

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN REGIONAL DE CARRERAS  
AGRONÓMICAS**

**MONOGRAFIA**

**MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA  
POTABLE POR FLUORACIÓN**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TITULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**PRESENTA**

**C. LUCIANO ERNESTO ALANÍS ADAME**

**ASESOR**

**MC. HUGO AGUILAR MÁRQUEZ**

**TORREON, COAHUILA**

**MARZO DEL 2003**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA

“MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA  
POTABLE POR FLUORACIÓN”

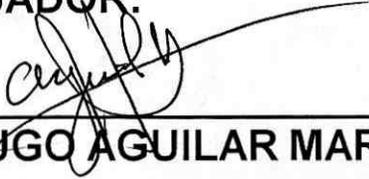
PRESENTADA POR:

C. LUCIANO ERNESTO ALANIS ADAME

MONOGRAFÍA QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL  
H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES  
COMITÉ EVALUADOR:

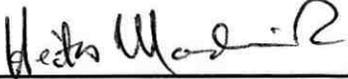
PRESIDENTE:

  
M.C. HUGO AGUILAR MARQUEZ

VOCAL:

  
M.C. JOSE LUIS REYES CARRILLO

VOCAL:

  
DR. HECTOR MADINAVEITIA RIOS

VOCAL SUPLENTE:

  
ING. NORMA L. ORTIZ GUERRERO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS  
AGRONOMICAS

  
ING. ROLANDO LOZA RODRIGUEZ



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA**

**TESIS ELABORADA POR LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ  
PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:**

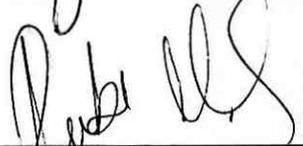
**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**COMITÉ ASESOR:**

**ASESOR PRINCIPAL:**

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. HUGO AGULAR MÁRQUEZ**

**ASESOR:**

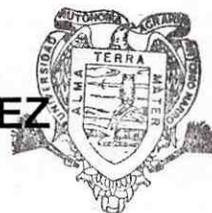
  
\_\_\_\_\_  
**ING. RUBI MUÑOZ SOTO**

**ASESOR:**

  
\_\_\_\_\_  
**M.C. JOSE LUIS REYES CARRILLO**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS  
AGRONOMICAS**

  
\_\_\_\_\_  
**ING. ROLANDO LOZA RODRIGUEZ**



**COORDINACION DE LA DIVISION  
DE CARRERAS AGRONOMICAS  
UAAAN UL**

## **AGRADECIMIENTOS.**

A mis padres:

Minerva Adame Carnahan y Luciano Alanís Sieres.

A mis abuelas:

Ángela Sieres Ocón y Socorro Carnahan Vda. de Adame

A mis tíos:

Adria M. Alanís Sieres, Oscar Adame Carnahan, Manuel Alanís Sieres, Cesar Alanís Sieres

A mis profesores:

Rubí Muñoz Soto, Hugo Aguilar, Vicente de Paúl, Héctor Madinaveitia, Héctor Montaña, Amanda Jaramillo, Luis Angel Bazaldúa, Norma L. Ortiz, José Luis Ríos Gonzáles.

A mis compañeros:

Nancy, Fabiola, Elena, Jaime, Gerardo, Rodrigo, Miguel, David, Omar, Armando, Israel, Edgar, Misael.

A todos los que me apoyaron y estuvieron conmigo en las buenas y en las malas dándome ánimos para terminar mi carrera.

**GRACIAS.**

# ÍNDICE.

## HOJA

Agradecimientos	I
Indice.	II
Indice de cuadros	III
Introducción.	1
Beneficios de la fluoruración.	6
Objeciones técnicas.	6
Compuestos químicos y teorías.	7
Problemas que se presentan en la planta de tratamiento debido a la fluorización.	8
Usos comerciales e industriales del agua fluorada.	8
Objeciones medicas y veterinarias.	9
Otros métodos para aplicar fluoruros.	13
Pastas dentífricas, enjuagues bucales y goma de mascar.	13
Agua embotellada.	14
Sal y pan.	14
Leche.	14
Nivel óptimo de fluoruros.	15
Dosificadores y equipo auxiliar.	19
Compuestos del flúor.	19
Selección del mejor compuesto de flúor.	22
Dosificadores de solución.	24
Dosificadores de material seco.	28
Dosificadores gravimétricos.	30
Exactitud del dosificador.	31
Cámaras de disolución.	32
Como planear el mejor sistema.	33
Equipo auxiliar del dosificador.	34
Control del dosificador.	34
Accesorios del dosificador.	36
Puntos de aplicación.	38
Control de la concentración.	38
Frecuencia del muestreo.	39
Análisis de los fluoruros.	40
Sistemas de medición del color.	41
Fotómetros.	42
Química de los análisis de fluoruros.	42
Procedimientos analíticos de los fluoruros.	43
Fuentes de error.	45

Destilación.	46
Destilación directa con vapor.	46
Destilación directa.	47
Registro y control automáticos.	48
Instrumentos de conductividad.	49
Control	49
Efectos de los fluoruros en los sistemas de distribución.	50
Fugas.	50
Posibilidades de rastreo.	50
Escamas.	50
Corrosión.	51
Conclusión.	52
Bibliografía.	53

## ÍNDICE DE CUADROS

1.- Impurezas y tratamientos.	3
2.- Contenido de fluoruros de algunos alimentos (origen animal).	16
3.- Contenido de fluoruros de algunos alimentos (origen vegetal).	17
4.- Temp. máximas medias y concentraciones óptimas de fluoruros.	18
5.- Límites recomendados para la concentración de fluoruros.	19
6.- Características de los compuestos de flúor	21

## INTRODUCCIÓN.

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

No obstante, la reducción de la caries dental, no fue el primer indicio de los efectos de los fluoruros contenidos en agua. Se observó que ciertos ciudadanos italianos, tenían dientes con unas marcas peculiares. En 1901 se escribió que se tenía la creencia popular de que los dientes negros se producían cuando se usaba agua "cargada de humos volcánicos bajo presión" o por los mismos humos. Esta enfermedad, en su forma más benigna, esta caracterizada por puntos pequeños, opaco y blancuzcos, que aparecen en algunos de los dientes posteriores. Conforme el defecto se hace mas grave, el moteado se extiende y cambia de color que va desde el gris hasta el negro. Además en los casos más severos, se registran defectos de descalcificación grave, que tiene como resultado el desgaste del esmalte. En algunos de los últimos casos, los dientes se deterioran a tal grado que se desgastan hasta el nivel de las encías y las personas deben obtener dentaduras artificiales completas.

Puesto que el esmalte es esencialmente mineral en su composición y el agua esta ciertamente involucrada, su contenido mineral es el que parece probable del problema. De los elementos minerales que actualmente se sabe que son comunes tanto al agua como al esmalte, son principalmente calcio, fósforo y flúor. Respecto a nuestro consumo de fósforo, no dependemos de loa pequeña proporción que se encuentra en el agua, y lo mismo puede decirse del calcio, aunque quizá con menos certeza, ya que no es raro encontrar deficiencias dietéticas en este elemento. Pero cuando se tiene en cuenta el flúor, encontramos que a este respecto reina una gran obscuridad hoy en día. La detección y el cálculo de pequeños rastros de flúor son tediosos y difíciles y quedan fuera del alcance del químico ordinario de los abastecimientos de agua potable, ya que tiene que manejar muchos miles de muestras al año.

El hecho de que el flúor no pueda existir en cantidades superiores a solo trazas, nos es asegurado, afortunadamente, por el bajo producto de solubilidad del fluoruro de calcio, ya que el flúor en cantidades apreciables, constituye un veneno bastante fuerte.

El elemento conocido como flúor, es un gas que se combina activamente con otros elementos para formar compuestos de fluoruros. El flúor elemental es prácticamente desconocido en la naturaleza, pero los compuestos que contienen flúor se encuentran en casi todas partes. El flúor constituye aproximadamente el 0.077 por ciento de la corteza terrestre, y como tal, se clasifica como el decimotercero de los elementos por orden de abundancia. El agua de mar contiene aproximadamente 1.4 mg/l. Lo cual hace que el flúor sea el duodécimo elemento en orden de concentración. Los minerales de fluoruros que mas comúnmente se encuentran son el espato flúor (que contiene fluorita o fluoruro de calcio), criolita (que contiene la sal doble de sodio y aluminio) y la apatita (que es un compuesto de calcio, de fluoruros, carbonatos y sulfatos).

Estudios realizados han demostrado que:

- Cuando el nivel de fluoruros excede de aproximadamente 1.5 mg/l cualquier incremento subsecuente no disminuye significativamente la incidencia de diente cariado, faltante y empastado; pero si se incrementa la ocurrencia y severidad del moteado.
- A un nivel de fluoruros de aproximadamente 1mg/l, se registra el punto optimo (la reducción máxima de caries con prácticamente ningún moteado). Se descubrió que las incidencias se reducían en un 60 por ciento entre los niños de 12 a 14 años de edad.
- A niveles de fluoruros a 1 mg/l., se registran algunos beneficios; pero la reducción de la caries no es tan notable y decrece gradualmente conforme se reduce el nivel de fluoruros, hasta que al acercarse a cero no se registra ningún mejoramiento apreciable.

Con todos estos conocimientos, es indispensable agregar fluoruros a un abastecimiento de agua y medir sus efectos.

El agua es el compuesto más abundante en la superficie terrestre y a la vez el más importante.

Este es el único compuesto que presenta las tres formas de segregación de la materia.

Tiene como peso molecular 18.016 en su estado liquido, es incoloro y azul en gruesas capas, insabora e inodora su punto de ebullición es de 100° C y el punto de fusión es de 0° C., su temperatura critica es de 365° C y el calor especifico es de 1Kcal / Kg.

El agua resulta un medio ideal para la generación de fuerza y conducción de calor. Es conocida como "el solvente universal" por que la mayor parte de las sustancias hasta cierto punto, se disuelven en ella, debido a esto el agua pura raras veces

existe, ya que casi siempre contiene materia sólida en suspensión y gases que ha recogido a través de su recorrido debido a que se contamina ya sea por las impurezas naturales que recoge en el aire o en la tierra por descargas de drenaje o por los desperdicios industriales que son arrojados a los ríos y arroyos, también se contamina por los aceites o productos usados en procesos industriales, en los cuales se usa en estado líquido, como un medio para enfriar o en forma de vapor por medio de calefacción.

Las aguas provienen de diferentes fuentes tales como:

- Aguas superficiales (de lluvia, de río, de manantial, de mar, de minerales)
- Pozos profundos (abastecimiento subterráneo) (pozos poco profundos cavados, pozos profundos entubados)
- Plantas tratadoras de aguas negras.

Resumiendo las impurezas principales que se encuentran en el agua, a continuación se cita un cuadro en el cual se indican diferentes dificultades que presentan dichas impurezas y los tratamientos para eliminarlas:

**CUADRO N°1**

	<b>EXPRESIÓN</b>	<b>EFECTO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>
<b>TURBIDEZ</b>	SE ESTIPULA QUE LA TURBIDEZ NO EXCEDA 10 ppm. (ESCALA DE SÍLICE)	SE DEPOSITA EN LAS AGUAS, SE PRESENTA COMO EMPAÑADURA.	FILTRACIÓN ASENTAMIENTO COAGULACIÓN
<b>COLOR</b>	EXPRESADOS EN LOS ANÁLISIS COMO UNIDADES DE ESCALA CONVENCIONAL. LA TOLERANCIA ES DE 20 ppm. : (ESCALA NORMAL DE Co.).	MANCHAN Y TIÑEN LA ROPA Y CRISTALERÍA, SE DEBE CASI INVARIABLEMENTE A ALGUNAS SUBSTANCIAS ORGÁNICAS.	COAGULACIÓN FILTRACIÓN PRECIPITACIÓN

	<b>EXPRESIÓN</b>	<b>EFEECTO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>
<b>DUREZA</b>	SALES DE Ca Y Mg EXPRESADAS COMO $\text{CaCO}_3$ Y NO EXCEDERÁ 300ppm.	FORMAN NATAS CON EL JABÓN, PRODUCE INCRUSTACIONES NOCIVAS, LAS SALES EN ORDEN DE SU RELATIVA ABUNDANCIA SON: $\text{CO}_3$ , $\text{SO}_4$ , Cl Y $\text{NO}_3$ .	SUAVIZACIÓN DESTILACIÓN
<b>ALCALINIDAD</b>	OXIDRILOS, CARBONATOS Y BICARBONATOS EXPRESADOS COMO $\text{CaCO}_3$ .	FORMA ESPUMA, PRODUCE FRAGILIDAD CÁUSTICA EN LOS TUBOS.	TRATAMIENTO ÁCIDO, CALSOSA, DESMINERALIZACIÓN.
<b>NITRATO</b>	$\text{NO}_3$	AUMENTA EL CONTENIDO DE SÓLIDO	DESTILACIÓN
<b>SÍLICE</b>	$\text{SiO}_2$	PRODUCE INCRUSTACIONES	ELIMINACIÓN EN CALIENTE POR SALES DE Mg
<b>HIERRO</b>	COMO BICARBONATO FERROSO PARA USO DOMESTICO, LA TOLERANCIA ES DE 0.3 ppm.	DECOLORA EL AGUA EN PRECIPITACIONES, MANCHA, TIÑE CRISTALERÍA Y ROPA, ADEMÁS DE UN CIERTO SABOR AL AGUA Y UN COLOR NEGRUZCO.	AIREACIÓN COAGULACIÓN ABLANDAMIENTO POR CAL-SOSA
<b>BIÓXIDO DE CARBONO</b>	TOLERANCIA DE MENOS DE 50 ppm.	ES CORROSIVO DE POR SI CUANDO ESTA CONDENSADO Y AL REDUCIR EL pH EL AGUA ACELERA LA CORROSIÓN DEL $\text{O}_2$ DISUELTO.	AIREACIÓN

	<b>EXPRESIÓN</b>	<b>EFECTO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>
<b>SULFATO</b>	SO <sub>4</sub>	SE ADHIERE A LOS SÓLIDOS CONTENIDOS EN EL AGUA.	DESTILACIÓN
<b>CONDUCTIVIDAD</b>	EXPRESADA EN mmhos. CONDUCTANCIA ESPECIFICA	RESULTADO DE SÓLIDOS IONIZABLES	TRATAMIENTO CON Ca DESMINERALIZADO
<b>SÓLIDOS DISUELTOS</b>		ES UNA MEDIDA DE LA CANTIDAD TOTAL DE MATERIA DISUELTA EN EL AGUA	
<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS</b>		MEDIDA DE LA MATERIA EN EL AGUA	FILTRACIÓN SEGUIDA DE COAGULACIÓN
<b>SÓLIDOS TOTALES</b>		ES LA SUMA DE LOS SÓLIDOS DISUELTOS Y LOS SÓLIDOS SUSPENDIDOS	FILTRACIÓN SEGUIDA DE COAGULACIÓN
<b>FLUORURO</b>		SE RECOMIENDA DE 1ppm. EN EL AGUA ES BUENA PARA LA PREVENCIÓN DE CARIES	REMOCIÓN CON SALES DE Mg.

