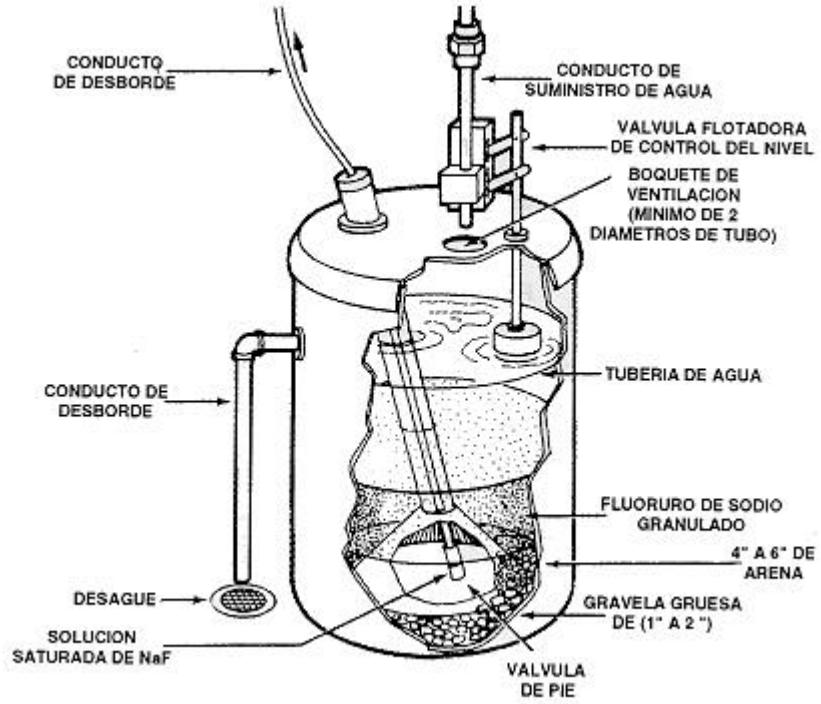
El saturador es un tipo de equipo de alimentación de productos químicos sólo para fluoruración. La premisa de un saturador es que si en un depósito que contenga gran cantidad de fluoruro de sodio se deja escurrir agua, dará como resultado una solución saturada de fluoruro. Una bomba pequeña entrega la solución de fluoruro de sodio al sistema de suministro de agua. Las soluciones saturadas de fluoruro de sodio se pueden preparar manualmente y a veces se prefiere que se haga de esa forma.

Hay dos clases de saturadores: de flujo ascendente y de flujo descendente. El saturador de flujo descendente fue desarrollado en los últimos años de la década de 1940 por “Proportioneers Incorporated” e ingenieros del Servicio de Salud Pública de Estados Unidos. No tuvo mucha aplicación hasta los últimos años de la década de 1950 y comienzos de 1960. A mediados de 1970, se desarrolló el saturador de flujo ascendente, y en los últimos años de esa década, llegó a ser más popular que el de flujo descendente. Después de 1980, el saturadar de flujo descendente no se continuó fabricando y en la mayoría de los estados se le reemplazó por el saturador de flujo ascendente.

3.3.2 Saturadores de flujo descendente

Para operar un saturador de flujo descendente, se parte colocando una base de fluoruro de sodio granular en capas de arena y gravilla para prevenir que las partículas de fluoruro de sodio no disueltas se filtren al área de la solución bajo el cono o dentro del tubo múltiple y la tubería. La bomba medidora extrae la solución que se encuentra en el cono o tubo múltiple en la base del tambor plástico. (Ver la figura 3-2).

Figura 3-2 Saturadores de flujo descendente



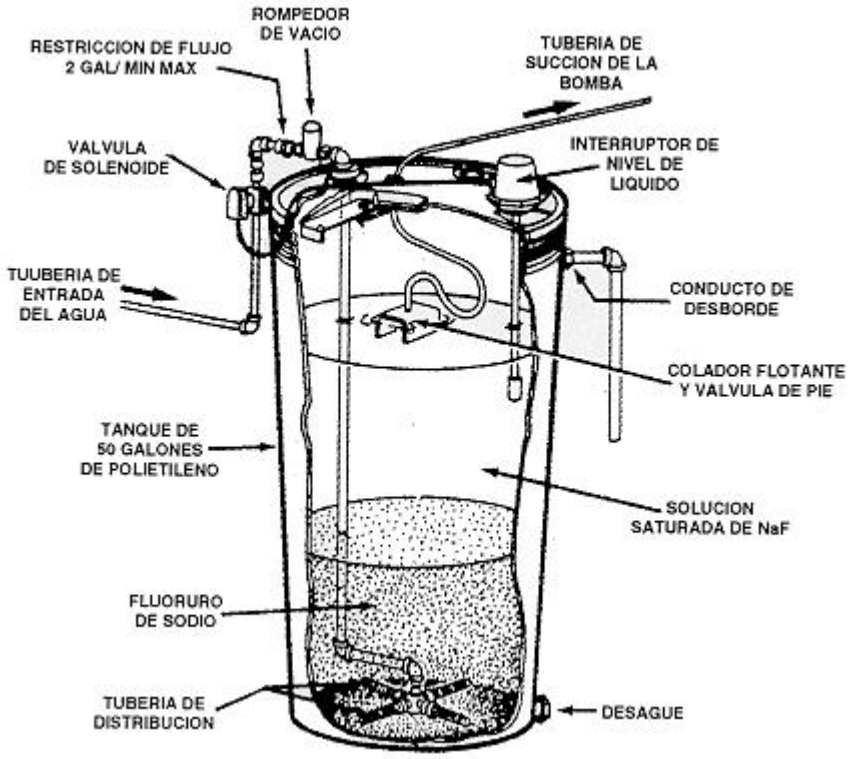
Cuando un saturador de flujo descendente está funcionando, el agua es recibida en la parte más alta del tanque de saturación (una abertura de aire evita la posibilidad de una conexión entre la tubería de agua y la tubería de desague) y su nivel está regulado con un contralador de funcionamiento flotante. El agua entonces escurre a través de la base de fluoruro de sodio, la solución se clarifica en la base filtrante de arena y gravilla resultando una solución clara y saturada en la base del tanque de donde es extraída por la bomba medidora. Se requiere de un operador para mantener una adecuada cantidad de fluoruro de sodio en el saturador como también para que éste mantenga el saturador en buenas condiciones y limpio. Esta mantención puede ser de bastante trabajo si el saturador se utiliza en exceso.

El saturador de flujo descendente no es tan popular como el de flujo ascendente y con el tiempo puede llegar a desplazarse por completo.

3.3.3 Saturadores de flujo ascendente

En el saturador de flujo ascendente se elimina la capa de arena y gravilla y la base de fluoruro de sodio no disuelto se coloca en la base del tanque. (Ver la figura 3-3). Al fondo del tanque se encuentra un distribuidor de agua especial que tiene cientos de pequeños orificios. El agua es forzada a presión a través de estos orificios, se desplaza hacia arriba a través de la base de fluoruro de sodio a una velocidad controlada para así asegurar que la solución sea del 4%. El conducto de toma de la bomba medidora flota en la parte de más arriba de la solución a fin de evitar la separación del fluoruro de sodio no disuelto. La exigencia para la presión del agua es de 20 psi como mínimo a 125 psi como máximo y el flujo ascendente no debe exceder 2 gpm. Como la introducción de agua al fondo del saturador constituye una conexión -cruzada exacta, al conducto del agua debe incorporársele un interruptor mecánico de sifonaje. Además, debe mantenerse un mínimo de 12 pulgadas de fluoruro de sodio en el fondo del tanque.

Figura 3-3 Saturador ascendente típico



3.3.4 Interruptores de nivel del liquido

En los saturadores de fluoruro de sodio, los interruptores de nivel del líquido o controladores se emplean para mantener reajustados los niveles de líquido (fluoruro) en forma automática. En escazas ocasiones se utiliza con tanques diarios de fluorsilícico cuando estos se llenan de un tanque de almacenamiento al por mayor o se emplea con tanques de solución de alimentadores en seco. Los interruptores evitan que los tanques se sequen o se derramen y pueden también utilizarse para prevenir que una bomba de medición funcione en seco. El interruntor puede ser del tipo manual (de menor costo) o eléctrico (de costo más elevado). (Ver la figura 3-4).

En la actualidad, en el mercado existen diferentes tipos de interruptores que funcionan en base a diferentes principios: de mercurio, por presión del aire, de electrodo, de conductividad y de peine encapsulado. En la actualidad, la mayoría de los modelos son eléctricos (12 ó 115 voltios) y están conectados para controlar una válvula solenoide (válvula de apertura y cierre operada con electricidad) en un conducto de agua a un saturador. El tipo manual no requiere de electricidad y emplea la presión del agua o una válvula flotadora para activar la llave de flotador; de forma similar a la válvula flotadora común en un estanque de escusado. Los interruptores de nivel de líquido son ajustables, y los niveles superior e inferior se pueden cambiar tantas veces como sea necesario; sin embargo, el nivel de altura del líquido debe ajustarse por debajo del tubo de derrame.

3.3.5 Suavizadores

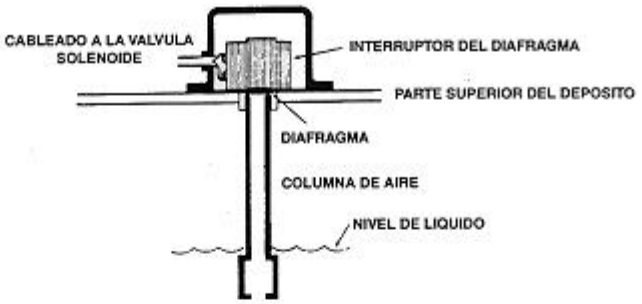
Cuando un sistema de fluoruración emplea una solución de fluoruro de sodio (básicamente un saturador), recuerde que mientras el fluoruro de sodio es totalmente soluble, los fluoruros de calcio y de magnesio no lo son. Asi, los iones de fluoruro en la solución se combinarán con los iones de calcio y de magnesio en la agua de reemplazo y formarán un precipitado, que puede obstruir la bomba medidora, el punto de inyección, el conducto de succión de la bomba medidora, el lecho del saturador, etc. Por esta razón, el agua empleada por saturadores de fluoruro de sodio debe ablandarse cada vez que la dureza total exceda los 50 ppm. o incluso menos, si la cantidad de trabajo desplegado en limpiar los impedimentos o quitar la balanza merece objeciones. Recuerde - que no es necesario ablandar todo el suministro de agua - sólo el agua que se emplea para la preparación de la solución (el agua de reemplazo).

Hay dos tipos de tratamiento para ablandamiento: intercambio de iones y el uso de polifosfatos (“calgon”, “micromet”, etc.). El método de cambio iónico elimina toda la dureza. Los polifosfatos se emplean para separar (mantener en una solución) el calcio, el magnesio y otros elementos de endurecimiento. Por lo general la cantidad que se necesita va de un margen de 5 a 12 mgL, aunque ahora hay nuevos y más eficientes tipos de polifosfatos. Estos se integran en un porcentaje de 1-12 mgL a 2 mgL. El polifosfato puede agregarse directamente al tanque de solución o en algunos casos se necesitaría una bomba medidora.

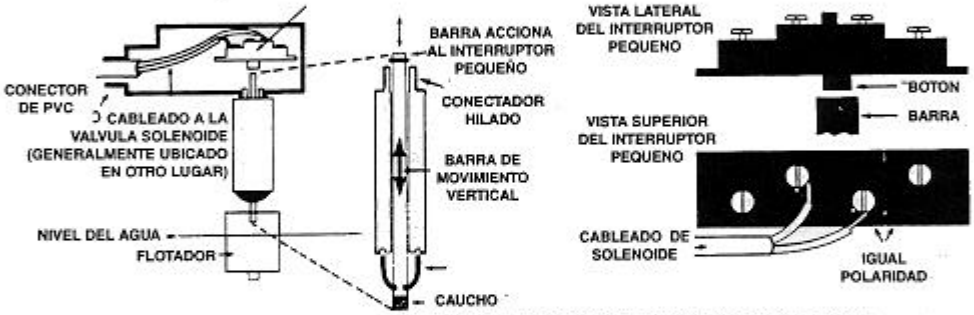
El método de intercambio iónico elimina toda dureza si se emplea como medio la zeolita o resinas sintéticas. Ya que el volumen de agua a ablandarse es por lo general bastante pequeño, un ablandador casero del tipo zeolita es más que suficiente. Este tipo de ablandador puede instarse directamente en la tubería utilizada para el agua de reemplazo de la solución. Cuando la capacidad de ablandamiento está agotada, la zeolita (o resina sintética) puede regenerarse con salmuera preparada con sal común. (Ver la figura 3-5).

Figura 3-4 Controladores del nivel de líquido

PRUEBA



INTERRUPTOR PEQUENO (SE ENCUENTRA EN CUALQUIER TIENDA DEL RAMO)



INTERRUPTOR PEQUEÑO

VALVULA DEL FLOTADOR

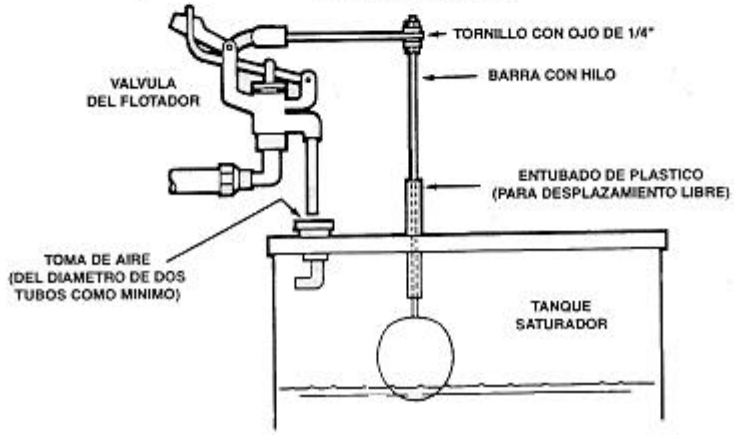
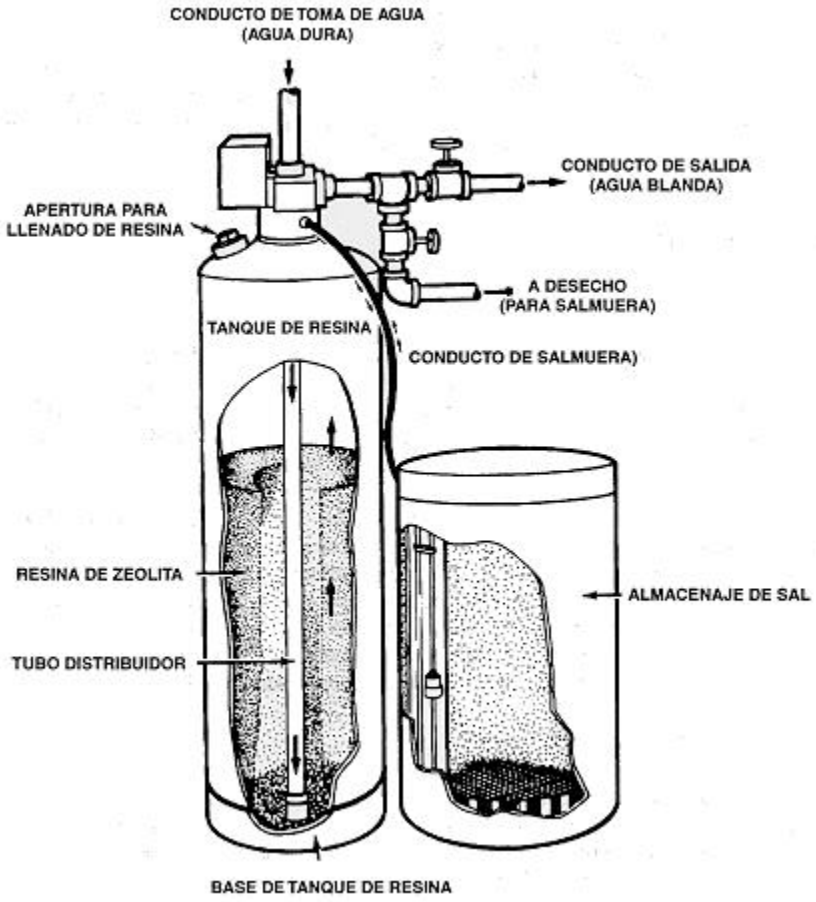


Figura 3-5 Ablandadro de agua de zolito



Cuando el ablandador está funcionando, se recomienda que se efectúe un programa de recarga completo antes de que el ablandador agote su capacidad. Esto es importante a fin de proteger el sistema acondicionador de daños y para mantener su capacidad. Por ejemplo, las aguas que contienen sulfuro de hidrógeno corrosivo pueden estropear y dañar en forma permanente el sistema, si se permite que la capacidad de sus filtros se agote. Las aguas portadoras de hierro también pueden provocar que una base agotada llegue a ser impactada y obstruída con trozos de óxido. Si se permite que estas condiciones se desarrollen, habrá rendimiento pobre y una notable reducción en capacidad. El pH del suministro de agua es una importante consideración y debe controlarse poco antes de que se instale el equipo. El agua que tiene un valor de pH bajo 6,5 por ejemplo, puede ser corrosiva para el sistema condicionador.

El sistema de desvío es una pieza necesaria de la instalación y se emplea para desviar el flujo de agua alrededor del condicionador durante la recarga yo servicio. Un tubo de desague es igualmente esencial. Se emplea durante la recarga para dirigir el flujo de agua regeneradora a una salida de desecho apropiada. El cloruro de sodio (= sal de mesa) se emplea como material de regeneración. Se debe de controlar la presión del agua que va al ablandador. La mayoría de las fábricas recomienda su operación entre 20 psi y 100 psi.

3.4 Alimentadores en seco

3.4.l Introducción

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

Muchas plantas de tratamiento de agua de superficie (ríos, lagos, embalses, etc.), utilizan alimentadores en seco para agregar otros productos químicos al agua. De esta forma, muchas plantas de agua en superficie consideran el empleo de alimentadores en seco para que los fluoruros sean consistentes con su otro equipo. Los alimentadores en seco, en fluoruración son empleados para injectar fluorsilicato de sodio casi en forma exclusiva. Son muy pocos los sistemas de suministro de agua que emplean fluoruro de sodio para alimentadores en seco ya que el alto costo de este producto químico generalmente impone el uso de fluorsilicato de sodio.

3.4.2 Alimentadores volumetricos

Los alimentadores volumétricos son la combinación de un mecanismo accionador para la entrega constante de un volumen de compuesto seco, una tolva para mantener este compuesto y de una cámara para disolverlo antes de su descarga en el suministro de agua. El mecanismo de entrega de productos químicos distingue un tipo de alimentador volumétrico de otro. En la práctica, cada fabricante tiene un modelo diferente para alimentar productos químicos volumétricamente y de acuerdo a los diversos tipos se clasifican como: alimentador de disco rotatorio, de receptáculo oscilante, de receptáculo vibratorio, de tornillo rotatorio, de rodillo rotatorio, de rueda de estrella y la combinación de estos tipos.

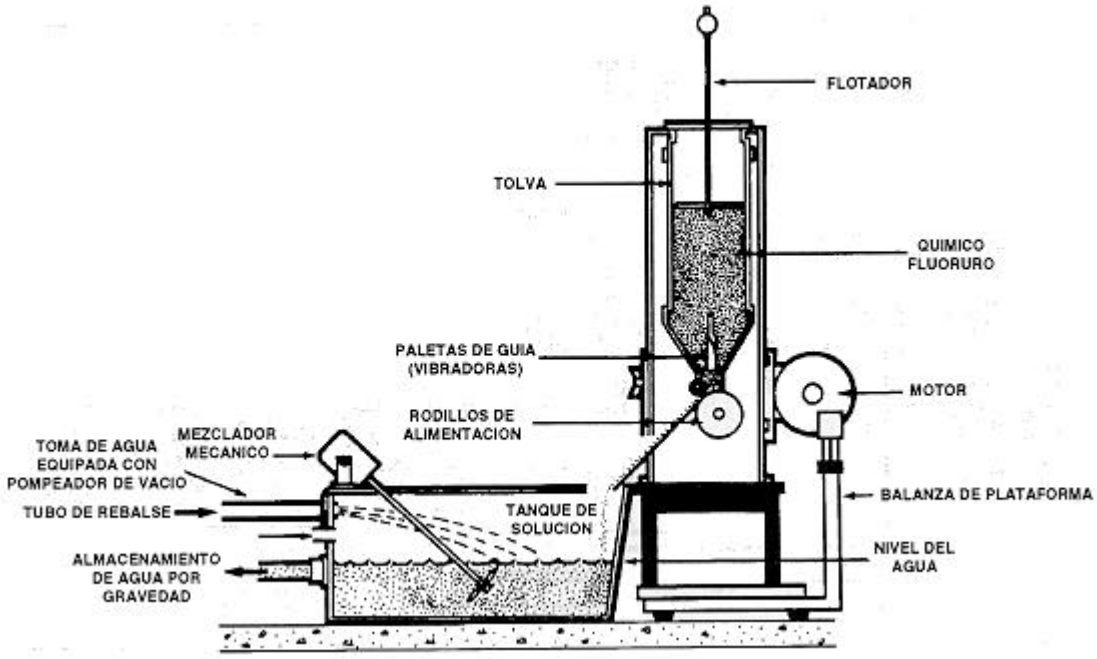
Aquí se entrega una breve descripción de los diversos tipos sólo para indicar los numerosos principios de operación. Se puede obtener detalles completos en forma expedita de los fabricantes .

El alimentador del tipo rodillo con ajuste deslizador de alimentación, fue uno de los alimentadores más empleados, especialmente en plantas pequeñas. (Ver las figuras 3-6). Hoy en día no son tan populares como los alimentadores de tipo tornillo. En el alimentador tipo rodillo el producto químico fluoruro se coloca en la tolva a través de una abertura en la parte superior. Desde la tolva fluye por gravedad a los rodillos alimentadores.

Los rodillos de alimentación de acero inoxidable que operan en sentidos opuestos, forman el material dentro de una cinta plana de grosor uniforme. La velocidad de alimentación se ajusta externamente a una corredera de bombeo por la variación del ancho de esta cinta. Si el alimentador está equipado con un control de velocidad variable entonces no tiene corredera de alimentación. El promedio de alimentación entonces se ajusta por el cambio de rpm a la caja de cambios de tres velocidades. El material da a los rodillos una velocidad uniforme, éste cae dentro de un tanque de solución y es así descargado al sistema de agua principal.

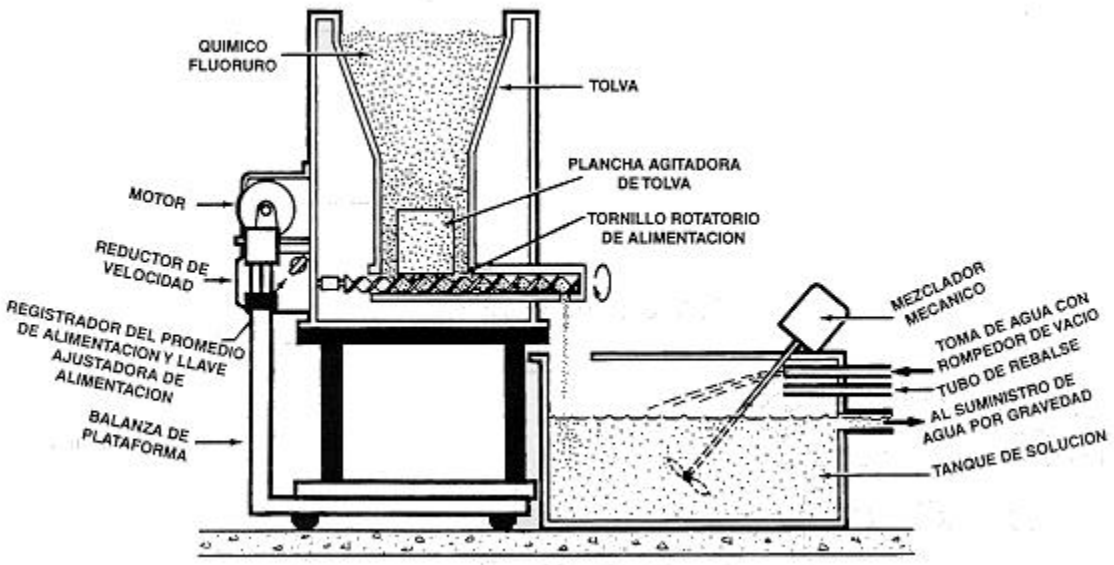
El alimentador volumétrico del tipo rodillo provee de pulverizados o granulados secos que son materiales de movimiento liviano, a velocidades de 6 lbshora a 2.100 lbshora, aunque el polvo muy fino tenderá a desplazarse a través de los rodillos.

Figura 3-6 Alimentador volumétrico del tipo rodillo



El tipo de alimentador con receptáculo oscilante consiste esencialmente de una bandeja plana y estrecha o un depósito en el que el compuesto de fluoruro se desplaza de una tolva ubicada más arriba. Ya sea el receptáculo o la parte inferior de la tolva oscila lentamente a lo largo del eje del receptáculo, forzando una porción del químico al receptáculo por la extración de una parte del químico a lo largo de las dos aberturas del receptáculo. Las velocidades de entrega están controladas tanto por la velocidad de oscilación y la duración del bombeo como la densidad del producto químico en el receptáculo.

Figura 3-7 Alimentador gravimétrico del tipo tornillo rotatorio



El alimentador de receptáculo vibratorio en seco es un dispositivo para la descarga de volumen de un producto químico desde un receptáculo, conducto o canalón, hecho para vibrar con energía eléctrica. Un magneto se energiza por medio de corriente pulsativa (ya sea por corriente alterna ordinaria o rectificada, corriente continua pulsativa). El receptáculo está montado en resortes y conectado directamente al magneto. El accionamiento de la bandeja va de abajo para atrás al ritmo del bombeo, y hacia arriba y hacia adelante por la acción de los resortes en el bombeo siguiente. El material de 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 porcentaje de suministro es controlado por un reostato que determina el voltaje y consecuentemente el grado de movimiento del receptáculo.

