

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**Operación y control de las variables críticas del sistema de tratamiento de
aguas de proceso en una fábrica de jugos**

Práctica dirigida de graduación sometida a la consideración de la Escuela de
Ingeniería Química como requisito final para optar al grado de Licenciatura en
Ingeniería Química

Juan Carlos Trejos Quesada

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San Pedro, Junio 2014


**Operación y control de las variables críticas del sistema de tratamiento de aguas de
proceso en una fábrica de jugos**

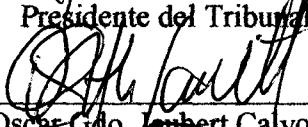
Práctica dirigida de graduación presentada a la Escuela de Ingeniería Química de la
Universidad de Costa Rica, como requisito final para optar al grado de Licenciatura en
Ingeniería Química

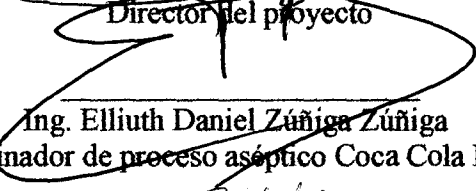
Sustentante:

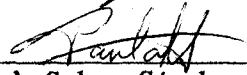
Juan Carlos Trejos Quesada

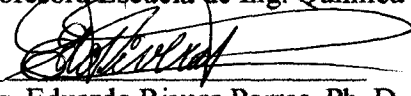
Aprobado por:


Ing. Esteban Richmond Salazar
Presidente del Tribunal


Ing. Oscar Gdo. Lambert Calvo, M.Sc.
Director del proyecto


Ing. Elliuth Daniel Zúñiga Zúñiga
Coordinador de proceso aséptico Coca Cola Femsa


Ing. Paula Solano Sánchez, M.Sc.
Profesora Escuela de Ing. Química


Ing. Eduardo Rivera Porras, Ph. D.
Profesor Escuela de Ing. Química

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

San Pedro, Junio 2014

*A mi madre, por haberme dado su amor y apoyo incondicional durante toda su vida.
Sin ella nada de esto hubiera sido posible.
A mi esposa, a mi hermano y a mi tía Norma por brindarme todo su apoyo, su paciencia
y su ayuda en los momentos más críticos...
Gracias infinitas a todos.*

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO 1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS	4
1.1 DESINFECCIÓN CON CLORO	4
1.2 FILTRACIÓN CON CARBÓN ACTIVADO	9
1.3 FILTRACIÓN EN MEDIO GRANULAR	16
1.4 DESINFECCIÓN CON RAYOS ULTRAVIOLETA	22
1.4.1 DIMERIZACIÓN DNA	22
1.4.2 MECANISMOS DE REPARACIÓN	23
1.4.3 LA CINÉTICA DE INACTIVACIÓN Y EL CONCEPTO DE DOSIS UV	24
1.4.4 TASAS DE INACTIVACIÓN	27
1.5 COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN	31
1.5.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO	32
1.5.2 MECANISMOS DE FUNCIONAMIENTO	33
1.5.3 COAGULANTES	33
1.5.4 DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE	34
1.5.5 FLOCULACIÓN	36
1.5.6 FACTORES QUE AFECTAN LA FLOCULACIÓN	39
CAPÍTULO 2 PARÁMETROS DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	42
2.1 TURBIDEZ	42
2.2 SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	43
2.3 ALCALINIDAD	45
2.4 PH	45
2.5 DUREZA	47

2.5.1 FUNDAMENTO CIENTÍFICO DE LA MEDICIÓN DE DUREZA	48
2.6 CONCENTRACIÓN DE CLORO LIBRE Y CLORO TOTAL	49
2.6.1 CONCEPTOS Y DEFINICIONES	49
2.6.2 ¿PORQUÉ HACEMOS DETERMINACIONES DE CLORO LIBRE O RESIDUAL EN EL AGUA POTABLE?	51
2.6.3 ¿RESULTA ÚTIL DETERMINAR LA DEMANDA DE CLORO DEL AGUA ?	52
2.7 CONCENTRACIÓN DE CLORUROS	53
CAPÍTULO 3 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DEL CASO EN ESTUDIO	55
CAPÍTULO 4 INSTRUCTIVO PARA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PROCESO	58
4.1 PROPÓSITO	58
4.2 ALCANCE	58
4.3 DOCUMENTOS RELACIONADOS	60
4.4 DEFINICIONES	60
4.5 RESPONSABILIDADES	62
4.5.1 RESPONSABILIDADES DEL COORDINADOR DE ENVASADO ASÉPTICO	62
4.5.2 RESPONSABILIDADES DEL OPERADOR ESPECIALIZADO	62
4.5.3 RESPONSABILIDADES DEL AUDITOR DE CALIDAD	62
4.6 MATERIALES	63
4.7 EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	64
4.7.1 COMPONENTES PRINCIPALES	64
4.8 DESCRIPCIÓN DEL USO DEL AGUA EN LA PLANTA	70
4.8.1 APLICACIONES DEL AGUA	70
4.8.2 DESCRIPCIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA	71
4.8.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TRATAMIENTO	72
4.8.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE VERIFICACIÓN	117

