

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

DISEÑO DEL REACTOR Y SISTEMA DE DOSIFICACION
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA PLANTA DE
BEBIDAS GASEOSAS.

ERICK ROBERTO SCHEEL CABRERA

Guatemala

1991

DISEÑO DEL REACTOR Y SISTEMA DE DOSIFICACION
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA PLANTA DE
BEBIDAS GASEOSAS.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

DISEÑO DEL REACTOR Y SISTEMA DE DOSIFICACION
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA EN UNA PLANTA DE
BEBIDAS GASEOSAS.


ERICK ROBERTO SCHEEL CABRERA

Trabajo de investigación presentado para optar
al grado académico de
LICENCIATURA EN INGENIERIA QUIMICA

Guatemala

1991

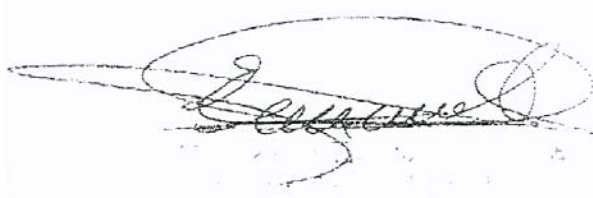
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades



Ing. Qco. Aldo Samayoa
Vo. Bo. del Examinador

Ing. Qco. Aldo Samayoa
Vo. Bo. del Asesor

TRIBUNAL EXAMINADOR



Ing. Qco. Eduardo Calderón
Vo. Bo. del Examinador



Ing. Qco. José Gil
Vo. Bo. del Examinador



Ing. Qco. Aldo Samayoa
Vo. Bo. del Examinador

Ing. Qco. Aldo Samayoa
Vo. Bo. del Examinador

Guatemala, Septiembre 1991

CONTENIDO

| | Páginas |
|-----------------------------------|---------|
| RESUMEN | V |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. GENERALIDADES | 2 |
| A. Agua de calidad para la bebida | 2 |
| 1. Turbidez | 3 |
| 2. Color | 3 |
| 3. Olor y sabor | 3 |
| 4. Microorganismos | 4 |
| 5. Sustancias orgánicas | 4 |
| 6. Sólidos en disolución | 5 |
| 7. Alcalinidad | 5 |
| 8. pH | 5 |
| 9. Acidez | 6 |
| 10. Hierro | 6 |
| 11. Cloruros | 6 |
| 12. Sulfatos | 7 |
| 13. Nitrógeno | 7 |
| 14. Cloro | 7 |
| B. Teoría de la coagulación | 7 |
| 1. Necesidad de Coagulantes | 9 |

| | |
|--|----|
| 2.Reacción química en la coagulación | 10 |
| 3.Influencia del pH | 12 |
| 4.Influencia de cantidad y tiempo | 12 |
| 5.Influencia de temperatura | 13 |
| 6.Fuerza de agitación | 13 |
| C.Tratamiento de cal en frío | 13 |
| D.Factores que influyen en la dosificación | 16 |
| 1.Constitución química del agua | 16 |
| 2.Demanda de agua | 17 |
| 3.Temperatura del agua | 17 |
| 4.Tipo de reactor | 17 |
| III. DEMANDA DE AGUA | 18 |
| IV. DISEÑO Y SELECCION TANQUES DE REACCION | 20 |
| A.Caja de mezcla | 26 |
| B.Reactor | 28 |
| 1.Zona de mezcla | 28 |
| 2.Zona de reacción y acondicionamiento de floculo | 28 |
| 3.Zona de acondicionamiento final | 29 |
| 4.Zona de clarificación | 30 |
| 5.Parte cónica | 31 |

| | |
|------------------------------|----|
| C. Accesorios necesarios | 31 |
| 1. Recolectores | 31 |
| 2. Purgas | 31 |
| 3. Tomas | 32 |
| 4. Placas Deflectoras | 32 |
| D. Tanque Pulmón | 35 |
| V. CALCULO DE DOSIFICACIONES | 38 |
| A. Método estequiométrico | 38 |
| 1. Sulfato de aluminio | 39 |
| 2. Sulfato ferroso | 45 |
| B. Prueba de laboratorio | 47 |
| 1. Sulfato ferroso | 50 |
| 2. Sulfato de aluminio | 51 |
| C. Ensayo a escala de diseño | 54 |
| 1. Sulfato ferroso | 54 |
| 2. Sulfato de aluminio | 55 |
| VI. SELECCION DEL COAGULANTE | 58 |
| VII. SISTEMA DE DOSIFICACION | 61 |
| A. Tanque solución de cal | 61 |
| B. Diseño calero mecánico | 63 |
| 1. Descripción del sistema | 63 |
| 2. Dosificación | 65 |

| | |
|--|-----|
| 3. Especificaciones | 65 |
| C.Tanque solución coagulante | 65 |
| D.Tanque solución cloro | 67 |
| E.Bombas dosificadoras | 68 |
| VIII. MANEJO DE PRODUCTOS QUÍMICOS | 70 |
| A.Almacenamiento de productos químicos | 70 |
| B.Transporte y pesaje de productos químicos | 70 |
| IX. COSTO DEL SISTEMA DISEÑADO | 72 |
| X. CONCLUSIONES | 73 |
| XI. RECOMENDACIONES | 74 |
| XII. BIBLIOGRAFÍA | 76 |
| APENDICES | |
| A.Análisis de agua cruda | 77 |
| B.Sedimentación de lodos | 84 |
| C.Ensayo de floculación | 85 |
| D.Resultados prueba de laboratorio | 90 |
| E.Resultados ensayo en modelo | 99 |
| F.Tablas varias | 101 |
| G.Manual de operación reactores | 103 |

RESUMEN

El trabajo es el diseño de un reactor y su sistema de dosificación para el tratamiento de agua por el método de cal en frío. Diseño que pretende solventar los problemas de calidad en el tratamiento de agua de una planta de bebidas gaseosas (capacidad 2.7 millones de galones de bebida al mes). Además, el estudio persigue proveer de un método para diseñar un sistema adecuado de tratamiento de agua que genere agua dentro de los estándares de calidad que la industria de bebidas carbonatadas exige.

El método consistió, primero, en determinar la demanda de agua y su constitución química de ésta, haciendo un análisis mensual durante un año, registrando los cambios a través de las épocas seca y lluviosa. Posteriormente, se determinó el coagulante a utilizar realizando pruebas en el laboratorio y en modelos de tamaño similar. Las pruebas se realizaron para sulfato de aluminio y ferroso, escogiéndose el último por presentar una reacción más estable. Económicamente se evaluaron ambos. El diseño del reactor y el sistema de dosificación se hizo para 20000 galones por hora, con tanques del tipo de capa de lodos. Para las dosificaciones de cloro y coagulante se escogió bombas de diafragma, y para la cal se escogió un sistema mecánico.

El tiempo de retención en la zona de reacción del reactor es de más de 20 minutos, y en la zona de clarificación más de 90 minutos. Las dosificaciones recomendadas para este tipo de agua son 42.8 ppm de sulfato ferroso, 152.3 ppm de cal y 28.8 ppm de cloruro de calcio.

Las recomendaciones y el manual de operación del reactor que se presentan facilitarán la operación de cualquier reactor de este tipo, mejorando el tratamiento.

I. INTRODUCCION

El presente trabajo es un estudio que presenta el diseño de un reactor y de su sistema de dosificación de químicos para el tratamiento de agua por el método de cal en frío con sobre cloración. Diseño realizado para una planta de bebidas gaseosas, cuya capacidad de producción es de 2.7 millones de galones al mes de bebida gaseosa.

Para realizar el diseño se hizo una serie de investigaciones y análisis respecto del tipo de agua a tratar, demanda de agua de la planta, propiedades de los lodos formados por la floculación y sobre el coagulante a utilizar. La selección del coagulante se realizó mediante pruebas de laboratorio y ensayos en reactores de tamaño similar. Los resultados se presentan en tablas auxiliadas por gráficas, facilitando la comprensión y el análisis de éstos. Con los datos obtenidos del laboratorio y de las investigaciones, se determinó la capacidad y se diseñó el sistema de reacción.

Este diseño se presenta con el fin de que se lleve a cabo un desenvolvimiento eficiente del tratamiento generando agua dentro de estándares todo el tiempo.

El diseño se realiza de una forma metódica, que pretende, además, dar una guía de cómo diseñar un reactor paso a paso. Presenta recomendaciones de dispositivos que pueden mejorar el desempeño. Por esta razón se incluye un manual de operación del reactor facilitando así la labor de control.

II. GENERALIDADES

A. Agua de calidad para la bebida

El agua es un líquido insípido, incoloro e inodoro que químicamente pura es un recurso escaso y difícil de obtener debido a que es un solvente casi universal y en el que prácticamente todas las sustancias son solubles hasta cierto grado. Por causa de esta propiedad, el agua se contamina de las sustancias con las que entra en contacto. Por lo que dependiendo del lugar y la estación del año, el agua variará en su composición química. En tiempo de sequía el aumento de dureza del agua, especialmente en las superficiales, provoca que los tratamientos de reducción de dureza se encarezcan en esta época. Debido al ciclo hidrológico, el agua está en contacto con gran cantidad de impurezas arriesgándose a contaminarse de materias orgánicas en descomposición que se encuentran en la superficie (humana y animal) de alcantarillado urbano y de desperdicios de muchas plantas industriales.

En las plantas de aguas gaseosas, las fuentes de agua pueden ser muy variadas, mientras el producto de éstas no lo puede ser. Es por esto lo importante de obtener agua uniforme y de calidad que no afecte la gaseosa.

Un sistema completo de tratamiento deberá disponer de;

- (1) Provisión para producir la oxidación de sustancias orgánicas y los microorganismos.
- (2) Extraer sustancias en suspensión, y

(3) Tratamiento químico para obtener agua potable que no afecte la bebida.

Las impurezas comunes sujetas a presentarse en el agua y que afectarán las bebidas carbonatadas son:

1. **Turbidez**. La turbidez puede resultar de la presencia de hierro o de manganeso o de pequeñísimas partículas de arcilla, cieno o sustancias orgánicas o de microorganismos. La turbidez del agua tratada no debería ser mayor de una unidad NTU (Nephelometric Turbidity Unit), ya que de lo contrario afectará adversamente el aspecto del producto terminado.

2. **Color**. El color de las aguas naturales proviene de la presencia de sales metálicas, sustancias orgánicas y otras materias disueltas o en suspensión. El agua utilizada para la elaboración de bebidas carbonatadas debe ser incolora.

3. **Sabor y Olor**. Prácticamente todas las fuentes de agua poseen un sabor y/o un olor característico, que resultan de circunstancias, tales como materia orgánica en descomposición, algas y otros microorganismos y algunos minerales. El cloro y otros desinfectantes, aún cuando se encuentren presentes en pequeñas cantidades, también causan olores y sabores desagradables. El agua tratada no deberá tener algún sabor ni olor que pudiera impartir un mal sabor al refresco terminado.

4. Microorganismos. Cuando se habla de microorganismos, por lo general se hace más énfasis en las bacterias coliformes, que viven normalmente en los intestinos de seres humanos y animales, así como también en el suelo, y que casi siempre se están presentes en las aguas superficiales y, desde luego, en las de alcantarillado y aguas servidas. La presencia de bacterias coliformes es índice de contaminación fecal y de la posible existencia de bacterias patógenas. Otros tipos de microorganismos, tales como: levaduras, mohos y algas, por ejemplo, son objetables porque también contaminan la bebida y afectan su aspecto y su sabor. Estos microorganismos también causan la sedimentación del refresco terminado. El agua tratada no deberá tener algún microorganismo nocivo al refresco ni tampoco bacterias coliformes.

5. Substancias orgánicas. Muchas aguas superficiales contienen sustancias orgánicas en suspensión. Estas sustancias resultan del contacto con materias orgánicas animales y vegetales, microorganismos y con distintos tipos de desperdicios. La mayoría de las sustancias orgánicas imparten un color indeseado al agua, además de darle mal olor y mal sabor. Por cuanto, las sustancias orgánicas constituyen un medio ideal para el desarrollo de microorganismos, algunos de ellos nocivos, su presencia puede hacer que el refresco terminado se descomponga. Ocurre también, frecuentemente, que las sustancias orgánicas se precipitan en el producto causando turbidez y sedimentos.

7. Sólidos en disolución. Cuando el total de sólidos disueltos es mayor de 500 mg/L., el refresco terminado adquiere un sabor desagradable; este alto nivel contribuye, además, a la formación de sedimentos.

8. Alcalinidad. Por alcalinidad se entiende la capacidad que el agua posee para neutralizar ácidos. La alcalinidad de las aguas naturales resulta, generalmente, de la presencia de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos de calcio, magnesio y sodio. La alcalinidad se expresa como alcalinidad "P" (fenolftaleína) o alcalinidad "M" (total). La alcalinidad "P" mide el total de hidróxidos y la mitad de los carbonatos presentes en el agua. La alcalinidad "M" abarca toda la alcalinidad ocasionada por carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. La alcalinidad total recibe el nombre de alcalinidad "M", por cuanto el indicador que se utiliza para determinarla es el rojo de metilo/bromocresol verde; la "M" proviene del rojo de metilo.

El agua de alta alcalinidad neutraliza parte de la acidez normal del producto terminado y, por consiguiente, afecta su sabor.

9. pH. Los cambios de calidad del agua pueden observarse mediante mediciones del pH, que indican la necesidad de llevar a cabo ajustes en el proceso de tratamiento. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 4 y 9 y suelen ser ligeramente alcalinas como resultado de la presencia de carbonatos y bicarbonatos. Un pH extremadamente bajo significa acidez libre, generalmente en forma de ácidos minerales que son contaminantes de desperdicios industriales, los cuales son objetables, porque aumentan la acidez normal del refresco terminado y es una fuente de productos químicos indeseables.

10. Acidez. La acidez del agua, por lo general, es causada por anhídrido carbónico, ácido tánico y ciertas sales inorgánicas disueltas como, por ejemplo el sulfato ferroso o el sulfato de aluminio. La acidez del agua natural es generalmente muy baja. El agua tratada no debe contener acidez que sea posible determinar mediante titulación.

11. Hierro. Casi todas las aguas naturales por lo general contienen trazas de hierro. El hierro suele presentarse en el estado soluble como hierro reducido o ferroso. El hierro del agua proviene de las cañerías, de los minerales naturalmente presentes o de la contaminación industrial. Basta con una pequeña cantidad de iones ferrosos disueltos para que el agua adquiriera un sabor metálico desagradable. En contacto con el aire y durante la súper cloración, el hierro se oxida con facilidad y pasa a su forma férrica, insoluble, que se precipita y forma un sedimento. Todo nivel mayor de 0,2 mg/L. de hierro en el agua es indeseable para la elaboración de bebidas gaseosas.

12. Cloruros. Los cloruros de metales como el sodio, el calcio o el magnesio se presentan en pequeñas cantidades en la mayoría de las aguas naturales. En pequeñas cantidades, los cloruros pueden mejorar el sabor del agua, pero cuando su concentración es mayor de 250 mg/L. éstos imparten un sabor salobre al agua.

13. Sulfatos. Los sulfatos están presentes naturalmente en la mayoría de las aguas y su concentración varía considerablemente. Las cantidades extremas de sulfatos no son convenientes, ya que son índice de extrema dureza o acidez muy alta. El sulfato de calcio da un sabor astringente al agua, aun cuando esté presente

en pequeñas cantidades. El sulfato de magnesio y el sulfato de sodio son insípidos, pero producen efectos laxantes en las personas que no estén acostumbradas al agua.

14. Nitrógeno. El nitrato representa el estado de nitrógeno más completamente oxidado que de ordinario se encuentra en el agua. Las bacterias que elaboran nitratos se valen del aire disuelto y transforman los nitritos en nitratos. Los relámpagos también convierten grandes cantidades de nitrógeno atmosférico en nitratos. El nitrógeno de los nitratos es inofensivo cuando está presente en baja concentración, pero las cantidades excesivas pueden causar graves trastornos en los recién nacidos y niños de corta edad, por cuanto les priva de oxígeno.

14. Cloro. El cloro libre en el agua tratada le da un sabor medicinal y un olor desagradable al refresco.

B. Teoría de la coagulación

Se tiene conocimiento de muchos métodos de clarificación del agua, usados años atrás. La coagulación la usaron los egipcios como método de clarificación utilizando gran variedad de coagulantes.

Los objetivos de una coagulación es separar las partículas suspendidas en el agua que requieren de un tiempo extremadamente grande para que se sedimenten. Este tratamiento de agua reducirá la concentración de coloides (y en sí todos los sólidos finos que aparecen como turbidez y color) a límites que puedan ser tolerados.

La coagulación se puede definir como el conjunto de operaciones químicas y mecánicas por las cuales se aplicaron los coagulantes y causan que materiales finamente divididos suspendidos en el agua se agrupen y formen flóculos de mayor tamaño de fácil separación. El concepto de coagulación varía de autor a autor, independientemente de cual sea el concepto aceptado, la experiencia ha demostrado que se obtiene una eficiencia máxima en este proceso cuando las partículas están aglomeradas, formando masas relativamente grandes con gravedad específica suficientemente alta para causar su deposición en un período corto. Para alcanzar esta condición favorable, la selección y dosis de coagulante deberán ser tales que realice una clarificación satisfactoria.

Para la coagulación es necesario el uso de coagulantes que son agentes agregados al agua para facilitar el asentamiento de materiales finamente desmenuzados que se encuentran en suspensión.

Todo el proceso de coagulación se divide en dos, primero se da la mezcla rápida donde se realiza una dispersión inmediata del coagulante mediante agitación. La eficiencia de la coagulación desciende ostensiblemente al no proveer de una dispersión rápida, idealmente esto se debe hacer lo más rápido posible para obtener buenos resultados. Generalmente se aprovecha la adición del coagulante en puntos donde existe una alta turbulencia.

La segunda fase del proceso de coagulación es la floculación, medio en el cual se convierten los flóculos sub visuales en flóculos más grandes que se asentarán más rápidamente. El aumento de tamaño depende de dos factores: la colisión, que

a su vez depende de alguna acción física, en especial agitación del agua, y la adhesión , que se controla por fuerzas químicas o magnéticas. Finalmente, a medida que las partículas de flóculos aumentan de tamaño y de densidad, con la acumulación de limo, son cada vez mas susceptibles a la sedimentación cuando se suspende la agitación.

Si bien es conveniente emplear altas velocidades durante el tiempo relativamente corto dedicado a la mezcla, es claro que deben emplearse velocidades mucho más reducidas para obtener una floculación satisfactoria, puesto que una agitación demasiado fuerte causaría la desintegración en vez de la aglomeración de los flóculos. No es posible fijar velocidades para estas operaciones, puesto que deben considerarse en cada caso el tipo de flóculos y el tiempo de retención.

1. Necesidad de Coagulantes. Cuando la concentración de materia orgánica, algas, bacterias, iones etc. esta muy por encima de los estándares, se requiere de un tratamiento adicional a la filtración. Los coagulantes son agentes que se agregan al agua para facilitar el asentamiento de materiales coloidales o finamente separados que se encuentran en suspensión. En el caso de existir una cantidad grande de iones de magnesio, se puede formar su hidróxido y utilizarlo como coagulante, ya que forma un precipitado gelatinoso con el carbonato de calcio. Existen varios tipos de coagulante que tiene distintas aplicaciones. Los tipos son agentes de coagulación, auxiliares de coagulación y coagulantes naturales. El

primer grupo es el más importante y dentro de éste se encuentran coagulantes como el sulfato de aluminio, sulfato ferroso, sulfato férrico etc.. Aunque en la mayoría de ocasiones la utilización de un agente coagulante es suficiente, hay excepciones donde se necesita un auxiliar de coagulación que en general coadyuvan este fenómeno. Entre ellos hay núcleos de flóculos, alcalís, ácidos y sílice activada. Los coagulantes naturales son aquellos que ya se encuentran en las aguas y se aprovechan sus propiedades coagulantes. El uso de estos últimos conlleva un gran ahorro en el tratamiento de agua (Verrey,1968).

2. Reacción Química en la coagulación. La química ha tratado de explicar el fenómeno de la coagulación mediante reacciones, como las siguientes que tratan de explicar la coagulación con Sulfato de aluminio.

Realmente la coagulación no es tan sencilla, rara vez ocurre completamente como la reacción sugiere. La estequiometría también no nos da una clara idea, ya que el hecho que se necesiten 3 moléculas de bicarbonato de calcio para reaccionar con el sulfato de aluminio es un valor vago que no se apega a la realidad. Los últimos estudios han determinado que la cantidad es menor a la indicada por la reacción, aunque experimentalmente siempre se vierte más y no se logra una reacción completa. De esto se deduce y es evidente que hay algunos otros factores que altera la coagulación.