El tipo más popular de alimentador volumétrico es el de tornillo rotatorio. (Ver la figura 3-7). El producto químico fluoruro se coloca en la tolva desde arriba. Este, por gravedad se va al fondo. Un sistema de planchas vibratorias en las paredes de la tolva proporciona agitación constante. La agitación se extiende al tornillo rotatorio alimentador (fondo de la tolva) el que está diseñado para impedir dobladuras y golpes. También ayuda a mantener un suministro uniforme al tornillo rotatorio. Una excénctrica (pieza mecánica que no tiene su axis en el centro) en el eje del tornillo rotatorio alimentador 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 velocidad uniforme a través del conducto de descarga. El margen de velocidades de alimentación es entre 0,02 y 5.000 lbs. por hora.

3.4.3 Alimentadores gravimétricos

Los alimentadores gravimétricos descargan productos químicos durante un período de tiempo dado en peso constante en vez de volumen constante. Se presentan dos tipos generales de alimentadores gravimétricos en seco: los que están basados en una pérdida de peso en el alimentador y los que están basados en el peso del material en la sección de la correa transportadora. Muchos alimentadores gravimétricos en seco también tienen algunas de las características de los alimentadores volumétricos porque presentan un mecanismo rotativo alimentador

entre la tolva y la sección de pesaje, o emplean un vibrador mecánico para mover los compuestos químicos fuera de la tolva. Por último, como es el peso del material por unidad de tiempo lo que se mide y regula, tales variables como la densidad del material o su consistencia, no tienen efecto en la velocidad del bombeo. Esto explica la extrema precisión con que funcionan estos alimentadores.

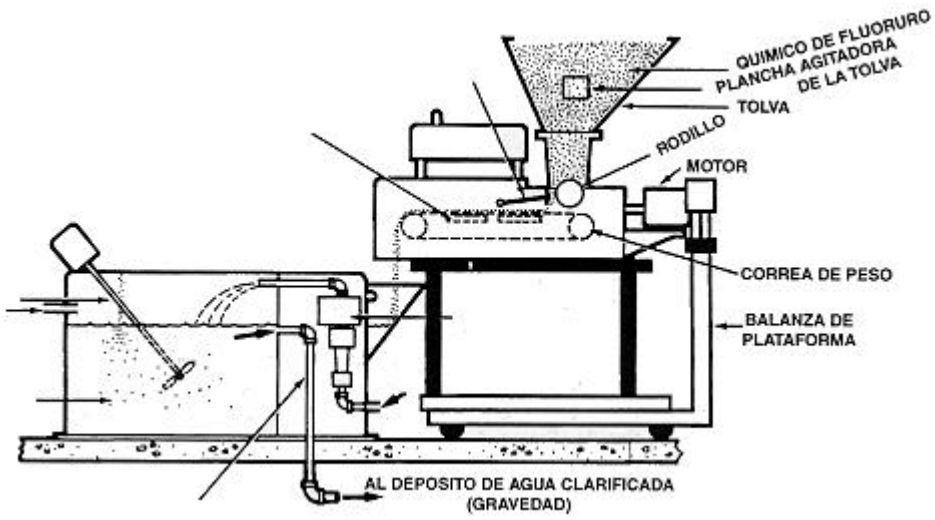
El primer tipo (pérdida en peso), consiste de una tolva suspendida por un sistema de balanza, un sistema electro-mecánico para mover el contrapeso en el brazo de la balanza, un medio mecánico para mover el compuesto desde la tolva en una cantidad que depende de la posición del brazo de la balanza y un 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 de momento se alimenta más material que el indicado por la posición del contrapeso, entonces el brazo va a bajar. Esta acción mueve el calce de control (cerca del oscilador) hacia abajo, permitiendo un descenso en la extensión del bombeo que acciona la rueda de estrella o el mecanismo alimentador vibratorio. Entregará entonces una menor cantidad de material, hasta que el peso del compuesto que permanezca en la tolva sea nuevamente balanceado por el peso del brazo de la balanza. El margen de error de alimentación de este tipo de alimentador es por lo general menor al 1%. La cantidad mínima de entrega es de 1,6 libras por hora con un margen de bombeo en la proporción de 100 a 1, mientras que algunos modelos pueden suministrar más de 2 toneladas por hora.

El otro tipo de alimentador gravimétrico es uno en que una sección de la correa transportadora cargada y en movimiento es continuamente ajustada. (Ver la figura 3-8). El peso de la correa es balanceado por una marca en la balanza. La posición de la marca controla la entrega del compuesto a la correa. Cualquiera desviación de este peso en la correa hace que la compuerta vertical suba o baje, produciendo así que caiga más o menos material en la correa. Las vibraciones impartidas a un diafragma en la tolva se generan en una excéntrica y se transmiten a través de una sección que hace variar la amplitud de las vibraciones dependendiendo de la posición de la marca en la pesa. La precisión de estos alimentadores es del orden del 99% o más. El margen de alimentación es tanto como 100 es a 1, y los ajustes son rápidamente hechos por el simple movimiento del contrapeso del brazo de la balanza.

3.4.4 Tanques de solucion

Las materias descargadas de un alimentador en seco son disueltas en forma continua en una cámara debajo del alimentador. Desde esta cámara la solución pura cae o es bombeada dentro del agua a tratarse. A esta cámara se le ha mencionado como tanque de la solución, tanque disolvedor, recipiente de solución o cámara de disolución. A pesar de que algunos productos químicos pueden ser alimentados directamente en canalones o estanques sin utilizar un tanque de solución, los fluoruros no están entre estos. La necesidad de velocidades precisas de bombeo no permite la posibilidad de una alimentación impura porque puede formar obstrucciones de material seco no disuelto.

Figura 3-8 Alimentador gravimétrico, de tipo banda



Los tanques de solución se fabrican en medidas de 5 galones para arriba, siendo la medida frecuentemente determinada por el tamaño del alimentador bajo el cual están montados. Si hubiese que hacer una elección, se empleará el de medida más grande para los compuestos de fluoruro. La mezcla de los compuestos químicos con el agua se puede efectuar con un sistema de desviadores, y la agitación se puede dar por una paleta accionada por chorros de agua, pero el CDC recomienda enfáticamente que se emplee un mezclador mecánico. (Ver 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. Siempre que sea posible, los tanques de soluciones deben cubrirse y la cobertura debe ser encuerdada con fibra de vidrio. El tanque de solución debe estar hecho de acero inoxidable o fibra de vidrio. Dado a la naturaleza corrosiva del fluorsilicato de sodio, los tanques de metal pintados no son recomendables. El fracaso en producir la descarga de una solución homogenea y clara desde el tanque de solución de un alimentador en seco indica que: 1) El tanque para la solución es muy pequeño. 2) El tiempo de detención es muy breve. 3) Se está proporcionando muy poca agua de solución. 4) La agitación es insuficiente, yo 5) El producto químico está produciendo un cortacircuitos y no se está mezclando con agua en forma adecuada.

En forma experimental se ha determinado que el tiempo de detención (la duración de tiempo que el compuesto de fluoruro permanece en el tanque de solución) debe ser de un mínimo de 5 minutos para proporcionar una concentración que sea un cuarto de la máxima solubilidad, siempre que la temperatura del agua esté por encima de los 60 grados F. y el producto químico esté en forma de polvo fino. Si el producto químico está en forma de cristales o la temperatura del agua está por debajo de 60 grados F., el período de disolución debe ser duplicado; si suceden ambas cosas, este período debe ser triplicado (es decir 15 minutos).

El cortacircuitos (que corresponde al flujo de agua que va directamente desde el punto de entrada al de salida sin efectuar mezcla) es esencialmente un problema del modelo del tanque de solución, y es muy probable que esto llegue a suceder en los tanques más pequeños. Si llega a producirse un cortacircuitos, éste se remedia agregando desviadores al tanque, de manera que el paso del producto químico a la boca de salida de la cámara esté suficientemente desviado como para proporcionar la necesaria mezcla para la solución.

Ya que la disposición usual de un tanque de solución es el tener la boca de entrada por debajo de la boca de salida, hay una conexión entre la tubería de agua y la de desague que requiere de adecuadas medidas de

seguridad. Si se produce una rotura al nivel del agua, la solución de fluoruro del tanque de solución puede ser llevada de vuelta dentro del nivel del agua. Si el tanque de solución no está equipado con un rompedor de vacío correctamente colocado, deberá instalarse uno en la entrada de agua, tan cerca como sea posible a ésta y elevarse 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 debe instalarse entre la válvula y el tanque para dar así una adecuada protección a la conexión entre la tubería de agua y la desague. (Ver sección 3.5.4).

3.4.5 Accesorios para alimentadores en seco

Para la mantención del producto químico de fluoruro debe obtenerse bastantes alimentadores en seco con una pequeña tolva. En las instalaciones grandes se provee de una extensión adicional sobre la tolva principal para almacenaje químico adicional. El acceso a la tolva de extensión está generalmente ubicado en el piso de arriba del alimentador en seco. Si el fluorsilicato de sodio está almacenado en el segundo piso, puede entonces cargarse dentro de la tolva en forma conveniente.

En plantas pequeñas, la tolva de productos químicos debe ser lo suficientemente grande como para mantener un poco más que el saco o tambor entero de productos químicos. La tolva no debe vaciarse por completo antes de agregarse un nuevo saco o tambor. Al cargarse por completo un contenedor de esta forma, se minimiza el manejo de compuestos químicos, de polvo y los derrames.

Cuando la tolva se instala directamente por encima del alimentador, el operador debe levantar el saco de productos químicos a una altura considerable para llenar la tolva. En esta situación es esencial un cargador de sacos. El cargador de sacos es una extensión de la tolva lo suficientemente grande como para mantener sólo un saco de 100 lbs. de productos químicos. La parte anterior del cargador es articulado, de manera que girará hacia abajo dando una altura más accesible. El saco se sostiene al hacerse funcionar una roldana conectada al fondo del saco. Luego el saco se abre y el cargador vuelve a su posición hacia atrás. Este dispositivo hace más fácil vaciar el saco y minimiza el polvo.

El manejo de compuestos químicos secos pulverizados siempre produce polvareda. Por esta razón, el operador debe usar respirador. Cuando se manejan pequeñas cantidades de fluoruro, el cuidado ordinario minimizará el polvo, y una buena mantención del lugar de trabajo más un ventilador aspirador mantendrá el almacenaje y la zona de carga relativamente libres de polvo. No obstante, cuando se maneja cantidades más grandes (más de un saco al mismo tiempo), deberá proveerse de instalaciones para la prevención y colectores de polvo.

Un cobertizo contra el polvo que encierre completamente el área en donde se llena la tolva y que se encuentre equipado con un ventilador aspirador, impedirá que el polvo se extienda a través de la zona de carga. Para impedir que el polvo se escape a la atmósfera y dentro de la zona de la planta de agua, debe incluirse filtros de polvo en el sistema de ventilación. Los recolectores de polvo y los ventiladores aspiradores algunas veces vienen incorporados dentro de las tolvas o de los alimentadores en seco más grandes.

Un flotador en la tapa de la tolva indica el nivel del material en ésta. Los lados de la tolva y las aletas de guía instaladas se doblan con movimiento oscilador para proveer agitación constante. Esto previene el arqueamiento, el endurecimiento o las obstrucciones y asegura una alimentación uniforme a los rodillos alimentadores.

Se recomienda en forma enfática utilizar la balanza de barra para pesar los productos químicos en seco o las

soluciones que se agregan. Se puede añadir un registrador para mantener control del peso del producto químico que se ha utilizado. Muchos alimentadores volumétricos en seco cuentan con registradores como un accesorio.

3.4.6 Calibraje de los alimentadores en seco

El porcentaje del bombeo de un alimentador de productos químicos en seco puede variarse ajustando los controles de acuerdo a una balanza. Los números de esta balanza no tienen unidades particulares y no pueden convertirse a ppm o mgL hasta haber preparado un gráfico de calibración o curva. Para cada máquina es necesario tener un gráfico de calibraje separado como también para cada producto químico que la máquina alimenta. Si es posible operar la planta de agua a más de una velocidad, debe mantenerse diferentes gráficos de calibraje para cada tipo de velocidad de la planta.

Para calibrar un alimentador en seco llene la tolva a la profundidad normal con el producto químico que utilizará. Asegúrese de que el producto químico esté seco, fluyendo en forma libre y que no contentenga terrones. Ajuste la máquina en un número bajo - por cierto más bajo que el del funcionamiento normal. Deje que la máquina funcione por unos minutos para que se alimente uniformemente. Utilice un depósito o una caja de cartón (que se haya pesado vacía) para coger la descarga total del producto químico del alimentador por algunos minutos (digamos 5 minutos). Pese el producto químico en una balanza en el laboratorio (en gramos) y regístrelo en un gráfico.

Repita la misma operación en la máquina para otros ajustes de la balanza - generalmente cuatro o cinco ajustes diferentes. Asegúrese de cubrir el margen completo en el cual el alimentador operará. Ponga a la vista, cerca de la máquina, la información con las curvas de calibraje (asegúrese de etiquetear cada curva en la máquina correspondiente), de modo que ellas puedan consultarse sin errores o pérdida de tiempo.

El tipo de alimentación de una máquina dada cuando se opera en un ajuste dado, variará dependiendo del desgaste de la máquina, de la humedad, de la variación en la textura del producto químico que se está alimentado, etc.; es por esto que una curva de calibraje no debe utilizarse por un período de tiempo prolongado sin comprobar la exactitud de la curva.

3.5 Equipo auxiliar

3.5.1 Introducción

La mayoría de los sistemas de agua que añaden fluoruro necesitan de un equipo adicional al equipo mínimo requerido. En secciones más adelante se explicará cada tipo de equipo auxiliar que se utiliza en un sistema de fluoruración y adónde va cada pieza. De la misma forma que aumenta el tamaño y complejidad en un sistema de fluoruración, asi también aumenta la cantidad y complejidad del equipo auxiliar requerido.

3.5.2 Medidores de agua

En lo que respecta a fluoruración en las plantas de agua, los medidores son utilizados para dos propósitos básicos. Uno de estos usos es registrar el flujo total (flujo de agua) para determinar la cantidad de productos químicos de fluoruro basado en el uso del agua. El otro uso importante es como medidor de paso para condiciones variables de flujo. El medidor de paso variará la frecuencia de una bomba medidora para mantener la dosificación de fluoruración deseada en cualquier velocidad de flujo.

En las plantas de agua pequeñas a menudo no existe el medidor de agua. Este aparato es uno de los requisitos básicos para que la alimentación de fluoruro sea precisa. El medidor de agua mide el flujo en la tubería (volumen). Por lo general, la unidad de medida es en galones o pies cúbicos. En el tipo de medidor de la tubería del agua de las casas particulares, éste se lee una vez al mes y la diferencia entre las cifras de dos meses es la cantidad de agua consumida ese mes. Pero, con un medidor de agua no hay forma de saber el promedio del flujo o cuándo el agua se utilizó.

Otro empleo para los medidores de agua totalizadores pequeños, es registrar el agua de reemplazo del saturador de fluoruro de sodio. La cantidad de agua de reemplazo está directamente relacionada con la cantidad de fluoruro de sodio inyectado, al proporcionar al saturador una solución constante del 4%. Al relacionar el agua de reemplazo con el total de agua a tratarse, sobre un intervalo de tiempo equivalente, la dosificación de fluoruro puede monitorearse y ajustarse. Esto requiere del tipo más pequeño de medidor totalizador de desplazamiento positivo disponible (habitualmente 58“) - que registrará flujos bajos - cuando 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 paso, medidores de compuestos, etc. A pesar que esto es incorrecto, es muy común en la práctica.

3.5.3. Medidores de paso

Un medidor de flujo, a la inversa de un medidor de agua común, mide la velocidad del flujo en vez del volumen del flujo. Registra unidades de galones por minuto, galones por hora, pies cúbicos por minuto, etc. y se instala en línea donde se medirá el flujo. Algunos tipos de medidores de flujo, además de medir el promedio del flujo, pueden producir señales relativas al promedio del flujo. A estos medidores de flujo se les denomina medidores de paso.

Muchos sistemas de agua por su diseño tienen flujos variables. Los flujos variables pueden ser el resultado de: 1) flujo de gravedad, 2)sistemas que tienen dos o más bombas de agua que alimentan una línea en común y no son siempre todos operados simultáneamente y 3) un rendimiento varariable de las bombas, por tener un cabezal cambiable. Puede resultar más económico el utilizar un sistema de fluoruración controlado por un medidor de paso en la matriz común, que tener un sistema para cada bomba. El sistema de medidor de paso es por lo general más exacto que la bomba medidora de químicos con controlador de tiempo programado para poner en marcha la bomba de agua.

Los medidores de paso emiten una señal que es proporcional a la velocidad de flujo. Algunos medidores también proporcionan la función secundaria de totalización que es útil pero no necesaria. Esta señal que es proporcional a la velocidad del flujo, controla el rendimiento de inyección de fluoruro de la bomba que es directamente proporcional al flujo de agua de la línea a tratarse, como manera de mantener la proporción de dosificación deseada en todos los tipos de flujo posibles.

Por lo general se utiliza dos tipos de señales para establecer el ritmo de las bombas medidoras de paso para químicos. Estas son, la análoga estándar con señal de instrumento de 4 a 20 mA DC y una de señal digital cuya frecuencia es proporcional a la velocidad del flujo y digitalmente proporcional al volumen.

El medidor de paso es una pieza de equipo complicada y debe utilizarse sólo en los sistemas de fluoruración cuando sea necesario. En una planta de agua típica, donde existe sólo una bomba de pozo funcionando a velocidad fija, el alimentador de fluoruro puede ser conectado eléctricamente al funcionamiento de la bomba y no se requiere sistema de paso. Cuando el pozo está en funcionamiento, el flujo de agua es constante, y la bomba medidora de fluoruro puede alimentar a una velocidad constante. Por lo general se necesita un sistema medidor de paso cuando la velocidad de flujo pasado el punto de inyección varía en más de + ó - del 15% al 20% del flujo

promedio.

3.5.4 Rompedores de vacio

El método más simple para impedir una posible situación de sifonaje de vuelta de aguas residuales al agua de abastecimiento, es el de abrir un boquete para toma de aire en la línea. Algunas veces no esposible hacerlo; en estos casos puede instalarse un dispositivo conocido como rompedor de vacío.

Muchos estados exigen un rompedor de vacío (un tipo sin presión) en las líneas de agua potable de reemplazo en los saturadores de tipo ascendente, en los tanques de solución de alimentadores en seco, y en las llaves de mangueras ubicadas en la zona de fluoruración. Su uso más frecuente en fluoruración, es para los conductos de agua de reemplazo a los saturadores. (Ver la figura 3-9). El rompedor de vacío es diferente a la válvula antisifonaje (contrapresión) de una bomba medidora y éstos no deben confundirse.

Figura 3-9 Rompedor de vacío



Cuando está en funcionamiento y el agua está fluyendo en forma normal, el disco en el rompedor de vacío se mantiene cerrado por la presión del agua. Cada vez que se detiene el flujo de agua, la válvula del disco cae, abriéndose así el respirador atmosférico que permitirá el paso del aire hacia adentro en vez de arrastrar la solución de fluoruro de vuelta a la línea.

La mayoría de los rompedores de vacío son del tipo atmosférico o sin presión. Por ésto el rompedor de vacío debe instalarse después de la última válvula de cierre o válvula de solenoide (corriente hacia abajo) y elevarse 6 pulgadas por encima de la parte de arriba del nivel de líquido del saturador.

Siempre instale el rompedor de vacío accesible para observación y limpieza. No lo instale debajo del agua, sujeto a enfriamiento, fuera de la vista, o en donde el derrame de agua pueda crear problemas.

Si el rompedor de vacío está funcionando correctamente, por momentos se verán burbujas de aire desde el fondo del saturador de tipo ascendente durante cada ciclo de llenado. Si no se puede ver las burbujas, significa que el

rompedor de vacío necesita reparación o su reemplazo inmediato.

El rompedor de vacío juega una importante función en la adecuada protección de la conexión entre la tubería de toma de agua y la tubería de desague (conexiones cruzadas) y no debe retirarse. Mantenga un rompedor de vacío de repuesto a mano, inspeccione el disco anualmente para apreciar su desgaste y cambie las piezas que sean necesarias de reemplazar como lo indica el fabricante.

3.5.5 Válvulas antisifonaje

La mayoría de los estados exige que se coloque una válvula antisifonaje o un resorte en el lado de descarga de la bomba medidora de fluoruro cada vez se agregue una solución de fluoruro a cualquiera tubería, canal o depósito de agua clarificada. De todo el equipo auxiliar utilizado, la válvula antisifonaje es probablemente la más importante desde el punto de vista de seguridad. (Ver las figuras 3-10 y 3-11). La carencia de válvula antisifonaje ha resultado en sobrealimentaciones que pudieron haberse evitado. Como expusimos con anterioridad, la válvula antisifonaje es diferente a un rompedor de vacío del tipo atmosférico o sin presión.

Figura 3-10 Válvula de antisifonaje (montada en bomba)

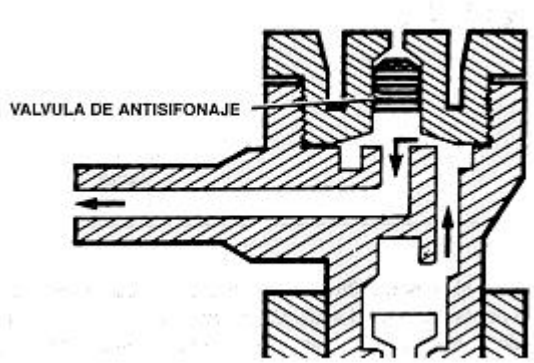
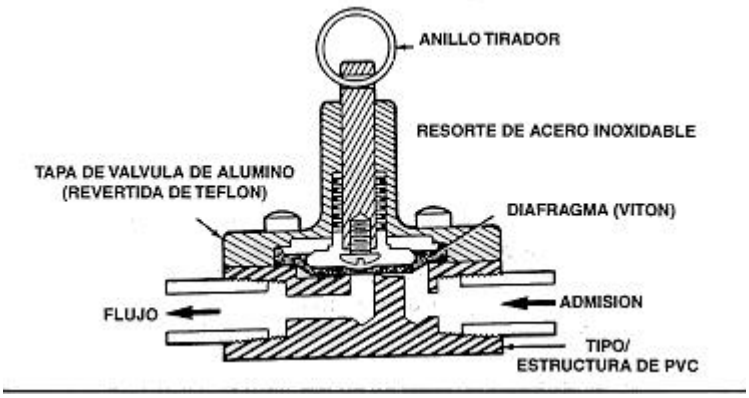


Figura 3-11 Válvula de antisifonaje (en línea)



El propósito de la válvula de antisifonaje es el prevenir una potencial sobrealimentación de fluoruro, lo que podría ocurrir cuando la bomba medidora no está funcionando o está desenchufada. Previene el sifonaje dinámico ("marcha a rueda libre") y el paso del flujo cuando la presión de succión excede a la presión de descarga. Instale siempre una válvula antisifonaje en el lado de descarga (presión) del cabezal de la bomba medidora para que ésta sea accesible para observación y limpieza. En el punto de injección de fluoruro, instale también una válvula antisifonaje, si este punto se encuentra bajo presión. No efectúe la instalación bajo el agua o fuera del alcance de la vista. La válvula antisifonaje es accionada por un resorte que se comprime cuando el diafragma de la bomba hace el recorrido. Habitualmente el resorte es protegido por un diafragna de hypalon o de teflón. Al emplearse ácido fluorsilícico, el resorte debe protegerse con un diafragma o revestirse. La válvula diafragmática de tipo antisifonaje es mejor que la válvula revestida, porque es el resorte mismo el que está protegido de la solución de fluoruro. Algunas válvulas antisifonaje pueden ajustarse girando un tornillo y otras pueden venir preajustadas desde la fábrica. La mayoría está ubicada en un margen de 15 a 20 psi. Algunas válvulas antisifonaje vienen instaladas dentro del cabezal de la bomba pero a la mayoría se les considera como adicionales y deben adquirirse separadamente. Siempre averigue con el fabricante o distribuidor de la bomba si el montaje está incluído.

Cada año debe examinarse el resorte de la válvula antisifonaje para ver si hubo desgaste y reemplazarlo como lo indica el fabricante. Es necesario tener un repuesto a disposición.

3.5.6 Tanques diarios

El tanque diario es precisamente lo que su nombre indica - un tanque que contiene la cantidad de un producto químico determinado para tratamiento del agua por un día. Es un medio conveniente y a menudo necesario para aislar el suministro de una solución de fluoruro que será alimentada durante 1 día o cambiada en la planta de agua. Algunas veces estos tanques son denominados tanques de 30 horas. Asimismo hay veces que el tanque diario mantendrá la solución suficiente para que dure una semana, pero esto no es recomendable.

El tanque diario pasa a ser una necesidad cuando hay que alimentar grandes cantidades de ácido fluorsilícico, especialmente si el ácido es recibido y almacenado por un tanque de grandes proporciones (almacenaje al por mayor). A objeto de entregar un registro del peso del ácido alimentado, una pequeña cantidad del ácido se bombea o sifonea dentro de un pequeño tanque montado en una balanza de plataforma, y es de este tanque diario que el ácido fluorsilícico es integrado al sistema de agua.

Los tipos de materiales de construcción empleados para la fabricación de los tanques diarios son determinados por el producto químico que se utiliza, pero en general son de tres tipos: tanques de acero revestidos de caucho, tanques de fibra de vidrio y tanques de polietileno. Los tanques diarios de polietileno son los más comunes en Estados Unidos, pero hay que tener la precaución de protegerlos de la intensa radiación solar. La luz solar fuerte

produce el desgaste del plástico y eventualmente se agrieta. El color negro reduce el efecto de la luz solar pero la mayoría de los tanques diarios de plástico se fabrican con polietileno blanco translúcido.