## **BENEFICIOS DE LA FLUORURACIÓN.**

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

- 1.- Las observaciones del doctor G. L. Cox y sus colaboradores, de que los dientes de las ratas formados durante la ingestión de fluoruros, tenían una mayor resistencia a la caries.
- 2.- El análisis del doctor W. D. Armstrong y sus colaboradores, que demostraba que los dientes cariados contenían menos fluoruros que los dientes no cariados.
- 3.- El informe del doctor Dean y sus colaboradores, que indicaba que la incidencia de caries era inferior entre niños que habían consumido agua naturalmente fluorada que entre los niños que habían usado agua con un bajo contenido de fluoruros.

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

## **OBJECIONES TÉCNICAS.**

(DE INGENIERÍA, QUÍMICAS, INDUSTRIALES, MEDICAS Y ECONÓMICAS).

El gran número de argumentos opuestos a la fluorización, que están relacionados con los aspectos de ingeniería, químicos e industriales, pueden agruparse bajo estos encabezados:

- Compuestos químicos y teorías.
- Problemas que se presentan en la planta de tratamiento de agua debidos a la fluorización.
- Usos comerciales e industriales del agua fluorada.
- Médicas y veterinarias.
- Supuestos efectos dentales.
- Otros métodos para aplicar fluoruros.

## COMPUESTOS QUÍMICOS Y TEORÍAS.

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

"El elemento flúor está constituido por átomos que una estructura definida. Cuando el flúor se combina con otros elementos o grupo de elementos, cada átomo gana un electrón y la nueva sustancia se denomina *fluoruro*. En una solución de agua, estas partículas de fluoruro tienden a disociarse como partículas cargadas separadas que se llaman iones. Los iones de fluoruro tienen propiedades diferentes a las del elemento flúor, de la misma manera que el gas de cloro tiene diferentes propiedades que los cloruros, tales como la sal de mesa. A veces se utilizan los términos "artificial" o "químico" con un sentido que puede engañar y crear confusión en lo que respecta al uso de fluoruros refinados o preparados para regular la composición de los abastecimientos de agua, ya sea sobre o debajo de la tierra, es el mismo que el ion fluoruro del agua cuando estos se añaden bajo el control de buenos ingenieros o químicos, para prevenir la caries dental, no habrá ninguna diferencia en sus efectos en el cuerpo humano".

La forma intensa en que el flúor reacciona con otros elementos, a menudo se cita como razón para evitar el consumo de compuestos de fluoruros. En este caso el flúor elemental (que nunca se utiliza para fluorar), se confunde con los compuestos de flúor, que reaccionan con mucho menor fuerza. Una situación semejante ocurre en la unión de elementos muy reactivos, entre los cuales está la sal de mesa común.

Se dice que los compuestos usados para la fluorización, no son puros, no son "orgánicos" y por ende, no son naturales o benéficos. Algunas personas alegan que los fluoruros son un producto de deshecho de la industria de aluminio. En realidad esta industria utiliza grandes cantidades de compuestos fluoruros y evita deshacerse de ellos porque los utiliza como materia prima para la elaboración de aluminio. Ciertamente, los fluoruros no son un subproducto de la elaboración de aluminio.

Se ha dicho que la fluorización es un procedimiento inútil, ya que es solo para el beneficio de los niños. Es cierto que los fluoruros en el agua solo beneficia a los niños dentro de ciertas edades (de 0 a aprox. 16 años de edad). Sin embargo, los beneficios derivados se extienden a lo largo de toda su vida y, por lo general, los niños se convierten en adultos. De la misma manera el costo de la fluorización

municipal es tan extremadamente bajo que cualquier otro medio para asegurarles a los niños el agua fluorada, con la exclusión de otras edades, sería mucho más costoso.

Con frecuencia se ha afirmado que los fluoruros son sustancias tóxicas y, en consecuencia, pueden facilitar a nuestros enemigos oportunidades para sabotajes. Es cierto que los fluoruros son tóxicos en grandes concentraciones, pero lo mismo puede decirse de casi todas las sustancias. Por ejemplo, el cloro, se usa casi universalmente para purificar el agua potable. El agua misma, tomada en cantidades excesivas puede ser dañina. La pequeña cantidad de fluoruros que se utiliza en el agua esta muy lejos de ser tóxica. Se ha calculado que sería necesario consumir aprox. 2500 lts. de agua fluorada, con 1mg. por lt., de una sola vez, para poder consumir una dosis letal de fluoruros. Las propiedades tóxicas de los fluoruros en cantidades masivas, han inducido a la idea de que, por accidente o sabotaje, podrían introducirse niveles peligrosos de fluoruros en la planta de tratamiento de agua. No obstante, para agregar una dosis letal, sería necesario proporcionar aprox., 8 tons. métricas de fluoruro de sodio por cada 1000 mts. cúbicos de agua. Esto es prácticamente imposible, ya que el dispositivo purificador de la sustancia estaría diseñado para proporcionar solo aprox. 2.2 Kg. de fluoruro por 1000 mts. cúbicos de agua y su alcance de alimentación probablemente no sería mayor que diez a uno.

## **PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DEBIDO A LA FLUORIZACIÓN.**

Una de las objeciones a la fluorización, que más a menudo se escuchan, es la que se funda en la idea de que los fluoruros no pueden dosificarse con exactitud en el agua. Aunque es cierto que, en unos cuantos casos, el nivel de fluoruros ha variado grandemente, no puede decirse que no pueda hacerse un buen trabajo o que la mayoría de las comunidades y sus obras de agua potable no mantienen el nivel de fluoruros dentro de los límites reducidos. Un resumen de varios años de muestreo del agua fluorada indica que la mayoría de las muestras puede mantenerse dentro del limite de 0 mg. por lt., de la cantidad deseada puesto que los dosificadores que se usan para los compuestos de fluoruros, son muy exactos.

## **USOS COMERCIALES E INDUSTRIALES DEL AGUA FLUORADA.**

Existen muy pocas referencias relacionadas con los efectos del agua fluorada en los procesos industriales, debido a que son muy pocos los problemas de este tipo que se han producido.

En realidad se han registrado solo dos efectos adversos en cualquier proceso industrial. Un fabricante de hielo descubrió un incremento de bloques de hielo despedazados; pero esto se corrigió agregando una pequeña cantidad de cloruro de amonio al agua antes de congelarla. No se ha producido nunca, un caso autentico de corrosión en un sistema de distribución, que haya sido causado por la presencia de fluoruros. Los otros efectos que están relacionados con los incrementos de fluoruros, que podrían producirse si los alimentos elaborados para bebés se preparan mediante procesos que tuvieran como resultado la concentración de agua fluorada por medio de evaporación. Se ha evitado la posibilidad de cualquier critica de los productos elaborados por las compañías de alimentos para bebés, que utilizan esta proceso, utilizando agua previamente defluorada.

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

- **PANADERÍA:** la adición de iones de fluoruro en concentraciones de hasta 10 mg. por lt., en aguas para pastas y masas, no tienen ningún efecto en la calidad del pan.
- **CERVEZA:** cuando la levadura entra por primera vez en contacto con el mosto de cerveza (malta no fermentada) que contiene 1 mg. por lt. de F, su metabolismo se estimula ligeramente. Un efecto similar ocurre cuando el contenido es de 5 mg. por lt. De F. dependiendo de la fuente del flúor, 10 mg por lt. , pueden tener una acción ligeramente estimulante o depresiva. A concentraciones de 25 mg. por lt., o más de flúor, los fluoruros se convierten en inhibidores decididos de la actividad de la levadura.
- **PRODUCTOS ENLATADOS:** los efectos de los que los productores podrían preocuparse, además de las consideraciones fisiológicas, serian los del sabor, color o textura del producto y la corrosión del recipiente. Las propiedades conocidas de los fluoruros no son tales que sugieran la posibilidad de ninguno de esos efectos por las cantidades involucradas en este caso, y la falta de casos conocidos que puedan atribuirse a tales efectos, indican que serian muy difíciles, si no imposibles, de demostrar en forma experimental.
- **TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS:** parece poco posible, de estos resultados, que la presencia de una concentración normal de fluoruros produzca efectos perjudiciales en la digestión de sólidos en las aguas negras.

## **MÉDICAS Y VETERINARIAS.**

Nunca se ha comprobado ninguna de las docenas de los efectos dañinos y enfermedades que le atribuyen los enemigos del agua fluorada, aun en los lugares que representa valores varias veces superiores al de la concentración optima de fluoruro. La duda sobre la seguridad publica de la fluorización no cabe

dado el punto de vista de la ciencia médica; a continuación se incluye la siguiente bibliografía para afirmar lo dicho:

- a) **ABORTOS:** Consejo estatal de sanidad de wisconsin: este estudio indica que sobre las comunidades de wisconsin que cuentan entre 0.03 y 2.5 mg/l de fluoruro en sus abastecimientos de agua potable, no se registro una diferencia consistente en la frecuencia de abortos, nacimientos prematuros, muertes neonatales y mortalidad infantil o materna.
- b) **ACNÉ:** Epstein, Ervin: efecto de fluorosis en acné vulgaris. La proporción de mejoramiento entre 40 personas con acné, fue la misma entre las que tomaron pastillas de fluoruro por prescripción médica y las que no lo hicieron.
- c) **ALERGIAS:** Hodge, H. C. metabolización del fluoruro. Asociación dental. Schlesinger, E.R. y colaboradores: Newburg-Kingston estudio Caries-flúor. XII. J. Am. Asociación Dental. No existen pruebas científicas de que el consumo de agua fluorada puede producir edemas o alergias. Aun en las regiones en donde los niveles de esta sal son ocho veces la cantidad optima, las alergias no son mas frecuentes que en otras partes.
- d) **ANEMIA:** Newburgh-kingston, reporte final del estudio Caries-flúor, J. Am. Asociación Dental. Los exámenes físicos completos de los niños que habían estado bebiendo agua fluorada durante 10 años, no revelaron ninguna evidencia de anemia.
- e) **ARTERIOESCLEROSIS-ENDURECIMIENTO DE LAS ARTERIAS:** Abraham Albert: lo que los dentistas deberían saber acerca de las enfermedades del corazón, asoc. Dental del estado de nueva jersey. Algunos de los factores que contribuyen al endurecimiento de las arterias, se conocen desde antes de la fluorización de los abastecimientos de agua potable, y son totalmente independientes de este sistema. En realidad la aparición de la arterioesclerosis es una parte del proceso de envejecimiento. Si se aumenta el término medio de vida, entonces las condiciones que acompañan al envejecimiento también tenderán a ser más prevalentes. Berstein, Daniel y colaboradores: Prevalencia de osteoporosis en áreas altas y bajas en flúor en N. D., J. Am. Asociación Médica. Se sacaron roentgenogramas de la sección lateral de la porción lumbar de la columna vertebral, de 1015 personas de más de 45 años de edad. Trescientos de ellos habitan en una región en donde el contenido de fluoruro del abastecimiento de agua potable era elevado, de 4 a 5.8 mg/l, y 715 vivían en otra en donde era bajo, de 0.15 a 0.3 mg/l. La calificación visible de la aorta fue notablemente más alta en la región de poco fluoruro, sobre todo en los hombres.

- f) **ARTRITIS:** Steinberg, Charles L. Y colaboradores: no hay relación entre la artritis y la fluoruración, J. Am. Asociación Dental. Estos estudios indican que no existe ninguna relación entre algunas manifestaciones de artritis y las enfermedades de los músculos y el esqueleto. Estos estudios deben borrar cualquier temor de que el agua fluorada, tal y como la recomiendan las autoridades de sanidad, sea un factor causante de malestares de la artritis.
- g) **ASMA, BRONQUITIS, TUBERCULOSIS Y OTRAS ENFERMEDADES DEL SISTEMA RESPIRATORIO.** La literatura médica no registra ningún caso en que los fluoruros del agua potable estén relacionados, de alguna manera, con estas enfermedades.
- h) **BOCIO:** Murray, Margaret M. Y colaboradores, MEM. N° 18. Estos estudios revelaron que no existe correlación entre la aparición del bocio endémico y las concentraciones elevadas de fluoruro en el agua, y que es infundada la creencia de que la poca incidencia de que esta enfermedad esta asociada con el bajo contenido de fluoruro en el agua, y que la más alta lo esta con las concentraciones elevadas de dicha sal.
- i) **CATARATAS, GLUCOMA, CONJUNTIVITIS, DALTONISMO Y OTROS DESORDENES DE LOS OJOS:** Leonel, N. C. y colaboradores: Aspectos médicos del Excesivo fluoruro en agua, reportes públicos de salud. Se realizaron exámenes de los ojos, en busca de cataratas y opacidades lenticulares, entre personas que habían vivido en una comunidad cuyos abastecimientos públicos de agua potable estaban fluorados naturalmente con 8.0 mg/l. No se registro un incremento notable en las incidencias de dichas enfermedades, en comparación con la de una ciudad cuya agua contenía solo 0.4 mg/l de fluoruros.
- j) **DIABETES:** fluoruración del agua, Informe del comité de la sociedad médica de St. Louis. Consejo estatal de sanidad de Wisconsin (Wisconsin State Board Of Health): datos sobre residentes continuos: índice de mortalidad por 100000 habitantes en ciudades cuyos abastecimientos públicos de agua potable tienen diferentes concentraciones de fluoruro. No se encontró ninguna relación entre el índice de mortalidad de diabéticos, en las ciudades de wisconsin cuyos fluoruros naturales van de 0.5 a 2.5 mg/l. además no se observo ningún incremento en la incidencia de diabetes después de 10 años de fluorización en sheboygan.
- k) **DOLORES DE CABEZA:** ninguna publicación medica ha revelado ningún caso de dolores de cabeza producidos por el consumo de agua fluorada, nisiquiera cuando ésta tiene ocho veces la concentración óptima.