A principios de siglo se demostró que la potencia coaguladora fuerte del ion de aluminio positivo trivalente en el coloide de carga negativa, es el factor más importante y que el flóculo de alumbre juega en todo esto un papel de importancia relativa. Esto fundamenta el hecho que la coagulación es compleja y que no es sólo la unión directa de los iones de coagulante con impurezas, sino también formación de hidróxidos hidratados complejos.

La reacción de la coagulación se puede dividir en los siguientes tres fenómenos(Verrey,1968)

- Neutralización de cargas negativas de las impurezas con el ion coagulante trivalente.
- Reacción del coagulante con alcalinidad y entonces se da la formación de flóculos de óxido hidratado coloidal con carga positiva y atraídos por los iones negativos.
- Adsorción superficial de impurezas por los flóculos que resultan de los dos primeros fenómenos.

Estos tres pasos fundamentales suceden en la mezcla, de ahí la importancia de un buen diseño de la caja de mezcla o sección de mezcla. Además, a estos pasos de gran importancia se puede agregar que como consecuencia a la falta de fuerzas oponentes, muchas partículas como arcilla tienden a aglomerarse y a precipitar.

Ya formado el flóculo, la coagulación se asegura por un aumento en el tamaño de éste, que puede realizarse mediante los siguientes métodos;

- Incrementándose el volumen de flóculos, haciendo contacto el agua recién tratada con flóculo anterior, utilizando para esto la recirculación o bien una cama de lodos.
- Aumentando la agitación lenta.
- Añadir agentes coagulantes.

3. Influencia del pH. Existe al menos una zona de pH óptimo en cualquier agua donde se produce una buena floculación en plazo mas corto, y con una dosis dada de coagulante o bien un tiempo dado con una cantidad mínima de coagulante. De no ser así, en esta zona, se va a dar un desperdicio de químicos. Según el pH, así el tipo de coagulante, ya sea ácido o alcalino.

4. Influencia de cantidad y tiempo. Con alcalinidad y pH favorables para la formación de buenos flóculos, el factor más importante que influye en el tiempo requerido para la formación de flóculos es la cantidad de coagulante necesaria. En la práctica, la cantidad de coagulante se basa generalmente en la velocidad de sedimentación de los flóculos en el tanque. Una vez se ha alcanzado el tamaño adecuado de flóculo para que asiente, el beneficio que se logra al verter más es simplemente tiempo de sedimentación que no es una proporción lineal.

La cantidad de coagulante que se vierte por encima de lo necesario, nos permitirá que el trabajo de los filtros que se colocan después del reactor sea menor

(utilizando un tiempo dado de sedimentación). De esto podemos decir que la cantidad de coagulante necesario para llevar el agua a una condición que permita el funcionamiento más eficaz del filtro durante un período mas largo es la cantidad que se considera la mejor a utilizarse.

5. Influencia de temperatura. La influencia principal de la temperatura en la coagulación es su efecto en el tiempo requerido para una buena formación de flóculos. Generalmente, cuanto más fría esté el agua, más largo será el tiempo requerido para producir buenos flóculos con una cantidad fijada de coagulante.

6. Fuerza de agitación. Se ha comprobado que la velocidad de agitación se puede aumentar hasta cierto punto, ya que con agitaciones muy violentas se reduce el tamaño del flóculo en lugar de aumentar. Se recomiendan para tanques circulares velocidades de 60 a 90 cm/seg en la extremidad de las paletas agitadoras.

C. Tratamiento de cal en frío

La coagulación se puede trabajar de varias formas, según el tipo de agua que se desee obtener y dependiendo de donde se desee utilizar. Los tratamientos de cal en frío se utilizan básicamente para disminuir dureza. Este sistema de tratamiento de cal en frío con sobre cloración consiste en añadir cal, agente coagulante y cloro. El tratamiento provoca la formación de copos que se sedimentan en un tanque especialmente diseñado. Si funciona como es debido, este sistema de tratamiento reducirá las impurezas presentes en la mayoría de todas las aguas.

Durante el proceso de cal en frío suceden una de reacciones concurrentes que nos permiten obtener el tipo de agua deseada. Estos incluyen:

- Reducción de alcalinidad
- Remoción de color
- Remoción de olor
- Remoción de orgánicos
- Esterilización del agua

Las aguas que contienen un alto nivel de sólidos disueltos (más de 500 ppm) o altas concentraciones de cloruros, sulfatos, nitratos y sodio o potasio, es necesario tratarlas mediante otros métodos, tales como el de ósmosis inversa o electrodiálisis, ya que la utilización de floculación no es suficiente para eliminar estos materiales.

La cal se emplea para reducir la alcalinidad y ajustar el pH para lograr la coagulación óptima. Cuando se le añade en proporción correcta la cal, se precipita completamente y, además, transforma las sales solubles de bicarbonato en sales insolubles de carbonato de calcio e hidróxido de magnesio, reduciendo así la alcalinidad y dureza del agua.

Para que la reacción sea completada en el tiempo mínimo posible, es necesario que exista un exceso de iones de calcio. Estos iones de calcio generalmente se encuentran presentes como resultado de la dureza del agua. Cuando la dureza es mucho menor que la alcalinidad es necesario utilizar cloruro de calcio o sulfato de calcio para aumentarla.

El cloro como desinfectante destruye bacterias, levaduras, mohos y algas, además de oxidar otras sustancias orgánicas. El cloro no sólo posee esta propiedad para destruir microorganismos, sino que es también un fuerte agente oxidante capaz de eliminar el sabor, el olor, el color, el hierro, el manganeso y varios componentes más del agua. Además, el cloro es básico en la función del coagulante.

La función del cloruro de calcio varía según la necesidad, en el caso de que el objetivo del tratamiento sea disminuir la alcalinidad, su función es de convertir la cantidad existente de bicarbonato de sodio en bicarbonato de calcio. Este último se puede precipitar fácilmente por el proceso de cal - coagulación en frío. Todas las reacciones que se dan en el tratamiento se muestran en la tabla 2.1 (para ambos coagulantes).

D. Factores que influyen en la dosificación

La dosificación de los químicos para el tratamiento de cal en frío y cloro va a depender de una serie de factores que a continuación se enumeran;

Constitución química del agua

Demanda de agua

Temperatura del agua

Tipo de reactor

1. **Constitución química del agua.** La cantidad y el tipo de químicos depende de que sales y iones estén disueltos en el agua. Es por esto la gran importancia que tiene realizar análisis del agua que se han de tratar. Los resultados determinarán la cantidad de químicos y el tipo de éstos que serán necesarios para obtener baja dureza o baja alcalinidad, siendo este último el caso que aquí se presenta. Una baja alcalinidad y una dureza moderada son los requisitos para un tipo de agua adecuado para las bebidas gaseosas, debido a la poca modificación del sabor que produce un agua bajo estas especificaciones. Las especificaciones de alcalinidad, dureza, contenido de hierros, cloruros y otros se puede ver en la sección "AGUA DE CALIDAD PARA LA BEBIDA".

El tipo químico del agua determinará cuál es clase de coagulante más indicada para ser utilizada en el tratamiento.

2. **Demanda de agua.** Lógicamente, según la cantidad de agua que sea necesario tratar, así va a necesitarse de cal, coagulante, cloro y cloruro de calcio. Es por esto que es necesario mantener controlado el volumen de agua que se está tratando, ya que un ligero cambio en este volumen provocará un cambio en todo el equilibrio que existe en el reactor, de tal forma que el cambio en la dosificación de químicos se hace inminente.

3. **Temperatura del agua.** La temperatura del agua afecta la cantidad de productos que hay que agregar ya que los equilibrios en el agua (solubilidades, constantes de ionización y otras) cambian respecto de la temperatura. Estos obligan, por ejemplo, a utilizar mayor cantidad de coagulante a temperaturas bajas

y menos a temperaturas altas. Solubilidades tan importantes como la de carbonato de calcio y cloruro de calcio aumentan cuando la temperatura baja.

4. Tipo de reactor. El tipo de reactor afecta dependiendo como se efectúe la reacción. En algunos reactores el proceso se lleva a cabo con mucha ineficacia provocando pérdidas de químicos. Otros permiten que el uso que se le dé a cada químico sea mejor. Teóricamente se sabe que sí hay recirculación se aprovecha mejor la dosificación, y se aprovecha aún más utilizando un reactor de capa de lodos, pero esto sólo se logra determinar con exactitud en la práctica.

III. DEMANDA DE AGUA

El reactor que se diseña es exclusivamente para el tratamiento de agua que se utilizará para la bebida. Debido a que la disminución en la dureza no es el principal objetivo de este tratamiento, el agua que saldrá del reactor no es adecuada para utilizarse en otros equipos de la planta, como agua para calderas o torres de enfriamiento.

El diseño es para una planta con 4 líneas de producción, y con posibilidad de una quinta. Conociendo las demandas de agua de cada línea de producción se puede obtener el total (tabla 3.1). En esta se presenta datos como la razón de mezcla que es la cantidad de agua en relación al total que lleva cada bebida. En el tamaño de botella se coloca el tamaño mas grande que se corre en esa línea de producción.

A la demanda total se le agregó un 10 % de sobre diseño, debido a que cierta cantidad de esta agua se utiliza en el laboratorio y en limpieza de salas donde se trabaja con los ingredientes de la bebida gaseosa. Las demandas de agua son para eficiencias de línea del 100%, que difícilmente se alcanzan.

Tabla 3.1

Cálculo de demanda de agua

| Línea | Tamaño Botella (Lts) | Velocidad (BPM) | Razón de mezcla | Demanda (GPH) |
|---------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|---------------|
| 1 | 0.355 | 200 | 5/6 | 936 |
| 2 | 2.000 | 90 | 5/6 | 2376 |
| 3 | 0.355 | 700 | 5/6 | 3282 |
| 4 | 1.250 | 150 | 5/6 | 2478 |
| 5 | 0.355 | 1050 | 5/6 | 4926 |
| Total (Salón embotellado) | | | | 13995 |
| Demanda Sala de Jarabes | | | | 4000 |
| Total | | | | 17995 |
| Sobrediseño(10%) | | | | 19795 |

IV. DISEÑO Y SELECCION DE TANQUES DE REACCION

La selección del tanque donde se lleva a cabo la mezcla, floculación y sedimentación (clarificación) depende de la forma como se quiere llevar a cabo el tratamiento de agua por el método de cal en frío y de las limitaciones de tiempo y espacio que presenta la planta de bebidas gaseosas.

La selección del tipo de tanque se realiza con base en las distintas formas que cada paso del tratamiento de agua se puede realizar. Existen dos tipos de mecanismos para lograr separar el floculo de agua, estos son (a) El convencional, que consiste en tanques generalmente rectangulares utilizados especialmente para aguas que contienen cantidades excesivas de turbidez . Este tipo requiere de mayor espacio por cada volumen unitario de agua tratada. Claramente este no es el problema que se presenta, ya que la turbidez del agua que entra es baja y las limitaciones de espacio son bastante estrictas. (b) El segundo tipo emplea, sin excepción, equipo mecánico y son los llamados de flujo rápido, los cuales a pesar que su operación es más crítica debido al poco tiempo de retención, presenta clara ventajas, tales como costo de instalación menor, fácil remoción de lodos y ocupa menos espacio. Para el caso del agua de pozo de este lugar, este tipo de sedimentador es el adecuado por la poca turbidez del agua, la facilidad de contratar a una persona que ejerza un estricto control sobre el tratamiento y el poco espacio que requiere.

La selección del tanque también radica en el tipo de sistema de floculación y de mezcla que sea el más recomendable.

Para el acondicionamiento del flóculo hay varios sistemas a adoptar, como la agitación lenta del líquido para lograr el contacto entre partículas, de tal forma que aumenten en tamaño facilitando la separación y mejorando el tratamiento. El contacto de partículas de lodo, ya formadas, es esencial para obtener flóculos suficientemente grandes y así lograr la mayor eficiencia en esta sección de tratamiento.

Básicamente hay dos tipos de lograr el contacto entre lodos formados y los que se acaban de formar, (1) Recirculación de lodos, el cual consiste en tomar lodos ya formados y mediante bombeo retornarlos al área de reacción. Este método es un poco inestable y el control sobre el tratamiento debe ser bastante cuidadoso. (2) Capa de lodos, en el cual no se recirculan lodos, sólo es necesario mantener una masa expandida (de lodos) que es atravesada por el agua de la manera más uniforme posible que el sistema permita. Esta última es la escogida por que presenta las siguientes ventajas para el caso del agua de bebidas gaseosas:

- Se asegura el contacto de toda el agua con el lodo (o flóculo ya formado), esto redunda en un tratamiento eficiente.
- Se asegura el completo uso de la cal vertida, llevándose al mínimo el arrastre de este producto químico.
- Se previene la súper saturación y el arrastre de cualquier partícula.
- Obtención de agua con turbidez menor a la 1 ppm como carbonato de calcio.

- Menor tiempo de retención (hasta 1 hr) ocupando menor área superficial.
- Facilidad de construcción e instalación.

Al igual que la floculación y la clarificación, la mezcla se puede realizar de varias formas, con el único requisito de que sea rápida y eficiente. En este caso se escogió uno de los métodos más simples, que es un canal de flujo recto donde se obliga al agua a alcanzar velocidad y turbulencia alta, asegurando la buena mezcla.

Ya escogido el tipo de tanque, de flujo rápido, de capa de lodos y de mezcla en canal de flujo recto se diseñan las dimensiones.

De la sección "Demanda de agua", conocemos que la demanda de agua es de aproximadamente 20,000 gph ; el diseño se hará para esta cantidad con un tiempo de 2 hrs de residencia. Un sólo tanque es mecánicamente demasiado grande, ya que se colocará sobre el nivel, por lo que se opta por dos tanques de capacidad 10 000 gph . Este tipo de tanque debe trabajar intermitentemente para mantener una capa de lodos uniforme y no crear el efecto de amontonamiento (ver fig 9.1). De datos experimentales conocemos que la capa de lodos se recupera en menos de dos minutos (ver Apendice B), y del Manual de tratamiento de agua Degremont (1979:178) sabemos que después de 10 minutos se amontona, por lo que en una hora debe parar aproximadamente 12 minutos o más. La fig 9.2 da una clara idea del comportamiento intermitente antes descrito. De esto se deduce que el tanque debe estar sobredimensionado un 20%. Por lo que el tamaño de los tanques deberá ser de por lo menos 12 000 gph o bien se coloca un tanque pulmón que provea de este tiempo extra. La selección es por el tanque pulmón que además provee de un mayor tiempo de clarificación al agua y soporta picos de demanda.

Las dos horas de retención se seleccionan con base en experiencia personal y a datos de proveedores de este equipo. Estas dos horas se dividen en más de 1 hr de retención en la zona de clarificación, y más de 20 minutos en la zona de acondicionamiento del flóculo. El diseño físico del tanque se observa en la fig 9.3, donde se muestra el recorrido del agua dentro de los tanques, y la forma de tanque. En la parte inferior es un cono truncado inverso, cuyo volumen no se estima como parte de las dos horas de retención, sino como el volumen adecuado que ocuparán los lodos necesarios para obtener un buen tratamiento de agua.

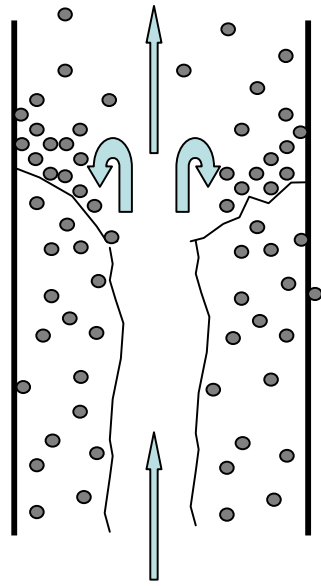
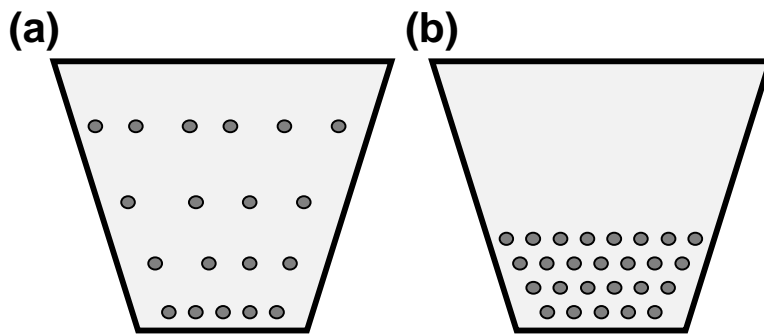


FIG. 9.1 Efecto



**FIG. 9.2 (a) Reactor
funcionando**

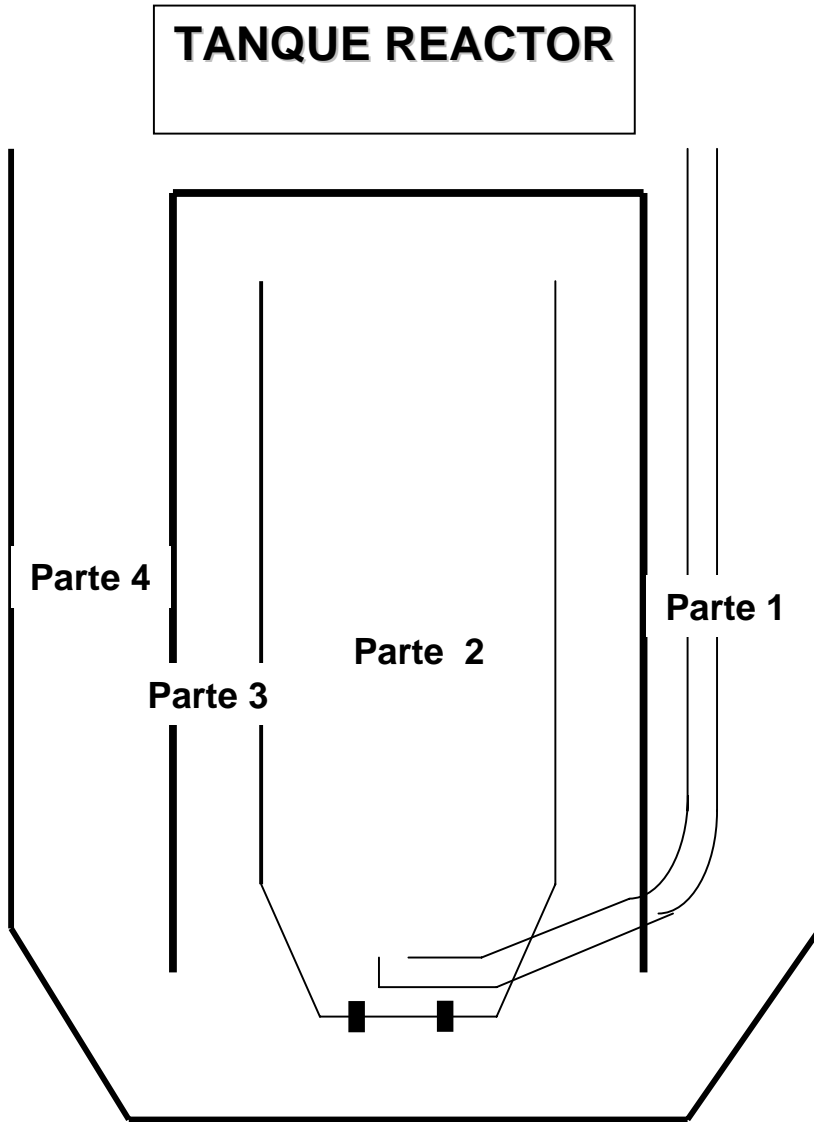


FIG. 9.3 Diagrama del reactor mostrando sus partes

A. Caja de mezcla.

Caja metálica donde llega agua cruda, y químicos para el tratamiento de cal en frío. Esta posee salida por el fondo que es donde se asegura la mezcla. En la fig 9.4 se observa claramente el diseño de ésta.

Las dimensiones de la caja fueron escogidas de este tamaño por el diámetro de tubería de entrada y el de salida. Además que fue necesario dividir la caja en dos con el fin de que la caída de agua en el tubo de alimentación al reactor entre con menos turbulencia y, por lo tanto, jale menos oxígeno, comportamiento que se observa en la fig 9.4.