Los tanques diarios se fabrican en toda clase de formas, pero el mejor para fluoruración es el tanque cilíndrico con fondo plano y terminación sin soldadura. La tapa debe tener una empaquetadura con reborde y ser hermética. El tanque diario debe montarse en una balanza. El tanque está provisto de graduaciones o de un calibrador, de manera que puede emplearse mediciones de volúmenes aproximadas.

En los sistemas que emplean el ácido fluorsilícico y el almacenaje al por mayor, el tanque diario debe sellarse y ventilarse al exterior. Su tapa debe sellarse alrededor de los bordes, así como también las tres aberturas del conducto de escape, la entrada del conducto de llenado, y el conducto de succión de la bomba. Estas aberturas del conducto frecuentemente se dejan sin sellar. No hay necesidad de un conducto de sobreflujo si el tanque diario está convenientemente ventilado.

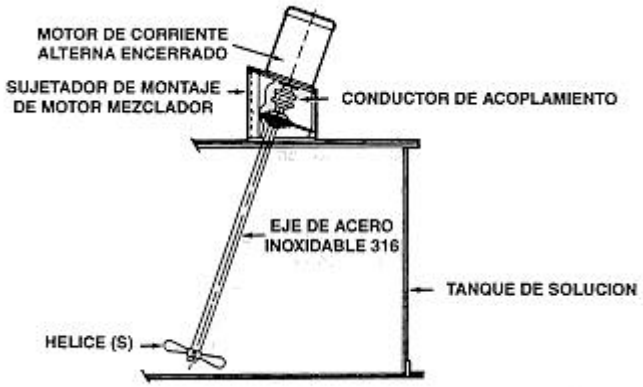
3.5.7 Mezcladores

Cuando se prepara soluciones, ya sea de fluoruro de sodio mezcladas en forma manual, disoluciones de ácido fluorsilícico o el producto de un alimentador en seco, es de suma importancia que la solución sea homogénea. Las pastas acuosas no deben ser toleradas en la alimentación de fluoruros, ya que los compuestos no disueltos del fluoruro pueden caer dentro de la solución, causando por consiguiente una concentración sobre la óptima. Si el compuesto de fluoruro permanece no disuelto, resultará una concentración más baja que la óptima. El material no disuelto puede asimismo producir obstrucción al equipo y a los dispositivos que tienen pequeñas aberturas; el permitir que se acumule resulta un despilfarro.

Dos tipos de mezcladores son comunmente empleados en fluoruración, el mezclador en línea y uno mecánico de alta velocidad pequeño. El mezclador en línea se utiliza al nivel de agua de la matriz para asegurar una mezcla apropiada de la solución de fluoruro previo a que el agua potable se consuma. El mezclador mecánico se usa en tanques de solución de alimentadores en seco y en la preparación manual de las soluciones fluoruradas.

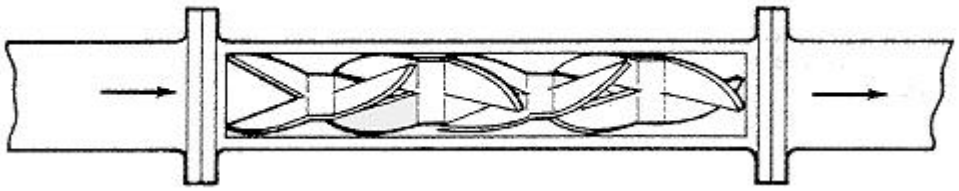
La disolución de fluorsilicato de sodio en el tanque de solución de un alimentador en seco puede efectuarse con un mezclador a chorro pero se recomienda el empleo de un mezclador mecánico. (Ver la figura 3-12). Dada la baja solubilidad del fluorsilicato de sodio, especialmente en agua fría y al limitado tiempo de detención disponible para efectuar la disolución o disolver, es indispensable una agitación violenta para impedir la descarga de una pasta acuosa. Los materiales preferidos para su fabricación son: el acero inoxidable 316 ó el acero revestido de PVC. Cuidado: si la mezcla es demasiado fuerte, el agua puede salpicar dentro del mecanismo alimentador y causar problemas de obstrucción.

Figura 3-12 Mezclador mecánico de alta velocidad típico



Un mezclador en línea (Ver la figura 3-13) debe ser un mezclador inmóvil sencillo, estructurado a través de un arreglo de elementos elaborados geométricamente encapsulado en un tubo o tubería. El agua que fluye proporciona la energía necesaria para la mezcla. (En un mezcaldor en línea no hay piezas móviles). Sorprendentemente, la mayoría de los mezcladores en línea son muy eficientes y con poca pérdida de carga. Los mezcladores se encuentran disponible en tamaños de 34 de pulgada a 6 pies en diámetro. El material de fabricación incluye acero inoxidable, acero al carbono, vidrio fibroso y PVC. El modelo generalmente recomendado para fluoruración es el de acero inoxidable 316. Como los mezcladores en línea necesitan muy poco o casi nada de mantenimiento, pueden así instalarse en forma subterránea o en otros lugares inaccesibles. Cualquiera ubicación que exija una adecuada mezcla del compuesto químico fluoruro pero que está cerca del punto de inyección, necesitará un mezclador en línea. El CDC recomienda un mezclador en línea cuando el primer cliente está localizado a 100 pies o menos del punto de inyección de fluoruro y no se encuentra ningún tanque de almacenaje ubicado antes que el cliente y el contenido de fluoruro en el agua tratada en más de 0,1mgL. Esta es una distancia mínima, suponiendo que el conducto cuenta con válvulas normales y curvaturas.

Figura 3-13 Mezclador en línea típico



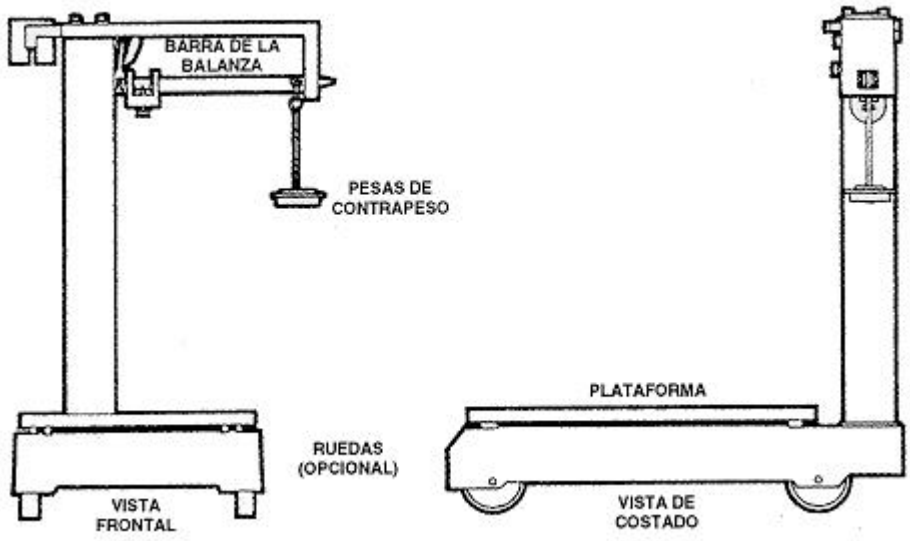
3.5.8 Balanzas

En toda instalación de fluoruración, excepto para una basada en un saturador de fluoruro de sodio, las balanzas son una necesidad para el pesaje de la cantidad de solución que se desea aplicar, o para pesar la cantidad de compuesto de fluoruro en seco o ácido fluorsilícico producido por el alimentador apropiado.

El tipo de balanza puede variar - desde una pequeña de tipo hogareño empleada para pesar una o dos libras de fluoruro de sodio para la preparación de la solución - a una de tipo complejo con un mecanismo incorporado. Los tipos más comunes son las balanzas de barra, las balanzas con cuadrante (manómetro) y las balanzas digitales indicadoras. El tipo que más se emplea es el de las balanzas de barra con plataforma. A menudo en forma errada se la denomina balanza de plataforma. (Ver figura 3-14).

Sobre la plataforma de las balanzas de barra o con brazo se puede colocar una bombona de ácido o un alimentador volumétrico en seco completo. Aunque las balanzas se diseñen para una aplicación específica, como lo son las producidas por fabricantes de alimentadores volumétricos en seco, en muchos casos es perfectamente aceptable una balanza ordinaria como las que venden en ferreterías. Algunas modificaciones menores, tales como la de quitar las ruedas o la de rotar el brazo, pueden ser necesarias, pero en tanto las balanzas tengan suficiente capacidad y sensibilidad, no hay razón por las que no puedan emplearse. La capacidad y sensibilidad son las únicas consideraciones serias. Las balanzas deben tener la capacidad de pesar el tanque y su contenido cuando está lleno o el alimentador volumétrico y su tolva cuando están llenos. Para los alimentadores en seco la medición adecuada es a la 2 libra más próxima. El ácido fluorsilícico debe ser pesado a la 12 libra más cercana. En las balanzas pequeñas empleadas para mediciones de fluoruro de sodio en la preparación de solución manual, debiese ser suficiente la sensibilidad a la onza más próxima. En general, en una balanza para un mínimo de 1.000 libras, debiera estipularse su condición por ser ésta mejor construída. La duración de una buena balanza de barra es de aproximadamente 15 años.

Figura 3-14 Balanza de barra típica



Al efectuarse el montaje de un equipo en la balanza de barra no debiese encontrarse problemas de ningún tipo, excepto cuando existe una conexión a un ventilador o a un conducto de succión, a una tubería o a un conducto

de descarga. Todas estas conexiones deben ser de bastante flexibilidad para permitir que la balanza opere en forma adecuada. Para mejores resultados esta conexión flexible debe ser horizontal.

3.5.9 Otros accesorios

Piezas de Unión

Las uniones son un tipo de accesorio de plomería empleado para juntar tuberías que se pueden desconectar cuando se necesite hacer mantención o reparaciones. Estas ahorran tiempo y dinero al dar la posibilidad de sacarse o desconectarse para instalar los accesorios de reparación o reemplazo.

Las uniones pueden fabricarse de diversos materiales, tales como bronce o PVC y deben ser compatibles con el producto químico fluoruro de la tubería. Las uniones son especialnente recomendadas para el saturador porque este equipo debe sacarse, drenarse y limpiarse más a menudo que otros sistemas de fluoruración. El proceso de limpieza incluye el desmontaje de: el tubo de sobreflujo, el conducto de agua de reemplazo sumergido que va al satuador de flujo ascendente, y la boca de entrada del conducto de agua de reemplazo que va al saturador. Todas las conexiones antes mencionadas deben tener uniones.

Otros lugares a considerar para la utilización de uniones, es en las conexiones a los ablandadores, los medidores pequeños de agua, y en los impedidores de contraflujo por presión reducida. Si se utilizan tuberías de plástico en un conducto de reemplazo de saturador se debe incluir uniones.

Coladores

Tanto las válvulas de retención de la bomba, los impedidores de contraflujo de presión reducida y otras piezas del equipo presentan el riesgo de ensuciar y producir otras contaminaciones en el agua. Los coladores en Y se recomiendan para la mayoría de los conductos del agua para prevenir así la acumulación de suciedad y de sedimento que puede provocar un mal funcionamiento. Los coladores en Y deben instalarse en la dirección del flujo. Es fácil equivocarse e instalarlos hacia atrás. Los coladores utilizan por lo general una criba de una dimensión de cien mesh (0,01 de pulgada al cuadrado) en los sistemas de fluoruración. Es conveniente mantener en reserva una criba mesh de repuesto.

Controladores de tiempo

Un controlador de intervalo de tiempo como el que se emplea en fluoruración es básicamente un mecanismo de relojería, usualmente eléctrica que operará la bomba una vez recibida la señal. Los controladores de tiempo, frecuentemente son empleados en conjunto con los contactos de los medidores de agua para hacer funcionar los alimentadores operados por motores eléctricos. De esta forma, los controladores de tiempo sirven para extender el impulso recibido del contacto del medidor.

Otra aplicación del controlador de tiempo es en las instalaciones en donde un ajuste mínimo del alimentador es aún demasiado elevado para el flujo del agua. En estos casos, el controlador de tiempo puede ajustarse para

proporcionar una parte del tipo de alimentación a tiempo completo. Por ejemplo, al ajustar el controlador de tiempo para que el alimentador funcione en un 75% en cada período de 10 minutos, el promedio de alimentación será sólo de un 75% de lo obtenido sin el uso del controlador de tiempo.

Advertencia : El utilizar un controlador de tiempo proporcional a porcentajes bajos, especialmente con intervalos extensos, puede traer como resultado niveles cíclicos de fluoruro. Si el tiempo de detención en depósitos de agua clarificada o tuberías es insuficiente antes que el agua llegue a los consumidores, la acción de contacto o desconexión del alimentador entregará en forma alternativa, lecturas de fluoruro muy altas o muy bajas. El remedio, aparte del empleo de una bomba de medición más pequeña, sería ajustar el intervalo de tiempo proporcionado a lo más corto que se pueda. Si es posible, lo mejor es evitar la utilización de controladores de tiempo en la fluoruración del agua.

Alarmas

A fin de prevenir la subalimentación o incluso la pérdida de alimentación, los sistemas de alarma pueden incluírse en ya sea la solución o en los sistemas de alimentación en seco. La alarma alerta al operador cuando el nivel de la solución en el tanque diario es bajo o cuando debe colocarse un nuevo saco de compuesto químico seco en la tolva. La alarma puede asimismo señalar de que el suministro de agua a un saturador o que un tanque de disolución se ha detenido o disminuído. Las alarmas están equipadas con interruptores de nivel, interruptores de flujo o interruptores de presión.

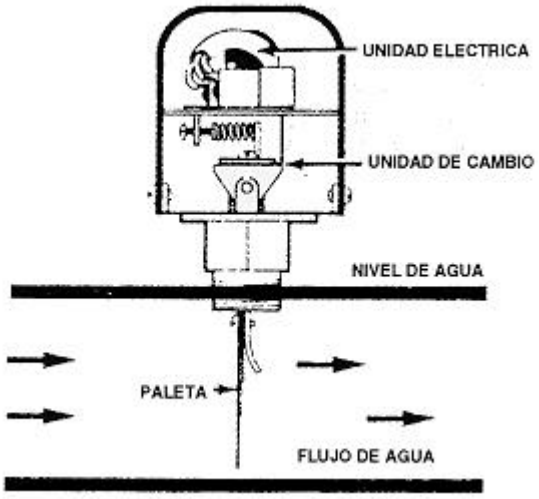
Interruptores de Flujo

En las instalaciones de fluoruración es importante que la bomba medidora de fluoruro opere sólo cuando el agua está fluyendo. Especialmente en sistemas de fluoruración de escuelas. El CDC recomienda que un dispositivo de seguridad adicional, el interruptor de flujo, se interconecte eléctricamente con la bomba del pozo y la bomba medidora de fluoruro. (Ver el Capítulo 6).

Un interruptor de flujo es un dispositivo instalado en la matriz que activa un interuptor eléctrico cuando hay flujo en el conducto de agua. A falta de flujo, el interruptor eléctrico queda abierto. Los dos tipos más comunes de interruptores de flujo utilizados en la fluoruración del agua son los de accionamiento mecánico y los térmicos. Ambos se utilizan en los sistemas fluorados de escuelas en Estados Unidos.

El interruptor mecánico de flujo tiene una paleta o rueda inserta en el conducto de agua, como se ve en la Figura 3-15. Cuando hay flujo, la paleta (rueda) cerrará el contacto eléctrico. Este tipo de interruptor de flujo puede ajustarse dentro de un conducto de agua tan escaso como 34 de pulgada o tan amplio como 16 pulgadas. Esta es una pieza que requiere bastante mantenimiento y debe proporcionársele cuidado en forma regular. El problema más común es la corrosión o quiebre de la paleta.

Figura 3-15 Interruptor mecánico de flujo típico



El interruptor de flujo térmico es un sensor del flujo diferencial de temperatura. Detecta las variaciones en la velocidad del flujo al captar los cambios en las propiedades de transferencia de calor del flujo del agua. La cabeza sensora consiste de tres depósitos térmicos de acero inoxidable, (dos pares de sensores iguales resistentes a la temperatura [uno activo y el otro de referencia] y de un elemento calórico de baja energía en el tercer depósito térmico). El elemento calórico se ubica de tal forma que permita al calor activar el sensor de temperatura. Esto crea una diferencia térmica entre los sensores térmicos activo y los de referencia. Los cambios en el flujo producen cambios en la diferencia de temperatura. Esta diferencia térmica es electrónicamente convertida en una señal que está inversamente relacionada al flujo real.

El interruptor de flujo por activación térmica es de costo mucho más elevado que el interruptor de flujo mecánico pero requiere de menos mantención. El tiempo de respuesta es muy rápido (2-50 segundos, dependiendo del ajuste del punto del interruptor). Puede operar a casi cualquiera presión del agua (hasta 2.000 psi) y puede detectar velocidades de flujo tan bajas como 0,01 piesseg.

Interruptores de Presión

El interruptor de presión es un simple dispositivo que se instala para detectar los cambios de presión. En un conducto de agua, el cambio de presión hará que el diafragma se doble y así se abrirá o cerrará el contacto eléctrico. Esto a su vez activará o desactivará el circuito eléctrico.

Los interruptores de presión son coumunmente empleados en sistemas individuales de pozo como los que se encuentran en sistemas de escuelas rurales. El interruptor de presión regulará el funcionamiento de la bomba del pozo y debe ser interconectado eléctricamente con la bomba medidora de fluoruro. Asimismo como una medida adicional de seguridad, algunos estados recomiendan que el interruptor de presión sea instalado en línea y eléctricamente en serie con un interruptor de flujo (o interruptores). Esto es una seguridad adicional en contra de una sobrealimentación de fluoruro. El CDC opina que es innecesaria esta protección adicional.

Equipos de Arrastre

El peso de los tambores de 15 galones de ácido fluorsilícico es de aproximadamente 150 lbs. Esto es obviamente muy pesado para ser levantado por un hombre común. Por este motivo debe de utilizarse un carro para acarreo de tambores o algo similar. (Ver la Figura 3-16). Incluso las bombonas de ácido debiesen ser movidas por un "carro".

Figura 3-16 Equipo de transporte



CAPITULO CUATRO:

INSTALACION DE SISTEMAS DE FLUORURACION

4.1 Generalidades

Es imposible hablar de la instalación de equipos de fluoruración sin tener algún conocimiento básico de sistemas de tratamiento de agua. Como las descripciones en detalle están más allá de lo que concierne a este manual, presentamos algunas informaciones básicas con la simplificación necesaria para una mayor claridad. Este capítulo incluye ciertos términos, tales como filtros rápidos de arena, depósitos de agua clarificada, estanques de floculación, estanques de contacto sólido, etc., sin entregar explicaciones en detalle. Sugerimos que el lector tenga como referencia un buen texto sobre el diseño de una planta de tratamiento de agua como información adicional.

No hay leyes, disposiciones o requisitos gubernamentales sobre diseño o instalación de equipos de fluoruración. La Oficina de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), fija los estándar para la cantidad máxima de fluoruro natural que el agua de beber puede contener - Niveles Máximos de Contenido (MCL) - pero estas normas no se aplican directamente a la fluoruración ajustada. Las leyes, disposiciones reguladoras y requisitos para la fluoruración del agua proceden de los programas estatales individuales para el agua potable. El CDC es el centro nacional para la fluoruración del agua y ha desarrollado muchas recomendaciones acerca de los aspectos técnicos de fluoruración.

Por regla general, los programas estatales de agua potable siguen las siguientes prácticas sobre los aspectos técnicos de la fluoruración:

1. Casi siempre se exige un permiso estatal antes de que la comunidad (o escuela) pueda ser fluorurada.

2. Los planes y especificaciones deben prepararse (en muchos estados por un ingeniero profesional) y someterse al estado para su aprobación antes de construírlo.

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

4. En muchos estados un sistema de fluoruración no puede ponerse en marcha hasta que haya sido inspeccionado y aprobado por los ingenieros del estado. En algunos estados, los operadores deben tener cierta capacitación formal antes de la puesta en marcha.

5. La mayoría de los estados exige un equipo de seguridad para el operador de la planta de agua, tal como ser guantes largos especiales (con puño), delantales químicos, respiradores, gafas protectoras, duchas, instalaciones de lavado de los ojos, etc. Se necesita un mejor cumplimiento de estas disposiciones y una mayor exigencia de estos requisitos.

6. En la actualidad, casi todos los estados exigen algún tipo de certificación al operador antes que éste se integre al sistema de fluoruración.

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

8. Generalmente todos los estados exigen que se mantenga registros, tales como los resultados diarios de muestras, las cantidades diarias de agua tratada, los pesos diarios de productos químicos, el cálculo de los niveles de fluoruro, etc., en cada fuente fluorurada (pozo). Las copias de estos registros se presentan a la oficina estatal apropiada.

Respecto a la fluoruración, la mayoría de los estados no se impone con fuerza en cuanto a sus regulaciones y reglamentos. La fluoruración del agua no está cubierta por el Decreto de Seguridad del Agua Potable de 1974 (o por la Ley enmendada de 1986), y así se le da menos prioridad de la que se le da a los asuntos cubiertos por la ley. Aunque algunas personas relacionadas con fluoruración tienden a no estar de acuerdo con esa posición, ésto es un hecho real y probablemente quedará así.

4.2 Tipos de plantas de agua

La instalación del equipo de fluoruración, especialmente el punto de inyección, depende en gran parte del tipo de sistema de agua o planta de tratamiento. Como la clasificación de las plantas de agua puede ser confusa incluso para los ingenieros, identificaremos tipos generales de sistemas. (Ver tabla 4-1).

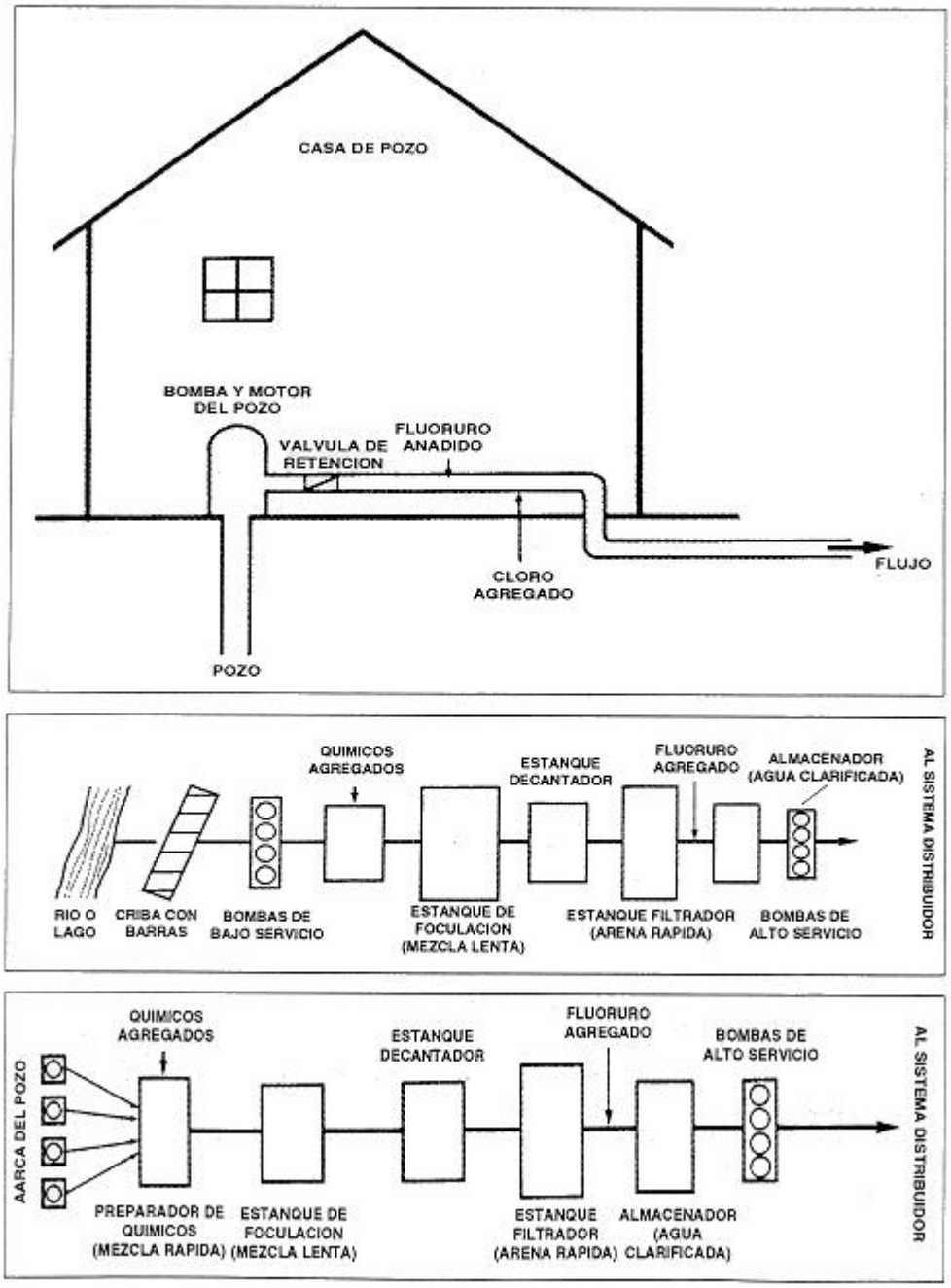
Los tres principales sistemas de agua son el pozo individual, la planta de tratamiento en superficie y la planta de agua de tratamiento ablandador. Muchas veces un sistema de agua puede ser uno de estos tipos principales, aunque en forma mucho más compleja.(Combina la mezcla rápida, floculación, y estanques de ajuste en una sola unidad). La planta de tratamiento de eliminación de manganeso y hierro es una planta de tratamiento por aireación y un tipo de sistema de pozo único. (Ver las Figuras 4-1, 4-2, 4-3).