- l) ENFERMEDADES CARDIACAS: Arnold, F. A., Jr. estudios rápidos sobre fluoración del agua durante once años, Am. J. Salud Pública. Estos informes establecen una comparación entre los índices de morbilidad y mortalidad por deficiencias cardiacas, entre ciudades con o sin fluoruro. No se pudo encontrar una diferencia importante.
- m) HEPATITIS, CIRROSIS Y DEGENERACIÓN DEL HÍGADO: hagan, T. L., Pasternack, Morton y Scholz, Grace C.: fluoruros en agua y mortalidad, reportes públicos de salud. : no existe ninguna evidencia en la literatura publicada, de que el agua fluorada tenga ninguna relación con estos desordenes.
- n) LESIONES INTRACRANEALES: se realizo un estudio de las incidencias de estas lesiones, en 64 ciudades cuyos niveles de fluoruros eran inferiores a 0.25 y superiores a 0.7 mg/l, y no se encontró ninguna diferencia notable.
- o) NEFRITIS, NEFROSIS, UREMIA Y OTRAS ENFERMEDADES DE LOS RIÑONES: Consejo estatal de sanidad de Wisconsin: datos sobre residentes continuos, índice mortal sobre 100000 hab. en ciudades cuyos abastecimientos públicos de agua potable tienen diferentes niveles en concentración de fluoruro. Los departamentos de sanidad de Illinois y Wisconsin no han detectado en sus estadísticas de datos vitales, ninguna diferencia en las incidencias de nefritis, entre las ciudades cuyos abastecimientos públicos de agua potable tienen diferentes cantidades de fluoruro. Se ha concluido que: "ninguna evidencia existe que pueda probar que los fluoruros del agua causen nefritis". El estudio de Newburg-Kingston de N. Y., no revelo ninguna prueba de efectos adversos del agua fluorada en los riñones.
- p) POLIOMIELITIS: no se ha informado de ni un solo incidente en el que haya podido establecerse una relación entre la poliomiélitis y el consumo de agua fluorada.
- q) DESORDENES NERVIOSOS: todos los estudios a largo plazo sobre los posibles efectos de los fluoruros, no indicaron ninguna relación entre desordenes mentales y la presencia de fluoruros en agua potable.
- r) RAQUITISMO: Newburg-Kingston. Estudio Caries-flúor. XII. Los resultados pediátricos no revelaron ningún cambio importante en los huesos de las personas que consumieron agua fluorada, en comparación con las que no lo hicieron.
- s) ESTERILIDAD: no se ha encontrado ningún caso de esterilidad, producida por el consumo de agua fluorada, incluyendo a las que tienen un contenido natural que asciende a varios múltiplos del nivel optimo.

- t) **VENAS VARICOSAS:** no se han presentado pruebas que demuestren que el agua fluorada produce venas varicosas.
- u) **CARPA DORADA Y PECES TROPICALES:** el estudio se efectuó con carpas doradas que viven en acuarios llenos de agua fluorada provenientes del abastecimiento de agua potable, no sufrieron ningún daño en absoluto.
- v) **CONEJOS, RATAS, RATONES, POLLOS PERROS, CERDOS, OVEJAS, GANADO BOVINO, CAPRINO Y MONOS:** conferencia publica de salud Veterinaria, afirmo que el consumo de agua fluorada a los niveles recomendados, no es perjudicial para ningún animal, ni domestico ni de otro tipo. Los conejos crecen normalmente con raciones que contienen 200mg/l de fluoruro, los puercos con 300mg/l. La dosis elevada que pueden tolerar algunos animales en mg/Kg de peso corporal son: ratas de 10 a 20, ganado lechero, de 1 a 3, pollos de 35 a 70y cerdos de 5 a 12.

## **OTROS MÉTODOS PARA APLICAR FLUORUROS.**

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

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

## **PASTAS DENTÍFRICAS, ENJUAGUES BUCALES Y GOMAS DE MASCAR.**

Con el correr de los años, los dentífricos han sido como preparados que se destinan a ser usados con un cepillo de dientes para limpiar las superficies dentarías accesibles. Se les ha preparado en una diversidad que incluyen pastas,

polvos, líquidos y bloques. En la actualidad, el fluoruro es el único aditivo de los dentífricos que tiene un valor significativo como preventivo de la caries. Los resultados de dos ensayos clínicos indicaron un efecto significativamente benéfico con las formulas que contenían fluoropatita y fosfatos rocosos.

Sin embargo, los estudios que emplearon productos que contenían fluoruro de sodio en concentraciones de 0.01 a 0.15%, no lograron indicar efecto alguno. En 1954 se publico el primer trabajo con respecto al uso de un dentífrico que contenía fluoruro estañoso (0.4%) y este estudio indicó un efecto benéfico significativo atribuido a ese agente. Desde entonces, se han publicado los resultados de más de 30 investigaciones clínicas con dentífricos que contienen fluoruro. Las pastas dentífricas que contienen fluoruros han demostrado ser eficaces; pero debemos de tener cuidado en su uso, debido a la posibilidad de un consumo excesivo de fluoruros, sobretodo en los niños que puedan comerlo por su sabor a golosina. Este peligro aumenta en las regiones que contienen un exceso de fluoruros naturales en sus abastecimientos de agua potable. Los enjuagues bucales y las gomas de mascar que contienen fluoruros no han resultado muy eficaces. Estos medios, para proporcionar fluoruros en cantidades optimas fracasarían, también debido al gran esfuerzo personal que se requiere, para que sean realmente eficaces.

## **AGUA EMBOTELLADA**

El uso de agua fluorada embotellada es, posiblemente el mejor sustituto de los abastecimientos públicos fluorados, ya que, de todas las demás alternativas, el agua potable fluorada ha demostrado ser la mas eficaz, la menos peligrosa y la menos cara. Sin embargo, el costo de distribución del agua fluorada embotellada seria prohibitivo, sobre todo si los niños tuvieran que consumir agua de esta manera.

## **SAL Y PAN.**

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

- Gran variedad en el consumo de pan y sal entre los niños.
- No hay pruebas de que los fluoruros sean efectivos si se incorporan a la sal o el pan.
- No hay datos sobre la cantidad de fluoruros que se deben emplear.

## **LECHE.**

En muy frecuentes ocasiones se ha pensado en la leche, como una posible alternativa, talvez porque se trata de un alimento de uso tan universal para los niños. Sin embargo, existen tan serias objeciones a su fluorización para el

consumo de los niños, que no puede ponerse en práctica con solo los conocimientos que se poseen en la actualidad. Algunas de estas objeciones son:

- No se sabe que cantidad de fluoruros debe agregarse a la leche, ya que obviamente, no puede ser la misma que para el agua. Si así fuera, los lactantes que subsisten básicamente de pura leche, tendrían un exceso de fluoruros.
- Las variaciones que hacen los niños en el consumo de leche, distribuida comercialmente, son demasiado grandes cuando se toman en consideración factores tales como otras fuentes de leche (leche condensada o en polvo).
- No hay pruebas de que los fluoruros en la leche sean eficaces.
- El costo sería demasiado elevado.

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

## **NIVEL ÓPTIMO DE FLUORUROS.**

La mayoría de las aguas crudas (no tratadas) contienen fluoruros. las aguas superficiales –las fuentes que comprenden ríos, lagos, estanques, canales, riachuelos y cisternas- no contiene, por lo general, mas allá de 0.3 mg. por lt., de fluoruros excepto cuando se contaminan con desechos industriales o aguas negras.

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

Ya se menciona que la fluorización es más benéfica cuando la ingestión de cantidades optimas de fluoruro, comienza en el nacimiento y continúa prácticamente sin interrupciones. Se obtienen también beneficios sustanciales, aun cuando el periodo de iniciación se retrase algo; pero mientras mayores sean esos retrasos, tanto mayor será también el incremento subsecuente en caries dental. “Los mismos resultados deficientes se obtienen en poblaciones que obtienen el agua de abastecimientos, que solo se fluoruran intermitente o parcialmente. Hasta la fecha, no se ha demostrado que los adultos tengan algún beneficio (si anteriormente jamás habían consumido agua fluorada). Sin embargo, se ha informado que los fluoruros de una dieta tienden a disminuir la incidencia de osteoporosis y la calcificación de la aorta entre los adultos.

La concentración de 1mg. por lt., se considero como la optima, después de hacer observaciones directas en la dentadura de miles de niños. No se baso en ningún conocimiento directo o exacto con respecto a la cantidad de agua que los niños consumen en diversos tiempos y en lugares distintos. Tampoco se estableció este nivel basándose en una cantidad media específica de fluoruros en su dieta diaria. En lugar de ello, estos miles de niños obtuvieron una cantidad óptima de fluoruros solo por medio de la selección natural de alimentos y agua potable. Como quiera que se haya demostrado que la cantidad de fluoruros en los alimentos consumidos por los niños, varía muy poco, las variaciones en los efectos dentales entre ellos fueron producidos, casi totalmente, por las diferencias en los fluoruros del agua potable que consumieron.

La mayoría de los vegetales y la carne contienen menos de 1 mg por lt. de fluoruros en estado seco. Las excepciones notables son el té, que puede contener hasta aprox. 60 mg por lt. y los pescados y mariscos, no obstante, puede constituir una parte importante de la dieta de los niños.

Se ha encontrado que, por lo general, la leche contiene menos de aprox. 0.2 mg. por lt. cuando las vacas consumen agua que contienen hasta 8.0 mg. por lt. de fluoruros, su leche nunca excede de 0.3 mg. por lt.

## CUADRO N°2

### CONTENIDO DE FLUORUROS DE ALGUNOS ALIMENTOS, SEGÚN INFORMES DE VARIAS PUBLICACIONES

ALIMENTO	FLUORUROS (MG. POR LT.)	ALIMENTO	FLUORUROS (MG. POR LT.)
Leche	0.07-0.22	Chuleta de puerco	1.00
Clara de huevo	0.00-0.60	Salchicha	1.70
Yema de huevo	0.40-2.00	Bistec	1.30
Mantequilla	1.50	Ostras	1.50
Queso	1.60	Arenque(ahumado)	3.50
Carne de res	.20	Camarón (lata)	4.40
Hígado	1.50-1.60	Sardina (lata)	7.30-12.50
Ternera	0.20	Salmón (lata)	8.50-9.00
Carnero	0.20	Pescado fresco	1.60-7.00
Pollo	1.40	Cebolla enlatada	26.89
Puerco	0.20	Jamón	1.45

Fluoruros determinados en los alimentos al ser consumidos.

**CUADRO N°3**

<b>ALIMENTO</b>	<b>FLUORUROS (MG. POR LT.)</b>	<b>ALIMENTO</b>	<b>FLUORUROS (MG. POR LT.)</b>
Arroz	1.00	Miel	1.00
Maíz	1.00	Cocoa	0.50-2.00
Maíz enlatado	0.20	Chocolate en polvo	0.50-2.00
Avena	1.30	Chocolate (común)	0.50
Avena en hojuelas	0.20	Té (varios tipos)	30.00-60.00
Frijol	0.20	Repollo	0.31-0.50
Trigo sarraceno	1.70	Lechuga	0.60-0.80
Salvado de trigo	1.00	Espinaca	1.00
Harina de trigo	1.30	Tomate	0.60-0.90
Harina preparada	0.00	Nabo	0.20
Harina	1.10-1.20	Zanahorias	0.20
Pan blanco	1.00	Patatas	0.20
Pan de jengibre	2.00	Camotes	0.20
Pan de centeno	5.30	Manzana	0.80
Gelatina	0.00	Dextrosa	0.50
Piñas (en lata)	0.00	Naranja	0.22

Fluoruros determinados en sustancias secas de los alimentos.

Los niños de hasta 12 años de edad, consumen de 1200 a 2500 mililitros de agua por días, dependiendo de la variación de su edad (de 1 a 3 años: 1200 ml; de 10 a 12 años: 2500 ml.) y del medio ambiente. Si esta agua tuviera 1 mg. por lt. de fluoruros, entonces, de solo esta fuente se obtendría entre el 0.4 y 1.1 miligramos.

Los resultados de estudios tanto epidemiológicos y químicos, como experimentales, sugirieron que la adición de cantidades pequeñas de fluoruros, que no excedieran de 1 mg. por lt., a los abastecimientos públicos de agua potable, que carecieran de ellos, puede constituir un método práctico y eficiente para inhibir notablemente la caries dental en grupos grandes de la población. Además de que el uso continuo a lo largo del periodo de formación de los dientes, de agua que contiene aprox. 1 mg. por lt. de fluoruro, tendrá como resultado una incidencia de aprox. un 10 % de la forma más leve de fluorosis dental.

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

Se encontró que en los lugares en donde la temperatura media anual es de aprox. 20°C, la fluorosis dental ligera puede ser tan prevalente en regiones que utilizan agua que contiene 0.7 mg. por lt. de fluoruros, como la más fresca (temperatura media anual de 9.4°C), en donde se usan aguas con 1.0 mg. por lt. de fluoruros.

El doctor Zachary Stadt fue el que calculo las variaciones por estación en la ingestión de fluidos. Los niveles de fluidos que se mantuvieron, dieron un promedio de peso de 0.9 mg. por lt. de fluoruros durante el año.

El objetivo de ese procedimiento es asegurar una ingestión más uniforme de fluoruros a lo largo del año, sin tener en cuenta la temperatura y el consumo de agua. Cuando este consumo baja a un mínimo (en el invierno), el nivel de fluoruros en el agua alcanza su máximo; en el verano cuando se eleva el consumo, la concentración del elemento se disminuye, este método para fluorar el agua puede permitir que se sostenga un nivel más elevado de fluoruros (con la mayor reducción correspondiente de incidencias), sin registrar un incremento en la fluorosis.

En el siguiente cuadro se indican los niveles óptimos de fluoruros que sugieren los expertos.

#### CUADRO N°4

<b>TEMPERATURAS MÁXIMAS MEDIAS Y CONCENTRACIONES OPTIMAS DE FLUORUROS CORRESPONDIENTES QUE SE RECOMIENDAN.</b>
--

TEMPERATURAS MÁXIMAS MEDIAS. °C	CONCENTRACIÓN OPTIMA DE FLUORUROS RECOMENDADA, mg/lt.
10.0-12.1	1.2
12.2-14.6	1.1
14.7-17.7	1.0
17.8-21.4	0.9
21.5-26.3	0.8
26.4-32.5	0.7
32.6-37.5	0.6

Aunque estas tablas facilitan el cálculo razonable del contenido optimo de fluoruros que debe mantenerse, la computación final debe corroborarse con la Comisión Nacional del Agua.

Este cálculo se basa en las observaciones biológicas, en regiones en donde los fluoruros existen naturalmente en los abastecimientos públicos de agua potable y

se experimentan poca o ninguna variación, de acuerdo con la estación, en los niveles de fluoruros. sabemos que en donde dichos niveles son constantes, se registra una considerable en la caries dental y no aparecen casos de fluorosis estéticamente perceptible.