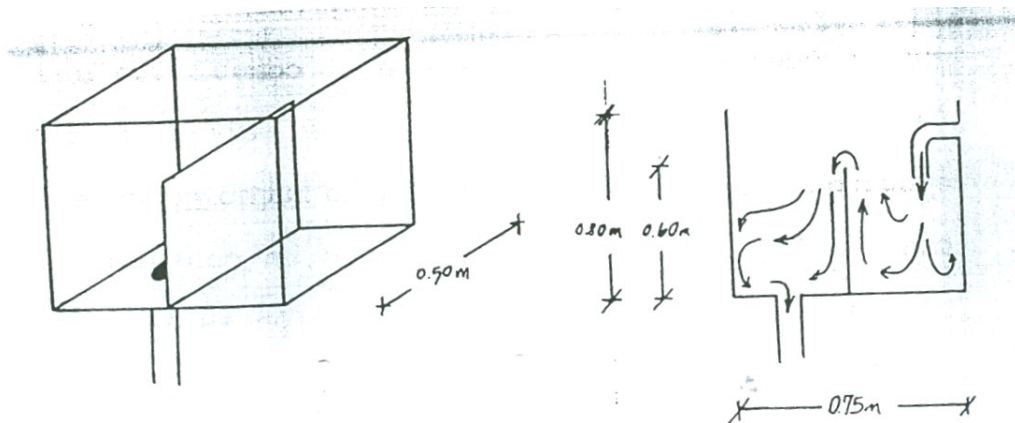
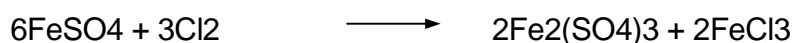


FIG. 9.4

Tabla 4.1
Tubería Caja de Mezcla

| Tubería | Diámetro | Material |
|-------------------------|----------|------------------|
| Agua entrada | 5" | Acero al carbono |
| Agua salida | 8" | Acero al carbono |
| Dosificación cal | 2 1/2" | Acero al carbono |
| Dosificación coagulante | 1" | PVC |
| Dosificación Cloro | 1" | PVC |

La tubería de cal, cloro y coagulante se colocaron separadas para evitar contacto entre los químicos antes del que deben tener con el agua, ya que esto puede causar deficiencia en la reacción de coagulación. Esto debe tomarse muy en cuenta en el caso que el coagulante sea el sulfato ferroso, ya que en contacto con el cloro forma sulfato y cloruro férrico, siendo este último mucho menos eficiente como coagulante, provocando lógicamente un consumo mayor del que realmente sería necesario. La reacción es la siguiente:



La tubería de salida se dimensionó con base en el número de Froude (0.31) arriba del cual el flujo por gravedad se da sin ningún problema de sifones (1968:204). Con este diámetro obtenemos, además, un número de Reynolds dentro del rango turbulento que nos asegura rápida y eficiente mezcla. Esta tubería llega al fondo de la sección de reacción.

B. Reactor

El reactor consta de 4 pasos que podemos distinguirlos en la fig 9.3, los cuales han sido dimensionados con base en los tiempos necesarios y condiciones de tratamiento necesarias.

1. **Zona de mezcla**. Las dimensiones de este se describen en la sección caja de mezcla.

2. **Zona de reacción y acondicionamiento del flóculo**. En la zona de reacción también se da el acondicionamiento del flóculo. Para asegurarse ésta y la buena formación del flóculo, el agua cruda entra inmediatamente en contacto con lodos ya formados, que se han depositado en el fondo de esta sección; sección diseñada especialmente para que en esta parte se deposite cierta cantidad de lodos excesivamente pesados.

Esta zona se diseñó para un tiempo de residencia de aproximadamente 20 minutos, que es lo que la mayoría de diseñadores emplean.

Para ayudar al acondicionamiento del flóculo, se instalará en esta parte un sistema de agitación lenta que facilitará la unión de partículas floculosas, de tal forma que su crecimiento se lleve a cabo. Según Powell, la velocidad en la periferia de las paletas de estos agitadores no debe exceder los 1.2 ft/seg, ya que con velocidades superiores se rompe el flóculo en lugar de hacerlo crecer. En la zona de lodos, el mismo autor recomienda aproximadamente unos 50 ft/seg, esto mantiene la capa de lodos esponjosa y evita la acumulación en el fondo de lodos

que pueden causar incrustaciones. Además ayuda a un fácil drenaje de lodos y a una buena rotación de los lodos formados. Bajo estas limitaciones las dimensiones de esta sección se describen a continuación.

Diámetro : 2.00 m (6.56 ft)

Altura : 4.75 m (15.58 ft)

Vel. Ascensional: 12.04 m³/m²hr

Agitadores

RPM : 10 rev/min

Diámetro paletas (z. rxn) : 1.75 m (5.74 ft)

Diámetro paletas (z. lodos):3.00 m (9.84 ft)

Tiempo residencia: 22 min

3. Zona acondicionamiento final. En esta zona se asegura el acondicionamiento del flóculo mediante mayor tiempo de contacto agua-flóculo a una baja velocidad. Del paso 2 al paso 3, la velocidad líneal del flujo de agua disminuye intencionalmente para evitar que los flóculos ya formados se quiebren en esta transición. Las dimensiones de esta sección son las siguientes;

Diámetro : 3.00 m (9.84 ft)

Altura : 4.50 m (14.67 ft)

Vel. ascensional : 9.64 m³/m² hr

Tiempo residencia : 29 min

4. Zona de clarificación. Esta zona comienza con el paso de agua a través de la capa de lodos formada previamente. La función de esta capa de lodos ha sido explicada previamente. Esta ayuda a la clarificación evitando que partículas extremadamente pequeñas de flóculo sean arrastradas, quedándose éstas atrapadas en la zona flocosa. La extensión de la zona flocosa depende de la razón de flujo de agua, del tipo de lodo y de la cantidad de lodos. Es por esto que una “rata” muy grande podrá causar arrastre de lodos, al igual sucedería con una gran cantidad de lodos.

Las dimensiones de esta sección fueron seleccionadas con base en la necesidad mínima de 1 hr de clarificación, y a una velocidad ascensional mucho menor que la velocidad de descenso de las partículas de flóculo para asegurar la completa clarificación. Las dimensiones escogidas son:

Diámetro externo: 5.25 m (17.22 ft)

Altura : 4.00 m (13.12 ft)

Velocidad ascensional: $2.60 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{hr}$

Tiempo de residencia: 50 minutos

En la gráfica del reactor se pueden observar claramente todas las medidas del reactor.

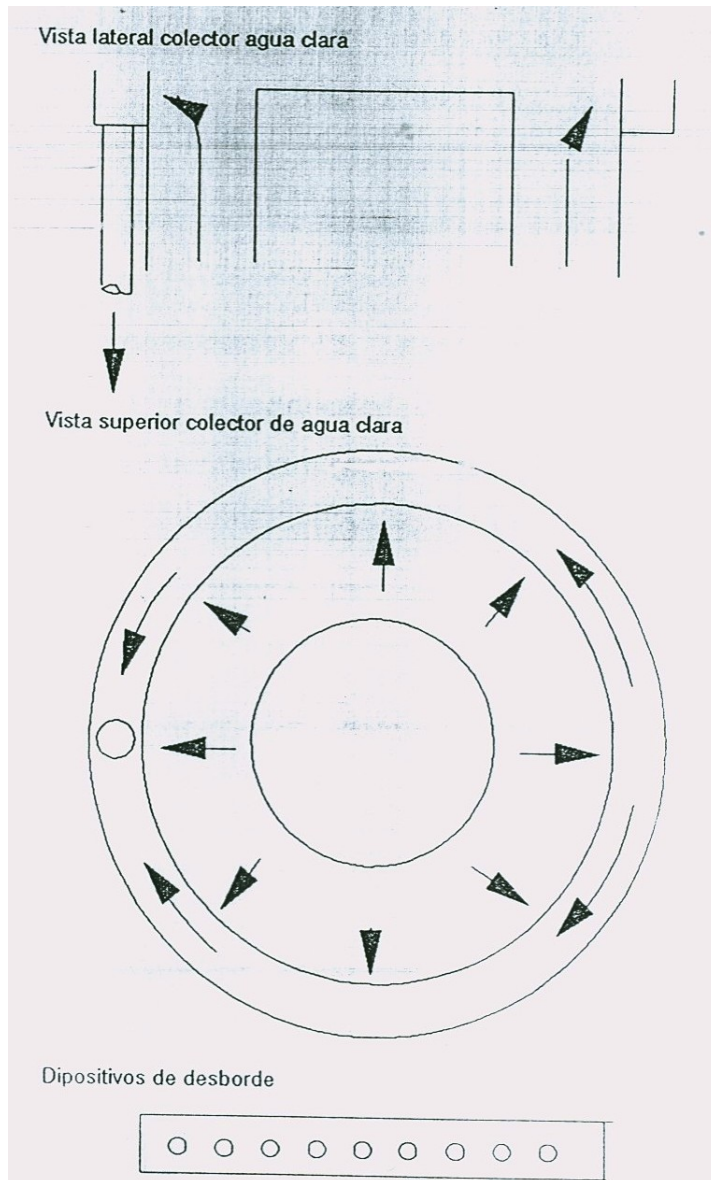
5. Parte cónica. Además de los cuatro pasos antes descritos, existe la parte cónica e inferior del reactor donde se acumulan y se purgan lodos previamente formados. En esta parte se ha colocado un agitador de 3.00 m de diámetro que gira

a 10 rpm evitando el asentamiento y acumulación de lodos al igual que las incrustaciones. Este agitador además es usado para mantener la capa de lodos floja y en constante movimiento. En esta parte está situado un agitador que permite facilitar las purgas, así como mantiene la capa de lodos floja evitando su asentamiento.

C. Accesorios necesarios

1. **Recolectores.** El sistema de recolección de agua clara se hará lógicamente por la parte superior, para lo cual se diseña una canaleta situada alrededor del tanque, que se llena por rebalse. Esta canaleta conducirá el líquido a la tubería de descarga. El diseño pretende un ascenso uniforme del agua en el reactor (fig 9.5). El agua pasará del tanque a la canaleta a través de una serie de agujeros situados sistemáticamente alrededor del tanque.

2. **Purgas.** Para la purga de lodos, la cual se hará manualmente por su menor costo y su mejor funcionamiento, se ha seleccionado 2 tubos de 8" que se soldarán a la superficie del reactor en su parte inferior y en posiciones opuestas. Además se colocará otra purga de lodos en el fondo de la sección donde se lleva a cabo la reacción y la primera parte de la floculación. Con este sistema se asegura el correcto drenaje de lodos en ambas secciones (fig 9.6). El tipo de válvulas a utilizar es del tipo mariposa.



3. Tomas. Se colocarán 3 tomas para agua clara, lodos y reacción. La toma de lodos es de gran importancia por que será en ésta donde se tomen muestras para determinar la purga de lodos. La colocación de las 3 se observa en la fig 9.6. El diámetro de las tuberías de tomas se ha escogido de 1 ". Es unificar el punto donde se harán las tomas para facilitar al operador el control del reactor.

4. Placas deflectoras. Estas se colocan en la zona de clarificación por encima de la capa de lodos. De esta forma la clarificación del agua puede ser mejorada considerablemente, permitiendo en dado caso aumentar el flujo de agua en el tratamiento. La inclinación de este sistema de platos es de 60 grados .

La trayectoria del agua a través del sistema de platos se observa en la figura 9.7. La base de operación de este sistema es provocar la pérdida de momentum de las partículas sólidas que viajan en el agua, y así precipitar fácilmente.

TOMAS Y PURGAS

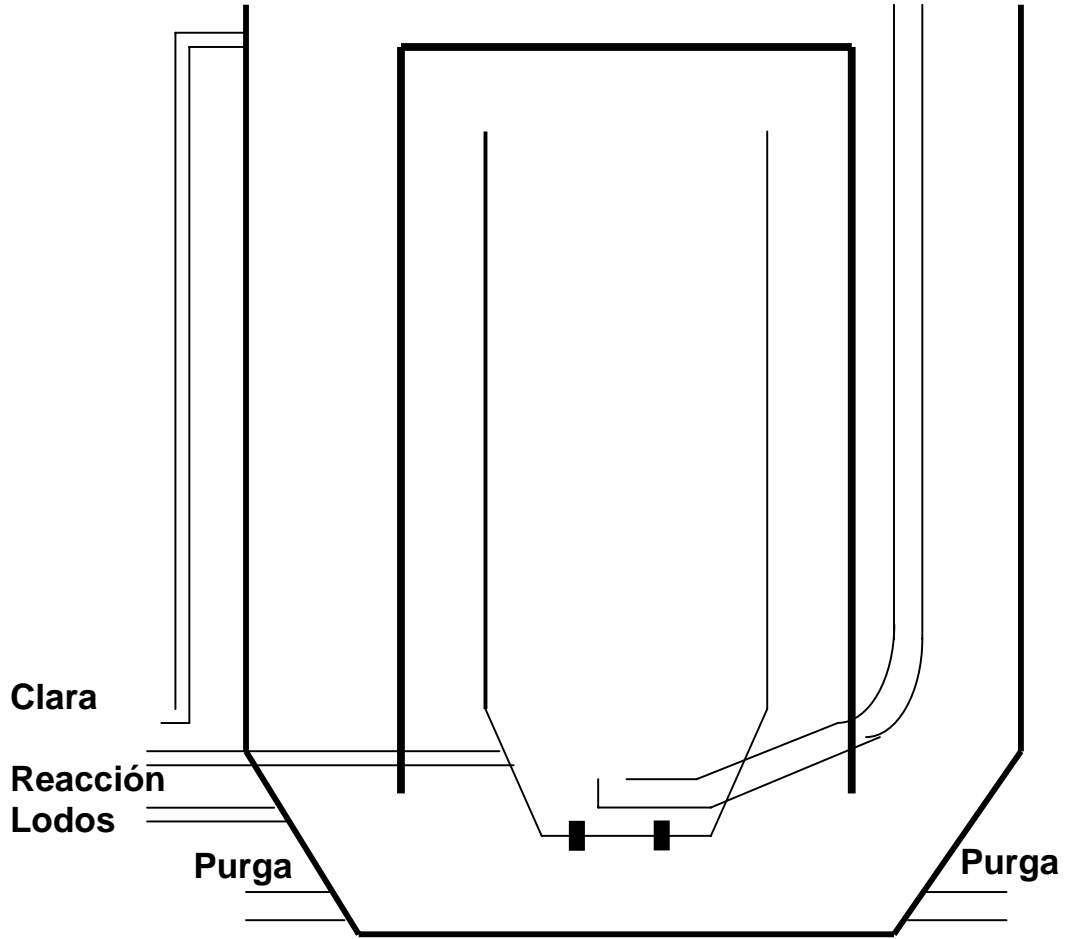


FIG. 9.6 Tomas y

AGITADORES Y REFLECTORES

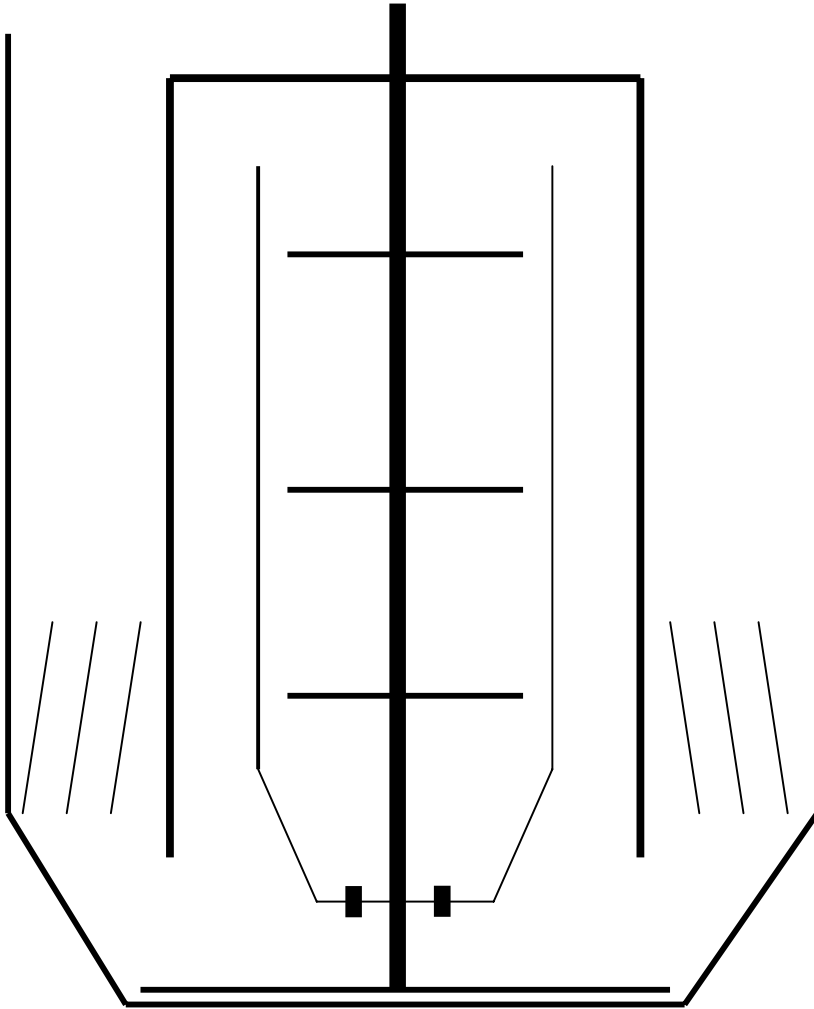


FIG. 9.7 Agitadores y deflectores

C. TANQUE PULMON

La construcción del tanque pulmón es necesario ante la posibilidad de un consumo exagerado en algún instante o bien la posible salida fuera de normas del tratamiento. Este tanque permitirá trabajar por períodos adecuados a los tanques de reacción. Con este tanque se evitarán paradas repentinas en las líneas de producción. Las dimensiones del pulmón son para un tanque de 10,000 galones, lo que permitirá casi 45 minutos de operación de la planta a máxima producción; tiempo holgado que se puede usar en alguna reparación de emergencia en los reactores.

Especificaciones

| | |
|----------------|--|
| Volumen | 41.63 m ³ |
| Diámetro mayor | 3.50 m |
| Diámetro menor | 1.50 m |
| Altura Total | 4.80 m |
| Material | Acero al carbono recubierto con resina epóxica |

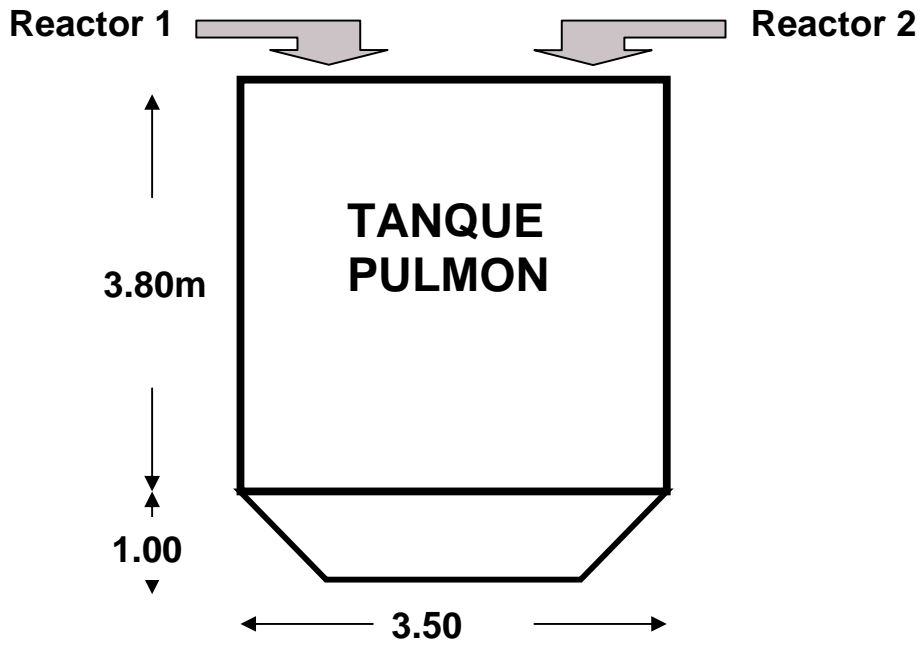


FIG 9.8 Tanque Pulmón

V. CALCULO DE DOSIFICACIONES

Los datos que se utilizarán para determinar las cantidades de químicos necesarias se muestran en la tabla A.2.

Como muestra, la tabla anterior, la alcalinidad total es de aproximadamente 100 ppm como CaCO_3 y la parcial es de 0 ppm CaCO_3 , valores que mediante el tratamiento se deben modificar; de tal manera que se obtengan los valores necesarios para que el agua sea potable y que llene los requisitos para las bebidas. Estos requerimientos se pueden observar en la tabla de especificaciones anteriormente presentada. Además de los anteriores requerimientos se debe cumplir con el parámetro de iones hidróxido, el cual se obtiene de multiplicar por dos la alcalinidad parcial y restarle la alcalinidad total (2P-M) de esta forma si el valor es positivo hay presencia de estos iones en el agua, si por el contrario es negativo la falta de ellos es evidente y, por lo mismo, se infiere un tratamiento incompleto. Por estos requerimientos es muy importante tener la cantidad adecuada de químicos todo el tiempo, de ahí lo necesario de un buen sistema de dosificación. Los requerimientos antes presentados se encuentran en su mayoría por debajo de los valores recomendados, tal el caso de los iones de hierro, sulfatos, cloruros etc.. Esto no sucede con la alcalinidad, el pH, ni la dureza; valores que son los principales parámetros a modificar. Con base en el objetivo y a las condiciones del agua cruda, se puede determinar las dosificaciones. El siguiente cálculo es estrictamente basado en las reacciones que presumiblemente se llevan a cabo en el reactor.