TABLA 4 - 1
TIPOS DE SISTEMAS DE AGUA

Tipo de sistema	Fuente de agua	Compuestos químicos comúnmente usados*
Pozo Unico	Suelo	Cloro, Fluoruro, Polifosfato
Planta de Tratamiento en Superficie	Superficie (Lago, Río)	Cloro, Fluoruro, Cal, Alumbre, Carbón Activado, Permanganato de Potasio, Polielectrólito
Planta Ablandadora de Agua	Suelo	Cloro, Fluoruro, Alumbre, Cal, Polifosfato, Dióxido de Carbono
Pozos Múltiples	Suelo	Cloro, Fluoruro, Polifosfato
Distribución	Otros sistemas	CloroFluoruro
Planta de contacto sólido (Ablandamiento del Agua)	Suelo	Cloro, Fluoruro, Alumbre, Cal, Polifosfato, Dióxido de Carbono
Planta de Eliminación de Manganeso - Hierro	Suelo	Cloro, Fluoruro, Permanga nato de Potasio, Arenisca Verde de Manganeso
Intercambio Iónico	SueloSuperficie	Cloro, Fluoruro, Zeolita, Resinas Poliestirénicas

* Dependiendo de la característica del agua se puede emplear muchos otros productos químicos. Ver la Tabla 4-2.

Figura 4-1 Sistema de agua con pozo único



A veces el sistema de agua es una combinación de los tres tipos principales. Por ejemplo, un sistema de agua de gran envergadura puede incluir el área de pozo y el embalse de una ciudad, combinando así el tratamiento en superficie y el ablandamiento del agua. A veces es difícil catalogar una planta de agua en especial porque ésta contiene diversos tipos dentro de su sistema. Un sistema puede ser tan simple como una tubería de distribución de agua a tan complejo como un sistema de tratamiento de tipo múltiple. Por fortuna, de los aproximadamente 60.000 sistemas de agua de este país, está claro que uno solo llegará a ser el tipo de sistema de agua

4.3 Productos químicos empleados en plantas de tratamiento de agua

La cantidad y clase de productos químicos empleados en una planta de tratamiento de agua varía ampliamente. (Ver la tabla 4-2) En general, los compuestos químicos que se utilizen dependen más de las características del agua que se pretende cambiar que el tipo de planta de agua. Por ejemplo, el cloro se utiliza para la desinfección, los fluoruros para la fluoruración, el carbón activado para el control del olor y sabor, etc. El tipo específico de compuesto químico de cloro o fluoruro a ser empleado puede depender del tipo de planta de agua - por ejemplo, el fluoruro de sodio en un sistema de pozo único o la cloración por gas en una planta de tratamiento en superficie.

A fin de facilitar la identificación de las tuberías, una buena práctica es el pintar las tuberías en las galerías de tuberías de plantas de tratamiento de agua. La codificación en colores ayuda a prevenir posibles errores en la toma de muestras del mantenimiento que debe llevarse. El esquema de colores se recomienda en la publicación “Estándar Recomendados para Trabajos de Aguas, 1992 - Un Informe del Comité de la Directiva de Ingenieros del Estado de los Grandes Lagos-Alto Mississippi@. Asimismo la palabra ”fluoruro@ y la dirección del flujo deben estar impresos en la tubería.

4.4 Punto de inyección del fluoruro

Lo primero que se debe tener presente al elegir el punto de inyección de fluoruro, es que éste debe localizarse en un lugar donde pase toda el agua a tratarse. En una planta de agua, ese punto puede ser el canal en el que se agregan los otros compuestos químicos de tratamiento del agua, como la matríz que proviene de los filtros o el pozo de agua clarificada. Si hay una combinación de instalaciones, tal como ser una planta de tratamiento para agua superficial más pozos complementarios, debe efectuarse en un punto en donde pasa toda el agua de todas las fuentes. Si no existe tal punto en común, significa que deberá agregarse instalaciones separadas de alimentación de fluoruro para cada instalación de agua.

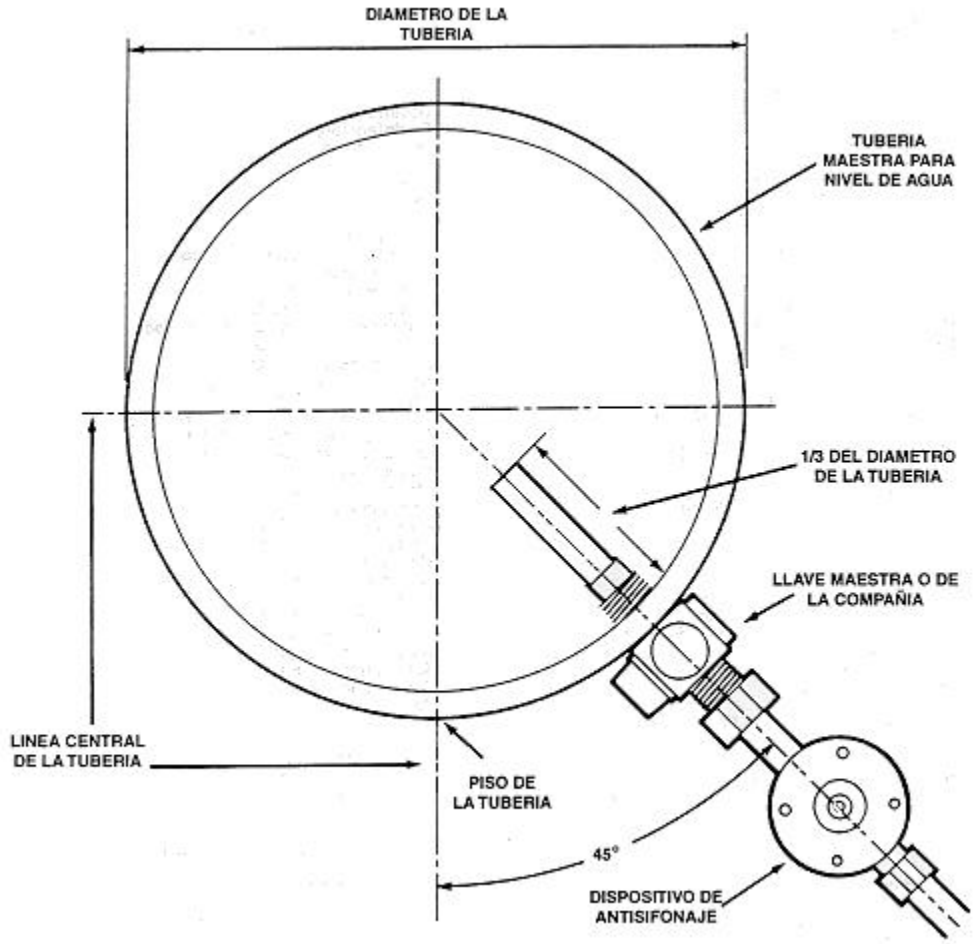
Otra consideración al elegir el punto de inyección de fluoruro es el problema de pérdidas de fluoruro en los filtros. Siempre que sea posible, el fluoruro debe agregarse después de la filtración para evitar las pérdidas substanciales que pudieran ocurrir, especialmente con dosis pesadas de alumbre o cuando el magnesio está presente y se está empleando el procedimiento de ablandamiento con ceniza de soda-cal. Puede haber hasta un 30% de pérdida si el porcentaje de dosificación de alumbre es de 100 ppm. En raras ocasiones podría ser necesario agregar fluoruro antes de la filtración, tal caso se daría cuando el pozo de aguas clarificadas es inaccesible o está tan lejos de la planta que el traslado de productos químicos dejaría de ser económico, o para evitar un segundo punto de inyección aparte.

Tabla 4-2
Productos quimicos utilizados en una planta de tratamiento de agua

Nombre	Uso
1. Amoniáco (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 para uso en el hogar)	Desinfección
8. Ozono*	Desinfección
9. Nitrato de plata	Desinfección - uso doméstico
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 desclorinador
15. Sulfito de sodio	Agente desclorinador
16. Bisulfito de sodio	Agente desclorinador
17. Tiosulfato de sodio	Agente desclorinador
18. Resinas de intercambio iónico	Material ablandador de agua
19. Cloruro de sodio (sal)	Material ablandador de agua
20. Glauconita (arena de sílice)	Material ablandador de agua
21. Arena de sílice	Material filtrante
22. Antracita	Material filtrante
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 de pH
28. Sulfato potásico de aluminio	Coagulante
29. Oxido de calcio (cal gruesa)*	Control del pH,coagulante
30. Hidróxido de calcio (cal hidratada)	Control del pH,coagulante
31. Arcilla (Bentonita)	Ayuda para coagulante
32. Carbonato de calcio	Ayuda para coagulante
33. Sílice activado	Ayuda para coagulante
34. Silicato de sodio	Ayuda para coagulante
35. Carbonato de sodio (sosa comercial)	Control pH,coagulante
36. Anhídrido carbónico (gas)	Control pH
37. Acido hidroclórico*	Control pH
38. Hidróxido de sodio*	Control pH, control de corrosión
39. Bicarbonato de sodio ($NaHC0_3$) (soda de hornear)	Control pH
40. Acido sulfúrico*	Control pH
41. Hidróxido de potasio*	Control pH
42. Permanganato de potasio	Desinfección,eliminador de color, oxidante
43. Polielectrólitos	Ayuda para coagulante
44. Polifosfatos	
- polifosfato de calcio	Control de corrosión, control del
- polifosfato de zinc	hierro
- tri-polifosfato de sodio	Control de corrosión, control del
- hexa-metafosfato de sodio	hierro
45. Fluoruro de sodio	Control de corrosión
46. Fluorsilicato de sodio	Control de corrosión
47. Acido fluosilicico*	Fluoruración
48. Sulfato de cobre	Fluoruración
	Fluoruración
	Control de las algas

* Material altamente peligroso para el operador de la planta

figura 4-4 Punto de inyección de fluoruro



Cuando se está agregando otros productos químicos, debe considerarse la compatibilidad de los compuestos químicos. Si cualquiera de estos otros productos químicos contiene calcio, el punto de inyección de fluoruro debe estar tan lejos como sea posible a fin de minimizar la pérdida de fluoruro por precipitación. Por ejemplo, si se está agregando cal (para el control del pH) a la tubería principal que viene de los filtros, el fluoruro puede agregarse a la misma tubería principal, pero en otro punto o puede agregarse al pozo de aguas clarificadas. Si la cal se está agregando al pozo de aguas clarificadas, el fluoruro debe ser agregado en el lado opuesto. En el caso de que no fuese posible separar los puntos de inyección, se empleará un mezclador en línea. Si se agrega cal al tratamiento de agua, es preferible emplear fluoruro de sodio a través de un conducto de agua de reemplazo antes de agregar la cal. En un sistema de pozo único el punto de inyección de fluoruro será 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 ablandamiento del agua, el punto ideal de localización de inyección de 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 de arena rápido, y la descarga de cualquier producto químico en forma directa al pozo de aguas clarificadas se hace dificultosa. En el punto de inyección de fluoruro, la ubicación del conducto de productos químicos debe estar a 45 grados del fondo de la tubería y sobresalir 13 del diámetro de la tubería dentro de la misma. Esto producirá una mejor mezcla, sin sedimentos, uniéndose alrededor del punto de inyección. El punto de inyección de fluoruro nunca debe estar en la parte más alta del conducto debido a los problemas de fricción por el aire. Una válvula, una boquilla de inyección, o una llave maestra deben ser parte de la instalación. Se recomienda en forma enfática que siempre debe incluírse un aparato de antisifonaje. (Ver la Figura 4 -4).

4.5 Instalación del equipo

4.5.1 Generalidades

La instalación de fluoruración debe ser considerada durante la etapa de diseño. Las decisiones que se tomen durante esta fase son las que más influenciarán en la instalación. La mejor instalación es la que incorpora de los siguientes factores tantos como sea posible:

1. Equipo de alimentación preciso, simple.
2. Un mínimo de manejo en productos químicos.
3. Coherente con los dos factores anteriores, el menor costo total basado en la armotización del equipo y en el costo de los productos químicos.
4. Facilidad para la compilación registros fidedignos.
5. Una mantención mínima del alimentador, tubería y equipo inyector.

Para determinar la mejor instalación se debe tener un profundo conocimiento de los tipos de equipos disponibles.

Antes de escoger un tipo de alimentador debe contarse con un espacio extenso y apropiado para su instalación. Si existiera ya una planta de agua en donde se está alimentando otros compuestos químicos, no habrá problema en encontrar el espacio adecuado para un alimentador adicional. Si no se encuentra ninguna planta de tratamiento, como es frecuente en el caso de sistemas con depósito, entonces puede encontrarse una casa con pozo o quizás incluso algún tipo de cobertizo cerca de un tanque de almacenaje elevado. El alimentador debe ser situado en una zona seca, protegida por un cobertizo, cerca del punto de inyección de fluoruro, de preferencia en un lugar que tenga espacio de almacenamiento para compuestos químicos. Debe contar con energía eléctrica (en la mayoría de los casos) y un conducto de agua para la preparación de la solución. Su ubicación debe ser accesible para poder rellenar los productos químicos y para su mantención. Además de estos requisitos básicos, debe considerarse la aislación que es necesaria para ciertos productos químicos en cuanto al resto de los compuestos cuando éstos se almacenan, tener una ventilación adecuada y en general un acomodo conveniente.

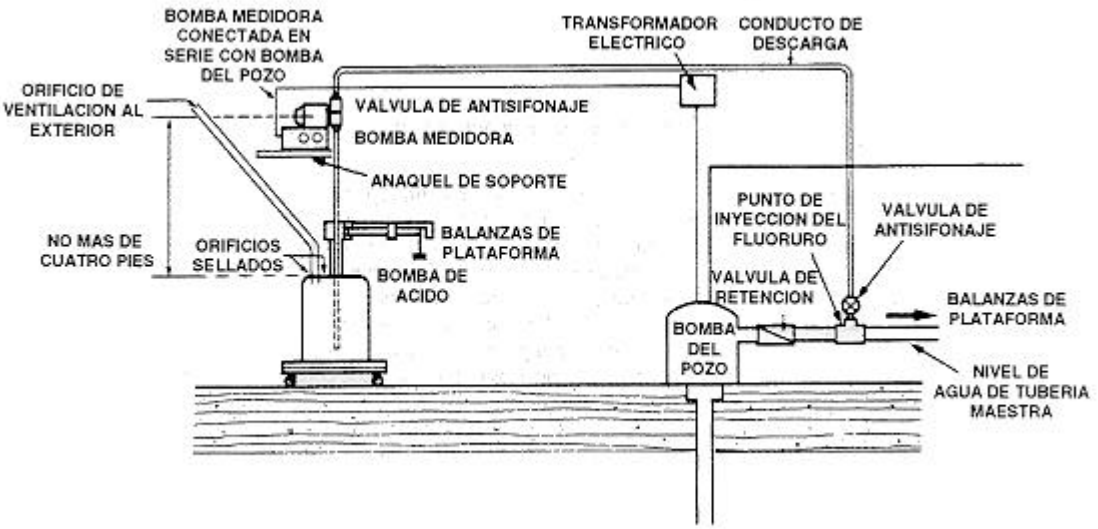
Cuando el sistema de fluoruración está eléctricamente unido a la bomba del pozo, debiese ser imposible enchufar la bomba medidora de fluoruro dentro de cualquier toma de corriente “caliente”. La bomba debe enchufarse sólo en el circuito donde se encuentra la protección de sobrealimentación. Un método para asegurar esto, es el instalar un enchufe especial a la bomba medidora, la que es compatible únicamente con una toma eléctrica especial en el punto apropiado. Este enchufe especial debe ser etiqueteado en forma clara. Esta recomendación es válida tanto para la alimentación con ácidos como para sistemas con saturador.

4.5.2 Instalación de acido fluorsilícico

La instalación de fluoruración más simple y fácil es el sistema de alimentación de ácido con pozo único. Una instalación típica incluiría una bombona de ácido (o tambor), una pequeña bomba medidora y balanzas. (Ver la Figura 4-5). La bombona (o tambor) debe contar con una toma de aire al exterior y estar sellada alrededor del conducto de entrada a la bomba y con un conducto de escape. Si el espacio donde se encuentra el equipo de fluoruro queda expuesto a la acción directa del sol, el pigmento del entubado será de color negro. El color negro elimina los rayos ultravioletas que ocasionan el agrietamiento del entubado translucente.

Si es posible la bomba medidora debe colocarse en un anaquel a no más de 4 pies por encima de la bombona o contenedor de la solución. Nota: Muchos fabricantes recomiendan que la bomba se coloque de tal manera que tenga un conducto de succión (bajo) de crecida. Para fluoruración esto no se recomienda. El conducto de succión debe ser tan corto y derecho como sea posible, además en el fondo debe haber una válvula de pie y un colador y si fuera necesario un peso para mantenerlo abajo.

Figura 4-5 Instalación de ácido fluolisílico: almacenamiento en bombona (tambor)



En la medida que sea posible, el conducto de descarga de la bomba medidora debe ser corto y derecho. Evite las curvas angulosas o vueltas cerradas en el conducto. Debe evitarse el inyectar solución por la parte superior de la tubería, ya que ahí se acumula el aire y éste puede introducirse al interior de la válvula de retención de la bomba medidora o al conducto de descarga y producir una fricción por aire. En el punto de injección se recomienda la instalación de una válvula antisifonaje. Muchas bombas medidoras vienen equipadas con una válvula de descarga antisifonaje o la tienen disponible como accesorio . Esta puede ser montada directamente en el cabezal de la bomba. Si la solución se agrega a un canal abierto o a una tubería de baja presión debe emplearse una válvula de descarga “compensada”. Esta es una válvula diafragmática o de retención, compensada con resorte que no se abrirá hasta que la presión de descarga de la bomba exceda una cierta graduación pre fija. El ajuste común es de 15 psi.

Como se mencionó con anterioridad, la bombona de ácido debe estar completamente sellada. Este es un problema

mayor en muchos sitios de fluoruración. Se emplean diversas clases de bombonas como contenedores de ácido. La más común (y el último estilo) es una con la parte superior plana. Un ejemplo de cómo la bombona o el contenedor de tambor puede sellarse se expone en la Figura 4-6.

Figura 4-6 Conexión a bombona (tambor) de ácido H SiF

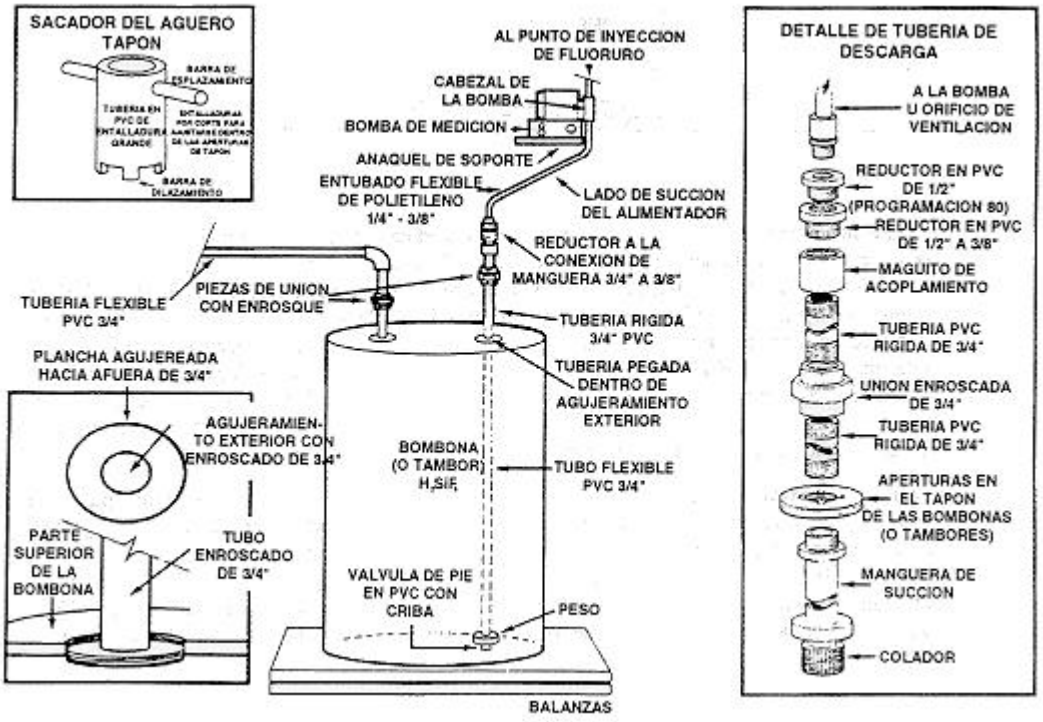
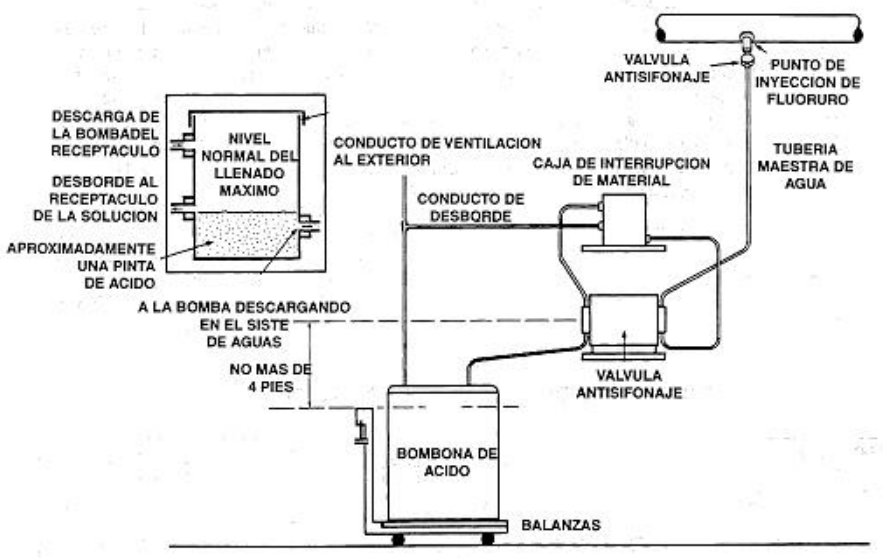


Figura 4-7 Instalación de la caja de interruptor



En muchos estados están preocupados por la posibilidad de una sobrealimentación de fluoruro, no sólo a causa del riesgo para la salud, sino que también por la publicidad adversa. Si esto llega a estimarse de importancia, puede emplearse la caja de interrupción de injección de material. (Ver la Figura 4-7). La caja de interrupción reduce la posibilidad de una sobre alimentación por sifonaje con sólo un leve aumento en el costo. Sólo la cantidad de ácido que se encuentra en la caja de interrupción puede accionarse por sifón hacia la tubería principal de agua. Incluso en instalaciones muy pequeñas esta cantidad sería relativamente insignificante. Esta instalación más bien ingeniosa, fue desarrollada por el estado de Minnesota. La diferencia mayor en el costo lo constituye la bomba medidora de doble cabezal en vez de una bomba medidora de un solo cabezal.

Con algunas excepciones, la instalación de un sistema de alimentación de ácido en una planta de agua de gran envergadura que cuenta con almacenaje de productos al por mayor es semejante a la simple instalación de pozo. (Ver la figura 4-8). Un tanque diario es necesario en lugar de una bombona. Bajo condiciones normales de funcionamiento, el tanque diario no debe contener más de 2 días de suministro de ácido. Este debe ser sellado alrededor del borde exterior, del orificio de escape, de la abertura del conducto de succión de la bomba y de la entrada de llenado de la tubería.

Debe existir conexiones flexibles en el conducto de almacenaje volumétrico y en la tubería de la bomba de succión (si no es de entubado flexible). Esto es para prevenir la lectura inexacta en las balanzas. El conducto de escape debe de ir desde el tanque diario al tanque de almacenaje volumétrico (cerca de la parte de más arriba), en lugar de 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 va directa dentro del depósito de agua clarificada, aún es necesario un dispositivo antisifonaje en este punto de descarga.

El tanque de almacenaje volumétrico debe ser ventilado en la parte superior y estar rodeado por una berma para contener cualquier tipo de derrame que pudiera ocurrir. El ácido se congelará si se expone a temperaturas sostenidas de 4 grados F.ó menos. Es por esto que en climas nórdicos el tanque de almacenamiento volumétrico debe estar protegido de las heladas.

4.5.3 Instalación de fluoruro de sodio (saturadores)

El saturador de fluoruro de sodio es un sistema de fluoruración muy simple. Requiere sólo de un poco más de espacio y de tuberías que en la alimentación ácida convencional. Muchos de lo que se ha comentado sobre las instalaciones de alimentación de ácido se puede aplicar a las instalaciones de saturadores. La bomba medidora debe colocarse en el saturador a no más de 4 pies por sobre la tubería de baja saturación. El conducto de succión debe ser tan corto como sea posible. La bomba medidora debe estar equipada con una válvula antisifonaje. Si la solución de fluoruro se injecta a una tubería de agua principal, debe haber también una válvula antisifonaje en el punto de inyección del fluoruro.

El saturador de fluoruro no necesita sellarse tan herméticamente como la bombona de ácido. Los sistemas con saturador deben contar con un medidor de agua y si es necesario un ablandador de agua. El conducto de alimentación de agua debe contener un colador en Y además de suficientes piezas de unión para permitir el retiro del entubado cuando sea necesario.

Al montar una bomba medidora en el anaquel o plataforma por encima del saturador, es aconsejable balancearla en forma adecuada para permitir el acceso al contenedor para su llenado y limpieza. No es recomendable montar la bomba medidora en la tapa del saturador.

Un saturador nunca debe forzarse más allá del límite de la capacidad para la que fue diseñado, ni siquiera por poco tiempo. Cuando la capacidad del saturador está próxima, se debe entonces considerar otro método de

fluoruración, como ser el de emplear ácido fluorsilícico.