## CUADRO N°5

### LIMITES RECOMENDADOS PARA LA CONCENTRACIÓN DE FLUORUROS.

PROMEDIO ANUAL DE LAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DIARIAS DEL AIRE, °C	LIMITES DE CONTROL RECOMENDADOS CONCENTRACIÓN DE FLUORUROS EN mg/lit.		
	INFERIOR	OPTIMO	SUPERIOR
10.0-12.1	0.9	1.2	1.7
12.2-14.6	0.8	1.1	1.5
14.7-17.7	0.8	1.0	1.3
17.8-21.4	0.7	0.9	1.2
21.5-26.3	0.7	0.8	1.0
26.4-32.5	0.6	0.7	0.8

Las normas internacionales sobre el agua potable, de la Organización Mundial de la Salud recomiendan un limite máximo permisible para los fluoruros, de 1.5 mg por litro.

## DOSIFICADORES Y EQUIPO AUXILIAR.

### COMPUESTOS DEL FLÚOR.

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

Ya se explico que los minerales que tienen fluoruros más abundantes en la naturaleza, son el espato flúor (que contiene fluoruro de calcio), la criolita (que son fluoruros combinados con aluminio y sodio), la apatita (que generalmente es un compuesto de calcio, fluoruros, carbonatos y sulfatos). El flúor, como elemento

químico (sin estar combinado con ningún otro elemento), no existe libre en la naturaleza. En la actualidad el flúor elemental se elabora y puede conseguirse en grandes cantidades en la forma de gas; pero su costo y los peligros extremos asociados a su manejo, hacen que, por ahora sea inapropiado como agente para fluorar el agua.

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

**CUADRO N°6**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPUESTOS DE FLÚOR.**

CONCEPTOS	FLUORURO DE CALCIO (CaF <sub>2</sub> )	SILICO FLUORURO DE SODIO (Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> )	FLUORURO DE SODIO (NaF)	ÁCIDO FLUOSILICO (H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> )	SILICOFLUORURO DE MAGNESIO (MgSiF <sub>6</sub> ·6H <sub>2</sub> O)	SILICOFLUORURO DE AMONIO (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	FLUORURO DE POTASIO KF·H <sub>2</sub> O
FORMA	POLVO	POLVO	POLVO	LIQUIDO	CRISTAL	CRISTAL	CRISTAL
PESO MOLECULAR	78.08	188.05	42.00	144.08	274.48	178.14	94.13
PUREZA COMERCIAL %	85-98	98.5	90-98	22-30	98	98	98
% DE ION FLUORURO	48.8	60.7	45.25	79.2	41.5	63.9	20.2
PESO (KG/M <sub>3</sub> )	1618	881-1153	1041-1442	1.25 Kg/L	1170	1298	929
Kg. REQUERIDOS POR MILL. DE Lt. PARA 1Mg/L ALA PUREZA INDICADA	2.14(97%)	1.68	2.25(98%)	4.21(30%)	2.46	1.60	5.05
LT. DE SOL. SATURADA REQUERIDOS POR MILL. DE LT. DE AGUA A 25°C Y 1Mg/L DE F	52.500	219	55.6(98%)	3.35	3.35	8.0	5.0
pH DE LA SOL. SATURADA	6.7	3.5	7.6	1.2(SOL. 1%)	1.0	3.5	7.0
SOLUBILIDAD (gr/100gr DE H <sub>2</sub> O) A 25°C	0.0016	0.762	4.05	INFINITA	64.8(17.5C)	18.5(17.5C)	100

## SELECCIÓN DEL MEJOR COMPUESTO DE FLÚOR.

El anterior examen de las características físicas y químicas de los compuestos de flúor se incluye para auxiliar en la selección del mejor material para una instalación determinada. Las diferentes características que generalmente se toman en cuenta, se enumeran a continuación:

1.- Costo de los compuestos químicos. Basándose en el costo del ion fluoruro disponible, el espato flúor es la fuente mas barata. Se cree que siempre que se usan coagulantes para el tratamiento de agua, pueden encontrarse medios para utilizar este material para la fluorización. Cuando no se puede utilizar el espato flúor, debe pensarse después en el silicofluoruro de sodio. A continuación, por orden de costos, debe tomarse en cuenta el silicofluoruro de amónio, el de magnesio, el fluoruro de sodio y el ácido fluosilícico.

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

3.- Corrosividad. Aunque difiere la corrosividad relativa de los compuestos de flúor, los fabricantes de equipos proporcionan más o menos el mismo material resistentes a la corrosión en dosificadores de solución, tanques y accesorios, sin tener en cuenta el compuesto que va a usarse. Prácticamente la única excepción es la del ácido fluosilícico en los recipientes de cerámica o los tanques recubiertos de vidrio (como resultado de la vaporización y la formación de pequeñas cantidades de ácido fluorhídrico en la superficie del liquido). No obstante, el ácido fluosilícico rara vez se usa en estos recipientes, debido a que puede tomarse directamente de los tambores recubiertos de hule que se usan para su envío.

4.- Incrustaciones en el equipo dosificador. Ocasionalmente se forman incrustaciones o escamas en los tanques, dosificadores o tuberías de la solución. Casi siempre se trata de fluoruro o silicofluoruro de calcio y magnesio que se derivan de soluciones fuertes de fluoruro y los constituyentes de dureza del agua. Cuando se usa ácido fluosilícico no se forman incrustaciones, debido a que ordinariamente no se diluye con agua. Las incrustaciones que se forman cuando se utiliza silicofluoruro de sodio (silicofluoruro de calcio o de magnesio), son ligeramente más solubles que el fluoruro de calcio y el de magnesio. El problema puede solucionarse utilizando agua suavizada o utilizando cantidades pequeñas de hexametrafosfatos.

Ordinariamente no se justifica la utilización de suavizadores para reducir la pérdida de fluoruros producida por la precipitación de esta sal. El trabajo involucrado en la suspensión de los fluoruros precipitados de los tanques de solución o saturadores, es muy pequeño, ya que el fluoruro de sodio contiene material insoluble que también debe quitarse periódicamente.

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

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

7.- Limitaciones de espacio de los dosificadores. Se escoge el ácido fluosilícico, cuando el espacio disponible en las plantas pequeñas de tratamiento es limitado. Por supuesto que el ácido puede almacenarse en tanques, a cierta distancia del dosificador y no se requiere de un equipo para la formación de la solución, el uso del ácido es ventajoso cuando solo se cuenta con espacio para el dosificador. La mejor instalación es aquella que incorpora la combinación mas apropiada de estos factores:

- Un equipo dosificador sencillo y exacto.
- Un mínimo manejo de los compuestos químicos.
- En conjunto con los factores anteriores, el costo general mas bajo en la amortización del equipo y el costo de los compuestos químicos.
- Facilidad para la recabación de los registros correctos.
- Un mantenimiento mínimo del dosificador, las tuberías y el equipo inyector.

Los fluoruros se alimentan al abastecimiento de agua, ya sea en la forma de líquidos o sólidos. Los dosificadores químicos pueden, por lo tanto, dividirse en lo general en dos tipos:

- a) Los de solución, que en realidad son bombas pequeñas que se utilizan para alimentar una cantidad cuidadosamente medida de una solución de fluoruro (o de ácido fluosilícico), preparada con exactitud, durante un tiempo específico.
- b) Los dosificadores de material seco, que alimentan una cantidad predeterminada de material sólido, durante un intervalo dado de tiempo. Estos últimos se dividen por tipos, dependiendo del método que se usa para controlar la razón de alimentación. Los dosificadores volumétricos de material seco alimentan un volumen medido de compuesto químico seco, dentro de un intervalo de tiempo determinado; los gravimétricos (pérdida de peso) alimentan un peso medido de un compuesto químico, dentro de un periodo determinado.

La selección del dosificador depende del compuesto de fluoruro que va a utilizarse y de la cantidad que debe dosificarla razón de alimentación dependerá del contenido de fluoruro que desea obtener en el agua tratada, la cantidad que va a tratarse, pasando por un punto dado y el contenido de fluoruro en el agua no tratada. En general, los dosificadores de solución se utilizan para abastecimientos pequeños, y los de material seco, para los mayores. Por supuesto, existe un gran campo dentro del cual, cualquier tipo puede proporcionar resultados igualmente buenos.

## **DOSIFICADORES DE SOLUCIÓN.**

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

- En un tanque saturador pueden producirse soluciones saturadas de fluoruro de sodio de concentración constante, de prácticamente el 4% y casi a cualquier temperatura de agua que puede encontrarse en la planta tratadora común. El tanque esta hecho de acero inoxidable o fibra de vidrio y equipado con un cono interno, que va conectado a un tubo, a través del cual pasa una línea de succión del dosificador. El cono esta cubierto por un lecho de arena y grava graduada, sobre el que descansa el fluoruro de sodio cristalino. Se agregan aprox. 90 Kg. de fluoruro de sodio al tanque, junto con el agua. Una válvula de flotador mantiene automáticamente, un nivel de agua constante sobre el lecho de fluoruro de sodio. El agua escurre lentamente y desciende a través del fluoruro de sodio, en el que se satura antes de llegar a la arena y la grava. Después se saca del saturador con un dosificador de solución. La razón de salida es tal, que puede tratarse 11 metros cúbicos de agua por min. a 1 mg/l de fluoruro.

- Las soluciones no saturadas de silicofluoruro de sodio, fluoruro de sodio y silicofluoruro de magnesio o de amonio, se preparan pesando cantidades de los compuestos, midiendo volúmenes de agua y mezclándolos perfectamente. Por lo tanto, existen tres posibilidades de error:
- a) en el pesado del compuesto.
  - b) En la medición de la cantidad de agua.
  - c) En una mezcla insuficiente.
- Cualquiera de estos errores hará que una solución tenga una concentración a la deseada, así como variaciones consecuentes en el contenido de fluoruro en el agua tratada.
- Las soluciones de ácido fluosilícico se utilizan tal y como se reciben (22 a 30%) o, en caso de ser necesario, se diluyen con agua para obtener una concentración determinada. Nuevamente, como sucede en el método anteriormente citado, los intentos de diluir el ácido están sujetos a errores en la medición, tanto del ácido como del agua de dilución. Es mucho mejor no utilizar el ácido no diluido, tal y como se recibe en los recipientes de envío. Si el ácido está demasiado concentrado para que el dosificador de solución pueda manejarlo, generalmente se recomienda el uso de soluciones más débiles o compuestos menos costosos; por ejemplo una solución saturada de fluoruro de sodio. Si el ácido requiere ser diluido, debe tenerse cuidado de evitar la formación de un precipitado de sílice, que se producirá a pesar de la calidad (dureza) del agua utilizada para diluir.

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

Básicamente existen 5 tipos diferentes de dosificadores de solución con que puede contarse y que han dado buenos resultados:

- De diafragma,
- De pistón,
- De cucharones rotatorios,
- De brazo de decantación y
- De tanque de carga.

Los dosificadores de solución que más frecuentemente se usan en la industria del agua potable son los del tipo de diafragma. El diafragma, hecho de hule flexible, plástico o metales delgados, se activa ya sea por un embolo de movimiento

alternativo, que va sujeto directamente al diafragma o indirectamente por medio de la variación periódica de la presión en un volumen confinado de fluido hidráulico. El movimiento alternativo del pistón se logra, ya sea con una leva de rotación lenta, una manivela o una placa osciladora.

Los dosificadores de diafragma son idealmente apropiados para un servicio de presión media – hasta aprox.  $8.75 \text{ Kg/cm}^2$ . Sin embargo, no debe utilizarse contra presiones inferiores de alrededor de  $0.35 \text{ Kg./cm}^2$ , y sobre todo, nunca deben usarse contra un vacío como el que se obtiene en el lado de succión de una bomba.

La bomba de pistón o embolo es similar a la de tipo diafragma, excepto en que el pistón desplaza directamente la cantidad de solución que va a alimentarse. Reduciendo el diámetro del pistón o la longitud de la carrera, pueden dosificarse con exactitud cantidades muy pequeñas de solución. Algunos dosificadores de embolo pueden descargar con exactitud cantidades tan pequeñas como  $0.375 \text{ ml/min}$ . Este tipo de dosificadores se impulsa por los mismos medios que se señalaron para los de diafragma.

Una desventaja del tipo de pistón, es la presencia de una caja de estopa que debe diseñarse para resistir la presión de la solución que esta descargando, para que no se registren fugas alrededor del pistón.

Algunos de estos dosificadores están diseñados para soportar presiones de hasta  $700 \text{ Kg/cm}^2$ .

En ambos tipos de dosificadores se registrará un flujo pulsador debido a la naturaleza alternante del mecanismo de operación. Ordinariamente esto no representa ningún problema si las variaciones en los niveles de fluoruro no pueden detectarse en el sistema de distribución. Sin embargo, el consumidor más cercano utiliza agua que presenta un nivel de fluoruros variable por mas de  $0.1 \text{ mg/l}$ ., durante un ciclo de carrera del dosificador, entonces deben proporcionarse medios para suprimir esta variación. Esto puede hacerse de tres maneras:

1. Puede insertarse un depósito de mezcla o un tanque de retención, en la línea después del punto de aplicación de la solución de fluoruros. si dicho tanque es suficiente, la solución de fluoruro debe mezclarse completamente con el agua.
2. Frecuencia de la carrera del dosificador puede incrementarse con un debilitamiento proporcional (dilución) de la solución de fluoruro. Esto requerirá también una reducción proporcional en la cantidad de solución descargada en cada carrera.
3. Pueden utilizarse dos dosificadores para que la carrera de descarga de uno, se registre durante la solución del otro. Este plan requiere también una dilución de la solución de fluoruro.

La capacidad de descarga de un dosificador de pistón o de diafragma en particular, casi siempre esta limitada entre una fracción de su descarga mínima hasta su descarga máxima a una velocidad máxima de rotación dada, estando el mínimo casi siempre entre un sexto y un sesentavo del máximo. En otras palabras, si el alcance máximo es del orden de diez a uno y de la descarga máxima es 100 ml/min., entonces la velocidad mínima no debe ser menor que aproximadamente 10ml/min. Aunque la mayoría de los fabricantes de los dosificadores proporcionan medios para reducir la razón mínima de descarga por debajo de la recomendada la exactitud disminuye notablemente en el alcance más bajo.

El dosificador de olla no es tan usual por su inexactitud, que es producida por la obstrucción de los orificios, las variaciones en la solubilidad del compuesto químico que van a dosificarse y el encañalamiento del agua a través del lecho del compuesto. Debido a su simplicidad, el tanque de carga se esta utilizando para estos fines, en otros países (Japón y Brasil), en donde puede contarse casi siempre con una atención constante.