En este caso, el agua de pozo se analizó por 12 meses, los resultados y la tendencia se muestran en el APENDICE A. La demanda de agua que se ha determinado se muestra en el sección III. La temperatura, al igual que el análisis químico del agua se controló por mas de seis meses obteniéndose un dato promedio de 22.3°C, a lo largo del período.

A. Método Estequiométrico

El cálculo de la dosificación de los coagulantes no se puede realizar de una manera estequiométrica, porque como ya se mencionó la coagulación (floculación) no es resultado de una simple reacción, sino de por lo menos tres pasos muy distintos pero bien relacionados. Estos van a variar su influencia en el resultado de la coagulación dependiendo de cómo se lleve a cabo la mezcla inicial. Dado el caso de que el sulfato de aluminio entre en contacto con la cal antes de que lo haga con el agua, se favorecerá la formación de flóculo con la cal y no los bicarbonatos del agua cruda, ni se formarán complejos del ion de aluminio con cargas negativas del agua sin tratar. He aquí la dificultad de poder determinar con claridad, mediante estequiometría, las verdaderas dosificaciones, pero para obtener un valor inicial aproximado pueden ser bastante útiles. Algunos autores han presentado tablas que relacionan cantidad de sólidos disueltos con cantidad necesaria de coagulante, estos datos definitivamente pueden ser solo una guía, ya que dependiendo del pH, así actuará el coagulante. Aunque como un parámetro muy general, anteriormente se usaba el sulfato ferroso para aguas con mucha turbidez y el sulfato de aluminio

para las menos turbias. La cantidad exacta de coagulante sólo se podrá determinar experimentalmente, aunque como lineamientos se pueden usar los valores que presentan las distintas publicaciones.

Los cálculos y pruebas se harán únicamente para dos coagulantes, el sulfato de aluminio y el sulfato ferroso, siendo ambos los más utilizados en el tratamiento de agua para plantas de bebidas de todo tipo.

En este caso se tiene una turbiedad de alrededor de las 200 ppm que es relativamente baja y requerirá de una cantidad mayor de coagulante en comparación con un agua con alta cantidad de sólidos disueltos. Para este tipo, la mayoría de agentes coagulantes son útiles, variando únicamente las cantidades de químico necesario para obtener un resultado satisfactorio. El uso de coagulantes naturales es imposible, ya que iones como Magnesio y hierro no se encuentran en cantidades suficientes como para utilizarlos en la coagulación.

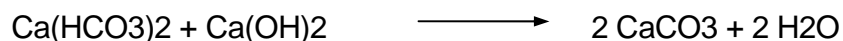
La cantidad de cal queda determinada por la cantidad de CO₂ disuelto y la alcalinidad del agua, la cual no es exageradamente alcalina. De la misma forma como se limita la cantidad de cal a usar, otros iones químicos pueden limitar el uso o pueden exigir más. El uso del cloruro de calcio es necesario ya que hay presencia de alcalinidad de sodio y ésta solo se puede eliminar utilizando cloruro de calcio.

1. **Sulfato de Aluminio.** Basado en el rango recomendado por el manual de tratamiento de agua de Dégremont (1979:135) el cual es de 150 a 500 gr/m³, se selecciona el valor de 150 gr/m³, ya que la turbidez, la dureza, y el total de sólidos disueltos en el agua es bastante bajo. Para realizar los cálculos se puede analizar

asumiendo que el sulfato de aluminio reacciona con la cal o que reacciona con la alcalinidad del agua. Sí asumimos que el sulfato de aluminio reacciona primero con el agua y después entra a funcionar la cal, se debe tomar en cuenta la modificación que el sulfato provoca por sí solo sobre el agua y que este ya nunca entra en contacto con la cal, solo los productos de las primeras reacciones. En caso contrario, el análisis inicial no debe modificarse y deberá cuantificarse la cantidad de cal que reacciona con el sulfato de aluminio. Del manual de tratamiento de agua de Permuttit (1986: 61) se tiene como se modifica las condiciones químicas iniciales del agua al reaccionar con sulfato de aluminio (tabla C.1). Con estos datos se modifican los resultados de la tabla A.2 generándose la tabla 5.3 del APENDICE C

Con estos datos se hace el cálculo teórico de las necesidades de cal y cloruro de calcio.

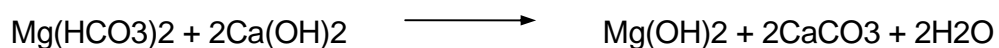
La cal se utiliza para bajar la dureza y la alcalinidad convirtiendo los bicarbonatos solubles en carbonatos insolubles (reacciones y teoría en sección coagulación). Los bicarbonatos de calcio, magnesio y sodio son el único tipo de alcalinidad que hay en el agua cruda, y cada uno se hace precipitar de distinta forma, siempre utilizando la cal. Alcalinidad como carbonatos no existen en este tipo de agua, en el caso de presentarse las dosificaciones habría que modificarlas. A continuación se detalla el cálculo de cal según la cantidad y el tipo de bicarbonato presente.



Como la reacción lo indica la cal, ésta actúa sobre los bicarbonatos de calcio convirtiéndolos en finas partículas insolubles de carbonato de calcio, las cuales precipitan en el reactor. Esta agua contiene un promedio de 14 ppm como carbonato de calcio, dato obtenido del resumen de análisis modificados, donde se tiene un promedio de dureza como calcio de 14 ppm CaCO₃, lo que indica que no puede haber más alcalinidad de calcio que la dureza. Estequiométricamente necesitamos la siguiente cantidad de cal, para convertir los bicarbonatos en carbonatos.

$$14 \text{ ppm CaCO}_3 = 22.7 \text{ ppm Ca(HCO}_3)_2 = 10.37 \text{ gr Cal/m}^3 \text{ agua}$$

La siguiente reacción muestra cómo la cal reacciona con el bicarbonato de magnesio, convirtiéndolo en hidróxido de magnesio y carbonato de calcio.



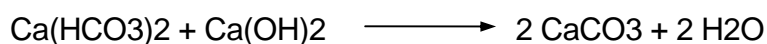
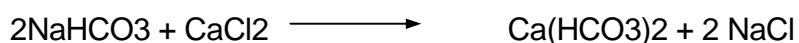
Siendo estas dos sales insolubles (ver tabla G.1); su separación en el reactor se consigue fácilmente. La estequiometría muestra que cada molécula de bicarbonato de magnesio requerirá dos de hidróxido de calcio, convirtiéndose la alcalinidad y consecuentemente la dureza más costosa de disminuir a diferencia de la anterior. La cantidad de cal necesaria para la reducir el bicarbonato de magnesio es la siguiente.

$$9.1 \text{ ppm CaCO}_3 = 13.29 \text{ ppm Mg(HCO}_3)_2 = 13.46 \text{ gr Cal/m}^3 \text{ agua}$$

En algunos casos donde la alcalinidad debida a compuestos de magnesio es muy grande, ésta se transforma mediante la reacción arriba mencionada en hidróxido de magnesio, el cual se utiliza como coagulante facilitando el proceso de coagulación y bajando los costos.

En la industria de bebidas, la eliminación de la alcalinidad es bastante importante, por lo que el proceso de eliminación de alcalinidad de sodio es aplicable. Este proceso requiere de la utilización de cloruro de calcio que, al reaccionar, con el bicarbonato de sodio lo convierte en bicarbonato de calcio, el cual se remueve fácilmente como antes se explicó. El costo de eliminar esta alcalinidad es aún más alto que los dos anteriores, pero los requerimientos justifican la eliminación de este tipo de alcalinidad. El uso del cloruro de calcio aumenta la dureza debida a no carbonatos, pero en industria esta dureza pierde importancia, aunque un exceso de este reactivo puede provocar un gran aumento en la dureza y en los costos, por eso su determinación exacta es muy importante.

Las reacciones son las siguientes:



Estequiométricamente, 2 moléculas de bicarbonato de sodio requerirá de una molécula de cloruro de calcio y 1 molécula de hidróxido de calcio. La cantidad de bicarbonato de sodio se obtiene de la resta de alcalinidad total menos dureza total, asumiendo que todos los bicarbonatos que hay son de calcio, magnesio y sodio.

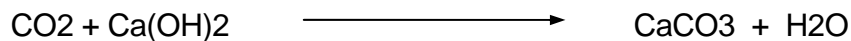
Para este caso, en el cual hay 11.4 ppm como CaCO₃ de bicarbonato de sodio las necesidades son:

$$11.4 \text{ ppm CaCO}_3 = 19.15 \text{ ppm NaHCO}_3 = 16.89 \text{ gr cal/m}^3 \text{ agua}$$

La cantidad de cloruro de calcio se calcula de igual forma;

$$19.15 \text{ ppm NaHCO}_3 = 25.30 \text{ gr Cloruro de Calcio/ m}^3 \text{ agua}$$

Antes de que pueda llevarse a cabo el ablandamiento y la disminución de alcalinidad, la cal será consumida por cualquier cantidad de dióxido de carbono libre presente en el agua. La reacción que consume la cal es :



Esta primera reacción de ablandamiento produce carbonatos insolubles. Del análisis hecho al agua, este parámetro es el que mas varió a lo largo del año y que, consecuentemente, va a influir en la dosificación de cal. Debido a la gran variación que se produce se trabajará no con el promedio, sino con el valor máximo y el mínimo para determinar la posible variación. La reacción entre sulfato de aluminio y sulfato ferroso con la alcalinidad produce CO₂ que se agrega al ya presente.

$$\text{Valor mínimo } 80 \text{ ppm de CO}_2 = 134.70 \text{ gr cal /m}^3 \text{ agua}$$

$$\text{Valor máximo } 120 \text{ ppm de CO}_2 = 202.10 \text{ gr cal /m}^3 \text{ agua}$$

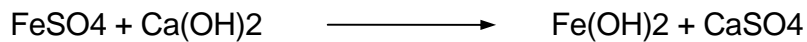
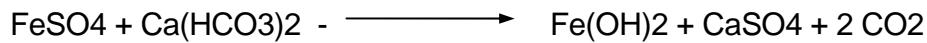
Como resultado de los cálculos teóricos anteriores obtenemos que la demanda de cal necesaria para la reducción de la alcalinidad varía casi 70 ppm, dependiendo de la época del año. A continuación se presenta la tabla 5.1 que presenta los valores estequiométricos necesarios.

Tabla 5.1

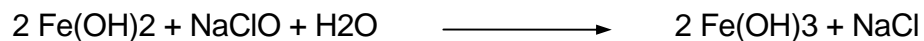
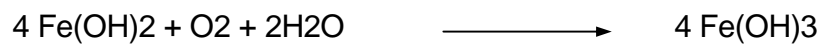
Tabla de dosificaciones estequiométricas
(Sulfato de Aluminio)

| QUIMICO DOSIFICACION | CANTIDAD DE CO2 DISUELTA | |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | 20 ppm | 60 ppm |
| Sulfato de Aluminio | 150.0 gr/m ³ | 150.0 gr/m ³ |
| Cal | 175.0 gr/m ³ | 243.0 gr/m ³ |
| Cloruro de Calcio | 25.3 gr/m ³ | 25.3 gr/m ³ |

2. Sulfato Ferroso. Al igual que para el sulfato de aluminio se selecciona el valor inferior del rango recomendado por Krisher (1978:90) (20 a 60 ppm). Con esta dosificación de sulfato ferroso la composición del agua varía debido a las reacciones que se llevan a cabo. Esto es suponiendo que el coagulante reacciona con los bicarbonatos del agua y que después entra en contacto con la cal. Ena caso contrario habrá que suponer que primero reacciona con la cal y ver qué consumo de cal provoca. Las reacciones son las siguientes:



Para el caso del sulfato ferroso la reacción con la alcalinidad genera hidróxido ferroso; siendo el ferrico el coagulante de interés por su mayor poder de coagulación, ya que como anteriormente se mencionó, estos iones se utilizan por su alta carga positiva que favorece la desestabilización del coloide formado por agua y las partículas en suspensión. Además, el flóculo formado por estos iones de alta carga positiva son mas grandes. El hidróxido ferroso se transforma en hidróxido férrico mediante la oxidación con cloro o con oxígeno disuelto. Las reacciones que explican esta oxidación son :



Del manual de tratamiento de agua de Permuttit (1986:61) se tiene el efecto del sulfato ferroso en el agua; tabla C.2.

Con estos datos modificamos el análisis, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 5.4 (análisis modificado).

Con estos valores se hace el cálculo teórico de las necesidades de cal y cloruro de calcio. Los requerimientos de cal se calcula de igual manera que para el coagulante antes analizado. Para eliminar la alcalinidad como bicarbonato de calcio se hace el siguiente cálculo;

37.1 ppm CaCO_3 = 59.4 ppm $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ = 27.5 gr Cal/ m^3 agua

La alcalinidad como bicarbonato de magnesio;

25.5 ppm CaCO_3 = 37.2 ppm $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ = 37.7 gr Cal/ m^3 agua

La alcalinidad como bicarbonato de sodio;

31.6 ppm CaCO_3 = 53.1 ppm NaHCO_3 = 46.8 gr Cal/ m^3 agua

La cantidad de **cloruro de calcio** 70.2 gr CaCl_2 / m^3 agua

La remoción de dióxido de carbono con cal necesitará de;

Valor mínimo 26.2 ppm CO_2 = 44.12 gr Cal/ m^3 agua

Valor máximo 66.2 ppm CO_2 = 111.5 gr Cal/ m^3 agua

A continuación se muestra la tabla 5.2, que resume los resultados del anterior análisis.

Tabla 5.2

Tabla de dosificaciones estequiométricas
(Sulfato Ferroso)

| QUIMICO DOSIFICACION | CANTIDAD DE CO2 DISUELTA | |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | 20 ppm | 60 ppm |
| Sulfato Ferroso | 20.0 gr/m ³ | 20.0 gr/m ³ |
| Cal | 156.0 gr/m ³ | 224.0 gr/m ³ |
| Cloruro de Calcio | 70.0 gr/m ³ | 70.0 gr/m ³ |

B. PRUEBA DE LABORATORIO

El cálculo teórico de las cantidades necesarias de cal, cloruro de calcio y coagulante es útil para tener una idea de cuales son las cantidades aproximadas que se deben usar, de ninguna manera representan los datos finales. Esto indica que la reacción está influenciada por otros factores entre los cuales están;

- Turbidez
- Tiempo de mezcla inicial
- Temperatura del agua
- Fuerza de agitación

Todos estos varían las cantidades necesarias lo que implica que las cantidades más cercanas a la realidad deberán ser obtenidas experimentalmente. La coagulación es bastante compleja, y esta propiedad nos obliga a realizar pruebas

experimentales que pueden dar resultados más certeros y con esto llevar las conclusiones a un sistema del tamaño diseñado.

La prueba y error en el tanque diseñado resulta ser bastante costosa, y es por eso lo necesario de realizar antes la prueba de coagulación a nivel laboratorio en un floculador. El floculador provee una agitación constante y lenta que ayuda al crecimiento del flóculo. Este experimento permitirá seleccionar principalmente al tipo de coagulante (Sulfato de Aluminio o Sulfato ferroso) así como las cantidades, pH, calidad de flóculo, alcalinidad, dureza y otras características determinantes.

Esta prueba se realizó siguiendo el método de floculación descrito en el APENDICE C.

Las pruebas se realizaron para el sulfato ferroso y el sulfato de aluminio, y los datos que fueron controlados fueron el pH, alcalinidad total, exceso de iones hidróxido (2P-M), y la calidad del flóculo. Para poder tener datos sobre la calidad del flóculo se escogió la siguiente tabla de clasificación subjetiva (tabla 5.3), con el fin de asignar números a los resultados y presentarlos en gráficas.

Tabla 5.3
Valoración calidad del flóculo

| Valor | Descripción |
|-------|-----------------|
| 0 | No flóculo |
| 2 | Opalescente |
| 4 | Puntos pequeños |
| 6 | Flóculo medio |
| 8 | Buen flóculo |
| 10 | Flóculo grande |

Las variables en este caso fueron la cantidad de sulfato de aluminio y de sulfato ferroso, la cal y el cloruro de calcio. El énfasis en estas pruebas se hizo sobre los coagulantes ya que la selección de éste y la cantidad son la mayor incógnita. La bibliografía recomienda rangos de coagulante que dependerán del agua, y los otros químicos dependen de la cantidad de coagulante que se utiliza.

Los resultados y gráficas para ambos coagulantes se presentan en el APENDICE D. Las dosificaciones se muestran en mL/min de soluciones al 6%(p/p) y el cloruro de calcio, el cual se incluyó en la misma solución de 6% de cal, se vertió al 3%. Los ensayos se hicieron con agua bajo las condiciones del mes de junio (ver análisis de agua cruda, mes de junio).

1. **Sulfato ferroso.** Los rangos seleccionados para el sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y cal, fueron escogidos con base en la experiencia y a los datos

obtenidos del cálculo teórico. Para el sulfato ferroso se seleccionó 200 y 700 mL/min de dosificación, suponiendo un caudal de agua de 166.7 gpm (10000 gph), corresponde a un rango aproximado de 20-65 ppm, que es lo que recomienda Krisher (1978:90). Los resultados se presentan en la tablas del APENDICE D.

Para facilitar la selección de las cantidades apropiadas y tener una mejor idea del comportamiento de los parámetros registrados a lo largo del espectro, se presentan las siguientes gráficas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4 del APENDICE D. El primer juego de cuatro gráficas se presentan variando las cantidades de coagulante para diferentes cantidades de cal cloruro de calcio. En estas gráficas no se presentan los datos para 2500 y 2800 mL/min (250 ppm y 280 ppm) ya que el exceso de cal es evidente y sólo complicaría la interpretación de las gráficas.

En la gráfica 5.1 del APENDICE D, se presenta el comportamiento del flóculo al variar las cantidades de Sulfato ferroso. En ésta se observa el marcado aumento de la calidad del flóculo a partir de los 500mL/min (47.6 ppm). Esto resuelve la primer incógnita, obteniéndose flóculo adecuado arriba de esta dosificación. Con este flóculo se logra un buen tratamiento, obteniéndose un tamaño suficientemente grande que facilitará la clarificación, así como la adecuada capa de lodos.

Primero se define la cantidad de coagulante, por ser ésta la mayor incógnita que se tiene al tratar de determinar las dosificaciones del tratamiento de agua, las demás dosificaciones se ajustarán después de determinar la cantidad de coagulante. En las gráficas sólo analizamos arriba de los 47.6 ppm de dosificación de sulfato ferroso, que es donde interesa analizar. En la gráfica 5.2 (APENDICE D) se pueden apreciar las dosificaciones de cal que dan resultados alrededor del valor

esperado (2P-M), las cuales son 1900 y 2200 mL/min (180 ppm y 210 ppm), por lo que el valor a usar de cal estará alrededor de estos valores. La gráfica 5.3 del APENDICE D sirve para corroborar estos valores, ya que la menor alcalinidad total, parte de los objetivos (el mas importante) en el tratamiento de agua, se obtiene en una dosificación de 180 ppm. En las siguientes gráficas (5.5, 5.6, 5.7) se modifica la disposición de las variables colocando la dosificación de sulfato ferroso en el eje horizontal y las dosificaciones de cal se dejan fijas para cada curva, esto facilita aún más el análisis.

2. Sulfato de aluminio. Al igual que el sulfato ferroso, el rango de sulfato de aluminio utilizado se seleccionó con base en la experiencia y la dosificación de cal con base en el cálculo teórico. El rango para el sulfato de aluminio es de 124-162 ppm y el de cal es de 143-219 ppm, aunque en la tabla de resultados aparecen como dosificaciones en mL/min de soluciones al 6% para un flujo de agua de 10 000 gph. Los resultados se observan en las gráficas 5.8, 5.9, 5.10, y 5.11 del APENDICE D, donde se presenta con mayor claridad el comportamiento de los parámetros investigados. El análisis en conjunto de las gráficas sugiere que las mejores dosificaciones son; para el sulfato de aluminio arriba de 143 ppm, y para el hidróxido de calcio entre 200 y 219ppm (2100 y 2300 mL/min). Con estos valores se obtiene los datos mas cercanos a los requerimientos del agua para poder ser utilizada adecuadamente en la planta de bebidas gaseosas.