La instalación de un saturador de flujo ascendente es muy similar a la instalación de uno de flujo descendente, con algunas excepciones. (Ver Figura 4-9). Si se emplea un interruptor de nivel de líquido, la CDC recomienda que se instale una válvula solenoide y un rompedor de vacío. El rompedor de vacío debe estar entre la válvula solenoide y la toma de entrada de agua. Asimismo, la CDC recomienda que se instale un restrictor de flujo con un máximo de flujo de 2 galones por minuto para permitir un adecuado tiempo de contacto. (Observe: muchos estados permiten restrictores de flujo de hasta 4 gpm). En la porción delantera de la tubería por donde entra el agua, la presión debe ser de un mínimo de 20 psi.

En un saturador de flujo ascendente es de suma importancia seguir la recomendación de emplear un tipo diferente de enchufe para la bomba medidora con su correspondiente indicación para prevenir así que ésta sea conectada a un enchufe Acaliente@. Esto se debe a que la válvula solenoide requiere de la conexión eléctrica "caliente" y es por lo tanto muy fácil llegar a equivocarse.

Figura 4-8 Instalación de ácido fluosílico

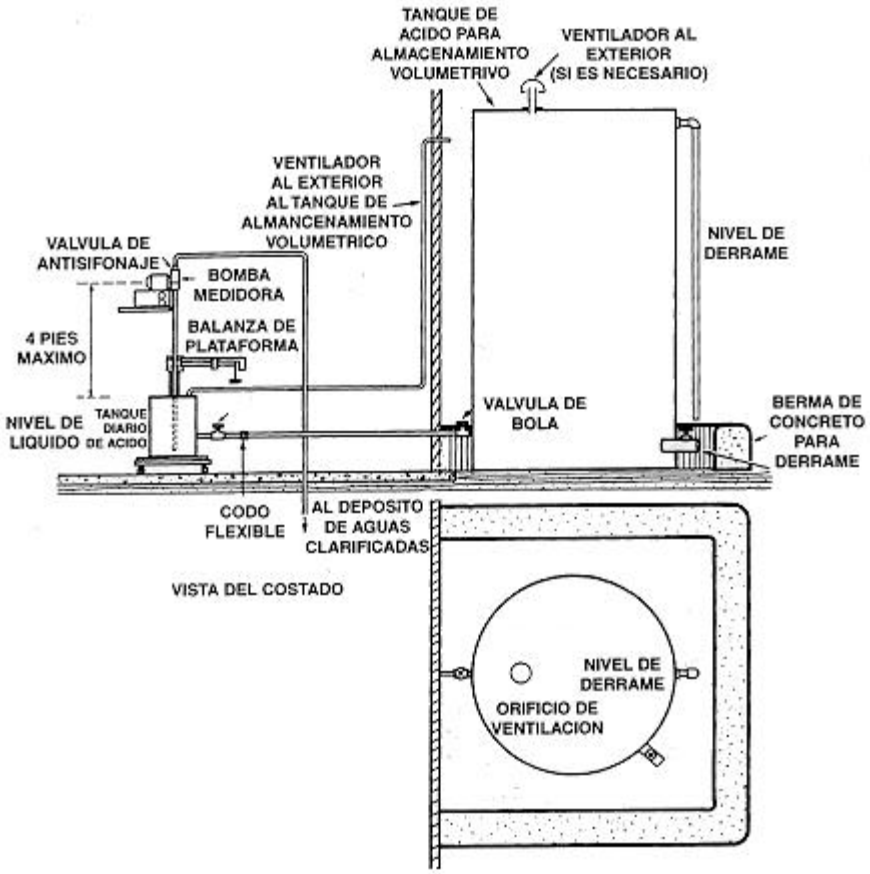
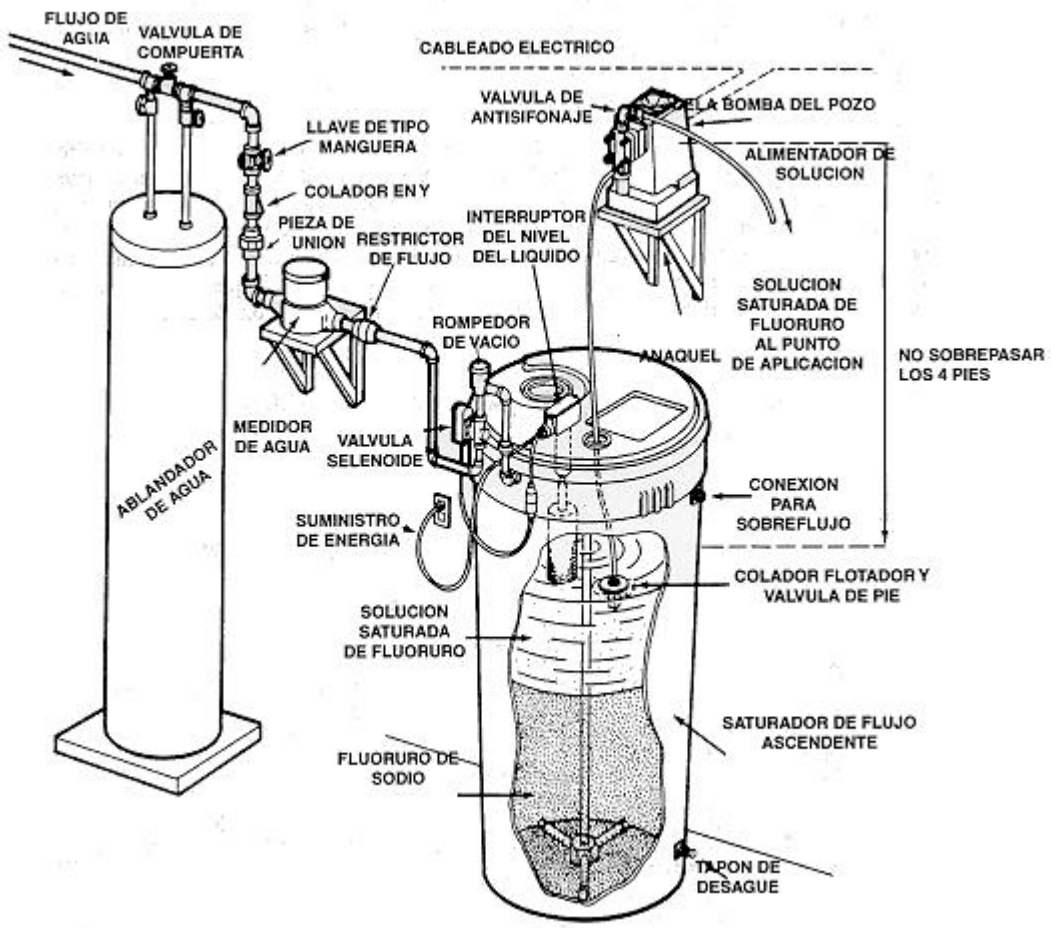


Figura 4-9 Instalación de fluoruro de sodio - saturador de flujo ascendente



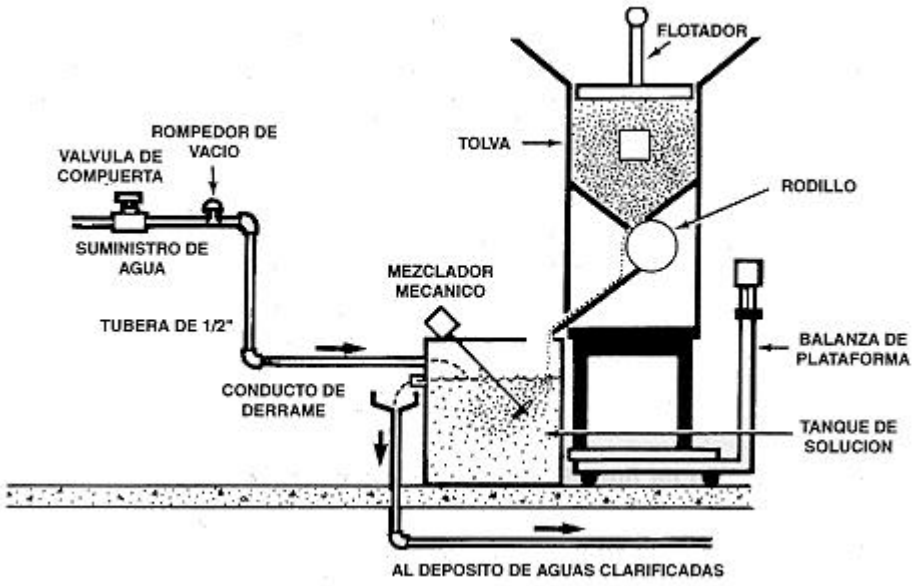
4.5.4 Instalación de fluorsilicato de sodio (alimentadores)

Sólo se tratará la instalación del alimentador volumétrico en seco por ser éste el más típico de los que se utiliza. (Ver la Figura 4-10). La instalación del alimentador gravimétrico sería en esencia la misma. Si es posible, al instalar un alimentador en seco, éste se colocará de forma tal que la solución del tanque de solución caiga directamente dentro del canal alimentador de productos químicos. Si por otras consideraciones el alimentador se ha colocado a cierta distancia del punto de aplicación, el conducto de desague deberá ser lo más directo posible, con una inclinación adecuada y un tamaño suficiente como para evitar aumentos de precipitación y las consiguientes obstrucciones.

Es evidente que el alimentador en seco debe ser instalado en una base nivelada y firme si se espera que las balanzas trabajen satisfactoriamente. Si el alimentador cuenta con una pequeña tolva, ésta debe ser de fácil acceso para el llenado, y si se emplea una tolva extensible, ésta deberá extenderse verticalmente hacia arriba al área de llenado, sin ángulos que pudiesen atrapar material. En la tubería de suministro de agua de un alimentador volumétrico, para dar libertadad de movimiento al alimentador y la plataforma de la balanza debe contarse con una sección de manguera flexible ubicada entre el tanque de solución y la tubería.

El conducto de suministro de agua a un alimentador en seco debe contar con un escape de aire, un rompedor de vacío o algún otro tipo de dispositivo antisifonaje. El escape de aire es la mejor protección en contra de los peligros de una conexión cruzada, esto es, una conexión entre la tubería de toma de agua y la tubería de desague. Si la presión del agua es demasiado alta como para permitir un escape de aire, se puede emplear uno de los otros dispositivos, pero en cualquier caso, el rompedor de vacío debe ubicarse entre el punto de entrada del tanque de solución y de cualquier dispositivo restrictivo en el conducto y debe instalarse en posición elevada.

Figura 4-10 Instalación de alimentador volumétrico



CAPITULO CINCO: OPERACION DE SISTEMAS DE FLUORURACION

5.1 Introducción

En la operación de cualquier sistema de fluoruración es importante que se lleven registros completos y precisos sobre el almacenamiento y manejo correcto de los productos químicos y el análisis de fluoruro.

En la planta de tratamiento de aguas es indispensable efectuar la alimentación con fluoruros en forma precisa. La especificación del contenido de fluoruro en las muestras de agua en forma frecuente es una manera de confirmar si la fluoruración es adecuada. Los resultados de las pruebas de fluoruro del laboratorio revelan el nivel de concentración en el momento en que se tomó la muestra. Este capítulo tratará los nieveles óptimos de fluoruro recomendados para la fluoruración de la comunidad y escuelas e indicará los métodos que pueden emplearse para analizar fluoruro.

5.2 Mantención de registros

5.2.1 Introducción

El llevar un registro exhaustivo permite la operación y mantención eficiente del sistema de suministro de agua. Debido a la variación en el tamaño y diseño de los sistemas de suministro de agua, los métodos de mantención de registros se preparan de acuerdo a cada diseño. Sin registros permanentes que describan el sistema, una comunidad quedaría dependiendo de la buena memoria de los empleados más antiguos. Valiosa información puede extraviarse cuando cada uno de los empleados se acoge a retiro. Los registros demuestran que el operador intenta mantener confiabilidad en el sistema.

Existen dos tipos de registros: los que son exigidos por la ley yo reglamentos y los que se exigen para la operación.

5.2.2 Registros requeridos

La mayoría de los estados exigen que se mantenga ciertos registros. Por lo general, esto incluye la especificación diaria de la concentración de fluoruro, los pesos diarios (o volúmenes) de productos químicos alimentados y el volumen de agua tratada. Algunos estados también requieren el cálculo de la dosificación diaria de productos químicos. En fluoruración, los registros exigidos por la ley y las regulaciones por lo general incluye:

1. Prueba diaria de fluoruro.
2. Mediciones diarias de peso (lbs.).
3. La cantidad de agua ocupada por día en los saturadores de agua de reemplazo (galones).
4. Pruebas de muestras de fluoruro semanal o mensual (muestras separadas para el laboratorio estatal) y
5. Promedios de dosificación calculada.

Los registros solicitados para las pruebas de fluoruro deben por supuesto hacerse por escrito e incluír lo siguiente:

1. Fecha, lugar, hora de la toma de la muestra y el nombre de la persona que la tomó.
2. Identificación de la muestra; si fue una muestra rutinaria del sistema de distribución, una prueba de control, una muestra de agua bruta o procesada, o cualquiera otra muestra que se haya tomado para un propósito especial.
3. Fechas de los análisis.
4. Laboratorio y persona responsable de efectuar los análisis.
5. El método técnico analítico empleado, y
6. Los resultados de los análisis (mgL fluoruro).

Las copias de todos los informes escritos, compendios o comunicaciones referentes a los registros requeridos deben enviarse al estado por correo como se estipula y conservarse por un período de por lo menos diez años o como el estado lo exija.

5.2.3 Registros operacionales

Es obvio que los registros operacionales son necesarios para mejorar el funcionamiento del sistema de fluoruración. Estos registros varían enormemente dependiendo de si el sistema de agua es particular, del estado e incluso en qué región de los Estados Unidos se encuentra. Por lo general, estos registros deben incluir la calidad química del agua bruta (contenido de fluoruro natural, pH, etc.), la cantidad de agua bombeada (de la matríz) y

datos sobre la mantención de las bombas medidoras de fluoruro, motores, tuberías, etc. Se debe también llevar registros sobre las curvas de calibraje. La información de los vendedores de repuestos, de las reparaciones, etc., deben asimismo estar disponibles en forma expedita. Debe también mantenerse información adicional, como ser, cuándo fué la última vez que el equipo se controló, se reparó, y se lubricó, además de cuándo se agregaron los productos químicos. Debe contactarse al departamento de salud del estado para determinar las exigencias específicas en la mantención del registro. Debe mantenerse cierta clase de registro del trabajo efectuado en todo el equipo de fluoruración. Los registros pueden ayudar al operador a acordarse sobre qué mantención ha de efectuarse y cuándo es tiempo de efectuarla de nuevo.

Si el operador ya lleva registros de mantenimiento sobre otro equipo en la planta de agua, entonces el equipo de fluoruración puede ser incluído en cualquier sistema de registro que se emplee.

Hay varias formas de llevar registros de mantenimiento. Algunos operadores elaboran un programa anual y lo exponen en la pared. Este plan indica los trabajos de mantenimiento planeados para cada mes y cuando el trabajo se ha sido efectuado, se fecha. Otros operadores marcan las operaciones de mantenimiento en un calendario, una forma de recordar los trabajos por hacer. En otro lugar mantienen un registro de lo que en efecto se lleva a cabo, como ser, en un archivo (con tarjeta separada para cada pieza del equipo) o en un libro de registro del equipo.

Un operador con experiencia deseará probablemente cambiar la frecuencia de algunos trabajos de mantenimiento. Por ejemplo, suponga que los registros demostrasen que algunas piezas siempre se desgastan antes de lo que se ha programado para su reemplazo - el operador seguramente va a querer cambiar el plan de mantenimiento y así reemplazar, en forma rutinaria el cambio de dichas piezas más a menudo.

Asimismo, el plan de mantenimiento debe ajustarse cada vez que el equipo se desarma para someterlo a reparación. Por ejemplo, si éste no ha tenido mantenimiento rutinario, esto puede efectuarse mientras el equipo esté desarmado. El próximo mantenimiento rutinario puede entonces reprogramarse partiendo de la fecha de la reparación.

5.3 Almacenamiento y manejo de productos quimicos

Muchos criterios determinan la elección de un sitio para almacenamiento de productos químicos para fluoruración: Los productos químicos en seco deben mantenerse en seco y acomodados a la tolva. De preferencia deben estar aislados de otros productos químicos para tratamiento del agua para así evitar que se mezclen por accidente, el sitio de almacenaje debe estar limpio y bien ventilado, y estar equipado con agua corriente y de desague en el piso para facilitar la limpieza de los derrames.

Los compuestos de fluoruro en seco, es decir, fluoruro de sodio y fluorsilicato de sodio, tienen tendencia a compactarse o endurecerse cuando son expuestos a la humedad o cuando los sacos son apilados en demasiada altura. Pueden presentarse condiciones similares por largos períodos de almacenamiento, de manera que debe evitarse un sobrealmacenamiento de productos químicos. Almacene los fluoruros en seco en plataformas, de preferencia en pilas de no más de seis sacos de altura. Si se utilizan tambores de fibra, mantenga la parte superior cerrada para evitar la absorción de humedad. No permita al personal no autorizado, especialmente niños, en secciones en que se alimente o almacene productos químicos de fluoruro.

Cuando los sacos de fluoruro se tratan en forma descuidada o si se vacía las bolsas muy rápidamente, los niveles de polvo de fluoruro llevados por el aire pueden llegar a ser bastante peligrosos. No lance las bolsas. Al abrir las bolsas, corte parejo a través de la parte superior para evitar así desgarrar los costados. Con cuidado vierta el contenido de las bolsas dentro de la tolva de alimentación. No avente la bolsa vacía. Una buena ventilación es

indispensable en las zonas de trabajo, incluso si no hay polvo a la vista.

La eliminación de los contenedores de fluoruro vacíos ha sido siempre un problema. (No vuelva a usar los contenedores de fluoruro vacíos! La tentación de volver a usar los tambores de fibra es fuerte, ya que éstos son convenientes y macisos. Las bolsas de papel son polvorientas y pueden causar peligro si se queman. El mejor método, es lavar todos los contenedores vacíos con abundante agua - incluso las bolsas de papel son lo suficientemente fuertes como para resistir repetidos enjuagues. Después que se haya borrado toda traza de fluoruro, debe eliminarse las bolsas en forma apropiada. Averigue en la división de deshechos sólidos del Programa de Protección Ambiental de su estado, sobre el sistema correcto de cómo eliminar este material. Suponiendo que los tambores se han enjuagado en forma meticulosa, nunca deben volver a usarse, ya que las trazas de fluoruro presentan un peligro permanente. Si es posible, la zona de almacenamiento debe quedar cerrada con candado y no utilizarse para ningún otro propósito. A los trabajadores se les debe advertir en forma especial que no coman en la zona de almacenamiento de fluoruro.

El ácido fluorsilícico presenta problemas específicos para el almacenamiento porque sus vapores son corrosivos y son capaces de hasta deteriorar el vidrio. Los contenedores deben mantenerse herméticamente cerrados y con ventilación hacia el exterior. Las cantidades grandes de ácido se pueden almacenar en tanques subterráneos o en tanques cerrados donde haya extractores de aire. El ácido al 30% tiene su punto de congelación a los 4 grados F. El ácido al 100% se congela a los -4 grados F. No almacene contenedores de ácido fluorsilícico al calor del sol porque los contenedores pueden acumular presión hidrostática, o en áreas desprotejidas durante el invierno donde quedan sujetos a congelación.

El ácido fluorsilícico debe almacenarse en áreas bien ventiladas, bastante alejado de interruptores, contactos y paneles de control. Aunque el ácido viene de fábrica en tambores de polietileno, algunos proveedores continúan despachándolo en tambores revestidos de acero que pueden presentar problemas de filtración. Limpie inmediatamente todos los derrames.

Cuando se adquiere ácido fluorsilícico al por mayor se necesita de tanques para su almacenamiento. Los tanques volumétricos de almacenaje se pueden fabricar de fibra de vidrio (revestidos con resina epoxi), polietileno o acero revestido de caucho. El polietileno debe ser manufacturado con material de alta densidad entrelazado en forma transversal (el entrelazado transversal le da resistencia). El plástico debe contener un minimo de 0,25% de estabilizador de radiación ultravioleta a fin de protegerlo de la luz. Los tanques de almacenamiento de polietileno son aún relativamente nuevos - de manera que la longevidad del tanque está aún por determinarse. Para el almacenaje del ácido fluorsilícico al por mayor se utilizan tanto los tanques de fibra de vidrio como los de revestimiento de acero. Los tanques de fibra de vidrio por lo general duran alrededor de 7 a 10 años. Años atrás, los tanques de fibra de vidrio eran los más populares, luego lo fueron los tanques de acero y en la actualidad los tanques de volumen para almacenamiento fabricados en polietileno son los más comprados. Los tanques de acero siempre son revestidos con caucho. La mayoría de los recubrimientos se hacen de caucho natural, pero pueden hacerse de neopren o caucho butílico. El caucho butílico es el mejor, sin embargo es el de costo más elevado. Los tanques revestidos de caucho-acero tienen una duración de 20 años aproximadamente.

5.4 Cálculos para los sistemas de fluoruración

5.4.1 Generalidades

Previo al funcionamiento de cualquier sistema de fluoruración debe efectuarse algunos cálculos básicos. Estos cálculos pueden hacerse de diversas formas pero los resultados deben ser los mismos. En este manual se describe un método de cálculo; Ervin Bellack en su AManual Técnico de Fluoruración@ empleó otro. Muchos estados tienen

sus propios métodos individuales para hacer los cálculos básicos y por lo general todos son correctos. Algunos estados emplean atajos, tales como los ábacos, o constantes, para obtener los mismos resultados. La mayoría de los ingenieros y técnicos del país desarrollan su propio estilo. El presente material se ofrece como una forma de efectuar los cálculos básicos sobre fluoruración.

5.4.2 Nivel óptimo de fluoruro

Para encontrar el nivel óptimo de fluoruro se debe saber 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 5 años. El promedio de estas cinco temperaturas dará el promedio anual de la temperatura atmosférica máxima diaria para 5 años. Con esta información, la concentración óptima de fluoruro en el agua potable puede obtenerse del gráfico que se entrega más abajo:

Promedio anual de temp. atmosférica máxima diaria - °F*	**Concentración de fluoruro recomendada en milígramos 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

* Basado en los datos de temperatura obtenidos para un mínimo de 5 años.

En la mayoría de los estados los funcionarios oficiales de los programas de agua potable saben cuál debe ser el nivel óptimo de fluoruro para cada sistema de suministro de agua potable. Para las temperaturas por debajo de 50 grados emplee 1,2 mgL, y para temperaturas sobre 90,5 grados 0,7 mgL.

5.4.3 Dosificación

La unidad de expresión milígramos por litro , se emplea en el trabajo de laboratorio para indicar concentraciones muy pequeñas. Es una relación pesovolumen. Milígramos por litro (mgL) y partes por millón (ppm) son equivalentes en tanto el líquido que se emplea 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 mgL, se usan indistintamente. Mientras mgL es el término preferido, ppm es usado en muchos ejemplos para mayor claridad o por tradición .(Nota: El término Appm@ es una expresión no unitaria).

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

La dosificación expresada como milígramos por litro (mgL) 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 mgL y el nivel de fluoruro natural del agua que se desea fluorar es de 0,2 mgL, la dosificación es la siguiente:

Dosificación (mgL)	= Nivel óptimo (mgL) - Nivel natural (mgL,)
Dosificación (mgL)	= 1,2 mgL - 0,2 mgL
Dosificación	= 1,0 mgL

5.4.4 Coeficiente maximo de bombeo (capacidad)

Por lo general existe cierta confusión sobre los términos que se emplean para describir el caudal promedio en el diseño de los alimentadores de fluoruro. En este manual se emplearán tres términos: el coeficiente máximo de bombeo o capacidad de la planta, el coeficiente promedio de producción diaria y la producción real por día.

El coeficiente máximo de bombeo o capacidad de la planta, se refiere a la cantidad máxima de agua que se puede producir. La capacidad de una planta de agua puede medirse 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, la zona de los filtros, etc. (Hay algunos ejemplos donde puede haber una diferencia entre el coeficiente máximo de bombeo y la capacidad de la planta).

Es importante observar de que el tamaño de un alimentador de fluoruro está basado en el promedio de flujo máximo en el punto de inyección - referido en este manual como el coeficiente máximo de bombeo o capacidad de la planta.

Este es el coeficiente máximo de bombeo o capacidad de la planta que debe emplearse para determinar el porcentaje de alimentación de fluoruro. El fluoruro debe añadirse en una proporción correcta para elevar el fluoruro al nivel óptimo, sin considerar cuántas horas diarias la planta funciona ya que el alimentador de fluoruro funciona sólo cuando hay flujo en el punto de inyección del fluoruro.

El porcentaje promedio de producción diaria es la cantidad promedio de agua producida basándose en un día. El porcentaje promedio de producción de una planta en MGD, puede usarse para estimar los costos de los productos químicos. El grado de producción diario promedio de una planta de agua es bastante más bajo que la capacidad de la planta.

La producción diaria real es la cantidad de agua que se ha tratado o producido en realidad durante un período de 24 horas. Se usa para determinar la dosificación calculada. Por lo general existe una diferencia entre el coeficiente máximo de bombeo o capacidad de la planta y la cantidad real de agua que la planta trata cada día. Una planta puede operar a una capacidad de aproximadamente 700 gpm ó 1,0 MGD, sin embargo, si la planta sólo funciona 12 horas por día, tratará solamente 0,5 MGD. En este caso, la capacidad sería 1 MGD y la producción diaria real sería de 0,5 MGD.

Para los efectos de simplicidad, el valor de la producción en gpm puede convertirse a MGD al multiplicar por el número de minutos en un día. (Observe: gpd = galones por día).