La rueda de paleta tiene un uso muy generalizado para la dosificación exacta de soluciones. Un dispositivo de carga constante mantiene el nivel de la solución en un tanque en el que una serie de cucharones sujetos en una rueda parcialmente sumergida, levantan y descargan un volumen de solución. Las variaciones en la razón de alimentación se obtienen: cambiando el tamaño de los cucharones o tazas, quitando o agregando cucharones a la rueda giratoria, cambiando la velocidad de rotación y, variando la proporción del contenido que se descarga de los cucharones llenos, haciendo que el resto regrese al tanque.

Este tipo de dosificador es apropiado para las instalaciones en las que la solución puede alimentarse a otro tanque o recipiente o a un canal que esta a un nivel más bajo que el dosificador. No se ha diseñado para dosificar contra ninguna presión.

En otro tipo de dosificadores de solución, la operación se basa en un principio de decantación en el que una capa delgada de solución de un tanque, se quita constantemente. Esto se hace gradualmente bajando un tubo manguera de un extremo abierto dentro de la solución que va a dosificarse. El otro extremo de la manguera se conecta a un accesorio que esta en el lado inferior del tanque, que permite que la solución salga de la manguera hasta el punto de aplicación que esta fuera del tanque.

Como en el caso de los dosificadores de cucharones giratorios, el tipo de decantación no puede utilizarse para dosificar contra ninguna presión superior a la atmosférica. Sin embargo, puede hacerse que descargue dentro de la caja de una bomba de succión, desde donde la solución puede bombearse a lugares con presiones más elevadas.

## **DOSIFICADORES DE MATERIAL SECO.**

Estos aparatos son aquellos dispositivos que descargan una cantidad medida de un compuesto químico seco, durante un intervalo dado de tiempo. Existen dos tipos básicos: los volumétricos, que descargan un volumen específico ( cm<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>, lts., hectolitros y otras designaciones volumétricas similares) de material químico durante un tiempo designado; y los dosificadores gravimétricos, que descargan un cierto peso (Kg., Gr., etc.) durante un intervalo de tiempo señalado.

Generalmente los dosificadores volumétricos pueden descargar cantidades mas pequeñas que los gravimétricos; pero las diferencias primordiales en funcionamiento son:

- 1) Los volumétricos tienen una exactitud del 3 al 5%, por peso, en comparación al 1% de los gravimétricos.
- 2) Los volumétricos son más sencillos y su construcción es menos costosa.
- 3) Los gravimétricos generalmente se adaptan con mayor facilidad para registrar las cantidades de compuestos dosificados y para un control automático.

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

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

Los dosificadores volumétricos son básicamente, una combinación de un mecanismo impulsor de un medio para entregar un peso constante de compuesto seco, una tolva para contener el compuesto y una cámara para disolverlo antes de descargarlo dentro del abastecimiento de agua.

Casi cada fabricante tiene un diseño diferente para dosificar volumétricamente los compuestos químicos. Estos pueden clasificarse de acuerdo con varios tipos: de disco rotatorio, de trailla oscilatoria, de trailla vibratoria, de tornillo alternativo, de rodillo rotatorio, de rueda de estrella y de algunas combinaciones de estos compuestos principios.

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

raedera que tenga la forma apropiada. Las anchuras de las ranuras pueden variar para obtener diferentes razones de descarga. Estas razones pueden cambiarse también controlando la notación del disco y ajustando la posición de la raedera, para controlar la cantidad de material que se va quitando. Las razones pueden descender hasta 28.5 gr. de fluoruro de sodio por hora y ascender hasta 181.60 kg/hr.

El dosificador de tipo trailla osciladora (o tolva osciladora) consiste básicamente en una trailla o artesa acostada y plana en la que cae el compuesto de fluoruro desde la tolva que esta arriba. Ya sea la trailla o la parte inferior de la tolva, oscila lentamente a lo largo del eje de la primera, forzando con ese movimiento al compuesto para que caiga por los dos extremos abiertos de la artesa. Las razones de la descarga se controlan tanto con la longitud de la carrera oscilatoria, como con el grosor de la trailla. Los diferentes tamaños dependen de los alcances de descarga desde 56.7 gr/hr. hasta 225 kg/hr., de fluoruro de sodio (1200kg/m<sup>3</sup>), con un alcance dentro d un dosificador dado, de 40 a 1.

El dosificador de trailla vibratoria es un dispositivo para descargar un volumen de compuesto químico, de una trailla, de un canalón o una artesa que vibra eléctricamente. Un imán se activa por medio de una corriente pulsadora (ya sea con una corriente alterna o una directa pulsadora rectificada). La artesa se monta sobre resortes y se conecta directamente sobre el imán. La acción de la artesa es descendente y de retroceso en la carrera de energía, ascendente y de avance, en la siguiente carrera por la acción de los resortes. El material que esta en la artesa se mueve ligeramente hacia delante en cada carrera y parece fluir como agua, debido a la alta frecuencia de carrera (3600 carreras por min. con una corriente de 60 ciclos).

La razón de descarga se controla mediante un reóstato que determina el voltaje y en consecuencia el grado de movimiento de la artesa. Existe una gran cantidad de tamaños, variando la descarga desde 2 gr/hr a 3630 Kg. o más por hr. Sin embargo, en la planta de tratamiento de agua solo pueden utilizarse las unidades más pequeñas para la fluorización; las plantas mayores tienen una mayor exactitud con los dosificadores gravimétricos. Las descargas de los dosificadores vibratorios pueden utilizarse en aparatos de tipos gravimétricos de banda. Los dosificadores mas pequeños de este tipo, que son capaces de descargar hasta un máximo de 225 Kg. por hora consumen una energía de solo 3 watts.

Otro tipo de dosificador transportador de tornillo rotatorio consiste en un transportador helicoidal de rotación lenta. El material que va a dosificarse inunda el transportador desde una tolva y se descarga desde una artesa que esta al final del tornillo. El eje espiral gira ya sea mediante un tren de engranajes o por un mecanismo de matraca. La razón de descarga se controla mediante la longitud del recorrido de la matraca y también seleccionando la porción de reducción de engranes del eje impulsor. Varía desde 5.7 lts. por hora (7.71 Kg. de fluoruro de

sodio por hora) a arriba. Este dosificador podría usarse probablemente, para administrar solo compuestos químicos (fluoruro de sodio) de grado cristalino, en plantas pequeñas, debido a que otros compuestos más higroscópicos, tienden a atascarlo.

## **DOSIFICADORES GRAVIMÉTRICOS.**

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

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

El primer tipo (perdida de tiempo), consiste en una tolva suspendida de un sistema de báscula, un sistema eléctrico mecánico para mover la pesa en el brazo de la báscula, un medio mecánico para mover el compuesto de la tolva en una cantidad que depende de la posición del brazo de la bascula, así como una cámara de disolución. El impulso de tornillo de traslación (un motor sincrónico) mueve la pesa a lo largo del brazo, a una razón de velocidad predesignada. Si momentáneamente se descarga mas material del indicado, por la posición de la pesa, el brazo descenderá. Esta acción mueve la cuña de control (que esta cerca dl oscilador), en dirección descendente, permitiendo una disminución en la amplitud de la carrera que impulsara a la rueda de estrella o el mecanismo del dosificador vibratorio. Entonces se descargara una cantidad menor de material hasta que el peso del compuesto que quede en la tolva vuelva a equilibrarse por el peso del brazo de la báscula. El error de dosificación en este tipo de aparatos, es generalmente inferior a 1%. La descarga mínima de compuesto es de 5 Kg. por hr., con un alcance de alimentación del orden de 100 a 1, en tanto que algunos modelos pueden descargar hasta 2 toneladas por hora.

El otro tipo de dosificador gravimétrico, en el que una sección de una banda cargada y móvil se pesa continuamente. El peso de la banda se equilibra mediante el brazo de una balanza, cuya posición controla la descarga del compuesto sobre la banda. Cualquier desviación de este peso en la banda, hace que caiga de la tolva una cantidad mayor o menor de material sobre aquella. En este modelo, las vibraciones impartidas al diafragma de la tolva, son generadas por un excéntrico, y transmitidas a través de una cuña que varía la amplitud de las vibraciones, dependiendo de la posición del brazo de la báscula. Otros medios para cargar la banda incluyen compuestos ajustables en la tolva, que pueden activarse mecánica, eléctrica o neumáticamente, vibraciones eléctricas en una artesa de dosificación o una rueda de estrella giratoria. La exactitud de estos dosificadores es del orden del 1% o menos. El alcance de dosificación llega a ascender a 100 a 1 y pueden hacerse ajustes sencillos, moviendo simplemente el peso del brazo de la báscula. Un aparato de este tipo descarga hasta 90 Kg. por hr.

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

## **EXACTITUD DEL DOSIFICADOR.**

Los fluoruros deben dosificarse más exactamente que cualquier otro material que se emplee en el tratamiento de aguas. Desde el punto de vista de la reducción óptima en la caries dental, una diferencia de solo 0.3mg/lit de fluoruro por debajo del nivel óptimo, producirá, en promedio, aprox. un diente cariado adicional entre los niños de 13 años de edad. Por otro lado, como ya se señaló, el uso prolongado de agua que contiene fluoruros en exceso sobre el nivel óptimo producirá el moteado (fluorosis dental). Una vez que se ha determinado el nivel óptimo, no deben tolerarse desviaciones superiores a 0.1 mg/lit (el 10% cuando el nivel óptimo sea diferente a 1.0 mg/lit). Una cantidad considerable de pruebas indican que cuando se registran desviaciones prolongadas, el efecto de la salud dental de los niños se hace evidente.

Al designar la exactitud de un dosificador, deben describirse los límites de la razón de alimentación establecida, que corresponde al porcentaje de error de la cantidad de "repetición" dada. Los errores aumentan casi siempre en los límites extremos, tanto superior como inferior, de un dosificador. Además, el intervalo de tiempo aplicable a esta exactitud, debe darse también. Este intervalo está lejos de ser estándar entre los diferentes fabricantes; pero, por lo general, media hora

debe bastar para un volumen representativo. Un intervalo mas corto puede introducir un error que puede compensarse en una prueba mas prolongada. Las pruebas prolongadas no proporcionan ningún dato adicional.

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

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

## **CÁMARAS DE DISOLUCIÓN.**

Las cámaras de disolución forman parte de todos los dosificadores de material seco y si se diseñan correctamente, deben disolver en forma continua todos los compuestos químicos que recibe, antes de descargarlos.

Si parte del compuesto abandona esta cámara sin haberse disuelto (descargado de la forma de lechada), indica que:

- 1.- La cámara de disolución es demasiado pequeña.
- 2.- El tiempo de retención es demasiado corto.
- 3.- Se esta proporcionando muy poco agua.
- 4.- El mezclado ha sido insuficiente.
- 5.- Que se ha producido un corto circuito y esto permite que parte del compuesto abandone la cámara de disolución casi inmediatamente después de que ha penetrado en ella.

En la práctica, las cámaras de disolución raramente se hacen con capacidades inferiores a 19 litros. Esto se debe a que:

- No es económico hacerlas mas pequeñas,
- Se requieren cámaras de cuando menos ese tamaño para sostener los dosificadores mas pequeños, y

- Es más probable que se produzca un corto circuito en los tanques más pequeños.

El mezclado de compuesto químico y el agua ya sea con chorros de agua o con mezcladoras eléctricas.

## **COMO PLANEAR EL MEJOR SISTEMA.**

Teniendo ciertos conocimientos sobre la facilidad de obtención y de los compuestos de flúor, y los muy diversos tipos de dosificadores de compuestos químicos, puede hacerse la selección del mejor sistema de dosificación de fluoruro. El diseño de dicho sistema debe basarse en la consideración de tres principios:

1. Un funcionamiento seguro.
2. La mayor seguridad.
3. El equipo más económico.

El ingeniero debe escoger la combinación del compuesto químico más económico y el sistema de dosificación mas apropiado, en relación con el tamaño e instalaciones (personal y equipo de planta) con que cuenta la comunidad.

Con el fin de calcular el tamaño y otras características de las diferentes piezas del equipo, debe determinarse primeramente la cantidad de fluoruros que deberá dosificarse en incrementos sucesivos, cada vez mayores de tiempo. La cantidad de agua que va a tratarse debe medirse en diferentes intervalos, durante horas distintas del día, estaciones del año u otros periodos que afectan el consumo máximo de agua. Para determinar el tamaño dl dosificador, la consideración básica es conocerla cantidad de compuesto requerido por unidad de tiempo (siendo 1 min. el mas conveniente) que se agregara a una cantidad dada (con fines de calculo, la cantidad máxima) de agua que va a tratarse. Las cantidades de agua descargada durante intervalos mayores que 1 min. (intervalos de hasta 1 año) se utilizan para determinar el tamaño de otras partes del sistema de fluorización.

La cantidad de compuesto que se emplea es directamente proporcional a la cantidad de agua que va a tratarse. En consecuencia, debe determinarse la cantidad de agua que va a tratarse durante el periodo de máximo caudal.

Esta proporción puede determinarse de diferentes maneras:

- Por lecturas de los medidores de agua.
- Por las razones de descarga de una bomba.
- Por la medición asenso o descenso del nivel de agua en un deposito o tanque, durante un intervalo de tiempo.

- Mediante el uso de dispositivos de medición de velocidad o del caudal- medidores de hélice, tubos de Pitot, diferenciales de presión o carga derivados de placas de orificio canalones vertederos y tubos de flujo.

La razón máxima a la que debe tratarse el agua, durante el periodo de un día o algo semejante (mejor que durante un min.), debe conocerse también con el fin de determina las dimensiones de la tolva del dosificador para el compuesto químico.

De la misma manera, la razón máxima de flujo, durante el periodo de una semana o dos, debe conocerse a fin de calcular el tamaño adecuado de los depósitos o lugares de almacenamiento. Además debe calcularse el consumo máximo de agua durante un año con el propósito de que puedan establecerse presupuestos para la compra de los compuestos químicos. En muchos casos será mas económico comprar anualmente cierta cantidad de compuesto en una sola orden, aunque no se pueda almacenar en la planta todo el material adquirido.