Con estos ensayos de floculación se tiene una clara idea de las dosificaciones que se utilizarán, por lo que el dimensionamiento de tanques y de alimentadores químicos se puede realizar con bastante acierto.

La comparación entre gráficas entre distinto coagulante es inevitable, y es donde se aprecia cómo la coagulación con sulfato de aluminio presenta mayor inestabilidad, lo que no sucede con el sulfato ferroso que si dio resultados más parejos y con tendencias definidas. Esto se debe a que el pH donde se trabaja no es el más adecuado para el sulfato de aluminio; mientras que el sulfato ferroso presenta mejores resultados en este rango. Esta es una clara y decisiva ventaja que tiene el sulfato ferroso sobre el sulfato de aluminio. El resultado de estos ensayos de floculación, a nivel laboratorio, afinan los resultados obtenidos, teniendo las dosificaciones de la tabla 5.4 como las adecuadas para un buen tratamiento.

Tabla 5.4

Tabla de dosificaciones prueba Lab.
(Sulfato Ferroso)

| QUIMICO | DOSIFICACION |
|-------------------|--------------------------|
| Sulfato Ferroso | 47.6 gr/m ³ |
| Cal | 195.0 gr/m ³ |
| Cloruro de Calcio | 97.5 gr/m ³ * |

* Valor usado (parámetro fijo)

Tabla 5.5

Tabla de dosificaciones prueba Lab.
(Sulfato de Aluminio)

| QUIMICO | DOSIFICACION |
|---------------------|---------------------------|
| Sulfato de Aluminio | 143.0 gr/m ³ |
| Cal | 210.0 gr/m ³ |
| Cloruro de Calcio | 105.0 gr/m ³ * |

* Valor usado (parámetro fijo)

C. Ensayo a escala de diseño

En este caso se tuvo la posibilidad de trabajar en un modelo de similar tamaño (10 000 gph) y de diseño similar (de capa de lodos). Esto ayudará a refinar las dosificaciones, pero con los datos anteriores es suficiente para el diseño del equipo auxiliar. Los resultados que se obtuvieron de esta práctica ayudarán a determinar qué tan eficiente es determinar dosificaciones con ensayos de laboratorio. El procedimiento de la práctica consistió en:

1. Fijar dosificaciones y controlarlas
2. Tomar y analizar muestras después de 2 hr de operación.
3. Control de la capa de lodos

1. **Sulfato Ferroso**. Ambas dosificaciones se situaron alrededor de los valores obtenidos en el ensayo de laboratorio. El cloruro de calcio se mantuvo a la mitad de la cantidad usada de cal, sólo con el fin de determinar la cantidad de hidróxido de calcio necesaria. Después se procedió a establecer la cantidad de cloruro de calcio.

Del análisis de los resultados y la gráfica 5.1 del APENDICE E, donde se muestra cómo varía la alcalinidad total respecto de la dosificación de cal. Para diferentes dosificaciones de coagulante se concluye que la mejor dosificación de cal al 6% de concentración es de 1600 mL/min que equivale a 152.3 ppm de cal . Además, se encontró que un flóculo adecuado apareció arriba de los 450 mL/min, que equivale a 43 ppm de sulfato ferroso; las dosificaciones por debajo de ésta no formaron flóculo.

Ya determinadas las condiciones arriba mencionadas, éstas se fijaron y se comenzó a bajar la dosificación de cloruro de calcio. Para controlar ésta se determinó la cantidad de carbonatos o bicarbonatos de sodio a la salida del reactor. Por lo tanto, se dejó de disminuir la cantidad de cloruro de calcio hasta que la alcalinidad como bicarbonato de sodio ya no era eliminada. La determinación de la alcalinidad como bicarbonato de sodio se realizó utilizando el método de restar alcalinidad total menos dureza(ver sección de análisis).

Los resultados de este trabajo concluyeron en la sugerencias de la tabla 5.6.

Tabla 5.6

Tabla de dosificaciones ensayo a escala natural
(Sulfato Ferroso)

| QUIMICO | DOSIFICACION |
|-------------------|-------------------------|
| Sulfato Ferroso | 42.8 gr/m ³ |
| Cal | 152.3 gr/m ³ |
| Cloruro de Calcio | 28.8 gr/m ³ |

2. **Sulfato de Aluminio.** De igual forma se trabajó con el Sulfato de Aluminio obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla E.2 y gráfica 5.2 deL APENDICE E. Estos datos fueron analizados, que generan la siguiente tabla de dosificaciones adecuadas (tabla 5.7).

Tabla 5.7

Tabla de dosificaciones ensayo a escala natural
(Sulfato de Aluminio)

| QUIMICO | DOSIFICACION |
|---------------------|-------------------------|
| Sulfato de Aluminio | 132.0 gr/m ³ |
| Cal | 170.3 gr/m ³ |
| Cloruro de Calcio | 22.9 gr/m ³ |

De los tres métodos empleados para determinar las dosificaciones, este último podría ser el más exacto por haberse realizado en un tanque de tamaño similar,

aunque de distinto diseño, lo que podría afectar en la reacción y variar levemente las cantidades sugeridas.

VI. SELECCION DEL COAGULANTE

Las opciones a analizar son el sulfato de aluminio y el ferroso, los cuales son los más comunes en el campo del tratamiento de agua en plantas de bebidas gaseosas. En el mercado existen más coagulantes, pero éstos generalmente se usan para efluentes donde la contaminación del agua es extremadamente alta. Aunque ambos coagulante hay que exportarlos, su precio es mucho menor en comparación al de otros coagulantes. Cada coagulante tiene sus ventajas y desventajas conocidas ampliamente.

Las ventajas del Sulfato de Aluminio son;

- No deja manchas de color pardo rojizo de mal aspecto en los pisos, y no es tan corrosivo como las sales férricas.
- Ion de aluminio trivalente no se reduce a ion bivalente.
- Más soluble cuando hay alto contenido de materia orgánica.
- Este presenta mayor facilidad de dilución que los coagulantes férricos.
- No exige cierta cantidad de algún oxidante para convertirse en ion trivalente, como lo requiere el sulfato ferroso.

Las ventajas del sulfato ferroso son;

- Se produce floculación más densa y en un mayor intervalo de pH.
- Sistema de tratamiento más estable
- Facilidad de controlar flóculo por el color de éste.

- Menor consumo de cal en la reacción.

Estas ventajas son importantes, pero no determinan cuál de los dos coagulantes sea el seleccionado, por eso se hacen análisis de laboratorio para determinar cuál coagulante presenta un mejor comportamiento.

Los análisis y ventajas sugieren que el sulfato ferroso es el coagulante adecuado, presentando las siguientes ventajas operacionales:

- Resultados estables y consistentes
- Flóculo de mayor tamaño
- No necesita de mayor control, ya que el rango de operación de pH es mayor.
- Menor costo de operación comparado al sulfato de aluminio.
- Menor alcalinidad del agua tratada a la salida del reactor.

Los costos de dosificación son los siguientes

Tabla 6.1
Costos de materiales

| MATERIAL | PRECIO |
|---------------------|---------------|
| Sulfato de Aluminio | US\$ 0.36/Kg |
| Sulfato Ferroso | US\$ 1.10/Kg |
| Cal hidratada | US\$ 0.056/Kg |
| Cloruro de Calcio | US\$ 0.40/Kg |

Utilizando Sulfato de Aluminio el costo es el siguiente (basado en las dosificaciones de químicos recomendadas):

| <u>MATERIAL</u> | <u>COSTO</u> |
|------------------------|-------------------------|
| Sulfato de Aluminio | US\$ 1.80/hr |
| Cal hidratada | US\$ 0.36/hr |
| Cloruro de Calcio | US\$ 0.35/hr |
| TOTAL | <u>US\$ 2.51/hr</u> /1/ |

Basado en las dosificaciones recomendadas para sulfato ferroso el costo de las dosificaciones que varían entre usar un coagulante y otro son:

| <u>MATERIAL</u> | <u>COSTO</u> |
|------------------------|-------------------------|
| Sulfato Ferroso | US\$ 1.78/hr |
| Cal hidratada | US\$ 0.32/hr |
| Cloruro de Calcio | US\$ 0.44/hr |
| TOTAL | <u>US\$ 2.54/hr</u> /1/ |

Claramente se puede observar que la diferencia entre los costos de un coagulante con respecto al otro, en este caso, son despreciables; lo que obliga a que la selección no este influenciada por el aspecto económico.

/1/ El costo se estimó con base en una hora de operación a 100% de capacidad

VII. SISTEMA DE DOSIFICACION

Con base en la demanda de agua de la planta y de las dosificaciones requeridas, se puede dimensionar el sistema de dosificación, que consistirá de los tanques para solución de coagulante, de cloro y de cal, y de los mecanismos de dosificación.

A. Tanque solución de cal.

Este tanque alimentará a ambos reactores, por lo que el tamaño deberá ser el adecuado para que por lo menos sea capaz de suplir todo un turno de trabajo (8 hrs).

Se conoce el tamaño de los reactores que es de 12 000 gph cada uno, y el requerimiento de cal es de 152 gr/m³ utilizando el coagulante seleccionado. Como ya está sobredimensionado el sistema, los tanques sólo se sobredimensionarán un 5 %.

Este tanque será capaz de mantener la suspensión de cal y mediante una bomba centrífuga, accionada automáticamente, se alimentará los caleros mecánicos, encargados directamente de la dosificación.

La lechada de cal se usará al 8%(p/p), ya que el cloruro de calcio se usará entre el 1 y 2%, llevando la concentración de sólidos a un valor de 10%. Este valor es el punto medio entre manejar una cantidad exagerada de volumen y de evitar taponamiento por alto contenido de sólidos. Al 8% implica una dosificación de

aproximadamente 1600mL/min, que requiere un volumen de 761 Lt(200 gal) para trabajar 8 horas continuas cada reactor. Volumen para ambos reactores 400 gal.

En este mismo tanque se disolverá el cloruro de calcio, el cual no reacciona con la cal, lo que no se puede hacer con el cloro y el coagulante, para los cuales es necesario diseñar otros tanques.

Dimensiones

Diámetro de la base : **1.25 m** (49")

Altura : **1.24 m** (49")

Diámetro del cilindro interior: **0.45 m** (18")

Agitador : **0.40 m** (16")

Tubería de descarga de solución

Diámetro 2"

Material PVC

Tubería entrada agua

Diámetro 3"

Material Hierro al carbono

Datos bomba centrífuga

Caudal 60 gpm

Cabeza de presión 20 lb/plg²

El diseño interior del tanque se observa en la figura 7.1, este diseño permite una dispersión rápida de los sólidos vertidos en el agua. La estructura interior facilita que haya una recirculación.

Este tanque alimentará continuamente a los caleros mecánicos colocados, cada uno encima del reactor. La alimentación será automática por medio de electrodos de nivel colocados en cada calero.

B. Diseño Calero mecánico.

1. **Descripción del sistema (calero mecánico).** Es un mezclador mecánico de paleta agitadora (ver fig 7.2) que podrá proveer de una suspensión de concentración constante. La cual la obtiene mediante una lenta agitación en todos los puntos evitando la sedimentación de los sólidos (en el caso de la cal). Para el caso del cal evitar que se sedimenten algunos sólidos es casi imposible.

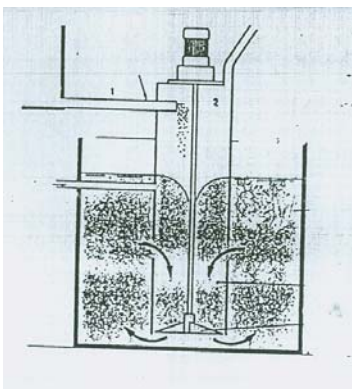


FIG. 7.1 Tanque de mezcla

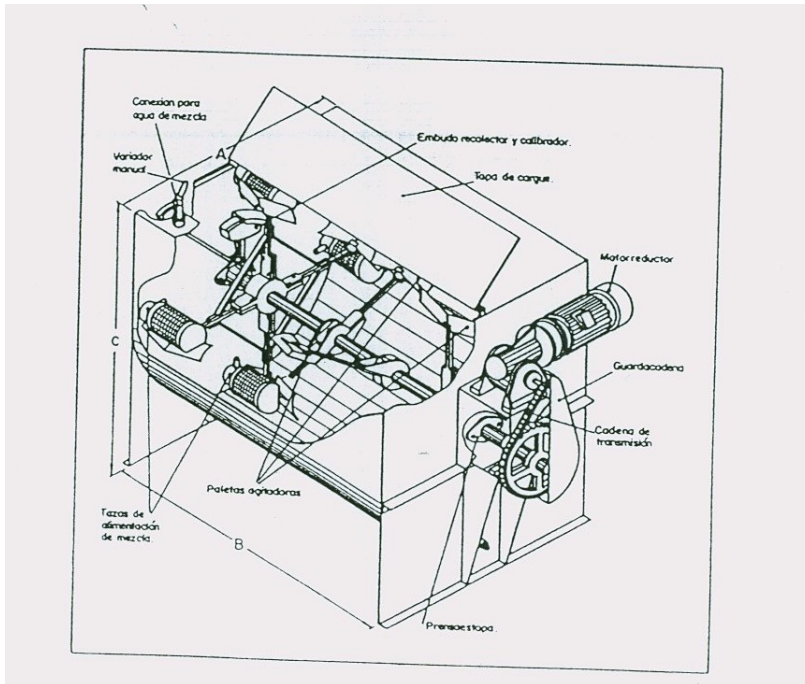


FIG. 7.2 Calero

El mezclador está constituido por un tanque semicilíndrico, acondicionado de un sistemas de paletas agitadoras, tipo arado, que revuelven la mezcla química en un plano vertical manteniendo la circulación ascendente y descendente. De esta forma se asegura concentraciones uniformes y constantes.

Experimentalmente se ha encontrado que agitadores de este tipo no presentan variaciones por encima del 1.5 % en la concentración del producto.

2. Dosificación. Las paletas mezcladoras se encargan también de la dosificación, mediante tazas colocadas en sus extremos que girarán en el plano vertical.

Durante su giro, las tazas penetran en la suspensión, agitando y recogiendo parte de la mezcla. Suspensión que es recogida por un embudo situado por debajo de las tazas al pasar esta por la parte superior de su recorrido. Este embudo posee una tapa graduable donde se modifica la dosificación.

La velocidad de las paletas es constante, por lo que el rango de dosificación se debe establecer en el tamaño de los tazones y en el del embudo. Los cambios pequeños en velocidad de las paletas no afecta la dosificación, ya que una velocidad más lenta permitirá descargar más solución sobre el embudo, mientras que una velocidad alta pasará más veces por unidad de tiempo sobre el embudo.

3. Especificaciones.

Flujo de dosificación 0 - 2500 mL/min

Tiempo entre recargas (max flujo) 8 hrs.

Tanque

Volumen (capacidad): 1200 Lts. (317 Gal)

Ancho : 1.40 mts (54")

Largo : 0.92 mts (36")

Material : Lámina de acero al carbono con recubrimiento de pintura epóxica.

Fondo semicilíndrico y el tanque constará de los soportes para el moto reductor y las prensaestopas del eje,

Las partes internas están constituidas por un eje central con 4 juegos de agitadores interconectados entre sí y desfasados. Se colocarán únicamente 2 tazas de 0.72 Lts cada una, a 10 rev/min.

El moto reductor para acondicionamiento del sistema de agitación y dosificación tendrá motor de 1/2 HP. La transmisión al eje principal del dosificador será por medio de cadenas y piñones.

La dosificación podrá variarse 0-100% en el rango, mediante una tapa sobre el embudo, la cual podrá moverse con facilidad.

Debido al cambio de dosificación que provoca la variación de nivel en el tanque, es necesario colocar un sistema de control de nivel alto y bajo, accionado por electrodos, los cuales accionarán la bomba del tanque de preparación de la solución de cal para mantener el nivel entre ciertos rangos.

La disposición de estos caleros es en la parte superior de los reactores, entrando a éstos por gravedad.

C. Tanque solución coagulante

El tipo de tanque utilizado para lograr buenas soluciones de coagulante se observa en la figura 7.1. El diseño evita la formación de polvo y ayuda a una rápida solución necesaria

para este coagulante, ya que no se puede agitar por mucho tiempo porque pierde eficiencia y coagulante.

Según la dosificación, se diseña para una capacidad de un turno de 8 hrs. de trabajo, para ambos reactores. Con base en una concentración de 5% por dificultades en su dilución, las dimensiones necesarias son;

Volumen : 175 gal (0.66m³)

Altura : 1.20 m

Diámetro: 0.84 m

Agitador: 0.28 m (diámetro paleta)

Motor : 1/4 HP

Material: PVC reforzado con fibra de vidrio

Unido a este tanque se colocarán 3 bombas dosificadoras, dos de las cuales servirán para alimentación a los reactores, teniendo una tercera de reserva en caso de algún mal funcionamiento de las dos anteriores.

D. Tanque solución cloro

El tipo de tanque es igual al del tanque del coagulante, con variación en el tamaño de los tanques, por ser menores los requerimientos de cloro. Para el turno de 8 horas con una solución de hipoclorito de calcio al 5 %, el volumen necesario para el tanque es de por lo menos 50 gal.

Recomendación

Volumen: 60 GAL

Altura: 0.85 m

Diámetro: 0.60 m

Material: PVC reforzado con fibra de vidrio

Agitador : 0.20 m diámetro

Motor : 1/4 HP

El diseño de tanques unificados presenta ciertas ventajas como:

- Mejor control sobre la concentración de las soluciones.
- Comodidad y mayor tiempo para analizar para el operador.
- Ahorro de energía al usar un agitador mayor, en lugar de dos pequeños.
- Utilización de 3 bombas, en lugar de 2 para cada químico.

E. **Bombas dosificadoras**

El equilibrio que se mantiene en los reactores es sumamente importante, ya que de esta forma se obtiene el agua

bajo las especificaciones requeridas y de la forma más económica. La alteración de este equilibrio puede tener su origen en una variación en la dosificación, es por esto lo importante de utilizar bombas dosificadoras bastante exactas.

Los reactivos a manejar son sulfato ferroso y cloro, de tal forma que las mas adecuadas son de desplazamiento positivo de tipo diafragma que son mas resistentes a la corrosión y pueden manejar volúmenes deseados con bastante precisión.

Especificaciones

Bomba Sulfato ferroso

Capacidad de caudal: 500-2000 mL/min (7.93-31.70 gph)

Cabeza de presión : 13 Lb/plg

Bomba Cloro (Hipoclorito de calcio)

Capacidad de caudal: 0-800 mL/min (0-12.70 gph)

Cabeza de presión : 13 Lb/plg

VIII. MANEJO DE PRODUCTOS QUIMICOS

Elegido el coagulante, queda por resolver cómo será su manejo y aplicación a los reactores. Su almacenamiento adecuado y seguro, especial para productos químicos, su manejo y traslado eficiente dentro de la planta, así como la existencia de un buen equipo, asegurarán no solamente una operación bastante económica, sino también una continuidad y uniformidad del tratamiento.

A. Almacenamiento de productos químicos

Debido al tamaño de la planta, varios de los productos químicos se compran en bolsas y no a granel, lo que dificultaría más su manejo. Para los productos que se compran en bolsa, la mejor manera de almacenar es apilarlos sobre el piso de la bodega o almacén. Al utilizar este sistema o cualquier otro, hay que recordar que no se deben juntar los coagulante con la cal. Además, se deberá tener en planta, siempre a mano, existencia suficiente de productos químicos.

B. Transporte y pesaje de productos químicos

El tamaño de los reactores no exige gran cantidad de químicos, por lo que su transporte podrá realizarse con carretilla o montacargas. Los productos químicos se colocarán sobre una plataforma, cuyo nivel permitirá vaciar las bolsas de producto sobre los tanques de solución.

Se deberá contar con una balanza, la cual se encontrará a la par de los reactores para tener la posibilidad de pesar todos los productos químicos. La capacidad de la balanza será de 0 a 200 Lbs, por lo menos.

IX. COSTO DEL SISTEMA DISEÑADO

La evaluación económica se realizó con base en cotizaciones realizadas por proveedores nacionales e internacionales.

Tabla 9.1

Descripción de costos

| Equipo | Costo |
|---------------------------------|------------------------------|
| 2 Tanques de reacción | US\$ 40,000.00 |
| Pintura para ambos tanques | US\$ 10,000.00 |
| 1 Tanque Pulmón | US\$ 3,500.00 |
| Pintura para tanque pulmón | US\$ 3,500.00 |
| Tanque solución cal | |
| Tanque | US\$ 1,200.00 |
| Bomba | US\$ 1,500.00 |
| Calero | US\$ 4,320.00 |
| Tanque Coagulante(con agitador) | US\$ 1,200.00 |
| Tanque para Cloro(con agitador) | US\$ 1,200.00 |
| Bombas Dosificadoras | |
| Coagulante | US\$ 1,500.00 |
| Cloro | US\$ 1,300.00 |
| TOTAL | <u>US\$ 69,220.00</u> |

La cotización incluye montaje, pero no la instalación del equipo, ni la obra civil.