700 gpm x 1440 minutosdía = 1.008.000 gpd

1.008.000 gpd 1.000.000 = 1.008 MGD

5.4.5 Pureza de los productos quimicos y disponibilidad en concertaciones de ino fluoruro (AFI)

Se sabe muy bien que es el ión fluoruro el que proporciona los beneficios dentales. Varios de los compuestos químicos que se emplean hoy en día forman iones de fluoruro en una solución de agua y éstos también cumplen con las normas de calidad del agua. Por cada químico, el ión fluoruro se une a otros químicos, tales como sodio, sílice, etc., por lo tanto, sólo una porción de los químicos está disponible como un ión fluoruro cuando éste se disuelve en el agua. Los químicos utilizados en fluoruración no son 100% puros cuando vienen de la fábrica. El siguiente gráfico entrega la concentración de ión fluoruro disponible (AFI) y es la pureza más común para los tres químicos que se emplean por lo general para fluoruración de los sistemas de agua:

Producto Químico	Fórmula	Pureza %	Concentración de Ión Fluoruro Disponible (AFI)
Fluoruro de Sodio	NaF	98,0	0,452
	Na	98,5	0,607
Fluorsilicato de Sodio	$_2 SiF_6$	23,0	0,792
Acido Fluorsilícico	$H_2 SiF_6$		

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

% de fluoruro disponible = F- x % pureza comercial

% de fluoruro disponible = 0,45 x 0,98

% de fluoruro disponible = 0,44

La concentración del ión fluoruro disponible está abreviada como AFI en los cálculos que siguen.

5.4.6 Proporción de alimentación de fluoruro

En un sistema de suministro de agua el ajuste del nivel de fluoruro a un nivel óptimo se efectúa agregando la concentración apropiada de un químico de fluoruro en una proporción coherente. Para calcular la proporción de alimentación de fluoruro en cualquier alimentador de fluoruración en términos de libras de fluoruro a alimentarse por día, es necesario determinar la dosificación, el coeficiente máximo de bombeo (capacidad), la pureza química y la concentración disponible de ión fluoruro como se expuso previamente.

La fórmula de la proporción de alimentación de fluoruro es una ecuación general que se emplea para calcular la concentración de un químico añadido al agua. Se empleará para todos los productos químicos fluorados excepto con el fluoruro de sodio cuando se utiliza en un saturador. (Note: Como se afirmó en la sección 5.4.3, mgL es lo mismo que ppm). La fórmula para la proporción de alimentación de fluoruro (la cantidad de químico requerido para elevar el contenido de fluoruro al nivel óptimo) es como sigue:

$$\text{Proporción Alimentación de Fluoruro (lbdía)} = \frac{\text{dosificación(mgL)x capacidad(MGD)x8,34 lbsgal}}{\text{AFI x pureza química}}$$

Si la capacidad es en MGD, la proporción de alimentación de fluoruro será en libras por día. Si la capacidad es en gpm, la proporción de alimentación será en libras por minuto si un factor de 1 millón está incluído en el denominador. (Nota: Vea la página anterior en donde gpm es convertido en MGD):

Si la capacidad es en MGD, la proporción de alimentación de fluoruro será en libras por día. Si la capacidad es en gpm, la proporción de alimentación será en libras por minuto si un factor de 1 millón está incluído en el denominador. (Nota: Vea la página anterior en donde gpm es convertido en MGD):

$$\text{Proporción Alimentación de Fluoruro (lb.min)} = \frac{\text{dosificación(mgL)xcapacidad(MGD)x8,34 lbsg}}{\text{1.000.000 x AFI x pureza química}}$$

5.4.7 Problemas (proporción de alimentación de fluoruro)

En seguida se presenta algunos ejemplos para determinar la proporción de alimentación de fluoruro:

A. Fluorsilicato de sodio

Ejemplo 1: Una planta de agua produce 2.000 gpm y la ciudad quiere agregar 1,1 mgL de fluoruro. **)**Cuál sería la proporción en alimentación de fluoruro?

2.000 gpm x 1440 minutosdía = 2.880.000 gpd

2.880.000gpd 1.000.000 = 2,88 MGD

$$\text{Proporción de Alimentación de Fluoruro (lbdía)} = \frac{\text{1,1 mgL x 2,88 MGD x 8,34 lbsgal}}{\text{0,607 x 0,985}}$$

Proporción de Alimentación en Fluoruro = 44,19 lbdía

Proporción de Alimentación en Fluoruro = 44,19 lbdía

La proporción de alimento de fluoruro es de 44,19 libras por día. Algunos promedios de alimentación que se

pueden apreciar en los datos que registró el equipo de diseño, están dados en gramosminuto. Para convertir a gramosminuto, divida por 1440 minutosdía y multiplique por 454 gramoslibra.

Proporción de Alimentación Fluoruro (gmmin.) = 44,19lbdía dividido por 1440 mindía x 454gmlb

Proporción de Alimentación Fluoruro = 13,9gmmin

Ejemplo 2: Una planta de agua produce un promedio diario de 695 gpm y la ciudad desea que el nivel de fluoruro en el producto final sea de 1,0 mgL. El nivel de fluoruro natural es menor que 0,1 mgL. Encuentre la proporción de alimentación de fluoruro empleando fluorsilicato de sodio:

a) Convierta el promedio de la planta a MGD

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

b) Encuentre la proporción de alimentación de fluoruro

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (lbsdía)} = \frac{\text{dosificación (mgL x capacidad(MGD) x 8,34 lbsgal}}{\text{AFI x pureza química}}$$

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro(lbsdías)} = \frac{1{,}0 \text{ mgL x MGD x 8,34 lbsgal}}{0{,}607 \times 0{,}985}$$

Proporción de Alimentación Fluoruro = 13,95 lbsdías

Por lo tanto, se necesitan cerca de 14 lbs. de fluorsilicato de sodio para tratar 1,0 MG de agua con una concentración de 1,0 mgL de fluoruro. A veces la proporción de fluoruro a alimentarse debe darse en pies cúbicos por hora. Un pie cúbico de fluorsilicato de sodio pesa alrededor de 75 lbs.; conversión a pies cúbicos por hora:

Proporción Fluoruo a Alimentarse ($pies^3$ hr) = 13,95 lbdía 75 $lbpies^3$ 24 hrsdía

Proporción Alimentación Fluoruro = 0,0078 $pies^3$ hora

B. Acido Fluosilicico

Ejemplo 1: Si se sabe que el promedio de la planta es de 4.000 gpm y la dosificación que se necesita es de 0,8 mgL, **)**Cuál es la proporción de alimentación de fluoruro en mlmin para 23% de ácido fluorsilícico?

$1.000.000 = 10^6$

$$\text{Proporción Alimentación de Fluoruro (lbs/min)} = \frac{\text{dosificación (mg/L) x capacidad(gpm) x 8,34 lbs/gal}}{\text{106 x AFI x pureza química}}$$

$$\text{Proporción Alimimentación Fluoruro (lbs/min)} = \frac{\text{0,8 mg/L x 4000 gpm x 8,34 lb/gal}}{\text{106 x 0,79 x 0,23}}$$

10^6 x 0,79 x 0,23

Proporción de Alimentación de Fluoruro = 0,147 lbmin.

Un galón de 23% de ácido fluorsilícico pesa 10 libras (Ver tabla 2 -2) y hay 3785 ml por galón. La siguiente fórmula puede emplearse para convertir el promedio de alimentación en mlmin.:

Proporción Alimentación Fluoruro (mlmin) = 0,147 lbmin dividido por 10 lbgal x 3785ml

Proporción Alimentación Fluoruro = 55,6 mlmin

Ejemplo 2: **)**Cuál es la proporción de alimentación de fluoruro si el promedio de la planta es 1,0 MGD), el nivel de fluoruro natural es 0,2 mgL, y el nivel de fluoruro deseado es 1,2 mgL, para 23% ácido fluorsilícico?

Ejemplo 2: **)**Cuál es la proporción de alimentación de fluoruro si el promedio de la planta es 1,0 MGD), el nivel de fluoruro natural es 0,2 mgL, y el nivel de fluoruro deseado es 1,2 mgL, para 23% ácido fluorsilícico?

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (lbsdía)} = \frac{\text{dosificación (mgL) x capacidad (MGD) x 8,34 lbgal}}{\text{AFI x pureza química}}$$

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (lbsdía)} = \frac{\text{(1,2 - 0,2)mgL x 1,0 MGD x 8,34 lbsgal}}{\text{0,79 x 0,23}}$$

Proporción de fluoruro a alimentar = 45,9 lbdía

De este modo, se necesita 45,9 lbs. de 23% de ácido fluorsilícico para tratar 1,0 MG de agua a una concentración de 1,0 mgL de fluoruro.

C . Fluoruro de Sodio

Ejemplo 1: Si una planta pequeña desea emplear fluoruro de sodio en un alimentador en seco y la planta de agua tiene una capacidad (flujo) de 180 gpm, **)**Cuál sería la proporción de alimentación de fluoruro? (Nota: El CDC recomienda no emplear fluoruro de sodio en un alimentador en seco). Suponga que se desea 0,1 mgL de fluoruro natural y 1,0 mgL es lo que se desea en el agua potable.

$$\text{Proporción Alimenentación Fluoruro (lbsmin)} = \frac{\text{dosificac. (mgL) x capacidad (gpm) x 8,34 lbsgal}}{\text{10 x AFI x pureza química}}$$

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (lbsmin)} = \frac{\text{(1,0 - 0,1) mgL x 180 gpm x 8,34 lbsgal}}{10^6 \text{ x 0,45 x 0,98}}$$

Proporción Alimentación Fluoruro = 0,003 lbmin ó 0,18 lbhr

Proporción Alimentación Fluoruro = 0,003 lbmin ó 0,18 lbhr

De esta forma el fluoruro puede alimentarse en una proporción de 0,18 lbshr para obtener 1,0 mgL de fluoruro en el agua.

5.4.8 Proporciones de la alimentacion de fluoruro para saturador

Un saturador de fluoruro de sodio es único en en el sentido de que la concentración de la solución que forma es siempre 18.000 ppm. Esto se debe al hecho de que el fluoruro de sodio tiene una solubilidad prácticamente constante de 4,0 gramos por 100 milílitros de agua a temperaturas que por lo general se encuentra en el tratamiento del agua. Esto significa que cada litro de solución contiene 18.000 milígramos de ión fluoruro (40.000 mgL veces el porcentaje disponible de fluoruro - 45% - igual a 18.000 mgL).

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

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (gmp)} = \frac{\text{capacidad (gpm) x dosificación (mgL)}}{\text{18.000 mgL,}}$$

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

Para el perfeccionista, se da la siguiente derivación. De la página anterior:

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (lbmin)} = \frac{\text{dosificación (mgL) x capacidad (gpm) x 8,34 lbsgal}}{10^6 \text{ x AFI x pureza química}}$$

Para cambiar la proporción de fluoruro a alimentar desde libras de alimentación en seco a galones de solución, divida 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 lbgal

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (galmin)} = \frac{\text{capacidad (gpm)x dosificación (mgL) x 8,34 lbgal}}{10^6 \text{ x API x pureza química}}$$

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (galmin)} = \frac{\text{capacidad (gpm) x dosificación (mgL) x 8,34 lbgal}}{10^6 \text{ x 0,45 x 4\% x 8,34 lbgal}}$$

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (galmin)} = \frac{\text{capacidad(gpm) x dosificación (mgL)}}{10^6 \text{ x 0,45 x 0,04}}$$

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (gpm)} = \frac{\text{capacidad (gpm) x dosificación (mgL)}}{\text{18.000 mgL}}$$

5.4.9 Problemas (proporción de fluoruro a alimentar en saturador)

Ejemplo 1: Una planta de agua produce 1,0 MGD y tiene menos de 0,1 mgl de fluoruro natural. **)**Cuál sería la proporción a alimentarse en fluoruro para obtener 1,0 mgL en el agua?

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro(gpd)} = \frac{\text{capacidad(gpd) x dosificación (mgL)}}{\text{18.000 mgL}}$$

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (gpd)} = \frac{\text{1.000.000 gpd x 1,0 mgL}}{\text{18.000 mgL}}$$

Proporción de Alimentación en Fluoruro = 55,6 gpd

Por lo tanto, se necesita aproximadamente 56 galones de solución saturada para tratar 1 MG de agua a una dosis de 1,0 mgL.

Ejemplo 2: Suponga que una planta de agua pequeña tiene un flujo diario de agua potable de 180 gpm y el nivel natural de fluoruro es 0,1 mgL. Si se desea 1,0 mgX en el agua, **)**En qué propoción en mlmin debe alimentarse el fluoruro de sodio?

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (gpm)} = \frac{\text{capacidad (gym) x dosificación (mgL)}}{\text{18.000 mgL}}$$

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (gpm)} = \frac{\text{180 gpm x (1,0 - 0,1)}}{\text{18.000 mgL}}$$

Proporción de Alimentación en Fluoruro = 0,009 gpm

Para convertir a mlmin, multiplique por 3785 mlgal

Proporción Alimentación Fluoruro = 0,009 gpm x 3785 mlgal

Proporción de Alimentación en Fluoruro = 34,1 mlmin

De esta forma, el agua debe alimentarse con una solución de 34,1 mlmin de fluoruro de sodio para obtener 1,0 mgL de fluoruro. Tome nota de que este es el mismo problema visto como problema C en la página anterior. Para comparar cuánto fluoruro de sodio (seco) se emplea, cambie los 0,009 gpm de una solución de fluoruro de sodio

a lbhr de fluoruro de sodio. Hay 18,5 lbs. de fluoruro de sodio en 55,6 galones de una solución de fluoruro de sodio saturada.

$$\text{Proporción Alimentación Fluoruro (lbhr)} = \frac{0{,}009 \text{ galmin} \times 60 \text{ minhr} \times 18{,}5 \text{ lbs}}{55{,}6 \text{ gal}}$$

Proporción de Fluoruro a alimentar = 0,18 lbhr

Esta es la misma cantidad que se mostró en el Ejemplo 1 - Problema C en la página anterior.

5.4.10 Dosificación calculada

Algunos estados exigen que se mantenga registros sobre la cantidad de químicos empleados y que la concentración teórica de químicos en el agua se determine en forma matemática. Para encontrar la concentración teórica de fluoruro, debe determinarse la dosificación calculada. Al añadir la dosificación ya 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 una precaución de seguridad para ayudar a segurar que no se produzca una sobrealimentación o un accidente. Es asimismo una ayuda para solucionar problemas que necesitan asistencia técnica. Si la concentración teórica es significativamente mayor o menor que la concentración medida, deberá tomarse medidas para determinar la discrepancia.

La fórmula para proporcionar fluoruro en forma de una proporción puede cambiarse para encontrar la dosificación a calcularse como sigue:

$$\text{Dosificación (mgL)} = \frac{\text{Proporción Fluoruro Alimentado(lbsdía)} \times \text{AFI} \times \text{pureza química}}{\text{capacidad (MGD)} \times 8{,}34 \text{ lbsgal}}$$

Cuando la proporción de fluoruro a alimentarse se cambia a fluoruro alimentado y la Capacidad se cambia a Producción Real de Agua Diaria en el sistema de agua, la dosificación se convierte en la Dosificación Calculada: Las unidades siguen siendo las mismas, excepto que la Alimentación Fluoruro va de lbsdía a lbs. y la Producción Real va de MGD a MG (millones de galones) (se cancelan las unidades “día”). Nótese que la cantidad de fluoruro alimentado (lbs) será determinada en un período de tiempo (día, semana, etc.) y la Producción Real será determinada en el mismo período.

$$\text{Dosificación Calculada (mgL)} = \frac{\text{fluoruro alimentado (lbs)} \times \text{AFI} \times \text{pureza química}}{\text{producción real (MG)} \times 8{,}34 \text{ lbsgal}}$$

El numerador de la ecuación da las libras de fluoruro iónico agregado al agua, mientras el denominador da

millones de libras de agua tratada. Las libras de fluoruro divididas por millón de libras de agua, iguala a ppm o mgL.

La fórmula para la dosificación calculada en el saturador es la siguiente:

$$\text{Dosificación Calculada (mgL)} = \frac{\text{Solución Alimentada(gal)} \times 18.000 \text{ mgL}}{\text{producción real (gal)}}$$

La determinación de una dosificación calculada para una solución no saturada de fluoruro de sodio está basada en la potencialidad específica de la solución. Por ejemplo, una solución de 2% de concentración es igual a 9.000 mgL, un 1% de solución concentrada es igual a 4500 mgL, ó un 1,9% de concentración es igual a 8.550 mgL. El porcentaje de potencial está basado en las libras de fluoruro de sodio disueltas dentro de una cierta cantidad de agua.

Por ejemplo:

Si 6,5 lbs. de fluoruro de sodio son disueltas en 45 galones de agua: **)**Cuál es la solución porcentual?

45 gal x 8,34 lbsgal = 375 lbs. de agua

$$\frac{\text{6,5 lbs NaF}}{\text{375 lbs } H_2 0} = \text{1,7\% solución de NaF}$$

375 lbs H_2 0

Esto quiere decir que 6,5 lbs. de producto químico fluoruro disueltos en 45 galones de agua producirán un 1,7% de solución.

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

$$\text{Concentración de la Solución} = \frac{18.000 \text{ mgL} \times \text{potencial de solución (\%)}}{4\%}$$

Por ejemplo, suponga que 6,5 lbs. de NaR se disuelven en 45 galones de agua, como se ha dado anteriormente.

)Cuál sería la concentración de la solución?

El potencial de la solución es de 1,7% (ver arriba)

$$\text{Concentración de la solución} = \frac{18.000\ \text{mgL} \times \text{potencial de la solución (\%)}}{4\%}$$

$$\text{Concentración de la Solución} = \frac{18.000\ \text{mgL} \times 1{,}7\%}{4\%}$$

Concentración de la solución = 7.650 mgL

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

$$\text{Dosificación Calculada(mgL)} = \frac{\text{Solución alimentada(gal)x (mgL)}}{\text{producción real (gal)}}$$

(Nota: El CDC no recomienda el empleo de la solución no saturada de fluoruro de sodio en la fluoruración del agua).

5.4.11 Problemas en la dosificación calculada

A. Fluorsilicato de Sodio

Ejemplo 1: Una planta usa 65 lbs. de fluorsilicato de sodio en el tratamiento de 5.540.000 galones de agua en un día. **)**Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Dosificación Calculada(mgL)} = \frac{\text{Fluoruro alimentado(lbs)xAFIx pureza}}{\text{producción real (MG) x 8,34 lbsgal}}$$

$$\text{Dosificación Calculada (mgL)} = \frac{65 \text{ lbs} \times 0{,}607 \times 0{,}985}{5{,}540 \text{ MG} \times 8{,}34 \text{ lbsgal}}$$

Dosificación Calculada = 0,84 mgL

Ejemplo 2: Una planta emplea 26 lbs. de fluorsilicato de sodio en tratar 1.756.000 galones de agua. **)**Cuál es la dosificación a calcularse para esta planta?

$$\text{Dosificación Calculada(mgL)} = \frac{\text{Fluoruro alimentado(lbs)xAFI x pureza}}{\text{producción real (MG) x 8,34 lbsgal}}$$

$$\text{Dosificación Calculada (mgL)} = \frac{26 \text{ lbs} \times 0{,}607 \times 0{,}985}{1{,}756 \text{ MG} \times 8{,}34 \text{ lbgal}}$$

Dosificación Calculada (mgL) = 1,06 mgL

Ejemplo 3: Una planta de agua tiene una producción real de un valor de 0,8 MGD. Cuando se alimenta 10 lbs de fluorsilicato de sodio en un día, **)**Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Dosificación Calculada(mgL)} = \frac{\text{Proporción defluoruro alimentado(lbs) x AFI x pureza}}{\text{producción real (MG) x 8,34 lbsgal}}$$

$$\text{Dosificación Calcualda (mgL)} = \frac{10 \text{ lbs} \times 0{,}607 \times 0{,}985}{0{,}8 \text{ MG} \times 8{,}34 \text{ lbsgal}}$$

Dosificación Calculada = 0,9 mgL

B. Acido Fluosilicico

Ejemplo 1: Una planta emplea 43 lbs de ácido fluorsilícico para tratar 1.226.000 galones de agua. Suponiendo de que el ácido presente un 23% de pureza. **)**Cuál es la dosificación calculada?

Fluoruro alimentado(lbs)xAFIx pureza

Dosificación Calculada(mgL) =

producción real (MG) x 8,34 lbsgal

$$\text{Dosificación Calculada (mgL)} = \frac{43 \text{ lbs} \times 0{,}792 \times 0{,}23}{1{,}226 \text{ MG} \times 8{,}34 \text{ lbgal}}$$

Dosificación Calculada = 0,77 mgL

La dosificación calculada es 0,77 mgL. Si a esta dosis se le añade el nivel de fluoruro natural, entonces debe igualar el nivel de fluoruro natural en el agua potable.

Ejemplo 2: Una planta utiliza 898 lbs. de 23% de ácido fluorsilícico en el tratamiento de 17.058.000 galones de agua. **)**Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Dosificación Calculada (mgL)} = \frac{\text{Fluoruro alimentado (lbs)x AFI x pureza}}{\text{producción real(MG)x 8,34 lbsgal}}$$

$$\text{Dosificación Calculada(mgL)} = \frac{898 \text{ lbs} \times 0{,}792 \times 0{,}23}{\text{MG} \times 8{,}34 \text{ lbsgal}}$$

Dosificación Calcualda = 1,15 mgL

Por lo tanto, la dosificación calculada es 1,15 mgL

Ejemplo 3: Una planta de agua emplea un total de 2.800 lbs. de ácido fluorsilícico del 28% durante 4 días para fluorar 52 millones de galones de agua. **)**Cuál sería la dosificación calculada? El nivel de fluoruro natural es de 0,2 mgL.

$$\text{Dosificación Calculada(mgL)} = \frac{\text{Fluoruro alimentado(lbs) x AFI x pureza química}}{\text{}}$$

producción real (MG) x 8,34 lbsgal

$$\text{Dosificación Calculada(mgL)} = \frac{2.800 \text{ lbs} \times 0{,}792 \times 0{,}28}{52 \text{ MG} \times 8{,}34 \text{ lbsgal}}$$

Dosificación Calculada = 1,43 mgL

De esta forma, el nivel de fluoruro calculado es de 1,4 mgL, más el nivel natural de fluoruro, 0,2 mgI, o 1,6 mgL. Por supuesto que esto es muy alto, y si el nivel de fluoruro medido en el agua potable es 1,0 mgL, entonces la causa de la discrepancia debe ser descubierta.

C. Fluoruro de Sodio (En Seco)

Ejemplo 1: Una planta de agua alimenta fluoruro de sodio en un alimentador en seco. Emplea 5,5 lbs. del producto químico para fluorar 240.000 galones de agua. **)** Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Dosificación Calculada (mgL)} = \frac{\text{Fluoruro alimentado(lbs)x AFI x pureza}}{\text{producción real (MG) x 8,34 lbsgal}}$$

$$\text{Dosificación Calcualda(mgL)} = \frac{5{,}5 \text{ lbs} \times 0{,}45 \times 0{,}98}{0{,}24 \text{ MG} \times 8{,}34 \text{ lbsgal}}$$

Dosificación Calculada(mgL) = 1,2 mgL

D. Fluoruro de Sodio - Saturador

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

$$\text{Dosificación Calculada(mgL)} = \frac{\text{solución alimentada(gal)} \times 18.000\text{mgL}}{\text{producción real (gal)}}$$

$$\text{Dosificación Calcualda(mgL)} = \frac{10 \text{ galones} \times 18.000 \text{ mgL}}{200.000 \text{ galones}}$$

Dosificación Calculada = O,9 mgL

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

$$\text{Dosificación Calculada (mgL)} = \frac{\text{solución alimentada (gal)} \times 18.000 \text{ mgL}}{\text{producción real (gal)}}$$

$$\text{Dosificación Calculada(mgL)} = \frac{19 \text{ galones} \times 18.000 \text{ ppm}}{360.000 \text{ galones}}$$

Dosificación Calculada = 0,95 mgL

Ejemplo 3: Una pequeña planta de agua emplea fluoruro de sodio desde un saturador en una proporción de 1 galón por día y la planta trata 4.500 galones diarios. **)**Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Dosificació Calculada (mgL)} = \frac{\text{solución alimentada (gal)} \times 18.000 \text{ mgL}}{\text{capacidad (gal)}}$$

$$\text{Dosificación Calculada (mgL)} = \frac{1{,}0 \text{ gal} \times 18.000 \text{ mgL}}{4.500 \text{ gal}}$$

Dosificación Calculada = 4,0 mgL

E. Fluoruro de Sodio - Soluciones No Saturadas

Ejemplo 1: Una planta de agua agrega 93 galones diarios de solución de fluoruro de sodio al 2% para fluorar 800.000 galdía. **)**Cuál es la dosificación calculada?

$$\text{Concentración de solución(mgL)} = \frac{18.000 \text{ mgL} \times \text{potencial de solución (\%)}}{4\%}$$

$$\text{Concentración de solución (mgL)} = \frac{1.800 \text{ mgL} \times 0{,}02}{0{,}04}$$

Concentración de solución = 9.000 mgL

$$\text{Dosificación Calculada(mgL)} = \frac{\text{solución alimentada(gal)x concentración solución (mgL)}}{\text{producción real(gal)}}$$

$$\text{Dosificación Calculada(mgL)} = \frac{93 \text{ gal} \times 9.000 \text{ mgL}}{800.000 \text{ gal}}$$

Dosificación Calculada = 1,05 mgL

5.5 Aspecto químico de los análisis de fluoruro

5.5.1 Introducción

El análisis del fluoruro en el agua implica el determinar la cantidad de fluoruro presente en la solución sin tomar en cuenta el origen de ese ión. No existe un método capaz de distinguir el fluoruro natural del fluoruro agregado, de tal forma que el resultado de las pruebas de fluoruro será en términos de fluoruro total. (Pero recuerde que la prueba para el fluoruro total no incluye los fluoruros insolubles o los fluoruros orgánicos).