## **EQUIPO AUXILIAR DE LOS DOSIFICADORES.**

### **CONTROL DEL DOSIFICADOR.**

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

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

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

Existen dos sistemas de control automático. Puesto que la cantidad de agua es la variable que mas comúnmente se encuentra, y generalmente, tiene mayor efecto en el nivel de fluoruro, la mayoría de los sistemas de control se basan en un ajuste

automático del dosificador dependiendo de la cantidad que va a tratarse. El otro sistema de control automático en los dosificadores de fluoruros, se basa totalmente en el nivel de fluoruro del agua tratada. Por supuesto, esto requiere del análisis automático continuo de los fluoruros del agua tratada, así como medios para ajustar el dosificador, con el fin de mantener constante el nivel de fluoruros preestablecido.

El aparato que se usa más comúnmente para medir cantidades de agua, es el contador de desplazamiento, (de pistón oscilador o de disco de inclinación). El principio de operación es el mismo para ambos tipos. En una cámara de medición se ajusta un pistón o un disco, que gira dentro de ella (en el caso del disco, el movimiento es una combinación de rotación y oscilación). Por cada revolución del pistón se convierte a una unidad conveniente de medición (cm<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>, lts, etc.) en una carátula graduada, mediante los trenes de engranajes necesarios. Se emplean principalmente en donde la variación en flujo va desde un valor muy pequeño hasta uno bastante grande. Su característica más notable es su capacidad de medir con exactitud hasta los flujos más pequeños. Su exactitud es del orden de  $\frac{1}{2}$  a  $1 \frac{1}{2}$  %. Por esta razón, son idealmente apropiados para adaptarse a pequeños dosificadores de fluoruro, cuando se usan en los abastecimientos de aguas caseros o en las plantas de tratamiento más pequeñas.

Los medidores de velocidad, turbina o corriente son de dos tipos:

- Los destinados principalmente para el consumo doméstico del agua y
- Los que se usan en las plantas de agua o en las estaciones de bombeo.

Pueden intercambiarse fácilmente, dependiendo de las cantidades de agua que va a medirse. Los medidores actuales que se emplean en los casos que se tratan cantidades pequeñas de agua, se distinguen porque su cámara de medición es desmontable. también, la turbina gira casi siempre sobre un plano horizontal y el registrador de la parte superior está directamente conectado al eje de la turbina. El impacto del flujo del agua sobre las paletas de la turbina, hace que su eje gire a una velocidad proporcional a dicho flujo. El eje se conecta al registrador, por medio de un tren de engranajes y la cantidad indicada de agua es proporcional a las revoluciones de la turbina.

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

El medidor de hélice, que es el otro tipo de medidor de corriente; generalmente se inserta directamente en la tubería. Está equipado con una hélice que gira en un plano vertical y en la corriente de agua. Se supone que la velocidad de rotación es proporcional a la velocidad del agua, y el registrador, impulsado por medio de engranajes, está diseñado para indicar la cantidad de agua que pasa por la hélice. Los medidores de hélice, pueden encontrarse en tamaños que van desde 2 hasta 72 pulgadas, con capacidades desde 300 hasta más de 227000 lt/min.

Existen otros métodos para controlar un dosificador, mediante un impulso eléctrico del medidor de agua: controlando la velocidad de un motor de corriente directa; automáticamente (con un motor eléctrico inversor) controlando la longitud de carrera del dosificador, o controlando la posición de la banda con un cilindro de aire o con un motor impulsor de velocidad variable. Estos medios son casi siempre más complicados y costosos.

### **ACCESORIOS DEL DOSIFICADOR.**

El equipo necesario o conveniente para la operación de los dosificadores de solución de fluoruro, es diferente del que se utiliza para la alimentación de los compuestos secos. Por ejemplo es necesario que, los dosificadores de solución estén conectados a un tanque en el que se preparan y almacenan las soluciones. Además, pueden proporcionarse medios para registrar la cantidad de solución utilizada durante un intervalo dado y debe contarse con el equipo necesario para la seguridad de los operadores de la planta de tratamiento de agua.

Los tanques más sencillos para contener la solución de fluoruro de sodio, de una concentración aproximada del 2%, estos tanques por lo general son de acero inoxidable, o más recientemente de diferentes plásticos, y tienen un tamaño tal que pueden contener la cantidad de solución necesaria para por lo menos un día. Deben proporcionarse medios para medir la cantidad de agua agregada al tanque, mediante un grifo instalado sobre este. Debe usarse un mezclador, ya sea eléctrico o una paleta de mano, durante el tiempo suficiente para disolver todo el compuesto de flúor. Se requerirá de una balanza pequeña para pesar el fluoruro de sodio que va a disolverse en cada cantidad medida de agua; para este propósito, una balanza de resorte es lo más apropiado. Puede instalarse en uno de los costados del tanque, un tubo indicador de nivel para controlar la descarga del dosificador de solución. Para obtener soluciones saturadas de fluoruro de sodio, sin necesidad de hacer mediciones del agua o del compuesto químico puede utilizarse un saturador de fluoruro de sodio.

Para evitar o reducir la formación de fluoruro de calcio o magnesio (que son relativamente insolubles) en el saturador, dosificador, tuberías de la solución y

boquilla de inyección, en ocasiones es conveniente pretratar el agua que se utiliza en el saturador o en la cámara de disolución de un dosificador de material seco. El calcio y el magnesio provienen de compuestos disueltos en el agua que se utiliza para hacer la solución de fluoruro, y con el fin de evitar la formación de costras y precipitados de estos elementos, el calcio o el magnesio pueden extraerse o combinarse. Esto se logra suavizando el agua o tratándola con uno de los hexametáfosfatos. Desde el punto de vista de la pérdida económica de fluoruros, debida a la formación de fluoruros de calcio o magnesio en un saturador, no se aconseja que se utilice un saturador para aguas que tenga una dureza inferior a aprox. 80 mg/lit. En muchos casos puede evitarse el taponamiento de un saturador, debido a estas causas, retrolavado el precipitado que se haya formado en el depósito. Cuando las boquillas de inyección (los dispositivos que se utilizan en el extremo de la manguera de descarga de un dosificador de solución que se inserta por un robinete en la tubería, en el punto de aplicación de los fluoruros) se tapa con estas escamas, pueden quitarse y limpiarse periódicamente.

En las plantas donde se requiere la coagulación, puede utilizarse un tanque de diseño especial para disolver el espato flúor en soluciones de alumbre de diferentes concentraciones. Las plantas de casi todos los tamaños pueden emplear este sistema, si la dosis mínima de coagulante es del orden de 10mg/lit, cuando la cantidad de ion fluoruro que debe agregarse es de 1.0 mg/lit.

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

La cantidad de ácido que se emplea puede determinarse fácilmente, registrando periódicamente (por hora o por día) el peso del ácido dosificado. Este se determina montando sobre básculas el recipiente de envío o el tanque de pesado del ácido. Estas lecturas se requieren para computar la concentración media real del fluoruro, que se basa en la cantidad de agua tratada y la del ácido utilizado entre pesados periódicos y sucesivos del ácido.

Por supuesto, el mismo calculo debe utilizarse en todos los sistemas de fluorización, ya se que se empleen compuestos secos o líquidos de fluoruro.

Las instalaciones de los dosificadores de material seco consisten, casi siempre, en la combinación de dos o más dispositivos que son transportadores de material, tolvas, recolectores de polvo, básculas y registradores, así como medios para

transferir la solución de fluoruro de la cámara de disolución del dosificador, al punto de aplicación.

## **PUNTOS DE APLICACIÓN.**

Si el abastecimiento no tiene otros tratamientos, como el agua de pozos, la solución de fluoruro se alimenta casi siempre con un dosificador de solución o con una bomba (con un tanque de succión), directamente al tubo de descarga de la bomba del pozo. Las soluciones de fluoruros nunca se dosifican en forma directa al pozo o en el lado de succión de su bomba, sin que se tomen medidas para evitar el sifonaje. Cuando un dosificador de solución de fluoruro esta diseñado para descargar a un nivel inferior o a un lado de succión de una bomba, debe proporcionarse un orificio o una caja de succión controlada por flotador. Sin este dispositivo para evitar el sifonaje de la solución de fluoruro a través de la solución, posiblemente se producirán grandes inexactitudes en el nivel de fluoruro del agua tratada.

En los sistemas que utilizan agua tratada en cualquier otra forma, el mejor punto de aplicación, es a veces, un término medio entre el lugar en donde la tolva del dosificador puede llenarse fácilmente y el punto en el que los procesos subsecuentes del tratamiento, producirán la menor tendencia a quitar la menor cantidad de fluoruros agregados. Estos procesos incluyen el ablandamiento con cal en presencia de magnesio; la coagulación con alumbre o aluminato de sodio; la dosificación de arcillas bentoníticas y el tratamiento con carbono activado a valores bajos de pH. Puede eliminarse hasta un tercio de los fluoruros aplicados al agua tratada, cuando la dosis de alumbre es de 100 mg/lt. Por lo tanto, generalmente se aconseja agregar los fluoruros después de estas etapas de tratamiento (si la sedimentación es prolongada y eficaz y si los filtros eliminan relativamente poco material, los fluoruros pueden agregarse antes del filtrado). Sin embargo, si la carga sobre los filtros es considerable, los fluoruros deben agregarse después de la filtración, generalmente en la tubería que esta entre los filtros y el pozo de agua clarificada.

## **CONTROL DE LA CONCENTRACIÓN.**

El planeamiento de cualquier instalación de fluoruración, debe incluir medidas para aprobar periódicamente las concentraciones de fluoruros en el agua tratada. Debe hacerse un registro completo de la historia de los niveles de fluoruro, no solo por parte del departamento local de agua potable y sanidad, sino también por un laboratorio de sanidad estatal. Un registro de este tipo es útil para cualquier cuestión sobre futuras responsabilidades por daños, para corregir los ajustes del

equipo dosificador y para demostrar el papel de los abastecimientos de agua potable, en su contribución a la salud y el bienestar de la comunidad.

La determinación periódica del contenido de fluoruro en las muestras de agua, es una de las dos formas de que se dispone para probar la idoneidad de este sistema. El resultado de estas pruebas de laboratorio de los fluoruros, revela la concentración en el instante en que se recogió dicha muestra. Un método más exacto y revelador para recoger muestras sería utilizar un equipo que pudiera proporcionar una muestra compuesta de toda el agua tratada en un día. Pueden obtenerse resultados similares, útiles para proporcionar una corroboración sobre los resultados de laboratorio, computando la dosis de fluoruro para cada día (o para mayores periodos de tiempo). Este cálculo se basa en la cantidad de compuesto utilizado y el volumen de agua tratada.

## **FRECUENCIA DEL MUESTREO.**

El número de muestras tomadas para el análisis de fluoruro, se escoge con el objeto primordial de asegurar un nivel constante de este compuesto, a la concentración correcta, en todo sistema de distribución. Basándose en estas determinaciones es como se ajusta el dosificador y se juzga su exactitud.

El número de muestras recogidas depende de, principalmente, de uno o más de los siguientes factores:

1. El tamaño del sistema: mientras más grande sea la planta de tratamiento de agua, tantas más muestras se requerirán.
2. Su complejidad: si se requiere más de un dosificador, será necesario tomar muestras adicionales.
3. La edad de la instalación: se requerirán más muestras durante las etapas iniciales de un programa de fluorización, sobre todo con el fin de comprobar los ajustes hechos al dosificador.

Aunque es obviamente imposible especificar el número exacto de muestras requeridas para todas las plantas, pueden hacerse las siguientes observaciones:

1. Para las comunidades más pequeñas, debe examinarse cuando menos una muestra diaria de la planta, y una al mes del sistema.
2. Durante las primeras etapas de un proyecto (los primeros 6 meses mas o menos) debe examinarse cuando menos una de la planta y otra adicional de un punto remoto en el sistema de distribución.

3. En las comunidades más grandes, el laboratorio del departamento de sanidad, hace generalmente una comprobación de muestras, junto con el departamento de agua potable.
4. En comunidades mayores se toman, unas cuantas muestras de distribución (hasta 12 o mas) cada día, de una serie de alrededor de 100 o mas puntos de muestreo. Se hacen rotaciones o cambios cada día de los lugares donde se toman las muestras diarias, entre todos los puntos de que se dispone.
5. Los registros de todas las muestras deben conservarse y archivarse, con el fin de tener fácil acceso a ellas.

## **ANÁLISIS DE LOS FLUORUROS.**

Los análisis de los fluoruros en el agua requieren la determinación de la cantidad de ion fluoruro que esta presente en la solución, si importar la fuente de donde proviene. Sus fuentes pueden ser muchas; puede presentarse en forma natural por compuestos de flúor de la tierra o de los compuestos de flúor o silicofluorúros agregados en cantidades controladas en la planta de tratamiento de agua. No hay un método para distinguir un ion fluoruro de otro o para determinar la fuente o naturaleza exacta del compuesto original.

Del gran número de métodos analíticos para fluoruros, el que se seleccione debe tener la sensibilidad, que detecte hasta las cantidades más pequeñas presentes en una muestra. El nivel de fluoruro que casi siempre se busca, involucra aprox. 0.001mg. en 1000 lts. de agua. Por esta razón la mayoría de los métodos de análisis químicos tradicionales (gravimétrico, volumétrico, polarográfico, etc.), no son apropiados en este caso. Los llamados métodos calorimétricos son los mas adecuados, debido a que son sensibles a fluoruros a los niveles tan bajos en los que se encuentran en el agua y pueden realizarse con relativa facilidad, con los tipos de instrumentos mas sencillos de laboratorio.

El análisis colorimétrico se basa en la relación de la intensidad de del color de una solución, con la concentración de una sustancia dada que esta presente en la solución, mediante un sistema apropiado de medición puede utilizarse esta relación como un método analítico cuantitativo. El sistema colorimétrico emplea tres componentes básicos:

- Una fuente de energía radiante (luz)
- Un dispositivo para ubicar la muestra
- Un receptor o detector de los valores de energía radiantes.

Todos los sistemas calorimétricos, sin importar su complejidad, dependen básicamente de la manipulación de estos tres elementos.

En todos los elementos de colorimetría se hace pasar una luz de cierta característica a través de una muestra coloreada. El grado de coloración de dicha muestra es proporcional a la concentración de un ingrediente dado, en este caso, el fluoruro. La intensidad de la luz no se absorbe al pasar por la muestra (la luz transmitida), se mide mediante un detector apropiado y después se compara con la intensidad de luz transmitida, previamente medida en muestras que contienen concentraciones conocidas del ingrediente buscado.

En los análisis de fluoruro, el sistema colorimétrico emplea luz blanca como fuente de energía radiante. Los sistemas más sencillos utilizan la luz del sol a través de una ventana adecuada, un techo o la luz del alumbrado. Los fotómetros más sensibles, aunque complicados, utilizan una lámpara de filamento de tungsteno con una fuente de corriente de voltaje regulado, para asegurar una intensidad constante en la luz.