X. CONCLUSIONES

Después de haber analizado la química del agua cruda, los requerimientos para el agua tratada y la demanda de agua de la planta de bebidas gaseosas se seleccionó el tipo de tratamiento llamado cal en frío con sobre cloración. Para el cual se diseñaron dos tanques reactores del tipo capa de lodos (capacidad 10,000 GPH), al igual que el sistema de dosificación. El diseño de ambos reactores provee mas de 20 minutos para que se complete la reacción y mas de 90 minutos para la clarificación. La clarificación se ve favorecida por el diseño de un tanque pulmón que se colocó después de los reactores.

El diseño presenta varias ventajas como la colocación de un agitador en la zona de lodos, la cual mantendrá la capa de lodos floja, y la colocación de placas deflectoras que ayudan a evitar el arrastre de lodos.

El sistema de dosificación se diseño para ser utilizado con Sulfato ferroso, coagulante que fue escogido debido a que da una reacción mas estable obteniéndose lodos mas pesados. Las dosificaciones de químicos que se recomiendan para el tipo de agua analizada son: Cal 152.3 ppm, cloruro de calcio 28.8 ppm, y 42.8 ppm de Sulfato ferroso.

El costo de la colocación de este sistema es de US\$ 69,220, garantizándose así la calidad del agua tratada con un diseño que cuida todos los detalles desde la reacción hasta el manejo de materia prima.

XI. RECOMENDACIONES

En el caso de comprar y en especial sí se construye el propio tratamiento de agua, se recomienda realizar un programa de muestreo del agua, y efectuar los respectivos análisis que en este trabajo se realizaron. Además de estos análisis, es imperante realizar pruebas de floculación para determinar el coagulante y la cantidad que se debe utilizar de éste.

En estos diseños se recomienda dimensionar adecuadamente el tiempo de la zona de reacción, al igual la mezcla inicial, ya que son los puntos críticos de la reacción. La colocación de un tanque pulmón en lugar de hacer de mayor capacidad los tanques presenta ventajas claras a la operación.

La forma del tanque de reacción no debe provocar la rotura del flóculo formado en las primeras etapas, por lo que la velocidad del agua dentro del reactor debe descender conforme recorre todo el tanque de reacción.

La dosificación de químicos al tanque se debe garantizar, por lo cual es importante que:

- Se utilicen soluciones no mayores de un 10 % en peso.
- Se utilice un calero mecánico y no una bomba dosificadora.
- Se haga mantenimiento preventivo a las bombas dosificadoras, semanalmente.

La reacción en el tanque es de suma importancia, por lo que se recomienda que se lleven a cabo todos los métodos de control que en el manual de operación se colocan.

Sí se desea diseñar un sistema de tratamiento de cal en frío, se recomienda utilizar este diseño, así como las sugerencias de manejo de químicos y del reactor que aquí se presentan.

XII. BIBLIOGRAFIA

- Ciaccio, Leonard. Water and Water pollution handbook. 1972 New York. 500 pp.
- Gloyna, E. Water quality improvement by physical and process. Austin, University of Texas 1970 chemical press. 448 pp.
- Krisher, A. "Raw water treatment in the CPI". Chemical Engineering. 1978 (New York); 79-98.
- Manual de Ingeniería. Edospina. Bogotá, Colombia. 60 pp. 1976
- Manual de tratamiento de aguas. México. Editorial 1964 Limusa-Wiley S.A. 205 pp.
- Manual técnico de agua. Dégremont-España. Bilbao 1060 pp. 1963
- Nordell, E. Water Treatment for industrial and other uses. 1951 New York. Reinhold press. 526 pp.
- Precipitators for Clarification and softening. Permutitt 1973 Co. Bulletin No. F2204. 12 pp.
- Powell, T. Acondicionamiento de aguas para la industria. 1970 México, D.F. Editorial Limusa Wiley S.A. 631 pp.
- Standard Methods for the examination of water and waste water; including sediments and sludges. 1967 American Public Health Association. Twelfth ed. New York. 769 pp.
- Verrey, J. Agua; su calidad y tratamiento. 2da ed. 1968 México, D.F. UTEHA. 564 pp.
- Water and Waste treatment data book. The Permutitt Inc. 1986 New Jersey. 144 pp.
- Water conditioning handbook. The Permutitt Co. Inc. New 1943 York 200 pp.
- Water Treatment Handbook. Firmin-Didet. Paris, France. 1979 1186 pp.

APENDICE A

ANALISIS DE AGUA CRUDA

El cálculo de dosificación de químicos depende enteramente del tipo de agua que someterá al tratamiento. Es por esto lo importante de conocer el comportamiento del agua cruda a lo largo de un período de tiempo. En este caso el agua se analizó una vez por mes durante 12 meses. Los resultados del análisis se presentan en la tabla A.1. Durante estos doce meses se atravesó ambas temporadas seca y lluviosa, observándose un pequeño cambio a lo largo del año.

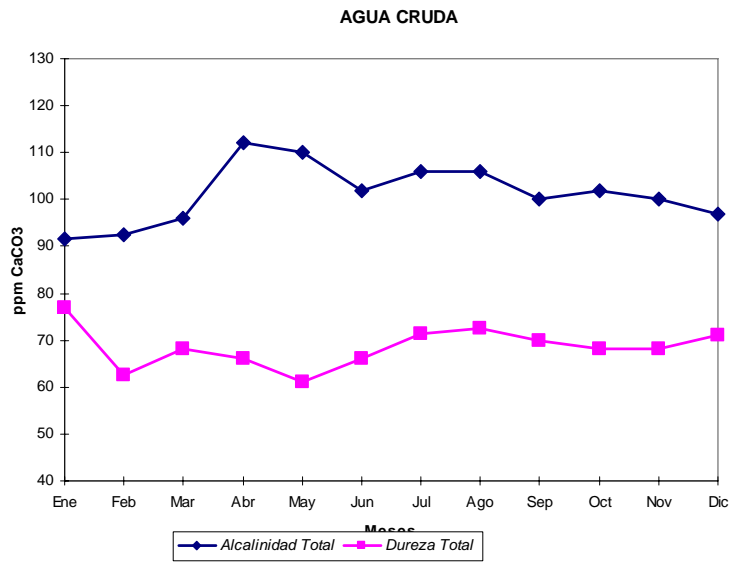
Las gráficas de dureza, alcalinidad, pH (graf. A.1, A.2, A.3) y los demás datos analizados nos demuestran el poco cambio que hubo a lo largo del período de investigación. Siendo la excepción el pH y el CO₂ disuelto que fueron los parámetros que mayor cambio relativo mostraron. Aunque solo se tienen los datos de un año se puede observar que al cabo de este período los resultados se repiten sugiriendo un comportamiento periódico.

Para el diseño del sistema periférico del reactor se utilizarán los datos promedio que garantizarán dosificaciones adecuadas para el tratamiento de agua, con pequeñas variaciones. Aunque la mayoría de datos no cambiaron mucho de tal forma que no afectan las dosificaciones, se recomienda que el análisis del agua se

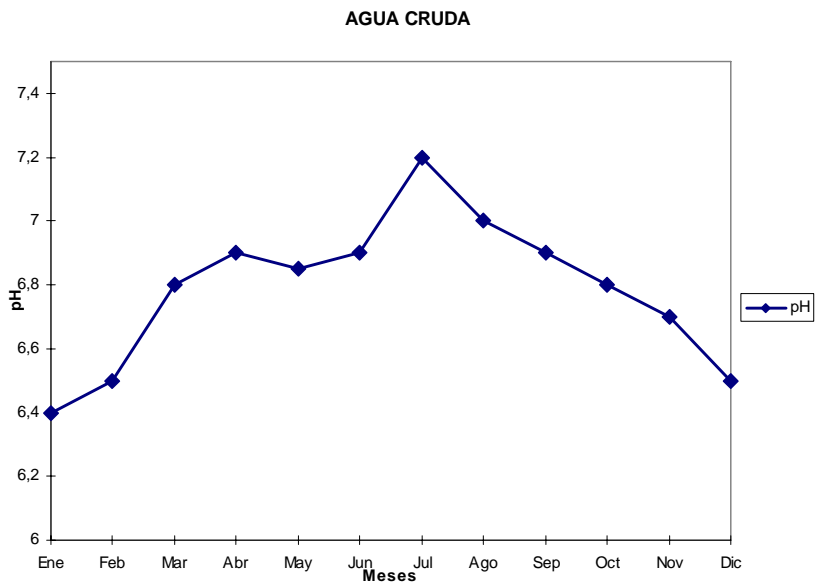
realice por lo menos cada 3 meses para asegurarnos que la dosificación de químicos está acorde a la composición del agua cruda.

| DETERMINACION | MENSUAL | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE |
| pH | 6,4 | 6,5 | 6,8 | 6,9 | 6,9 | 6,9 | 7,2 | 7,0 | 6,9 | 6,8 | 6,7 | 6,5 |
| Sólidos totales disueltos | 200,0 | 360,0 | 220,0 | 180,0 | 180,0 | 192,0 | 198,0 | 200,0 | 205,0 | 190,0 | 190,0 | 180,0 |
| ppm | | | | | | | | | | | | |
| Alcalinidad parcial | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| ppm CaCO3 | | | | | | | | | | | | |
| Alcalinidad Total | 91,5 | 92,5 | 96,0 | 112,0 | 110,0 | 102,0 | 106,0 | 106,0 | 100,0 | 102,0 | 100,0 | 97,0 |
| ppm CaCO3 | | | | | | | | | | | | |
| Alcalinidad de Hidróxidos | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| ppm CaCO3 | | | | | | | | | | | | |
| Alcalinidad de Carbonatos | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| ppm CaCO3 | | | | | | | | | | | | |
| Alcalinidad de Bicarbonatos | 91,5 | 92,5 | 96,0 | 112,0 | 110,0 | 102,0 | 106,0 | 106,0 | 100,0 | 102,0 | 100,0 | 97,0 |
| ppm CaCO3 | | | | | | | | | | | | |
| CO2 Libre | 55,0 | 55,0 | 28,0 | 30,0 | 30,0 | 25,0 | 12,0 | 17,0 | 20,0 | 32,0 | 40,0 | 60,0 |
| ppm | | | | | | | | | | | | |
| Dureza Total | 76,8 | 62,5 | 68,0 | 66,0 | 61,0 | 66,0 | 71,5 | 72,5 | 70,0 | 68,0 | 68,0 | 71,0 |
| ppm CaCO3 | | | | | | | | | | | | |
| Calcio | 45,0 | 42,5 | 42,0 | 40,0 | 32,0 | 38,0 | 40,0 | 40,0 | 38,0 | 37,0 | 38,0 | 38,0 |
| ppm CaCO3 | | | | | | | | | | | | |
| Magnesio | 31,8 | 20,0 | 26,0 | 26,0 | 29,0 | 28,0 | 31,5 | 32,5 | 32,0 | 31,0 | 30,0 | 33,0 |
| ppm CaCO3 | | | | | | | | | | | | |
| Sulfatos (SO4) | 10,0 | 16,0 | 15,0 | 16,0 | 16,0 | 12,0 | 8,0 | 8,0 | 10,0 | 10,0 | 14,0 | 13,0 |
| ppm | | | | | | | | | | | | |
| Cloruros (Cl) | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 1,0 | 2,0 | 1,5 | 0,0 | 1,0 | 1,5 | 1,0 | 2,0 | 2,0 |
| ppm | | | | | | | | | | | | |
| Nitratos (NO3) | 3,6 | 4,5 | 3,4 | 3,0 | 3,0 | 3,2 | 3,8 | 3,8 | 3,5 | 3,0 | 3,0 | 2,8 |
| ppm | | | | | | | | | | | | |
| Ortofosfatos(PO4) | 2,4 | 2,1 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 2,5 | 2,5 | 2,8 |
| ppm | | | | | | | | | | | | |
| Sodio | 14,6 | | | | | | 25,0 | | | | | |
| ppm | | | | | | | | | | | | |
| Hierro | 0,20 | 0,25 | 0,22 | 0,12 | 0,15 | 0,20 | 0,18 | 0,10 | 0,16 | 0,20 | 0,18 | 0,20 |
| ppm | | | | | | | | | | | | |

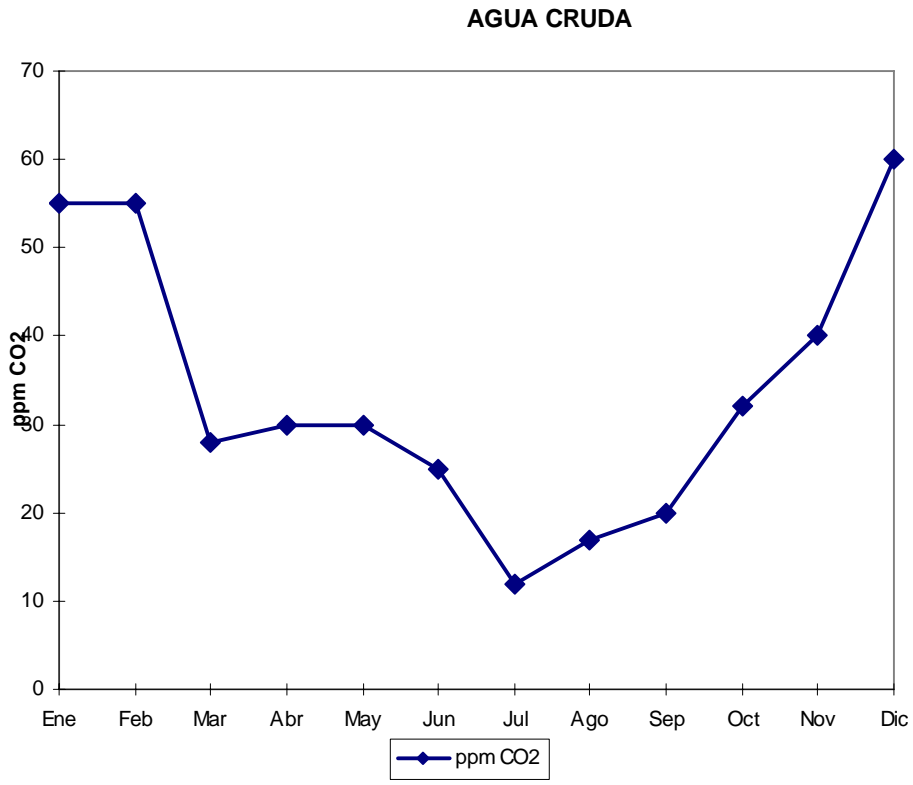
Tabla A.1



Gráfica A.1



Gráfica A.2



Gráfica A.3

| AGUA CRUDA RESUMEN | |
|--|-------------------------|
| DETERMINACION | Valores promedio |
| pH | 6.79 |
| Solidos totales disueltos ppm | 207.92 |
| Alcalinidad Parcial ppm CaCO ₃ | 0.00 |
| Alcalinidad Total ppm CaCO ₃ | 101.25 |
| Alcalinidad de hidroxidos ppm CaCO ₃ | 0.00 |
| Alcalinidad Carbonatos ppm CaCO ₃ | 0.00 |
| Alcalinidad Bicarbonatos ppm CaCO ₃ | 101.25 |
| CO ₂ libre ppm | 33.67 |
| Dureza total ppm CaCO ₃ | 68.44 |
| Calcio ppm CaCO ₃ | 39.21 |
| Magnesio ppm CaCO ₃ | 29.23 |
| Sulfatos (SO ₄) ppm | 12.33 |
| Cloruros(Cl) ppm | 1.08 |
| Nitratos(NO ₃) ppm | 3.38 |
| Ortofosfatos (PO ₄) ppm | 2.78 |
| Sodio ppm | -- |
| Hierro ppm | 0.18 |

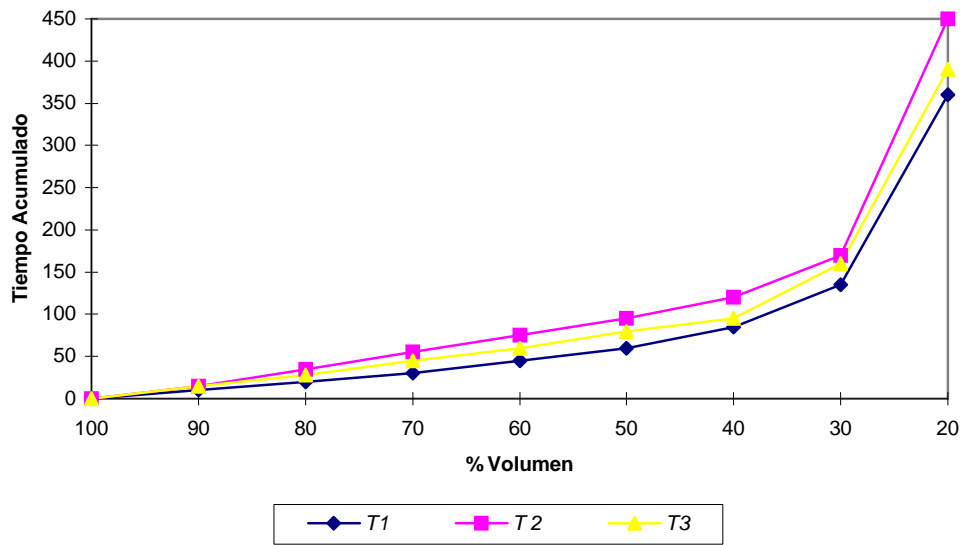
APENDICE B

VELOCIDAD SEDIMENTACION LODOS

Lodos

| %Volumen Lodos | Tiempo Acumulado 1 | Tiempo Acumulado 2 | Tiempo Acumulado 3 |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 100 | 0 | 0 | 0 |
| 90 | 10 | 15 | 15 |
| 80 | 20 | 35 | 28 |
| 70 | 30 | 55 | 45 |
| 60 | 45 | 75 | 60 |
| 50 | 60 | 95 | 80 |
| 40 | 85 | 120 | 95 |
| 30 | 135 | 170 | 160 |
| 20 | 360 | 450 | 390 |

Sedimentación de Lodos



APENDICE C

ENSAYO DE FLOCULACION

A. Método

Se utiliza un floculador que permita agitar suavemente el líquido contenido en vasos a una velocidad determinada.

Para que los resultados sean comparables, es preciso, naturalmente que la velocidad de rotación sea idéntica en cada prueba, situándose el valor óptimo alrededor de 40 rev/min. este ensayo se efectúa durante 20 minutos. Al final se llena un formato en el cual se anoten los resultados finales después de la floculación.