El método analítico debe ser preciso y altamente selectivo porque las concentraciones de fluoruro recomendadas para el agua potable son muy pequeñas. Los métodos basados en técnicas gravimétricas o volumétricas por lo general no son aplicables.

Hasta hace unos años, sólo los métodos colorimétricos eran apropiados para medir cantidades insignificantes de fluoruro. Hoy en día, el analista puede escoger el emplear la prueba específica de fluoruro por electrodo iónico en vez la prueba colorimétrica tradicional de fluoruro (SPADNS). Cualquiera de los dos métodos tiene la sensibilidad requerida, sin embargo el método por electrodo tiene mucho menos interferencias.

El Decreto de Seguridad para el Agua Potable determina rigurosas exigencias analíticas que se deben cumplir para los análisis de fluoruro. Estas pruebas de medición del fluoruro natural en el agua potable son para determinar los efectos a largo plazo en la salud. Empero, las pruebas diarias de niveles ajustados de fluoruro son pruebas operacionales o de monitoreo y no necesitan ser tan precisas. Por ejemplo, bajo el Decreto de Seguridad para el Agua Potable, las muestras para analizarse por análisis colorimétrico deben ser destiladas antes del desarrollo del color. Las pruebas operacionales diarias no necesitan ser destiladas.

5.5.2 Interfencias con el análisis de fluoruro

Las substancias que interfieren en el análisis del ión fluoruro se muestran en la Tabla 5-1. Como podemos ver, con el método colorimétrico (SPADNS) algunas de las interferencias ocurren en concentraciones muy bajas. Estas bajas concentraciones están definitivamente dentro del promedio que se da en las plantas de agua durante una operación normal. Sin embargo, en los sistemas de agua subterránea, la mayoría de las substancias de interferencia son moderadamente variables, de manera que es muy fácil darse cuenta de esta interferencia a través de los resultados de monitoreo diario. Sólo cuando las substancias de interferencia fluctúan mucho, como en los sistemas de agua en superficie, necesita considerarse el monitoreo diario del nivel de fluoruro, ya sea por el sistema de destilación o por el uso del método específico de electrodo iónico.

5.5.3 Compilación de muestras de fluoruro

La confiabilidad de un análisis en las concentraciones de fluoruro en una muestra de agua depende del método de compilación de muestras. Las muestras de agua deben ser representativas del agua a examinarse. En otras palabras, las muestras de agua deben compilarse en un punto donde el fluoruro se ha mezclado en su totalidad 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, primero debe dejarse correr el agua para vaciar la tubería de servicio y así obtener una muestra representativa de agua de la matríz.

En general, no es posible especificar los puntos apropiados de toma de muestras para un suministro de agua en particular. Lo importante es que las muestras para análisis exhiban el contenido de fluoruro del agua que se entrega al consumidor. Un posible punto de toma de muestras podría ser una llave de agua en la casa del operador de la planta, siempre que la casa del operador sea servida por el sistema de distribución del que se está tomando las muestras.

El operador de la planta debe tomar muestras de agua y someterlas a pruebas para determinar el porcentaje de fluoruro por lo menos una vez al día. En algunas localidades el operador debe efectuar estas pruebas más de una vez al día. Para determinar con qué frecuencia debe compilarse las muestras para las pruebas, diríjase a la oficina de programas de agua potable del estado.

El estado puede exigir todos los meses un cierto número de muestras de agua para someterlas a análisis de fluoruro. Estas son llamadas muestras de comprobación. (Se debe tomar una muestra de comprobación por lo menos una vez al mes). Al compilar tales muestras de agua, una buena práctica sería juntar dos muestras al mismo tiempo: una para ser sometida al laboratorio del estado y la otra para su análisis por el operador de la planta. La comparación de estos dos resultados puede verificar la exactitud o indicar la discrepancia en los resultados de las pruebas.

5.5.4 Método SPADNS para el análisis de fluoruro

El método colorimétrico o método fotométrico SPADNS está basado en una reacción que se produce al unir zirconio con tintura SPADNS-2, dando como resultado un compuesto con tinte (color cargado). (SPADNS es sodio 2- (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 reactora (muestra de agua más reactiva) varía de un rojo muy cargado en ausencia de fluoruro a un rojo luminoso cuando la concentración de fluoruro es elevada.

Los colores producidos por diferentes concentraciones de iones fluoruro son todos matices del rojo, y es casi siempre imposible detectar la diferencia de estos colores a simple vista. Para detectar las diferencias de colorido es necesario utilizar un fotómetro y de esta forma determinar la concentración de fluoruro en el suministro de agua. El fotómetro es un instrumento para detectar diferencias en colorido y consiste 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.

TABLA 5 - 1
SUBSTANCIAS DE INTERFERENCIA*

Concentración de la substancia en mgL para que pueda darse un error en más o menos 0,1 en 1,0 mgL de fluoruro

Substancias de interferencia	SPADNS	Electrodo
Alcalinidad ($CaC0_3$)	5.000 (-)	7.000 (+)
Aluminio (Al)	0,1 (-)**	3,0 (-)
Cloruro (Cl)	7.000 (+)	20.000 (-)
Hierro (Fe)	10(-)	200(-)
Hexametafosfato ($NaP0_3$)	1,0 (+)	50.000
Fosfato ($P0_4$)	16 (+)	50.000
Sulfato ($S0_4$)	200 (+)	50.000 (-)
Cloro	Debe retirarse completamente con	5.000
Color y Turbidez	arsenito Debe ser eliminado o compensado	-

* Asociación Americana de Salud Pública, Asociación Americana de Plantas de Agua Potable, Federación para el Control de la Contaminación del Agua, Métodos Estándar para la Inspección y Desechos del Agua, 18ava., Edición, 1992, ¨páginas 4-59 a 4-64.

** La cifra de más arriba es para una lectura inmediata.

Los procedimientos para utilizar el fotómetro en el análisis de la concentración de fluoruro de una muestra de agua, consisten en agregar un volumen medido de reactivo a un volumen medido de la muestra de agua, colocando una porción de la mezcla en una celdilla y ésta su vez en el instrumento, para determinar así la concentración de fluoruro en partes por millón (ppm) desde la balanza del instrumento.

El análisis de fluoruro del agua es una operación relativamente delicada por las cantidades mínimas envueltas y por desearse a la vez la mayor exactitud posible. Por estas razones, se deberá tomar las siguientes precauciones especiales con cualquiera de los procedimientos SPADNS:

- Asegúrese que la temperatura de la muestra estándar y la de la muestra de agua sea la misma, de preferencia alrededor de 20 grados (+ 1 grado) C. ó 68 grados F. Si la temperatura de la muestra estándar y la de la desconocida son diferentes, los resultados no darán una lectura correcta del contenido de fluoruro.

- Asegúrese que los objetos de vidrio no tengan picaduras ni rayaduras. En la prueba de fluoruro, la concentración de fluoruro a determinarse es extremadamente pequeña. Cualquier prueba de fluoruro es muy sensible a los pequeños residuos de los diversos compuestos químicos que pueden interferir. Es por esto, que es absolutamente necesario que las botellas colorimétricas y todos los objetos de cristal estén limpios. Para asegurarse de la exactitud de la prueba, se recomienda que ésta se repita como comprobación, utilizando los mismos cilindros graduados y botellas colorimétricas. La repetición de la prueba asegurará que los artículos de cristal estén libres de compuestos químicos que podrían interferir en el resultado de la prueba.

- Mida en forma precisa el reactivo (utilizar pipeta para SPADNS). - Si hay cloro presente, debe eliminarse empleándose una solución de arsénico. - Para estandarizar el equipo de prueba, emplee una solución estándar de fluoruro que tenga un contenido de fluoruro cercano al contenido que debe tener para la muestra que se está probando. Por ejemplo, si las muestras de la prueba de rutina tienen cerca de 1,5 ppm de fluoruro, se recomienda

obtener una solución estándar de fluoruro de 1,5 ppm y emplearse ésta en vez de una de 1,0 ppm.

- En las muestras de agua quizás la fuente de error más importante es la presencia de iones de interferencia. Ninguno de los métodos colorimétricos para fluoruro es totalmente específico y en variados grados, muchos de los otros iones que se encuentran en el agua afectan el análisis de fluoruro. Los reactivos están diseñados para eliminar los efectos de estos iones de interferencia o de minimizar los efectos tanto como sea posible. Sin embargo, si un abastecimiento de agua contiene gran cantidad de iones de interferencia, el reactivo puede que no sea capaz de minimizar los efectos de los iones interferentes para poder obtener una determinación precisa de la cantidad de fluoruro en el agua. Si las interferencias llegan a ser un problema, debiera considerarse el método del electrodo iónico.

El método SPADNS del análisis de fluoruro se puede aplicar en forma directa a muestras de fluoruro en un promedio de 0,1 a 2,0 ppm. Más allá de este margen, las diluciones deben efectuarse utilizando agua desiónizada para así obtener una medición precisa de la concentración de fluoruro. Las disoluciones deben efectuarse en forma cuidadosa.

5.5.5 Método por electrodo para el análisis de fluoruro

El método por electrodo es capaz de medir concentraciones de fluoruro desde 0,1 a 10 ppm. La principal ventaja del método por electrodo es que las muestras por lo general no necesitan de destilación para eliminar las interferencias.

La base para este método está en el electrodo del 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 del interior, los iones se mueven hacia el interior estableciendo un potencial de voltaje proporcional a la diferencia en concentración de fluoruro. Al reverso, cuando la concentración en el lado exterior es más baja que en el lado interior, se establece un potencial proporcional o un signo opuesto. En la mayoría de los electrodos de fluoruro, la solución interna es de cerca de 10 -3 molar en fluoruro, de forma que las concentraciones bajo 19 ppm resultan en lecturas de voltaje positivo. Algunos electrodos no contienen solución interna alguna pero el principio de operación es similar.

5.5.6 Monitores continuos

El monitor continuo es un aparato que monitorea automáticamente la concentración del ión fluoruro y entrega un registro continuo del nivel de éste. La ventaja de un registro continuo en un punto de control tal como en el análisis diario de fluoruro, es que el registro continuo dará a conocer la concentración de fluoruro en cualquier momento dado en vez de hacerlo cuando se toma la muestra. Este tipo de registro puede ser útil en responder a quejas sobre sub o sobrealimentación, así como en detectar variaciones en la concentración de fluoruro por causas no explicadas. Si el monitor está equipado con un sistema de alarma, éste puede alertar al operador acerca del mal funcionamiento del alimentador u otros problemas que afectan el nivel de fluoruro.

El monitor continuo es un aparato que monitorea automáticamente la concentración del ión fluoruro y entrega un registro continuo del nivel de éste. La ventaja de un registro continuo en un punto de control tal como en el análisis diario de fluoruro, es que el registro continuo dará a conocer la concentración de fluoruro en cualquier momento dado en vez de hacerlo cuando se toma la muestra. Este tipo de registro puede ser útil en responder a

quejas sobre sub o sobrealimentación, así como en detectar variaciones en la concentración de fluoruro por causas no explicadas. Si el monitor está equipado con un sistema de alarma, éste puede alertar al operador acerca del mal funcionamiento del alimentador u otros problemas que afectan el nivel de fluoruro.

CAPITULO SEIS:

MANTENIMIENTO

6.1 Introducción

Para percatarse de los beneficios totales de la fluoruración es muy importante que el suministro de agua potable se mantenga en forma estable al nivel óptimo de fluoruro en el suministro de agua potable. Para asegurar una alimentación constante de fluoruro, es esencial el mantenimiento apropiado del equipo de fluoruración. Esto incluye la mantención no sólo del alimentador de fluoruro, sino que también de todos los accesorios, de los conductos de alimentación y del equipo de prueba del laboratorio. La experiencia demuestra que la razón básica de niveles bajos o erráticos se debe a la operación y mantenimiento de baja calidad.

6.2 Alimentadores de fluoruro

El alimentador para fluoruro al igual que todo otro aparato mecánico, para que funcione en forma eficiente debe limpiarse y lubricarse. El programar un mantenimiento regular minimizará costosas averías y asegurará una duración prolongada del equipo. Los motores eléctricos por lo general vienen con un programa de lubricación, donde se destaca en forma importante el tipo, la cantidad y la frecuencia correcta de la lubricación. Las cajas de cambios deben mantenerse con el lubricante adecuado hasta el nivel prescrito, y todas las piezas móviles y superficies no pintadas de metal deben mantenerse limpias y libres de óxido. Si hay accesorios que necesiten engrase, deberá observarse el grado apropiado, la cantidad y la frecuencia de aplicación de éste.

Los mejores alimentadores de fluoruro operarán como está proyectado sólo si el mecanismo de medición se mantiene limpio y funcionando. Por lo tanto, los mecanismos de ambos deben exminarse en forma regular por si hubiera señas de desgaste o daño y las reparaciones y reemplazos deben efectuarse antes de que la máquina se averíe.

Los alimentadores en seco para fluorsilicato de sodio deben lubricarse regularmente al igual que otros alimentadores de productos químicos en seco, asegurándose así una duración prolongada. Sin embargo, a diferencia de muchos otros compuestos químicos de alimentación en seco, el fluorsilicato forma un ácido de 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. El ácido que se forma es corrosivo para las piezas metálicas del alimentador. Es por esto, que es importante limpiar y pintar en forma regular las superficies del alimentador en seco para así limitar la corrosión. Al pintar cualquier equipo de alimentación, siempre recuerde de cubrir el número de serie y de modelo con una cinta adhesiva, de tal manera que el alimentador o la bomba se puedan identificar. En forma ocasional es necesario limpiar el tanque de disolución, se puede formar un costra alrededor de los bordes.

En el pasado, muchas plantas tuvieron problemas para obtener el fluorsilicato de sodio adecuado. Se ha detectado que las plantas que cuentan con alimentador en seco del tipo rodillo, no pueden utilizar el fluorsilicato de sodio que contiene un agente de flujo libre ya que a través de los rodillos no se puede controlar el flujo de los productos químicos. Este plantas deben asegurarse que el producto químico que emplean no contenga el agente de fluído libre.

La mayoría de las bombas medidoras de fluoruro casi no necesitan mantenimiento. Muchas de las bombas pequeñas que en la actualidad se emplean en fluoruración son electrónicas y no necesitan mantenimiento. No obstante, la mayoría de las bombas todavía tienen engranajes bañados en aceite y necesitan mantenimiento. La falla más común de una bomba de medición de productos químicos es el agrietamiento del diafragma. La mayoría de las bombas tienen un cabezal de acrílico o de PVC en las que se puede observar el diafragma. Si una bomba que está utilizando ácido sufre del requebrajamiento del diafragma, debe retirarse el cabezal lo más pronto posible porque el ácido es altamente corrosivo para las piezas interiores. Los diafragmas no son caros y los repuestos deben tenerse a mano.

Los sistemas de alimentación que emplean ácido fluorsilícico presentan problemas especiales porque los gases del ácido pueden corroer el metal o dañar el vidrio. (Observación: Los gases del ácido HF son más livianos que el aire pero los gases de SiF_6 son más pesados que el aire). El sistema de alimentación de ácido debe ventilarse en forma apropiada, especialmente si el almacenamiento de ácido está en las cercanías de cualquier contacto eléctrico o la superficie de un medidor de vidrio. Puede aplicarse un sistema de ventilación simple, perforando dos orificios en la parte superior del tanque de almacenamiento (bombona) (Ver Capítulo 4). Un orificio puede utilizarse para conectar el entubado flexible para que haga de respiradero al exterior, mientras que el otro puede ser para la toma de la bomba medidora. Se hará un tercer orificio si el tanque de almacenamiento (bombona), se llena con una bomba de traslado. Es muy importante que estos orificios se sellen en forma hermética.

Cuando se adquiere alimentadores de fluoruro y equipo adjunto, éstos por lo general vienen con un catálogo de instrucciones yo lista de piezas. El folleto de instrucciones incluye información sobre mantenimiento y reparaciones, y la lista de piezas capacita al operador para escoger las piezas de repuesto cuando sea necesario. Si los folletos o listas se pierden, se puede obtener copias a través del fabricante del equipo o de su representante. El representante se sentirá feliz de sugerirle una lista de piezas de repuesto para tener a mano. Al contar con piezas disponibles se minimiza enormemente la extensión de un posible cierre de la planta debido a fallas en el equipo. En plantas de agua de mayor envergadura se considera como prudente el contar con un alimentador completo para surtirse de piezas de repuesto.

Las filtraciones en y alrededor del conducto de descarga de una bomba medidora son un fastidio y pueden afectar la cantidad de la solución de entrega y así resultar en niveles bajos de fluoruro. Las filtraciones o goteos son corrosivos y pueden producir daño al alimentador, los accesorios, o el equipo cercano, si es que no se les atiende con prontitud. Las filtraciones de soluciones fuertes dan como resultado la formación de depósitos cristalinos, que si se dejan aumentar pueden complicar la mantención de la limpieza. Una filtración en el conducto de succión de una bomba medidora se deja notar inmediatamente, afecta la entrega, y puede eventualmente llevar a una fricción por aire y la paralización de la alimentación.

Cada vez que se utiliza soluciones fuertes está presente la posibilidad de un aumento en la precipitación. En un sistema de alimentación de solución los precipitados en la cámara de bombeo del alimentador o en las válvulas de retención afectan el porcentaje de suministro e incluso pueden detener la bomba por completo. Los depósitos en los conductos de succión o de alimentación pueden acumularse hasta detener el flujo. Un revestimiento de materia no soluble en la base del saturador impide que el agua se filtre. Si los depósitos son el resultado del endurecimiento del agua, el ablandamiento del agua de reemplazo eliminará el problema. Si no se puede aplicar

ablandamiento, se necesita inspección frecuente y la eliminación de los depósitos. Aún, cuando el agua sea blanda, las impurezas empleadas en el producto químico y otros constituyentes minerales del agua pueden acumularse hasta el punto de obstruír las aberturas pequeñas y la alimentación se daña o se detiene.

Los tanques en los que se prepara las soluciones muestran invariablemente precipitados de las impurezas insolubles del producto químico utilizado o de compuestos insolubles formados por la reacción del producto químico con los constituyentes minerales del agua. Si se utiliza un tanque aparte para preparar la solución y la capa flotante clara se traslada a un tanque diario, entonces los problemas se minimizaran pero no necesariamente quedan eliminados por completo.

Para la limpieza del saturador se debe fijar un plan. El tiempo de intervalo entre las limpiezas dependerá en la proporción del uso y de la acumulación de impurezas en el saturador.

Al preparar un saturador de flujo ascendente para su uso, deben seguirse las siguientes etapas:

A. Coloque los tubos del distribuidor en su lugar y retire el dispositivo de succión flotador, agregue de 200 a 300 libras de fluoruro de sodio directamente al tanque. Se puede utilizar cualquier tipo de fluoruro de sodio, desde el de cristal grueso al cristal fino pero el cristal fino se disolverá mejor. Puede utilizarse el fluoruro de sodio en polvo pero es preferible el tipo que viene en cristales.

B. Conecte la válvula de solenoide a una toma eléctrica y accione el suministro de agua. El nivel de agua debe alcanzar ligeramente bajo el punto de rebalse. Si no se da así, debe ajustarse el interruptor del nivel de líquido.

C. Reemplace el flotador de admisión y conéctelo al conducto de admisión del alimentador. El saturador queda ahora listo para utilizarse.

D. El nivel de fluoruro de sodio no disuelto puede determinarse observando a través de la pared translúcida del tanque del saturador. Cada vez que el nivel esté bajo, debe agregarse un máximo de 50 libras de fluoruro para asi evitar una carga excesiva que podría paralizar el sistema. Además, el tanque del saturador debe marcarse en el lado exterior (puede efectuarse con un “marcador mágico”), en las líneas de llenado máximo y mínimo.

E. Las aberturas del distribuidor de agua se supone que se mantienen limpias en forma automática y la acumulación de substancias insolubles y precipitados no constituyen un problema serio como lo es en un saturador de flujo descendente. Sin embargo, la limpieza periódica es necesaria aún. La frecuencia de limpieza se dicta por la intensidad de uso y la proporción de deshechos acumulados.

F. Como el saturador de flujo ascendente acumula una base más densa al fondo, presenta la posibilidad de extracciones más elevadas. Con 300 libras de fluoruro de sodio en el tanque del saturador se puede alimentar más de 15 galones por hora de solución saturada - un promedio suficiente para tratar cerca de 5.000 galones por minuto de agua a un nivel de fluoruro de 1,0 ppm.

G. El método para calcular la cantidad de fluoruro a alimentarse es el mismo para ambos

tipos de saturador. El promedio fijo de 2 gpm en el punto de la toma de agua se registra como satisfactoria para el medidor de 58“.

6.3 Laboratorio

El laboratorio o zona de prueba de fluoruro requiere de especiales precauciones en la limpieza. El polvo en los objetos de vidrio puede conducir a graves errores en los análisis. La suciedad en las pipetas u otros objetos de vidrio para medición puede llevar a errores en las mediciones de volumen y alterar el drenaje apropiado, resultando en el acarreo de soluciones de una muestra a la otra. En los análisis colorimétricos, los artículos de vidrio sucios impiden la determinación exacta del colorido ya sea en el método visual o fotométrico. Los equipos de prueba colorimétricos tienen normas permanentes para su mantenimiento; por la dificultad que presentan para limpiarlos, deben permanecer cubiertos mientras no se utilisen. Las botellas de reactivos, los amortiguadores y la solución estándar deben mantenerse herméticamente cerrados cuando no se están utilizando. La evaporación arruina los reactivos y los gases de ácidos pueden dañar los objetos cercanos. Los instrumentos de análisis deben estar siempre cubiertos mientras no se usen, ya que los vapores y el polvo pueden corroer las conexiones eléctricas, nublar los espejos y resultar altos gastos de repuestos o reemplazos del material.

El empleo de detergentes de base fosfatada para la limpieza de artículos de vidrio presenta un peligro por la interferencia potencial de los fosfatos en el análisis colorimétrico. Como el agua de la llave contiene fluoruro, es imperativo que todos los objetos de vidrio se enjuaguen con agua destilada con extremo cuidado.

La calidad del agua destilada debe comprobarse por mediciones de conductividad. Cuando se carece del equipo para este procedimiento se puede obtener ayuda de los departamentos de salud del estado. Los funcionarios de salud del estado a veces pueden verificar la calidad del agua destilada de una planta o también pueden proporcionar una muestra de agua destilada de buena calidad para su comparación. La comparación de los análisis de fluoruro del agua destilada de una planta con la suministrada por el estado, podría revelar una posible contaminación. Muchos laboratorios del departamento de salud del estado suministran asimismo una solución estándar de fluoruro para los propósitos de comprobación.

6.4 Mantenimiento preventivo

Con un buen programa de mantenimiento es posible prevenir las averías del sistema de fluoruración. En un programa de mantenimiento preventivo cada misión - tal como la limpieza del equipo o el reemplazo de las piezas desgastadas - se programa para efectuarse en forma periódica; de este modo la misión se cumple cuando debe cumplirse aunque el equipo esté funcionando en forma adecuada. Las instrucciones que vienen con el equipo explican el mantenimiento apropiado. La información puede utilizarse para confeccionar un programa simple para el mantenimiento de todo el equipo de fluoruración.

A continuación se muestra un ejemplo de un plan de mantenimiento preventivo:

EQUIPO	TRABAJO DE MANTENCION	PERIODICIDAD
Bomba de Medición	1. Desmontaje de bomba y reemplazo de piezas desgastadas.	1. Una vez al año

	2. Cambio de aceite de engranajes (excepto electrónico)	2. Después de la 2 a la 4 semana, cada 6 meses.
Saturador	1. Desague, desarme y limpieza	1. Cada 12 meses (o más según uso)
	2. Desarme y limpie precipitados de válvula de pié o colador succión, boquilla inyectora.	2. Cada 6 meses
	3. Desarme y reemplace piezas desgastadas del interruptor de sifonaje.	3. Cada 6 meses
Alimentadores en Seco	1. Limpieza minuciosa.	1. Una vez al año.
	2. Comprobar los engranajes y piezas desgastadas,etc.	2. Una vez al año.
	3. Lubricar y cambiar el aceite de los engranajes.	3. Una vez al año.
Anti-sifón	Desarmar y reemplazar las piezas desgastadas.	Una vez al año.
Boquilla de Inyección	Desarmar y limpiar	Una vez al año.

6.5 Localización de averías

Parece increíble que aunque un sistema de fluoruración esté sujeto a un buen programa de mantenimiento, éste puede dejar de funcionar. Cuando un sistema se avería, los niños de la comunidad quedan desprovistos de los beneficios de la fluoruración. Proteja a su comunidad observando las señales de alteración y corrija a tiempo los funcionamientos defectuosos. Los problemas en el sistema pueden aparecer cuando se efectúa un cambio en el equipo, un cambio en la cantidad de producto químico alimentado yo un cambio en el contenido de fluoruro del agua fluorurada.

Si es posible, inspeccione el equipo del sistema de fluoruración por lo menos una vez al día. Durante la inspección diaria, el equipo puede probarse para asegurar que éste parte y se detiene en forma adecuada. Al mismo tiempo, revise si hay señales de que el equipo no está operando en forma normal.

Una señal de que el equipo de fluoruración no está funcionando en forma normal sería cuando se detecta un sonido inusual o un cambio de sonido, un olor inusual o un olor que es más fuerte que lo usual, la emisión de calor fuera de lo normal que puede proceder de cualquier pieza del equipo yo vibraciones inusuales, filtraciones, goteos o charcos.

Para reconocer estos signos de perturbación, el operador debe saber cómo funciona el equipo cuando éste opera normalmente. Una vez que el operador tiene conocimiento de ésto, él o ella con seguridad notarán el cambio en forma rápida. En cualquier momento que algo se perciba diferente, sin dar importancia a la envergadura del cambio - póngale atención. No piense que eso pasará sino que investigue la causa. Puede ser una señal de que

algo está mal en el equipo.