La ubicación de la muestra debe ser la misma en una serie de mediciones de la intensidad de la luz. Las muestras se colocan en tubos Nessler (para comparaciones visuales) o celdas o cubetas de vidrio o cuarzo esmerilado, cuidadosamente preparadas, cuando las comparaciones se hacen en un fotómetro. Las celdas deben tener un diseño tal, que la longitud de la trayectoria de la luz sea idéntica en cada medición.

El detector se emplea para medir (y eventualmente indicar) la intensidad de la luz que pasa por la muestra. En los sistemas más simples el detector es el ojo humano; los instrumentos más exactos utilizan celdas fotoeléctricas. El ojo humano es generalmente considerado como de menos exacto, debido a que muchas personas padecen daltonismo en diversos grados y la comparación exacta de dos colores depende en gran parte del juicio y la experiencia.

En casi todos los sistemas de medición de color, se selecciona un reactivo que, cuando se agrega a la muestra, produce un color cuya intensidad es la que indica la concentración del elemento buscado.

## **SISTEMAS DE MEDICIÓN DEL COLOR.**

Los métodos visuales de comparación de colores, son los más antiguos, sencillos y generalizados. Los tubos Nessler son los que casi invariablemente se emplean como receptáculos de la muestra en este método. En los análisis de fluoruro deben usarse tubos de los llamados largos, diseñados para una trayectoria de luz de 30 cm. Los tubos deben comprarse en una serie de 6 o más e igualarse unos con otros, desde el punto de vista de la longitud de la trayectoria y el color del vidrio. En este sistema, la luz exterior o la de la habitación es la fuente de energía radiante, el tubo mismo es el recipiente de la muestra y el ojo el detector.

## **FOTÓMETROS.**

El uso de fotómetros para comparar muestras con testigo, eliminan o reducen substancialmente los errores producidos por el ojo humano, en los sistemas de comparación visual del color. Estos instrumentos indican, por medios eléctricos y mecánicos la cantidad de luz transmitida (o absorbida) por la solución coloreada. el detector en estos instrumentos es un dispositivo en el que se registra un cambio en la corriente eléctrica conforme cambia la luz que incide contra el.

Un fotómetro consiste de cinco partes esenciales:

1. Una fuente de luz, generalmente un bulbo de filamento de tungsteno con algunos medios para mantener una intensidad constante.
2. Un medio para seleccionar una banda de longitud de onda, ya sea con filtros o, como hacen los espectrofotómetros con prismas o rejillas de difracción.
3. Un dispositivo óptico para concentrar, dividir o dirigir los haces de luz.
4. Medios para sujetar y exponer al haz de luz la muestra y los testigos.
5. Un sistema que detecte la luz transmitida e indique su intensidad.

Esta combinación de partes hace que un fotómetro mida, con la mayor exactitud, la cantidad de luz que pasa a través de una solución coloreada.

## **QUÍMICA DE LOS ANÁLISIS DE FLUORUROS.**

La base de un buen método analítico calorimétrico, es la formación de un color que revelara la cantidad de compuesto investigado. Esto requiere la disponibilidad de un reactivo que forme un color cuando se agregue una muestra. La intensidad de este color indica la cantidad del material buscado, en este caso el fluoruro.

Con la excepción del reactivo denominado SPADNS, todos los métodos d fluoruros en los "métodos estándar", están basados en la reacción entre el circonio y la alizarina. La reacción entre los compuestos que tienen el circonio y la alizarina, producen una laca o complejo de color rojo. El fluoruro de la muestra elimina parte del circonio de la reacción, evitando que se forme algo de laca roja, y como resultado, disminuye la intensidad del color. En las muestras notablemente ricas en fluoruro, el color es el mismo que el de la alizarina sin haber reaccionado; en las muestras de escaso contenido, el color es similar al de la laca roja del circonio y alizarina. La reacción no es instantánea, sino que progresa con el tiempo. Al término de una hora, aprox., la reacción estará casi terminada. Por esta razón las muestras se leen 60+/- 2min. después de que se agregan los reactivos. Puesto que la temperatura de las muestras afectan la velocidad de la reacción, los testigos y muestras deben mantenerse a la misma temperatura durante esa hora.

## PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS DEL FLUORURO.

### I. Método colorimétrico Scott-Sanchis

#### A. Reactivos.

##### 1. Reactivo ácido de circonio.

- a. Disuelva 0.3 gr. de oxiclórico de circonio o 0.25 gr. de oxinitrato de circonio, en 50 ml. de agua destilada, en un matraz aforado de 1lt.
- b. Disuelva 0.07gr, de monosulfato sódico de alizarina (tintura certificada) en 50 ml. de agua destilada.
- c. Agregue la solución de alizarina a la de circonio en el matraz, sin dejar de agitar, deje reposar la solución resultante durante algunos minutos.
- d. Diluya 112 ml. de ácido clorhídrico concentrado a 500 ml. con agua destilada.
- e. Agregue con sumo cuidado 37 ml. de ácido sulfúrico concentrado a 400 ml. de agua destilada y afora a 500 ml. Deje enfriar y mezcle los dos ácidos después.
- f. A la solución clara de circonio y alizarina que esta en el matraz de 1 lt., agregue la combinación de los dos ácidos, hasta la marca de un litro y mézclelos. Dejar reposar durante una hora antes de utilizarla. Cuando se guarda en el refrigerador, el reactivo es estable durante cuando menos dos meses.

##### 2. Solución madre de fluoruro.

- a. Disuelva 0.2210 gr. de NaF en un litro de agua destilada. (1 ml. = 0.1mg. de F).

##### 3. Solución patrón de fluoruro.

- a. Diluya 100 ml. de la solución madre anterior con agua destilada, hasta obtener un litro. (1 ml. = 0.1mg. de F).

##### 4. Solución de arsenito de sodio.

- a. Disuelva 1.8 gr. de  $\text{NaSO}_2$  en un litro de agua destilada.

#### B. Procedimiento.

1. Prepare una serie de patrones de fluoruro, pipeteando las cantidades indicadas de la solución patrón en tubos Nessler de 100 ml. y diluya hasta el aforo.
2. Tome 100ml. de la muestra o una alícuota diluida a 100 ml. y decolore agregando 2 gotas (0.1ml.) de la solución de arsenito, por cada mg/lt de cloro presente en la muestra.
3. Ajuste los patrones y la muestra para obtener la misma temperatura, con +/- 2°C.
4. Agregue 5 ml. del reactivo mezclado a cada uno de los patrones y a la muestra. Mézclelos bien y déjelos reposar durante cuando menos 60 min.

5. Compare la muestra con los patrones y calcule la cantidad de fluoruro que contiene la porción alícuota de la muestra.
6. Registre la concentración de fluoruro en mg/lt.

## II. Método fotométrico Megregian-Maier.

### A. Reactivos.

1. Alizarina: disuelva 0.740 gr. de monosulfato sódico de alizarina en un litro de agua destilada.
2. Solución de circonio.
  - a. Disuelva 0.354 gr. de oxiclórico de circonio o 0.294 gr. de oxinitrato d circonio en aprox. 100 ml. de agua destilada.
  - b. Agregue 100 ml. de ácido clorhídrico concentrado.
  - c. Diluya a aprox. 600 ml.
  - d. Agregue 33 ml. de ácido sulfúrico concentrado, lentamente y agitando.
  - e. Deje enfriar y luego diluya a un litro con agua destilada. Déjela reposar 1 hora (o toda la noche) antes de usarla.
3. Solución madre de fluoruro: disuelva 0.2210 gr. de NaF en un litro de agua destilada. (1 ml. = 0.1mg. de F).
4. Solución patrón de fluoruro: diluya parte de la solución madre que acaba de hacer con agua destilada, en la proporción de 1:10. (1 ml. = 0.1mg. de F).
5. Solución de arsenito de sodio: disuelva 1.8 gr. de NaAsO<sub>2</sub> en un litro de agua destilada.

### B. Procedimiento.

1. Preparación de la curva de calibración.
  - a. Prepare una serie de patrones pipeteando las cantidades indicadas de solución patrón de fluoruro, en matraces rotulados Erlenmeyer de 250 ml. y aforando a 100ml. con agua destilada.

Mg. de F	ml. de solución patrón
0.00	0
0.05	5
0.10	10
0.15	15
0.20	20

- b. Ajuste todos los patrones a la misma temperatura, con un margen de +/- 2°C. registre la temperatura media. Todas las determinaciones subsecuentes deben hacerse bajo las mismas condiciones.
- c. Agregue exactamente 5.0 ml de reactivo de alizarina a cada patrón y mezcle inmediatamente a intervalos de 2 min. y principiando con el testigo,

agregue con exactitud 5.0 ml. de reactivo de circonio a cada modelo. Mézclelos inmediatamente y déjelos reposar durante 60 min. +/- 2min., cronometrando la reacción desde el instante en que se agrega el reactivo de circonio.

- d. Coloque una porción de cada patrón en una cubeta.
- e. Utilizando solo agua destilada en una de las cubetas ajuste el fotómetro a una absorbencia de 0 (transmitancia de 100%), utilizando una longitud de onda de 525 ml (o un filtro en la región de 520 a 550 ml.).
- f. Tome las lecturas de absorbencia de cada patrón, dentro del tiempo límite de 60 +/- 2 min. Nota: cuando los valores de absorbencia se sitúan gráficamente con el contenido de fluoruro, se obtendrá una línea pendiente negativa. La línea debe ser prácticamente recta entre 0.00 y 0.20 mg. La curva de calibración obtenida en esta forma, servirá para las determinaciones subsecuentes de concentraciones de fluoruro, con tal de que se repitan las condiciones de reacción (temperatura, tiempo, reactivos). Debe trazarse una nueva curva siempre que se prepara un nuevo lote, ya sea de reactivo de alizarina o de circonio o bien cuando se utilice una temperatura normal diferente.

## 2. Análisis de la muestra de agua

- a. A 100 ml. De la muestra de agua (o una alícuota diluida a 100ml.) de solución de arsenito de sodio, por cada mg/l de cloro que contiene y agregue después de 2 gotas adicionales.
- b. Ajuste la temperatura de la muestra con la de la curva de calibración.
- c. Agregue exactamente 5.0 ml. exactos del reactivo de circonio. Mezcle y deje reposar la solución durante 60 +/- 2 min.
- d. Pase parte de la mezcla de reacción una cubeta y obtenga la lectura e absorbencia, utilizando la referencia de agua destilada (como en el paso e) para la preparación de la curva de calibración.
- e. Con la curva de calibración determine la cantidad de fluoruro que contiene la muestra. La concentración de fluoruro se registra en mg/l.

## FUENTES DE ERROR

El análisis de fluoruro requiere la mayor exactitud posible. Las cantidades de este compuesto que casi siempre se encuentran en el agua, son tan pequeñas que un error que normalmente se toleraría en otros métodos, produciría uno considerablemente mayor en porcentaje en el análisis de fluoruro. Los errores más comunes pueden evitarse tomando en cuenta las siguientes precauciones:

1.- Los recipientes de vidrio deben estar limpios y perfectamente igualados en lo que respecta al color. Esto incluye a todos los vidrios que se usaran para

comparar colores: tubos Nessler y celdas de fotómetro (cubetas). Se sabe que una simple huella digital impresa en el exterior de la cubeta, reduce considerablemente el nivel de fluoruro de la muestra que contiene.

2.- El reactivo debe medirse con toda exactitud. El reactivo de fluoruro contiene ambos ingredientes para formar la laca coloreada, así como el ácido para controlar el pH óptimo para el desarrollo del color.

3.- Todos los métodos tienen un límite superior bien definido para detectar el fluoruro con exactitud. Cuando el nivel de fluoruro en una muestra se acerca a este límite, debe diluirse para que quede dentro del mismo.

4.- El color y la turbidez pueden compensarse en todos los instrumentos; pero la forma más segura de manejarlos es destilar la muestra para eliminarlos.

5.- El tiempo requerido para la reacción y la temperatura a la que se registra, deben observarse y controlarse con sumo cuidado.

6.- La interferencia de otros constituyentes del agua, es probablemente la fuente de error. Ningún método de fluoruro es específico para esta sal; todos pueden medir otros iones bajo condiciones óptimas. Las diferentes interferencias pueden manejarse en distintas formas; pero la más segura es destilar la muestra.

## **DESTILACIÓN**

### **DESTILACIÓN DIRECTA CON VAPOR.**

Este método requiere de dos matraces: uno, el que contiene el agua destilada, siendo un generador de vapor y el otro; que contiene la muestra y el ácido, recibe el vapor del primero y libera el ácido fluosilícico volátil. Este ácido en la forma de vapor, se condensa y recoge en un matraz volumétrico.

Las características físicas del aparato son: el diámetro del tubo de descarga que conecta el matraz con el condensador, la profundidad de inmersión tanto del termómetro como del tubo de entrada del vapor y la exactitud de ajuste de todos los tapones y las uniones. El tubo de descarga debe tener un diámetro interno de cuando menos 8mm. Un tubo más pequeño hará que se formen burbujas en su interior y tenderá a hacer que las gotas de ácido sulfúrico pasen al condensador. El termómetro y el tubo de entrada del vapor del matraz de destilación, deben colocarse lo suficientemente abajo para que ambos estén siempre sumergidos. Cuando desciende el nivel del líquido del matraz y queda expuesto el bulbo del termómetro, se producirán errores en las lecturas de la temperatura, en tanto que

la exposición del tubo del vapor hará que éste pase bastante líquido. Cualquier escape en las uniones o los tapones, hará que se pierda vapor que contiene fluoruro, motivando un error en la medición de fluoruro del destilado.

### **Proceso:**

Se prepara el matraz de destilación de 250 o 300 ml, colocando en él 25 ml de ácido sulfúrico. El ácido debe agregarse lentamente y mezclarse bien con agua. Una vez que los matraces se conectan, el contenido de ambos se calienta hasta el punto de ebullición, mientras que el paso del vapor se mantiene abierto. Este se cierra en cuanto la temperatura llega a 135°C, los mecheros se ajustan entonces, para que este permanezca entre 135 y 145°C. Debe recogerse un total de destilado a la velocidad de 5 a 10 ml/min. Este destilado se desecha debido a que tiene trazas de fluoruro, que pueden haberse encontrado en el ácido adheridas al recipiente. El aparato ahora puede recibir la muestra. Si esta contiene concentraciones muy reducidas de fluoruro (menos de aprox. 0.3mg/l), debe concentrarse hirviendo 200ml hasta que se reduzcan alrededor de 50ml. La muestra debe alcalinizarse primeramente, con una solución diluida de hidróxido de sodio, si se va a practicar una evaporación. Después de que se halla enfriado el matraz de destilación, agregue la muestra (100 ml si no se ha evaporado previamente) al ácido que haya quedado después del lavado y mézclelos perfectamente. Si la muestra estaba concentrada, puede utilizarse agua destilada para enjuagarlo y vaciarlo al matraz. No obstante, el volumen total del agua no debe exceder de 100 ml. La muestra debe utilizarse como se hizo la primera vez, recogiendo 200 ml exactos del destilado. El ácido puede utilizarse repetidamente, a condición de que los contaminantes de la muestra de agua no se acumulen a un grado tal, que la recuperación se vea afectada o se registren interferencias en el destilado. Esto puede detectarse destilando periódicamente muestras patrón de fluoruro.