Tabla C.1

| EQUIVALENTES DE SULFATO DE ALUMNIO | | | | |
|--|---|--|-----------------------------------|-------------------------|
| Sulfato aluminio <small>Al₂(SO₄)₃.18H₂O</small> | Alcalinidad Reducción ppm CaCO ₃ | Sulfatos(SO ₄) aumento ppm | CO ₂ aumento ppm | STD * aumento ppm |
| 1 ppm 150 ppm | 0.45 67.5 | 0.45 67.5 | 0.40 60.0 | 0.16 24.0 |
| * STD sólidos totales disueltos | | | | |

Tabla C.2

| EQUIVALENTES DE SULFATO FERROSO | | | | |
|--|---|--|-----------------------------------|-------------------------|
| Sulfato Ferroso <small>FeSO₄.7H₂O</small> | Alcalinidad reducción ppm CaCO ₃ | Sulfatos(SO ₄) aumento ppm | CO ₂ aumento ppm | STD * aumento ppm |
| 1 ppm 20 ppm | 0.36 7.20 | 0.36 7.20 | 0.31 6.20 | 0.13 2.60 |
| * STD sólidos totales disueltos | | | | |

Tabla 5.3

| ANALISIS MODIFICADO AGUA CRUDA (Sulfato Aluminio) | |
|---|------------------|
| DETERMINACION | Valores promedio |
| pH | 6.79 |
| Solidos totales disueltos Ppm | 231.92 |
| Alcalinidad Parcial Ppm CaCO ₃ | 0.00 |
| Alcalinidad Total Ppm CaCO ₃ | 33.75 |
| Alcalinidad de hidroxidos Ppm CaCO ₃ | 0.00 |
| Alcalinidad Carbonatos ppm CaCO ₃ | 0.00 |
| Alcalinidad Bicarbonatos Ppm CaCO ₃ | 33.75 |
| CO ₂ libre Ppm | 80-120 |
| Dureza total ppm CaCO ₃ | 22.60 |
| Calcio Ppm CaCO ₃ | 13.50 |
| Magnesio Ppm CaCO ₃ | 9.10 |
| Sulfatos (SO ₄) ppm | 80.80 |
| Cloruros(Cl) ppm | 1.08 |
| Nitratos(NO ₃) Ppm | 3.38 |
| Ortofosfatos (PO ₄) Ppm | 2.78 |
| Sodio Ppm | -- |
| Hierro Ppm | 0.18 |

Tabla 5.4

| ANALISIS MODIFICADO AGUA CRUDA (Sulfato Ferroso) | |
|--|------------------|
| DETERMINACION | Valores promedio |
| pH | 6.79 |
| Solidos totales disueltos ppm | 215.12 |
| Alcalinidad Parcial ppm CaCO ₃ | 0.00 |
| Alcalinidad Total ppm CaCO ₃ | 94.05 |
| Alcalinidad de hidroxidos ppm CaCO ₃ | 0.00 |
| Alcalinidad Carbonatos ppm CaCO ₃ | 0.00 |
| Alcalinidad Bicarbonatos ppm CaCO ₃ | 94.05 |
| CO ₂ libre ppm | 80-120 |
| Dureza total ppm CaCO ₃ | 62.6 |
| Calcio ppm CaCO ₃ | 37.10 |
| Magnesio ppm CaCO ₃ | 25.50 |
| Sulfatos (SO ₄) ppm | 20.50 |
| Cloruros(Cl) ppm | 1.08 |
| Nitratos(NO ₃) ppm | 3.38 |
| Ortofosfatos (PO ₄) ppm | 2.78 |
| Sodio ppm | 18.40 |
| Hierro ppm | 0.18 |

APENDICE D

Resultados prueba de Laboratorio

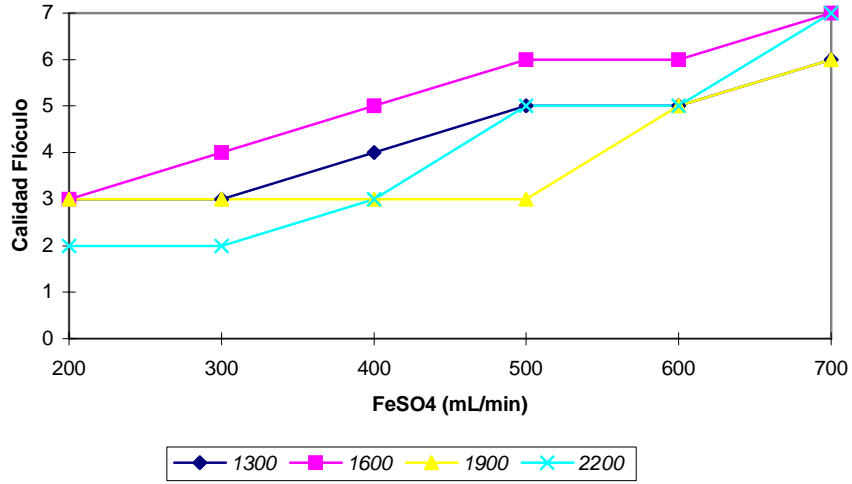
Tabla D.1

| Cal ml/min | FeSO4 ml/min | | Flóculo | pH | P ppmCaCO3 | M ppmCaCO3 | 2P-M ppmCaCO3 |
|---------------|-----------------|-----|---------|------|---------------|---------------|------------------|
| 1000 | 200 | | 2 | 8.75 | 20 | 124 | -84 |
| | 300 | | 2 | 9 | 26 | 154 | -102 |
| | 400 | | 4 | 9.1 | 34 | 138 | -70 |
| | 500 | | 4 | 8.8 | 32 | 136 | -72 |
| | 600 | | 4 | 8.4 | 6 | 98 | -86 |
| | 700 | | 4 | 8.8 | 24 | 108 | -60 |
| | 1300 | 200 | | 3 | 9.5 | 42 | 88 |
| 300 | | | 3 | 9.4 | 34 | 80 | -12 |
| 400 | | | 4 | 9.4 | 36 | 86 | -14 |
| 500 | | | 5 | 9.1 | 22 | 86 | -42 |
| 600 | | | 5 | 9 | 17 | 76 | -42 |
| 700 | | | 6 | 9.1 | 28 | 110 | -54 |
| 1600 | | 200 | | 3 | 9.3 | 32 | 70 |
| | 300 | | 4 | 8.9 | 28 | 80 | -24 |
| | 400 | | 5 | 9.1 | 20 | 65 | -25 |
| | 500 | | 6 | 9 | 16 | 68 | -36 |
| | 600 | | 6 | 9 | 22 | 70 | -26 |
| | 700 | | 7 | 9.15 | 22 | 58 | -14 |
| | 1900 | 200 | | 3 | 9.3 | 32 | 66 |
| 300 | | | 3 | 8.9 | 28 | 58 | -2 |
| 400 | | | 3 | 9.1 | 32 | 58 | 6 |
| 500 | | | 3 | 9 | 50 | 66 | 34 |
| 600 | | | 5 | 9 | 22 | 50 | -6 |
| 700 | | | 6 | 9.15 | 20 | 44 | -4 |

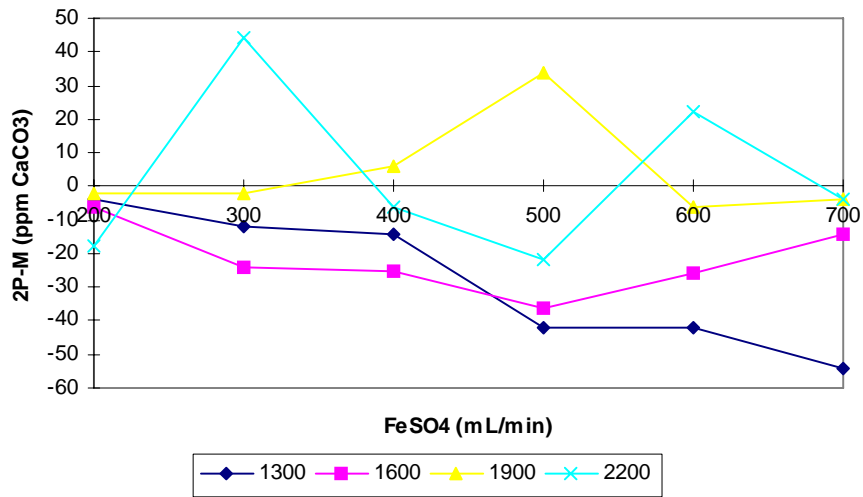
Floculación con Sulfato Ferroso (Lab)

| Cal ml/min | FeSO4 ml/min | | Flóculo | pH | P ppmCaCO3 | M ppmCaCO3 | 2P-M ppmCaCO3 |
|---------------|-----------------|--|---------|-------|---------------|---------------|------------------|
| 2200 | 200 | | 2 | 9.2 | 35 | 88 | -18 |
| | 300 | | 2 | 9.2 | 66 | 88 | 44 |
| | 400 | | 3 | 10.1 | 26 | 58 | -6 |
| | 500 | | 5 | 9.2 | 37 | 96 | -22 |
| | 600 | | 5 | 9.3 | 47 | 72 | 22 |
| | 700 | | 7 | 9.2 | 23 | 50 | -4 |
| 2500 | 200 | | 2 | 10.6 | 64 | 90 | 38 |
| | 300 | | 2 | 10.55 | 110 | 138 | 82 |
| | 400 | | 2 | 10.65 | 106 | 130 | 82 |
| | 500 | | 2 | 10.65 | 112 | 142 | 82 |
| | 600 | | 3 | 10.7 | 120 | 148 | 92 |
| | 700 | | 3 | 10.6 | 98 | 120 | 76 |
| 2800 | 200 | | 2 | 10.65 | 100 | 124 | 76 |
| | 300 | | 2 | 10.8 | 110 | 140 | 80 |
| | 400 | | 2 | 11.25 | 260 | 300 | 220 |
| | 500 | | 2 | 10.7 | 106 | 126 | 86 |
| | 600 | | 3 | 10.4 | 80 | 110 | 50 |
| | 700 | | 3 | 10.5 | 96 | 119 | 73 |

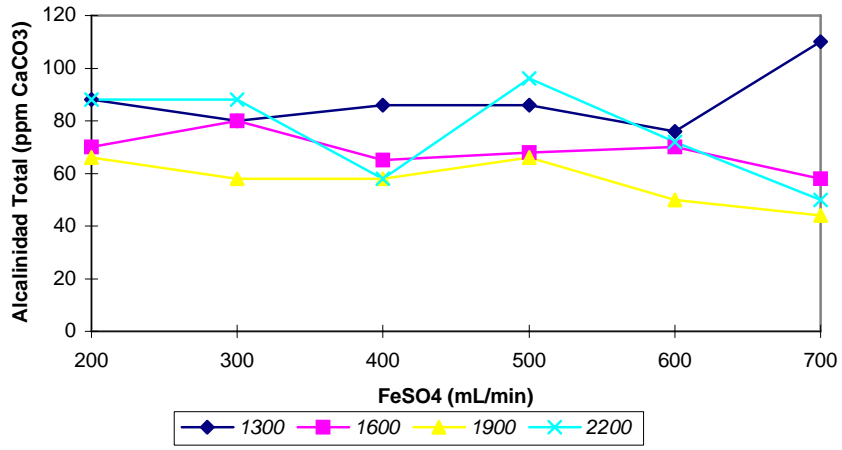
Flóculo



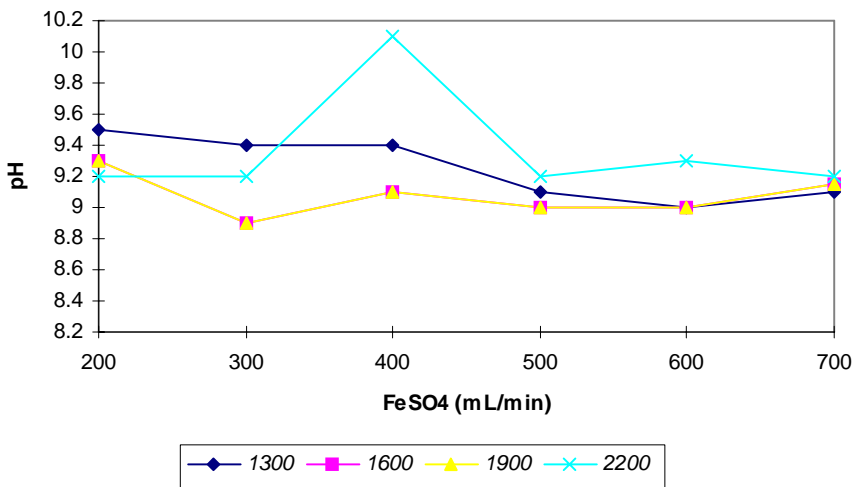
2P-M



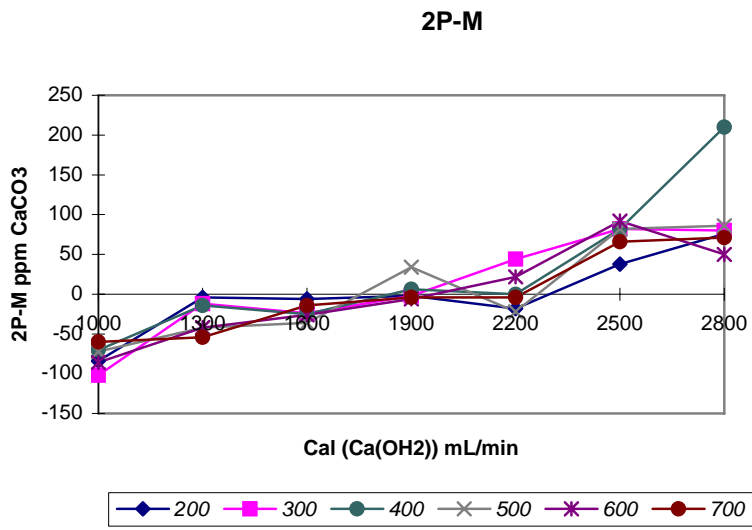
Alcalinidad Total



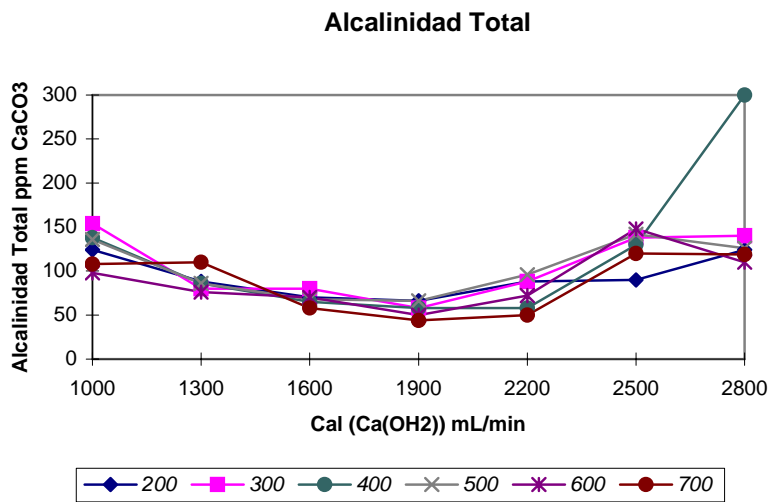
pH



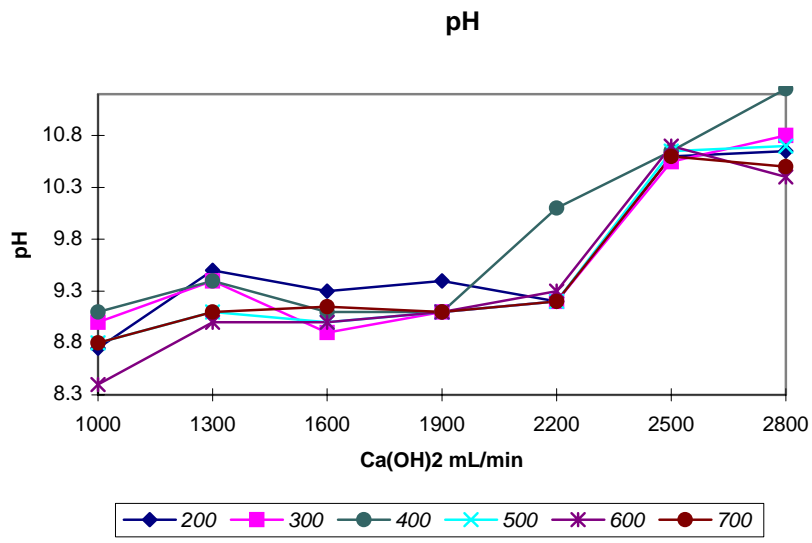
| Floculador (Reactor) | | CONTROLES OPERACIONALES | | | TRATAMIENTO DE AGUA | |
|-------------------------------|--------------------|---|--------------------------|-----------------------------|---|--|
| CONTROL | SECCION/REF | LUGAR | ESPECIFICACIONES | ACCION CORRECT. | FRECUENCIA | |
| Floculación | A.1 | Tomas de muestra - Fondos - Z. reacción - Agua clara | E.1 | C.1 | cada 4 hrs. cada 4 hrs. cada 4 hrs. | |
| Calero y bombas dosificadoras | Observación visual | - | Seco, limpio, cerrado | Llevarlo a especificaciones | Diarlo | |
| de Dosificadores | A.2 | Caja de Mezcla | Dosificación real E.2 | Ajustar a especificaciones | cada hr. | |
| de Cal | A.3 | Tomas - Reacción - Agua Clara | Entre 0 y 10 | C.0 y C.2 | cada hr. | |
| de Cloro | A.4 | Agua Clara | Entre 6 y 8 ppm | C.0 y C.3 | cada hr | |
| Nivel de solms. químicas | A.5 | Tanques de preparación | - | Hacer recarga de tanques | cuando sea necesario | |
| Caudal de agua de operación | A.6 | | E.3 | C.4 | Semanal | |
| Dureza | A.7 | Salida | E.4 | C.5 | cada 4 hrs. | |



Gráfica 5.5



Gráfica 5.6

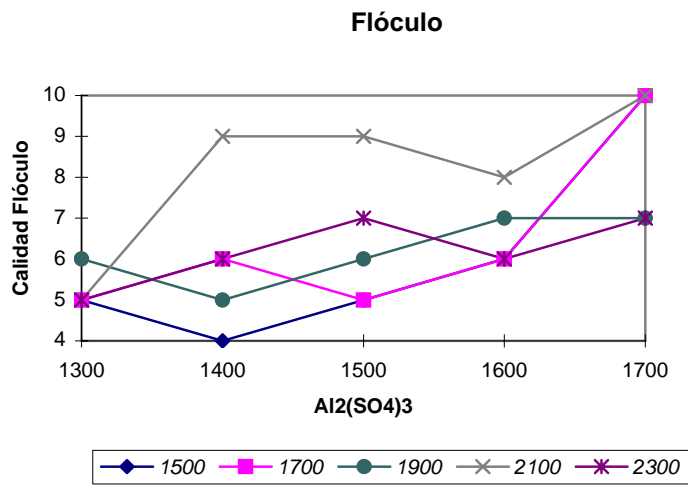


Gráfica 5.7

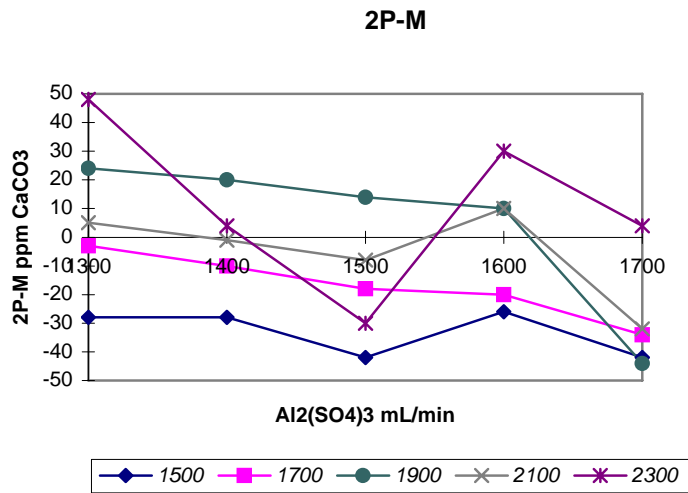
Tabla D.2

FLOCULACION CON SULFATO DE ALUMINIO (LAB)

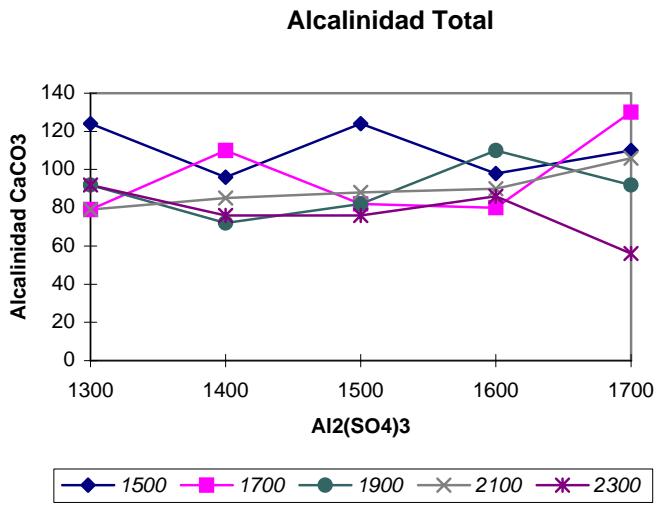
| Cal ml/min | Al ₂ (SO ₄) ₃ ml/min | | Flóculo | pH | P ppmCaCO ₃ | M ppmCaCO ₃ | 2P-M ppmCaCO ₃ |
|---------------|---|--|---------|------|---------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 1500 | 1300 | | 5 | 9.3 | 48 | 124 | -28 |
| | 1400 | | 4 | 9.25 | 34 | 96 | -28 |
| | 1500 | | 5 | 9.1 | 41 | 124 | -42 |
| | 1600 | | 6 | 9.15 | 36 | 98 | -26 |
| | 1700 | | 10 | 9.1 | 34 | 110 | -42 |
| 1700 | 1300 | | 5 | 9.5 | 38 | 79 | -3 |
| | 1400 | | 6 | 9.65 | 50 | 110 | -10 |
| | 1500 | | 5 | 9.3 | 32 | 82 | -18 |
| | 1600 | | 6 | 9 | 30 | 80 | -20 |
| | 1700 | | 10 | 9.3 | 48 | 130 | -34 |
| 1900 | 1300 | | 6 | 9.6 | 58 | 92 | 24 |
| | 1400 | | 5 | 9.5 | 46 | 72 | 20 |
| | 1500 | | 6 | 9.5 | 48 | 82 | 14 |
| | 1600 | | 7 | 9.5 | 60 | 110 | 10 |
| | 1700 | | 7 | 9.1 | 24 | 92 | -44 |
| 2100 | 1300 | | 5 | 9.45 | 42 | 79 | 5 |
| | 1400 | | 9 | 9.5 | 42 | 85 | -1 |
| | 1500 | | 9 | 9.4 | 40 | 88 | -8 |
| | 1600 | | 8 | 9.7 | 50 | 90 | 10 |
| | 1700 | | 10 | 9.3 | 37 | 106 | 32 |