Examine la bomba medidora mientras está en funcionamiento. Escúchela. ❱Está funcionando el motor? ❱Son normales los sonidos? - Si se presenta un sonido inusual, averigue qué lo produce. Toque la bomba, la armazón del motor (si no está muy caliente) y su montaje. ❱Hay algo que está más caliente de lo normal? ❱Está vibrando más de lo normal? Observe si hay filtraciones. Mire al rededor del cuerpo de la bomba, de los conductos de succión y descarga, el piso debajo de ellos, el punto de inyección y en todas las otras conexiones.

Si el sistema tiene saturador, pruebe el control del nivel de líquido (interruptor flotador, prueba del nivel de líquido) mientras la bomba del pozo esté operando. Empuje el flotador hacia abajo. La válvula de solenoide debe abrirse y permitir el paso del agua. Levante el flotador. La válvula solenoide debe cerrarse y no permitir el paso del agua. Levante la prueba de nivel de líquido. La válvula solenoide debe abrirse y permitir el paso del agua. Baje la prueba de nivel de líquido. La válvula solenoide debe cerrarse y no permitir el paso del agua. Algunos fabricantes tienen 5 minutos de atraso en los controles del nivel del líquido. Pruebe la bomba medidora. Desconecte la bomba del pozo, - ❱se desconecta la bomba medidora como es debido? Averigue si hay filtraciones en otras piezas del sistema de fluoruración.

Las instrucciones que vienen con el equipo de fluoruración dan información de cómo localizar las averías para así poder informarse de que parte está funcionando mal. Algunos fabricantes poseen excelentes gráficos para la localización de averías pero no cubren el sistema de fluoruración en su totalidad. El programa de suministro de agua del estado es también una buena fuente de información adicional para la localización de averías. Los ingenieros que trabajan para el estado saben con certeza de lo que puede funcionar mal en un sistema de agua. Están capacitados para aconsejar en forma práctica sobre cómo encontrar la causa de malos funcionamientos.

Por lo general, los problemas que se presentan en la operación de un sistema de fluoruración están relacionados con las lecturas bajas, altas o variables. Aunque una sobre o subalimentación ligera de fluoruro por períodos cortos no es de ninguna consecuencia grave real, tales variaciones deben investigarse, ya que pueden indicar problemas potenciales de naturaleza más grave.

Se puede señalar una variedad de problemas cuando la concentración de fluoruro determinada por análisis es consistentemente más baja que la determinada por cálculo. Si los cálculos son correctos y están basados en el peso preciso y las cifras de flujo, los problemas pueden ser por interferencia en el procedimiento de prueba del laboratorio. Si se emplea alumbre para floculación, quedarán vestigios de aluminio en el agua refinada; ésto puede interferir con el análisis colorimétrico e influír las lecturas en forma negativa. Un elevado contenido de hierro puede asimismo producir bajas lecturas si utiliza el método SPADNS. En raras ocasiones el cloruro y la alcalinidad interfieren también pero sus concentraciones tendrían que ser extremadamente altas.

Una causa frecuente de lecturas bajas es la sub-dosificación, debido a que el producto químico en la base del saturador no es del espesor adecuado o a una mezcla incompleta en el tanque de disolución. Los depósitos de producto químico no disuelto en el tanque de disolución de un alimentador en seco indican una mezcla incompleta. Esto puede deberse a la filtración inadecuada o velocidad inapropiada del flujo del agua de reemplazo. El fluoruro al estar disuelto, puede arrojar una lectura elevada. Asimismo, el añadir 100 libras de fluoruro de sodio a un saturador de una sola vez, temporalmente resultará en una concentración de fluoruro más elevada. Es por ésto, que es mejor agregar de a 50 libras cada vez.

Otra posible causa de lecturas bajas de fluoruro es su escazo grado de pureza. El ácido fluorsilícico tiene un grado de pureza bastante variable que puede ir desde un 20% a 30%. El fabricante por lo general especifica la pureza de un lote dado, pero si existe alguna duda, el ácido debe analizarse de acuerdo a las instrucciones que se

proporciona en el Estándar AWWA. El fluoruro de sodio y el fluorsilicato de sodio por regla general exhiben menos variación de pureza pero en ocasiones se produce un lote relativamente impuro.

Cuando se ha tomado una muestra del sistema de distribución y el nivel de fluoruro es bajo, se recomienda efectuar una prueba del agua no fluorurada que ingresa en cierto punto del sistema de distribucióm y diluír el agua fluorurada en la planta.

Se puede puntualizar la existencia de varios problemas si las pruebas de laboratorio indican una concentración de fluoruro consistentemente más elevada que la determinada por el cálculo.

Cuando se emplea el método SPADNS los polifosfatos pueden causar un error analítico en el sentido positivo. Este tipo de error puede comprobarse utilizando el método por electrodo o comparando los resultados con el departamento de salud local o estatal. Cuando no se elimina el cloro de la muestra de agua también se puede llegar a resultados elevados en los análisis colorimétricos.

Cuando no se considera el contenido natural de fluoruro en el agua bruta, se corre el riesgo de incurrir en una sobre-dosificación. Los suministros en superficie, demuestran tener una considerable variabilidad y deben analizarse diariamente, de manera que se pueda calcular la dosificación correcta. Si el suministro de agua proviene de pozos, la variabilidad es bastante menor, pero en el caso de una concentración de fluoruro mayor que la calculada, la posibilidad de contribución de un pozo con alto contenido de fluoruro debe examinarse.

El tipo de problema más difícil de resolver es cuanado se encuentra una concentración de fluoruro variable y los cálculos demuestran que el promedio de alimentación de fluoruro está siendo suministrado en la proporción exigida. Existe sin embargo, la posibilidad de verificar el alimentador de fluoruro. La verificación del promedio de entrega con mediciones de peso en intervalos cortos, revelará si el promedio de suministro del alimentador es constante.

Casi todos los factores que originan análisis de fluoruro altos o bajos en forma consistente, pueden de igual forma originar errores variables si la interferencia analítica, la pureza química, el fluoruro natural del agua o la totalidad de la solución química es variable. En el último caso, el fluorsilicato de sodio no disuelto, puede eventualmente integrarse a la solución después de que la cantidad de material no disuelto que se haya acumulado en algún punto de la tubería y un alimentador de solución pueda comenzar a extraer de un estrato concentrado, después de alimentarse desde un estrato diluído de un tanque de solucióm mezclado de manera inapropiada.

Una de las causas de variación del contenido de fluoruro en un sistema de agua tratada es la intrusión intermitente de agua no fluorurada en el sistema. Por lo general esta situación tiene lugar cuando las mediciones son establecidas y no se ha hecho intento alguno para fluorar separadamente el embalse. Cuando no se bombea agua en absoluto o la proporción bombeada es menor que la demanda, el agua fluye al sistema desde el embalse y como esta agua aún no ha sido fluorurada, se originarán lecturas de bajo fluoruro, en especial en los puntos de toma de muestras más cercanas al embalse. Eventualmente, al invertir los patrones de flujo mientras las bombas operan en forma intermitente, el contenido del embalse o depósito llegará a ser desplazado por el agua fluorurada. Sin embargo, ha habido casos en embalses de gran magnitud, ubicados al término del sistema de agua, donde ha tomado años antes de haber podido hacer un cambio completo del contenido del embalse. Cuando es posible, la solución obvia para este tipo de problema es el fluorar separadamente el embalse al momento que se inicia la fluoruración del sistema.

Ocurre una situación similar, cuando un tanque elevado u otra instalación de almacenamiento sólo pasa sobre

el sistema y su contenido rara vez entra en él, o en el mejor de los casos se produce apenas una ligera entremezcla. Los puntos de muestreo cerca del tanque tendrán diversas concentraciones de fluoruro - normal durante el bombeo y baja cuando el agua se está retirando del tanque. La solución es permitir que los contenidos del tanque desaguen dentro del sistema antes de que se inice la fluoruración y luego no rellenar el tanque hasta que todo el sistema esté al nivel óptimo de fluoruro.

Los niveles cíclicos de fluoruro se originan cuando el alimentador se opera en forma intermitente; cuando la capacidad se reduce empleando un controlador de ciclo y cuando hay insuficiente capacidad de almacenamiento entre el alimentador y los consumidores. El tiempo de detención en las matrices o en la instalación de almacenaje, entre el punto de alimentación y el primer consumidor, son factores importantes para proporcionar agua homogeneamente fluorurada.

Sin lugar a dudas, existen muchas otras posibles causas que originan niveles de fluoruro por debajo del óptimo, pero lo cierto es que el fluoruro no desaparece en las tuberías, ni es probable que éste se concentre en determinados puntos o llegue a ser filtrado por las incrustaciones en las matrices. A diferencia del cloro, el fluoruro no posee la habilidad de disiparse y aunque pareciera imposible, pequeñísimas cantidades se acumulan formando protuberancias en las tuberías; la extrema insolubilidad de estas formaciones previene la subsiguiente disolución. Los cálculos, por lo general están errados cuando existe una diferencia inexplicable entre la concentración de fluoruro calculada y la observada. Si los cálculos prueban ser exactos y ninguna de las posibilidades previas pueden aplicarse o eliminarse, el sentido común y un conocimiento del sistema individual deben capacitar al operador para localizar y corregir la causa del problema.

CAPITULO SIETE: SEGURIDAD

7.1 Introducción

Aunque el fluoruro al nivel de 1 ppm que se encuentra en los suministros de agua es un compuesto muy seguro, el operador puede estar expuesto a niveles mucho más elevados cuando maneja productos químicos. Es por esto que se recomienda en forma enfática el uso de un equipo de seguridad cuando se manipula compuestos de fluoruro o se efectúan trabajos de mantenimiento.

7.2 Productos químicos de fluoruro

Siempre utilice el equipo de seguridad al manejar productos químicos de fluoruro. A continuación se entrega una lista de la vestimenta y el equipo protector que se recomienda como mínimo para trabajar con cada uno de los productos químicos de fluoruro.

I. Fluoruro de sodio Fluorsilicato de sodio

1. Use vestimenta protectora.

    a. Un respirador de alta eficiencia NIOSHMSHA para polvo (máscara química) con sello de goma suave para el contacto de la cara y cartuchos reemplazables*

b. Gafas protectoras

c. Guantes de neoprén con puños altos (largo mínimo del guante, 12“)

d. Delantales de neoprén reforzados

e. Botas de caña alta

    Cuando se está manejando fluoruro de sodio o fluorsilicato de sodio simpre debe usarse la vestimenta protectora y ésta debe guardarse cerca de la entrada del área donde se almacena o manipula estos elementos. Esta ropa no debe usarse en otras partes de la planta de agua para evitar así esparcir el polvo de fluoruro de sodio. Maneje con cuidado las bolsas de estos químicos.

    2. No rasgue ni punze las bolsas cuando las mueva; para abrirlas use un cuchillo y haga un corte parejo.

    3. Vierta el fluoruro de sodio con suavidad dentro del saturador, de manera de levantar el menos polvo posible. Vacíe la totalidad del contenido de las bolsas abiertas.

    4. No almacene bolsas parcialmente llenas con fluoruro de sodio para un uso posterior.

5. Elimine las bolsas vacías como lo exije su estado.

    Después de manipular fluoruro de sodio, el equipo de fluoruración o su vestimenta protectora, lávese las manos de inmediato. Nunca coma, beba o fume en zonas en dónde se almacena y

utiliza fluoruro de sodio.

* NIOSHMSHA aprueba diversas máscaras. NIOSHMSHA evalúa cada marca para la utilización y condiciones propuestas.

II. Acido Fluorsilícico

1. Use vestimenta protectora.

    a. Guante con puño alto de neoprén (de un largo mínimo de 12")

b. Protector de cara completo de 8" yo gafas protectoras contra ácidos

c. Delantales reforzados de neoprén contra ácidos

    d. Ducha de seguridad y lavador de ojos en una ubicación de fácil acceso (o botella de 0,473 lts.de solución para lavado de ojos)

e. Botas

    2. Mantenga el ácido lejos de la ropa y de la piel; no inhale sus vapores al manipularlo.

3. Use una bomba de traslado para mover el ácido desde un contenedor a otro.

4. Limpie inmediatamente cualquier ácido derramado y lave la zona con agua.

5. Elimine los contenedores de ácido vacíos como lo exige el estado.

    6. Lávese las manos después de manejar ácido fluorsilícico, el equipo de fluoruración o su vestimenta protectora. Efectúe esto de inmediato, antes de hacer cualquier otra cosa.

    7. Nunca coma, beba o fume en secciones donde se almacena o utiliza el ácido

Debe usarse respiradores para productos químicos con cartuchos contra vapores de ácidos si la concentración es demasiado fuerte como para causar irritación en la nariz.

Se puede emplear cojines de control de derrames para limpiar porciones pequeñas de ácido fluorsilícico. El cojín absorve y retiene el líquido adentro porque éste contiene un absorvente de alta eficiencia; la "arena-espumosa" que es químicamente inerte y puede absorber hasta 10 veces su peso. En el comercio se encuentra estos cojines en diversos tamaños, tienen una capacidad absorvente de 1 a 4 litros.

El personal de la planta de agua debe recibir entrenamiento de seguridad en forma regular sobre todos los compuestos químicos, incluyendo el fluoruro. Debe revisarse y explicarse los accidentes y las medidas de primeros auxilios. Debe establecerse los procedimientos de emergencia para cuando se producen derrames y contar con personal entrenado para la ejecución de tales procedimientos.

Los registros de seguridad indican que el personal de las plantas de tratamiento de agua tiene uno de los más altos porcentajes de accidentes y lesiones de los Estados Unidos. Esta crónica negativa continuará hasta que los administradores y supervisores de las plantas insistan en un apropiado entrenamiento de seguridad y la utilización del equipo de seguridad.

7.3 Exposición al fluoruro

7.3.1 Exposición tóxica

Aunque se ha estudiado en forma exhaustiva y establecido con firmeza que el agua potable con niveles de fluoruro en la concentración recomendada de 1,0 ppm es segura y no da lugar a dudas, los niveles de fluoruro a los que el operador de la planta puede estar expuesto son potencialmente mucho más elevados. Para prevenir la sobre-exposición, la mejor medida de seguridad es el manejo adecuado de los compuestos químicos de fluoruro. Un manejo apropiado implica el conocimiento adecuado del material, la práctica de procedimientos correctos y el uso de equipo de seguridad.

Sin embargo, hay momentos en que el operador puede estar expuesto a una sobre-exposición de compuestos químicos de fluoruro, especialmente a los polvos. Estas sobre-exposiciones, ya sea que ocurran en el agua o en el aire son llamadas exposiciones tóxicas. Los dos tipos de exposiciones tóxicas son la exposición tóxica crónica y exposición tóxica aguda. Debe hacerse una clara diferencia entre exposición tóxica crónica por dosis elevadas de fluoruro durante varios años y la exposición tóxica aguda, que resulta por de dosis masiva única.

7.3.2 Exposición tóxica crónica

El único efecto tóxico por bajos niveles de fluoruro por un período prolongado (de 2 a 8 veces bajo el nivel óptimo) es el esmalte veteado en los dientes. Niveles más altos de absorción de fluoruro puede producir ósteoesclerosis, calcificación de los ligamentos y tendones, y fusión de las vertebras. La exposición crónica a polvos químicos de fluoruro, puede producir falta de apetito generalizada, náusea leve, cierta dificultad para respirar, estreñimiento, dolor en la región hepática y anemia.

Probablemente el mayor riesgo de exposición a compuestos químicos de fluoruro provenga de la inhalación del polvo que se genera al llenarse las tolvas del alimentador. A fin de evitar una sobre-exposición durante la operación de llenado, el operador debe usar un respirador efectivo que esté aprobado por NIOSH, un delantal protector y guantes de goma. El respirador debe contar con un sello de goma entre la cara y la máscara y con cartuchos reemplazables. Existen cartuchos tanto para el polvo como para los vapores de ácidos. La máxima concentración de polvo de fluoruro permitida en la zona (TLV) debe de ser de 2,5 mgm^3 de aire.

7.3.3 Exposición tóxica aguda

El envenenamiento agudo con fluoruro se produce por la absorción, inhalación o contacto corporal con compuestos concentrados de fluoruro. No se sabe mucho acerca del envenamiento agudo causado por la ingestión o inhalación, por no ser frecuente. La absorción accidental es improbable, pero puede ocurrir si al compuesto, en un descuido, se le confunde con azúcar o sal. También puede ocurrir si las áreas en que se consume alimento están contaminadas con polvo o derrames.

Los síntomas de envenenamiento agudo por inhalación de polvo o vapor, incluye dolores mordientes agudos en la nariz, seguidos por hemorragia nazal y tal vez tos o dificultad respiratoria. Estos síntomas, por lo general, comienzan cuando hay aproximadamente 10 mg. del químico por metro cúbico de aire. El derrame de ácido o sus salpicaduras, puede causar una sensación de picazón o ardor en la piel, o una severa irritación en los ojos.

Por lo general, la absorción de una sobredosis tóxica, causa vómitos, calambres estomacales y diarrea. Si el envenenamiento se debe a la absorción de grandes cantidades de fluoruro, el vómito puede ser blanco (o coloreado si el fluoruro contiene tinte), y la víctima puede experimentar debilidad muscular, dificultad para mover las articulaciones, perturbación en la distinción de los colores y sed. Las etapas finales de la intoxicación con fluoruro puede incluir pulso débil, inconciencia y convulsiones. La absorción de 5 a 10 gramos de fluoruro (como fluoruro de sodio) por 154 libras de peso puede ser fatal.

Las diversas funciones del organismo ayudan a prevenir que una dosis de fluoruro llegue a ser fatal. Primero; cuando se absorbe altos niveles de fluoruro, se presentan los síntomas iniciales de náusea severa y vómitos. Segundo; en niveles de absorción más bajos, los individuos con un equilibrio de fluoruro estable, excretarán fluoruro en un nivel aproximadamente igual a las concentraciones del agua.

7.3.4 Primeros auxilios para exposición tóxica aguda

Una vez que el envenenamiento con fluoruro se ha declarado, debe iniciarse el primer tratamiento mientras se espera al equipo médico. Los primeros auxilios recomendados para la absorción de una sobredosis de fluoruro tóxico están dados en la Tabla 7-1.

La primera ayuda recomendada para asistir a personas afectadas por fluoruros llevados por el aire (hemorragía nasal) es como sigue:

1. Retire la víctima de la zona expuesta;
2. Mantenga la víctima tranquila;

3. Coloque la víctima en posición sentada, si es posible inclinada hacia delante. Si eso no es posible, colóquela en posición reclinada con la cabeza y hombros levantados.

4. Aplique presión en forma directa, hacia la línea media, en la ventanilla de la nariz que está sangrando.

5. Aplique compresas frías en la nariz y cara de la víctima.

6. Si la hemorragia no puede controlarse por las medidas precedentes, introduzca un pequeño trozo de gaza limpia (que no sea algodón absorbente) dentro de una o ambas ventanillas nasales y aplique presión externa con los dedos pulgar e índice. Un extremo de la gaza debe quedar fuera de la ventanilla nasal, de manera que pueda retirarse más tarde.

Los primeros auxilios recomendados para salpicadura por ácido son los siguientes:

1. Tan pronto como sea posible, lave con gran cantidad de agua donde haya salpicado el ácido. Retire del área afectada la ropa de la víctima y continúe lavando por lo menos por 5 minutos.

2. Cuando hay quemadura de la piel, cubra la quemadura con una venda y solicite atención médica.

3. Cuando los ojos están afectados, lávelos de inmediato incluyendo párpados y cara. Manténgale los párpados abiertos y lave los ojos a lo menos por 15 minutos.

4. Después de un lavado en profundidad, cúbrale los ojos con un vendaje limpio, seco y protector; manteniéndole el vendaje en los ojos, traslade la víctima al médico.

5. Todas las lesiones oculares necesitan de atención médica. Las lesiones en los ojos, aunque sean aparentemente leves, pueden dejar los ojos vulnerables a infecciones y llevar a la ceguera.

Recuerde de que el ácido fluorsilícico puede neutralizarse con bicarbonato de sodio (soda para hornear). De esta forma, los derrames que no pueden lavarse, pueden neutralizarse.

Observación: Cuando las medidas tomadas para asistir a una víctima de exposición tóxica de fluoruros llevados por el aire no produjeran efecto positivo y la hemorragia continuara, se debe recurrir a la asistencia médica.

TABLA 7-1
TRATAMIENTO DE EMERGENCIA POR ABSORCIÓN DE SOBREDOSIS DE FLUORURO

Milígramos de ión fluoruro	Tratamiento
Menos de 5,0 mgkg* (226 mg100 lb)	1. Administre calcio por vía oral (leche) para aliviar síntomas gastrointestinales. Observe por unas horas. (Nota: Debe mantenerse siempre una lata de leche evaporada a mano; es de larga duración. 2. No es necesario provocar vómitos
Sobre 5,0 mgkg	1. Ubique a la víctima lejos de cualquier contacto con fluoruro y mantengala abrigada. 2. Si la victima está consciente, provóquele vómito frotando la parte de atrás de la garganta con una cuchara o su dedo. También puede administrasele jarabe de ipecacuana. Para impedir la aspiración del vómito, la persona debe colocarse cara abajo con la cabeza más abajo que el cuerpo. (El vómito inducido es contraindicado para pacientes que sufren de reflejo de vacío (6 meses de edad), del Síndrome de Down o retardo mental severo. La entubación endotraquial debe efectuarse antes del lavado gástrico). 3. La víctima de tomar un vaso de leche o cualquier tipo de calcio soluble (5% de gluconato de calcio o solución de lactato de calcio). 4. Transporte a la víctima al hospital tan pronto como sea posible.

* Promedio pesoedad: 1-2 años = 15 kg; 4-5 años = 20 kg; 6-8 años = 23 kg.

7.4 Procedimientos de emergencia en caso de sobrealimentación

7.4.1 Introducción

Cuando una comunidad está fluorando su agua potable, existe siempre un potencial latente de sobrealimentación. La mayoría de las sobrealimentaciones no son de graves consecuencias (pero de

ben ser corregidas). Por ejemplo, si el nivel óptimo de fluoruro en una comunidad es de 1,0 ppm, y por sobrealimentación a través de varios años, alcanzó a 2,0 ppm, aparecerá una fluorosis muy suave en unas pocas personas. Se puede aceptar niveles más altos de fluoruro por períodos breves sin ningún tipo de efecto adverso. (Ver Tabla 7-2). Como se comentó con anterioridad, en una escuela rural en Seabrook, Carolina del Norte, por doce años, el nivel de fluoruro fue ajustado a siete veces más alto del nivel óptimo y no se presentó ningún caso de fluorosis inaceptable. De este modo, el peligro de sobrealimentación aunque siempre presente, no debe exajerarse.

TABLA 7 - 2
ACCIONES RECOMENDADAS EN CASO DE SOBREALIMENTACION DE FLUORURO

Si es contenido de Fluoruro (MGL) es:	**Siga las siguientes recomendaciones:**
0,5 Sobre el óptimo de 2,0	1. Deje el sistema de fluoruración funcionando. 2. Determine qué funciona mal y repárelo.
2,0 a 4,0	1. Deje el sistema de fluoruración funcionando. 2. Determine qué funciona mal y repárelo 3. Avise a su supervisor NombreTeléfono e informe del incidente al condado u oficinas estatales apropiadas. NombreTeléfono
4,0 a 10,0	1. Determine qué funciona mal y trate de reparar de inmediato. 2. Si el problema no se detecta y corrige rápidamente, cierre el sistema de fluoruración. 3. Avise a su supervisor NombreTeléfono e informe del incidente al condado u oficinas estatales apropiadas. NombreTeléfono 4. Tome muestras de agua en diversos puntos del sistema de distribución y efectúe prueba del contenido de fluoruro. (Guarde parte de las muestras de agua no empleadas). 5. Determine qué funciona mal y repárelo. Luego con la autorización del supervisor ponga en marcha el sistema de fluoruración.
10,0 ó más elevado	1. Cierre de inmediato el sistema de fluoruración. 2. Avise a su supervisor NombreTeléfono e informe del caso inmediatamente al condado y Oficinas estatales apropiadas NombreTeléfono y siga sus instrucciones. 3. Tome muestras de agua en distintos puntos del sistema de distribución y efectúe prueba del contenido de fluoruro. Guarde una muestra para que el laboratorio estatal realize examenes. 4. Repare mal funcionamiento. Poner en marcha sistema con autorización de supervisor

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	=	Centírnetro cúbico
ccmin	=	Centímetro cúbico por minuto
CDC	=	Centros para el Control y Prevención de Enfermedades
cf	=	Pies cúbicos por hora
DC	=	Corriente Contínua
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
fthr	=	Pies cúbicos por hora
ftseg	=	Pies por segundo
gr	=	Gramo
grlb	=	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
hrdía	=	Horas por día
Hz	=	Hertz

in = Pulgadas
kg = Kilógramo
$Kgcm^2$ = Kilógramo por centímetro cuadrado
l = Litros
lbs = Libras
lbscf = Libras por pie cúbico
lbsdía = Libras por día
$lbsft^3$ = Libras por pie cúbico
lbsgal = Libras por galón
lbshr = Libras por hora
lbsmin = Libras por minuto
LCI = Químicos Unidos Lucier
lmin = Litros por minuto
lhr = Litros por hora
mA = Miliamperio
max = Máximo
MCL = Nivel Máximo de Contaminación
m = Milígramo
mgm^3 = Milígramos por metro cúbico
MG = Millón de galones
MGD = Millón de galones por día
mgL = Milígramos por litro
min = Minuto
mindía = Minutos por día
ml = Milílitro
mlgal = Milílitros por galón
mlmin = Milílitros 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 Intvestigación de Stamford

SS = Acero inoxidable

TLV = Punto de partida del promedio del nivel

USEPA = Oficina de Protección Ambiental de Estados Unidos

V = Voltios