### **DESTILACIÓN DIRECTA.**

La diferencia y ventajas de este método, es que la muestra no se diluye. Siempre que una muestra debe diluirse y determinarse a continuación su contenido de fluoruro, cualquier error hecho en esta determinación se multiplica por el factor de dilución. La ausencia de dilución se forma utilizando una muestra más grande y haciendo la destilación dentro de un margen mas amplio de temperatura; debido al nivel elevado de esta al final de la destilación, se registra un paso marcado de los sulfatos. Sin embargo, el gran volumen de destilado y la reducida temperatura inicial, producen una concentración general de sulfato que la mayoría de los reactivos del fluoruro pueden tolerar.

Consiste en un matraz de base esférica de un litro, un tubo de conexión, un condensado eficiente, un termómetro (con graduación de hasta 200°C) y su adaptador, un mechero y un matraz volumétrico para recoger el destilado. Pueden utilizarse aparatos similares, siempre y cuando se obtenga una recuperación total del fluoruro y se registre el paso mínimo de sulfatos. Este último puede reducirse utilizando una placa de asbesto para proteger la parte superior del matraz de destilación de la llama del mechero.

Para producir el vapor se colocan 400 ml de agua destilada en el matraz de destilación, se agregan lentamente 200 ml, de ácido sulfúrico y se mezclan perfectamente. A continuación se agregan las perlas de vidrio, se monta el aparato y se ajustan firmemente las uniones. Después se aplica calor y se continúa la destilación, hasta que la temperatura asciende a los 180°C exactos. Este proceso no solo elimina la contaminación del fluoruro del aparato, sino que también sirve para obtener la proporción correcta entre el ácido y el agua para destilación de la muestra. Para todas las destilaciones subsecuentes, deben agregarse 300ml de la muestra a la combinación de ácido previamente usada, mezclándolas perfectamente y completando la destilación como se describió.

## **REGISTRO Y CONTROL AUTOMÁTICOS**

Un registro continuo de la concentración de fluoruro en el agua, tiene un gran valor para el sistema de abastecimiento de agua. Un registro de este tipo no solo controlaría la operación de todo sistema dosificador de fluoruro, sino que también proporcionara una historia gráfica de los niveles de fluoruro en cualquier punto de la planta o sistema de distribución. Solo sería necesario adaptar un mecanismo sensor en cualquier punto deseado, para que los resultados puedan transmitirse al instante, eléctricamente, a cualquier centro director o recolector.

En la actualidad existen tres métodos para detectar automática y continuamente el nivel de fluoruro en el agua. Uno es una extensión del método colorimétrico normal, otro esta basado en cambios en la conductividad eléctrica del agua cuando se le agrega fluoruro y el tercero y mas reciente, utiliza un electrodo de actividad iónica de esta sal.

Las partes esenciales de un método colorimétrico continuo, consisten en: 1. Un sistema de preparación y medición de muestras. 2. Un sistema de medición de reactivos. 3. Un aparato de mezcla y retención. 4. Un fotómetro y registrador para indicar el nivel de fluoruro.

En este sistema en particular la muestra no se destila y se esta midiendo continuamente un dosificador pequeño. Otros instrumentos calorimétricos establecen la proporción entre la muestra y reactivos, con tubos capilares o

pequeñas pipetas automáticas. La muestra y reactivos se mezclan entonces, y se proporciona un tiempo de reacción en la cámara de mezclado. De ahí la mezcla fluye al fotómetro que está conectado eléctricamente al registrador. Cuando la gráfica del registrador se calibra para la concentración de fluoruro, se obtiene un registro continuo de este ion.

## **INSTRUMENTOS DE CONDUCTIVIDAD.**

Es necesario tener dos destilaciones de la muestra, para las mediciones continuas de la conductividad. El segundo destilado es necesario debido a que aunque los destilados de la primera están lo suficientemente libres de interferencias para permitir un análisis químico directo, están lejos de ser satisfactorios para las determinaciones basadas en la conductividad. Las trazas de sulfatos (del ácido sulfúrico) y los iones que resultan de los materiales volátiles, cambian la conductividad a tal grado, que los fluoruros no pueden medirse con exactitud. En consecuencia, el segundo destilado no contiene nada excepto el destilado del primero. Los alambres de los electrodos de la celda de conductividad se conectan a un registrador de esta característica. En este, el circuito de conexión es un puente de Wheatstone modificado, con dos capacitores similares de aire y dos resistencias. El electrodo censor que está en la celda de conductividad, es una de las resistencias, y el elemento de equilibrio del registrador, uno de los capacitores. Cuando los elementos sensores detectan un cambio en la conductividad, el circuito de medición se desequilibra. Esto establece un voltaje que al amplificarse, mueve la pluma registradora hasta que el circuito de medición vuelve a equilibrarse.

## **CONTROL.**

El aire controlado puede usarse para controlar la abertura de una válvula accionada por un motor de aire. Esta válvula puede instalarse en el conducto del efluente de la cámara de disolución de un dosificador de material seco. Conforme esta válvula se acerca a la posición cerrada, el nivel de la solución de la cámara de disolución se eleva hasta que quedan sumergidos los dos electrodos de control. Esto corta el motor del dosificador así como también el agua que llega a la cámara de disolución. Conforme la solución sale de esta última, el electrodo inferior queda expuesto, lo cual vuelve a poner en marcha el motor y abre la válvula del agua. Este ciclo se repite automáticamente y continuamente.

## **EFFECTOS DE LOS FLUORUROS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.**

### **FUGAS.**

Con el fin de determinar si hay una fuga, sin necesidad de escarbar hasta el tubo mismo, puede analizarse el contenido de fluoruro en una muestra de dicha agua. Si la fluorización se practica en la comunidad, la fuente de agua se identificara con facilidad. Si la muestra no contiene fluoruro, se habrá evitado un gasto considerable para escarbar hasta la tubería.

### **POSIBILIDADES DE RASTREO.**

Gran parte de la información de este tipo se determina con relativa facilidad, incorporando un estudio relacionado con la iniciación de la fluorización en una ciudad. Si se seleccionan puntos críticos de muestreo y se conoce cuando se va a iniciar la fluorización, la primera aparición de fluoruros en estos puntos puede establecerse sin mayores problemas. Esto se puede hacer tomando muestras con frecuencia (aprox. una cada 5 min.) aproximadamente el tiempo que se predijo la primera aparición de fluoruro. Analizando las muestras en ese mismo instante y registrando el tiempo cuando contenía primeramente alrededor de 0.0 a 0.3 mg/l mas de fluoruro que el agua sin tratar, puede determinarse con bastante exactitud el tiempo de recorrido hasta el punto en que se toman las muestras. Estos datos pueden utilizarse para mejorar el diseño de los tanques y el funcionamiento de las estaciones de bombeo, así como para determinar el tamaño y condición de las tuberías (coeficiente de rugosidad) y sus debilidades, desde el punto de vista de la obtención de eficiencias y flujos máximos.

### **ESCAMAS.**

Ocasionalmente se registra la aparición de incrustaciones en la forma de fluoruro o silicofluoruro de calcio y magnesio, en tuberías, tanques, ductos y bombas que manejan soluciones concentradas de fluoruro antes del punto de su aplicación al abastecimiento de agua. Nunca se ha sabido que las escamas formadas en el sistema de distribución hayan sido causadas por el agua tratada con los compuestos de flúor. La severidad de la formación de escamas en la planta, esta en función del tipo de compuestos de flúor formados, la cantidad que se maneja, la dureza del agua y su velocidad o grado de agitación en un punto determinado.

El fluoruro de sodio es el que produce las costras más voluminosas y persistentes. Estas escamas se producen por fluoruro de calcio o magnesio, o de una combinación de ambos. Las incrustaciones de compuestos de silicofluoruros de calcio o magnesio (formados por los constituyentes de la dureza del agua y el

silicofluoruro de sodio), son menos problemáticos debido a que son más solubles. Los fluoruros de calcio y magnesio no pueden formarse en soluciones de silicofluoruro de sodio debido a los valores bajos de pH de estas soluciones. Con el ácido fluosilícico no se registra ninguna formación de escamas, debido a que raramente se diluye antes de dosificarse. La cantidad de escamas formadas esta relacionada con la concentración de las soluciones de fluoruro y las cantidades de solución de calcio y magnesio que contenga el agua.

En muchos casos, la formación de escamas se elimina mejor, suprimiendo la causa original, es decir, reduciendo la cantidad de calcio o magnesio ablandando el agua antes de hacer las soluciones de fluoruro. En los casos en que se requieren cantidades relativamente pequeñas de agua de repuesto (como por ejemplo, el agua que se utiliza en un tanque saturador de fluoruro de sodio), puede resultar más económico tratar el agua en un ablandador a presión regenerando con cal.

## **CORROSIÓN.**

La adición de la cantidad optima de fluoruro a los abastecimientos de agua potable, nunca ha producido un incremento de las propiedades corrosivas del agua tratada. Sin embargo, las soluciones concentradas de fluoruro antes de alimentarse, son corrosivas y los materiales del equipo dosificador y tuberías deben seleccionarse teniendo esto en cuenta.

## CONCLUSIÓN.

Han transcurrido ya, seis décadas desde que se iniciaron los primeros proyectos de fluorización en algunas ciudades de Estados Unidos y Canadá. Lo que aquí se expone demuestra que el procedimiento es seguro. Como resultado, muchas comunidades han adoptado esta medida de agregar fluoruros a sus abastecimientos de agua potable, en cantidades controladas.

En vista de la noble economía y otras ventajas que pueden obtener las comunidades al adoptar la fluorización, es posible que, eventualmente, la tarea de explicar las ventajas de esta medida, recaiga en todas las autoridades de sanidad pública, funcionarios municipales y organismos internacionales.

El sistema debe analizarse y examinarse cuidadosamente en cada comunidad, dependiendo de sus necesidades, en la que exista una deficiencia de fluoruros en su o sus fuentes o abastecimientos de agua potable.

Dado que mas del 90% de los niños de 7 años de edad tienen uno o mas dientes cariados; entre los niños de alrededor de 16 años de edad, tienen un promedio de 7 dientes cariados y, el adulto medio ha perdido la mitad de la dentadura cuando llega a la edad de 40 años, y mas de 21 millones de personas han perdido todos los dientes, este proyecto sería una buena opción para disminuir grandemente los problemas de salud bucal, de una manera sencilla y económica.

Tomando en cuenta que existen tres factores que agravan esta situación:

- 
- Existe una indiferencia generalizada hacia los problemas de salud oral.
- Se cuenta solo con un décimo a un medio (dependiendo del país y de la región de este) del numero de dentistas que se considera adecuado para proporcionar un cuidado dental apropiado.
- El costo de una atención dental adecuada esta más allá del alcance de muchas familias.

Nos damos cuenta que es mas factible utilizar un método como es el de añadir flúor a los abastecimientos de agua potable para contribuir al mejoramiento de la salud publica.

## BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- Textos de tratamiento de aguas.  
[www.ingsala.unal.edu.co/civil/hidra/dtratam.htm](http://www.ingsala.unal.edu.co/civil/hidra/dtratam.htm)
2. Fluorización.  
[www.cai.org.ar/medioambiente.htm](http://www.cai.org.ar/medioambiente.htm)
3. Fluoración en acción.  
[www.odontologiapreventiva.com/FI2000.htm](http://www.odontologiapreventiva.com/FI2000.htm)
4. El agua  
métodos modernos de su uso y conservación.  
Harvey Lashley  
Ed. Mc. Graw Hill.  
1997
5. análisis de agua  
E. Merck  
Ed. Novaro  
1999
6. Concentraciones del flúor.  
[www.vichycatalan.es/espanyol.htm](http://www.vichycatalan.es/espanyol.htm)
7. Efectos del flúor.  
[www.udec.cl/-ofem/remedica/vol2/flúor/flúor.htm](http://www.udec.cl/-ofem/remedica/vol2/flúor/flúor.htm)
8. Fluoruro, un asesino invisible.  
[www.just-think-it.com/es\\_no\\_f.htm](http://www.just-think-it.com/es_no_f.htm)
9. Némesis medica.  
[www.ivanilich.org/nonemes/htm](http://www.ivanilich.org/nonemes/htm)
10. Odontología: Fluorización.  
[www.tuotromedico.com/odontologia/fluorizaciones.htm](http://www.tuotromedico.com/odontologia/fluorizaciones.htm)
11. Publicaciones científicas IMTA.  
[www.imta.cl/documentos/libro2001.pdf](http://www.imta.cl/documentos/libro2001.pdf)
12. Exposición a fluoruros del agua potable en México.  
Rodolfo Vázquez, Adrián Bonilla-Petriciolet.  
Ed. Latinoamericana.  
1992.

13. Enciclopedia Temática.  
Convenio de la unión interamericana de derechos de autor.  
Ed. Cumbre.  
1963
14. Enciclopedia autodidáctica Quillet.  
Aristides Quillet.  
Ed. Grolier.  
1975
15. Exposición a fluoruros del agua potable  
[www.paho.org/spanish/DBI/ES/MION2-Trejo.pdf](http://www.paho.org/spanish/DBI/ES/MION2-Trejo.pdf)
16. Química General.  
Linus Pauling.
17. Enciclopedia de la Tecnología Química.  
Raymond E. Kirf, Donald F. Othmer.
18. Odontología Preventiva en Acción.  
Kats/Mc Donald/ Stookey.
19. Manual of Water Fluoridation Practice.  
Franz J. Maier.
20. Fundamentos de Química.  
Ralph A. Burns  
Prentice Hall  
1995
21. Química General.  
Whitten, Gailey, Davis  
Mc Graw Hill  
1992
22. Tablas químicas para laboratorio e industria.  
W. Helbing, A. Burkart  
Ed. Reverté, S. A.  
España 1985

23. Química general.  
John A. Timm  
Mc Graw Hill  
Mex. 1992