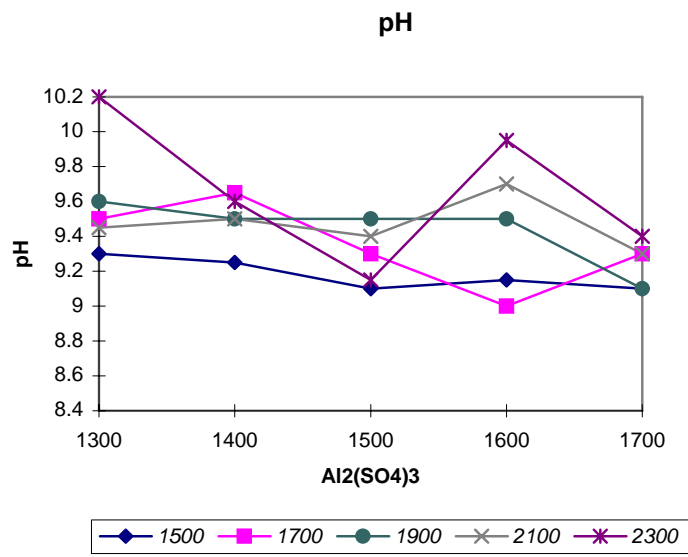
Gráfica 5.8



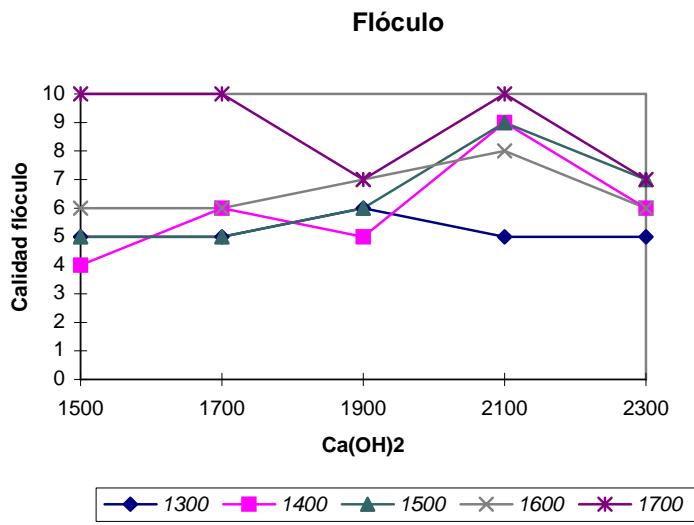
Gráfica 5.9



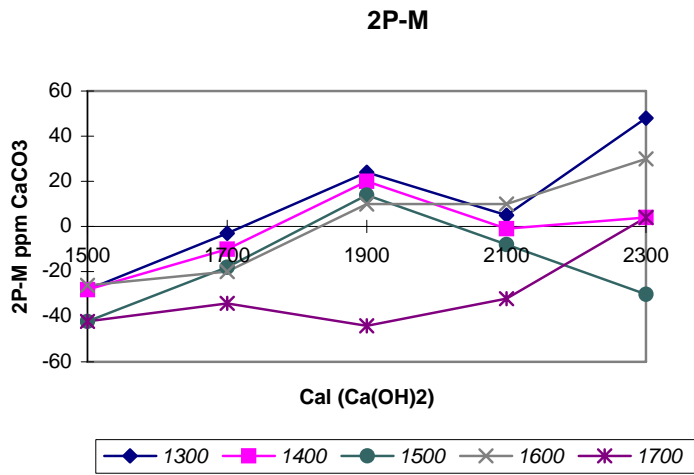
Gráfica 5.10



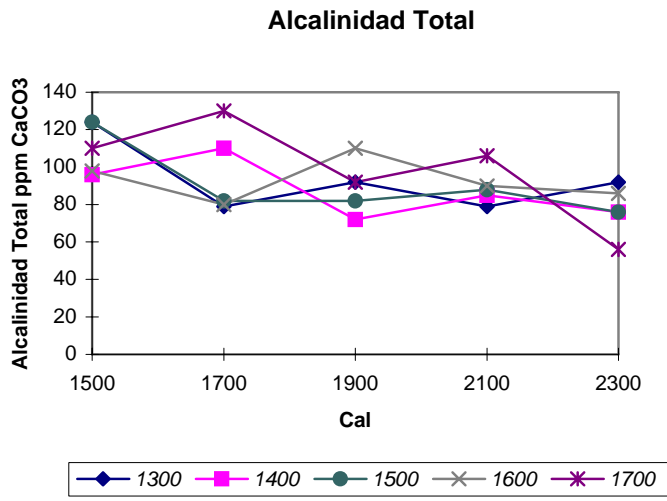
Gráfica 5.11



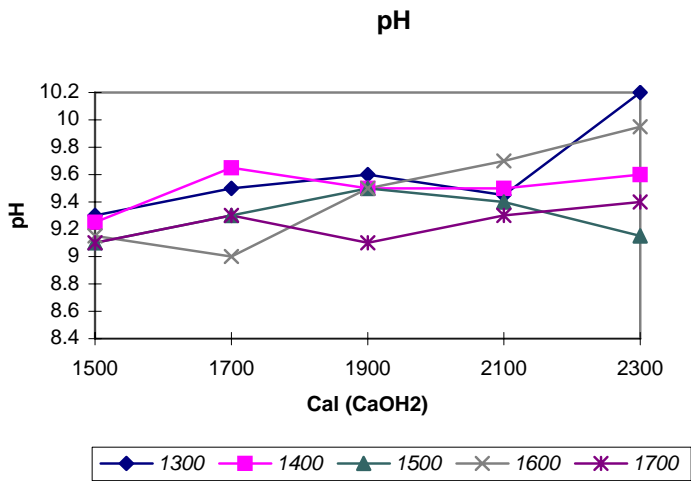
Gráfica 5.12



Gráfica 5.13



Gráfica 5.14



Gráfica 5.15

APENDICE E

RESULTADOS ENSAYO MODELO

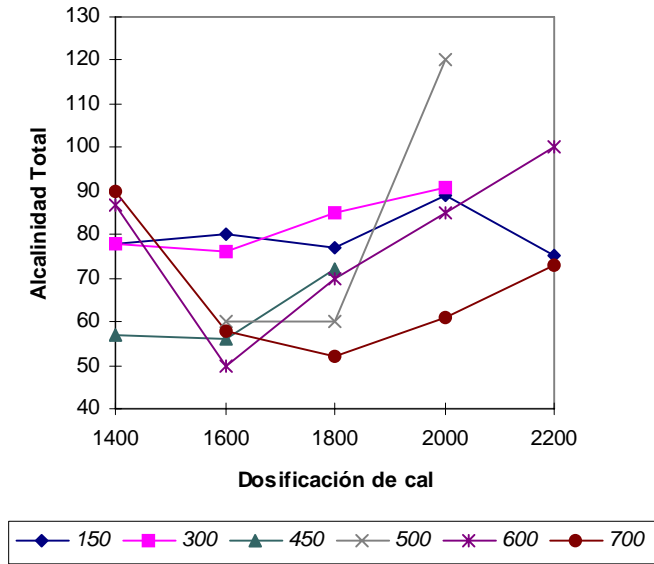
Tabla E.1

| DATOS CON SULFATO FERROSO | | | |
|---------------------------|------------|----------------|----------|
| <u>TANQUE 10 000 GPH</u> | | | |
| DOSIFICACIONES | | | |
| Sulfato Ferroso | <u>Cal</u> | <u>2 P - M</u> | <u>M</u> |
| 150 | 1400 | 0 | 78 |
| | 1600 | 5 | 80 |
| | 1800 | 7 | 77 |
| | 2000 | 15 | 89 |
| | 2100 | 15 | 75 |
| 300 | 1400 | 1 | 78 |
| | 1600 | 8 | 76 |
| | 1700 | 10 | 85 |
| | 1800 | 15 | 91 |
| 450 | 1450 | - 1 | 57 |
| | 1600 | 8 | 56 |
| | 1700 | 9 | 65 |
| | 1800 | 22 | 72 |
| 500 | 1600 | 10 | 60 |
| | 1700 | 12 | 60 |
| | 2000 | 40 | 120 |
| 600 | 1450 | 35 | 87 |
| | 1600 | 6 | 50 |
| | 1700 | 6 | 60 |
| | 2200 | 40 | 100 |
| 700 | 1500 | - 8 | 90 |
| | 1700 | 4 | 52 |
| | 1800 | 7 | 53 |
| | 1900 | 7 | 59 |
| | 2000 | 7 | 61 |
| | 2100 | 13 | 69 |

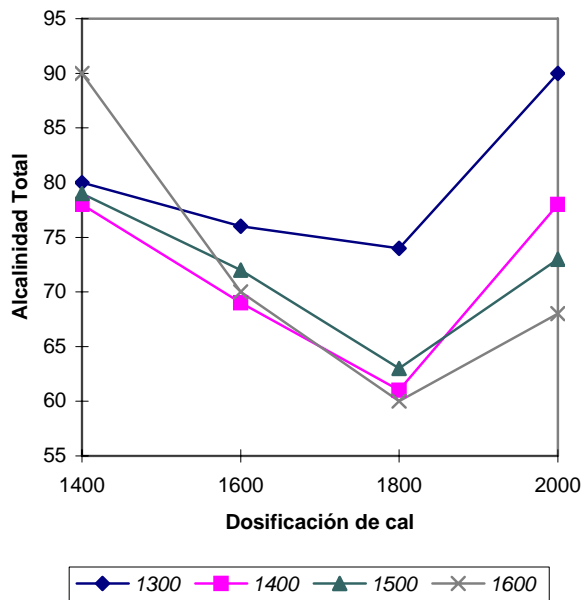
Tabla E.2

| DATOS CON SULFATO DE ALUMINIO | | | |
|-------------------------------|------|---------|----|
| TANQUE 10 000 GPH | | | |
| DOSIFICACIONES | | | |
| Sulfato de Aluminio | Cal | 2 P - M | M |
| 1300 | 1400 | 22 | 80 |
| | 1600 | 10 | 76 |
| | 1800 | 21 | 74 |
| | 2000 | 36 | 90 |
| 1400 | 1400 | 18 | 78 |
| | 1600 | 0 | 69 |
| | 1800 | 8 | 61 |
| | 2000 | 14 | 78 |
| 1500 | 1400 | -6 | 79 |
| | 1600 | -2 | 72 |
| | 1800 | 10 | 63 |
| | 2000 | 16 | 73 |
| 1600 | 1400 | -16 | 90 |
| | 1600 | -6 | 70 |
| | 1800 | 2 | 60 |
| | 2000 | 10 | 68 |

Sulfato Ferroso



Sulfato de Aluminio



APENDICE G

Manual de operación reactores

Este manual muestra una lista de los métodos de análisis del agua y las acciones correctivas, así como las especificaciones para que el reactor trabaje adecuadamente. Lista que se ha hecho de una forma simple y sencilla con el fin de que el operario posea en sus manos una guía de trabajo que facilitará en sobre manera su labor, y el propietario podrá tener a manos las condiciones a las cuales el reactor diseñado trabaja óptimamente.

SECCION/REFERENCIAS

FLOCULACION

A.1

Principio y aplicación

Controlar el nivel de sedimentación de muestras tomadas de los grifos de prueba, del fondo, zona de reacción y agua clara.

Equipo

- 3 probetas graduadas de 100ml con tapa esmerilada
- 1 cronómetro

Método

- Abrir los grifos de prueba y dejar correr agua durante 1 minuto, para eliminar los flóculos de los tubos de muestreo
- Recoger 100ml en la probeta directamente de la canilla
- Dejar en reposo 5 minutos
- Observar lo ml de flóculos sedimentados
- Expresar los resultados como % de flóculos en cada uno de los tres puntos probados:
 - Fondo
 - Zona de reacción
 - Agua clara

OBSERVACIONES

- Usar la probeta solamente para este test
- En caso de tornarse opaca, limpiar con solución de ácido clorhídrico

CONTROL DE DOSIFICADORES**A.2**Principio y Aplicación

Controlar el flujo de químicos para obtener un equilibrio en el tratamiento de agua.

Equipo

- 1 Probeta (1,000ml) para cada reactor
- 1 Crónometro

Método

- Medir la cantidad de (ml) de solución de cal, cloro o coagulante que se recoge en 1 min.
- Anotar valor en hoja de control

DETERMINACION DE IONES HIDROXIDO (METODO TITRIMETRICO) A.3Principio y Aplicación

El objetivo es verificar la correcta adición de cal en el reactor, para eliminar todos los carbonatos.

Reactivos

- Solución de ácido sulfúrico 0.02N
- Solución de tiosulfato de sodio 0.1N
- Solución indicadora de fenolftaleína
- Solución indicadora de anaranjado de metilo o verde de bromocresol

Materiales

- 1 Bureta automática de 10 a 25 ml
- 1 Pipeta volumétrica de 100ml
- 2 Pipetas graduadas de 1ml o un cuenta gotas
- 2 Erlenmeyer de 250 ml
- 1 Agitador magnético
- 1 Pipeteador automático

A. Alcalinidad (P)

- Transferir con pipeta, exactamente 100 ml de agua a analizar hacia un frasco de Erlenmeyer
- Adherir 2 gotas de tiosulfato de sodio y 2 de fenolftaleína, si no cambia a color rosado pasar a la sección B.
- Si está coloreada, comenzar a titular colocando el nivel de ácido sulfúrico en cero dentro de la bureta. Titulat hasta el cambio de color y anotar esta lectura (P1)

B. Alcalinidad Total (M)

- Agregar 3 gotas de naranja de metilo a la misma muestra del paso A. En este punto la solución se tornará color celeste
- Continuar titulando sin retornar la bureta a la marca de cero (H_2SO_4 1/50 N)
- Para la titulación cuando cambie permanentemente a color amarillo claro
- Anotar esta lectura (M1)

$$P = 10 * P1 \quad M = 10 * M1$$

$$2P - M = (2 * P) - M$$

COLORO LIBRE RESIDUAL

A.4

Principio y Aplicación

Determinar la concentración de "Cloro libre Residual".

1. Salida Reactor (Agua Suavidad)
2. Zona Reacción (Reactor)

Cuando el agua se ha tratado con hipoclorito para ayudar a la coagulación y para la prevención del crecimiento de bacterias en los filtros, tanques y equipo, es necesario regular la dosificación determinando el cloro residual.

Cuando el agua no está coloreada puede aplicarse una prueba sencilla de color.

Equipo

- 1 Cromador de Hellinge N°605 o similar
- 1 Disco colorimétrico Hellinge N° 331D o similar
- 2 cubetas Hellinge de 10 ml N° 600TB o similar
- 1 Erlenmeyer de 250 ml
- 1 Gotero
- Solución indicadora de ortotolidina

Método

1. Abrir el grifo de prueba y dejar correr agua durante 2 minutos
2. Recoger agua con el Erlenmeyer, lavando previamente 3 veces el mismo, con agua a analizar
3. Llenar 2 cubetas 10 ml con la muestra
4. Agregar 10 gotas de ortotolidina en una de las cubetas y mezclar bien
5. Colocar la cubeta con el indicador en la zona de comparación y la otra, en la zona de blanco

Nota: En caso de estar fría el agua esperar tiempo suficiente para que desarrolle su color

RECARGA DE SOLUCIONES QUIMICAS

(Cal, Cloruro de Calcio, Hipoclorito de Calcio, Sulfato Ferroso o de Aluminio)

Principio y Aplicación

El objetivo es mantener cargados los tanques de solución para evitar un desequilibrio en el sistema de tratamiento. Además se busca una concentración constante de la solución.

Equipo

- Químicos que se utilizan en el tratamiento de agua
- Regla graduada en pulgadas, una para cada tanque en el caso de tener distintos diámetros
- Balanza de precisión (+/- 0.1 lb)
- Cubeta para disolver los químicos
- Tablas pulgadas vrs lbs. de producto químico

Método

- Medir la altura en el tanque faltante solución. Colocando la regla al nivel del líquido y registrando la lectura al borde del tanque
- Referirse a tablas pulgadas vrs. Lbs. de producto químico
- Pesar la cantidad indicada, verterla en tanque, llenar de agua y disolver

Reactivos

- Solución de EDTA 0.01 M (1 ml = 1 mg CaCO₃)
- Indicador de dureza (Negro de Ericormo)
- Solución Buffer pH 10.0

Equipo

- 1 bureta automática de 10 a 25 ml
- 1 Erlenmeyer
- 1 Agitador magnético
- 1 Pipeta volumétrica de 100ml
- 1 Pipeta volumétrica de 2 ml
- 1 Espátula

Método

1. Abrir la canilla de prueba y dejar correr el agua durante 1 a 2 minutos
2. Tomar la muestra de agua con el Erlenmeyer, lavando previamente tres veces el mismo, con agua a analizar
3. Pipetear 100 ml de muestra y pasar a un Erlenmeyer seco
4. Agregar 2 ml de solución buffer y una pizca de indicador (0.02g).La solución tomará color violeta
5. Titular con la solución de EDTA hasta la aparición de un color azul limpio.
Los ml de EDTA gastados X 10 X F corresponden a la dureza expresada como ppm de carbonato de calcio. (H)

Determinación de alcalinidad (M)

Referirse a Sección A.3

ESPECIFICACIONES

LODOS

E. 1

- Fondos $80\% < X < 90\%$
- Zona de reacción $10\% < X < 20\%$
- Clara 0%

DOSIFICACIONES

E. 2

- Coagulantes (Sulfato Ferroso)
- Cal
- Cloruro de Calcio
- Cloro

CAUDAL DE OPERACION

E. 3

Este caudal puede variarse y trabajar con menos en el caso de que la demanda del agua descienda con el objetivo de que la operación sea mas regular (para asegurar un buen trabajo del reactor). El caudal también se puede aumentar un poco, ya que se pueden bajar ciertos tiempos de residencia; esto claro bajará la eficiencia de la reacción. La modificación del flujo recomendado variará las especificaciones arriba mencionadas.

La dosificación no se recomienda bajarla a menos de los 5,000GPH, en esta situación es mejor sacar de servicio un reactor y el otro no.

DUREZA

E. 4

La dureza no deberá ser mayor de las 100 ppm que es el estándar guatemalteco para el agua potable y debe ser lo menor posible.

ACCION CORRECTIVA

AGUA FUERA DE NORMAS

C.0

En el caso en que el agua clara saliendo del reactor está fuera de normas, el proceso a seguir es:

- Abrir válvulas de drenaje agua clara y botar agua hasta llevarla a sus especificaciones
- Proseguir con la siguiente acción correctiva que se menciona.

FLOCULACION

C.1

| | | <u>Acción</u> |
|--------|------|---|
| Fondos | >90% | Drenar lodos por 20 segundos de la zona lodos |
| Fondos | <80% | Nada |

| | | |
|------------------|------|---|
| Zona de Reacción | >15% | Drenar lodos por 10 segundos de la zona de reacción |
| Zona de Reacción | <10% | Nada |
| Agua Clara | >0% | Chequear fondos de nuevo; si fondos están bien, consultar con jefe superior |
| Agua Clara | 0% | Bien |

REACTOR / LISTA DE CHEQUEO

1. Repetir la prueba con una muestra fresca
2. Chequear nivel de productos químicos en todos los tanques de solución
3. Chequear operación de todas las bombas dosificadoras
4. Chequear caudales de dosificación de todos los productos químicos
5. Chequear nivel de lodos del tanque reactor
6. Chequear agitación de tanques de solución
7. Chequear concentración de productos químicos en tanques de solución
8. Chequear flujo de agua cruda al reactor
9. Chequear válvulas de todo el sistema
10. Chequear propiedades propiedades agua cruda

CLORO

C. 3

A. Reactor (Clara y Reacción)

Lado Superior

Revisar lista de chequeo

o Inferior

para el reactor

CAUDAL DE OPERACION

C. 5

Si está distinto a especificaciones.

1. Revisar medidor de caudal
2. Revisar bomba y tubería
3. Modificar dosificaciones de acuerdo a nuevo caudal
4. Si esta muy alta, parar; si es ta muy bajo parar

CLORURO DE CALCIO

C. 6

Si el análisis indica fuera de normas; $H > 100$ y $H < M$ Incrementar dosificación
de cloruro de calcio $H > M$ Disminuir la dosificación
de cloruro de calcio