CAPÍTULO 5 INSTRUCTIVO PARA REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE ANÁLISIS DE AGUAS EN EL LABORATORIO	118
5.1 ALCALINIDAD	118
5.2 TURBIDEZ	120
5.3 DUREZA	122
5.4 CLORO LIBRE Y TOTAL	124
5.5 CLORUROS	131
5.6 MEDICIÓN DE pH.....	132
5.7 MEDICIÓN DE ALUMINIO.....	133
CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DEL PROCESO Y PROPUESTAS DE MEJORA.....	138
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	142
BIBLIOGRAFÍA	144

RESUMEN

El objetivo principal de esta práctica de graduación es el de aprender a operar y controlar las variables críticas del sistema de tratamiento de aguas de proceso en una fábrica de jugos. Estas variables son: turbidez, pH, dureza, alcalinidad, sólidos totales disueltos, concentración de cloro libre y concentración de cloro total. También se pretende obtener un aprendizaje. Primero en el manejo de equipos frecuentemente encontrados en la industria; como bombas, bombas dosificadoras controladas por variadores de frecuencia, mezcladores estáticos, filtros multimedia, filtros de carbón, tanques de almacenamiento, electroválvulas, medidores de flujo, medidores de presión y equipo de radiación ultravioleta para desinfección. Segundo en la operación de todo este equipo para mantener las variables críticas del proceso de tratamiento dentro de un rango de especificación estricto previamente establecido por la compañía. De tal manera que si en algún momento se encuentra algún parámetro fuera de especificación o cerca de estarlo se puedan tomar las acciones correctivas inmediatas adecuadas para volver a obtener un valor del parámetro dentro de norma y poder así continuar con el proceso productivo sin ninguna afectación a la calidad del producto final.

Para esto se requiere una comprensión integral del proceso de producción y de cada proceso unitario por separado, del parámetro que se modifica en ellos y de cómo una variación en su funcionamiento afecta cada una de las variables de interés.

Es importante para el profesional en Ingeniería Química tener conocimientos no solo generales de las operaciones unitarias normalmente utilizadas en la industria sino también conocimientos específicos y *expertise* en áreas clave de los procesos productivos, como lo es en este caso el tratamiento de aguas para proceso en la industria alimentaria.

Al finalizar la práctica se obtuvo experiencia en el manejo de equipo utilizado para tratamiento de agua, y se logró una comprensión integral del sistema de tratamiento de aguas de proceso de la fábrica y de dicho proceso en general. Se hizo una verificación de la

capacidad integral de los equipos y se hicieron recomendaciones para optimizar el sistema, tanto operativa como económicamente. Se realizó un manual de operación del sistema de tratamiento de aguas y un manual de análisis de aguas en el laboratorio.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería química trata de procesos industriales en los que las materias primas se transforman o separan en productos útiles. El ingeniero químico tiene que desarrollar, diseñar y llevar a cabo el proceso, así como el equipo utilizado en el mismo. Tiene que elegir las materias primas adecuadas y hacer operar las plantas con eficacia, seguridad y economía, teniendo en cuenta que sus productos han de cumplir las condiciones exigidas por los consumidores. Lo mismo que la ingeniería en general, la ingeniería química es también un arte y una ciencia. El ingeniero químico utiliza la ciencia siempre que esta le ayude a resolver sus problemas. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, la ciencia no es capaz de proporcionarle una solución completa, y entonces tendrá que recurrir a la experiencia y a su buen criterio. La capacidad profesional de un ingeniero depende de esta habilidad para combinar todas las fuentes de información con el fin de obtener soluciones prácticas a los problemas que se le presenten. (McCabe, Smith, & Harriot, 1991)

La realización de esta práctica tiene como fin principal aprender a operar y controlar las variables críticas del sistema de tratamiento de aguas de proceso en una fábrica de jugos.

Este trabajo se justifica tomando en cuenta que existen instructivos para el manejo del equipo y del sistema que necesitan ser actualizados, comprobados en el campo y redactados de manera sencilla para que cualquier operario del área pueda aprender a manipular el equipo con su lectura. Se necesita además tener una referencia revisada que sirva de guía en caso de duda sobre trabajos ordinarios como la operación diaria, o extraordinarios como trabajos de mantenimiento que se realizan cada cinco años.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS

Las operaciones llevadas a cabo en el tratamiento de aguas, en las que los cambios en las características y propiedades del agua se realizan mediante la aplicación de las fuerzas físicas, se conocen como operaciones físicas unitarias. Dado que el origen de estas operaciones se halla en la observación directa de los fenómenos que se daban en la naturaleza, constituyen los primeros métodos de tratamiento empleados por el hombre. Hoy en día las operaciones físicas unitarias constituyen la base de la mayoría de diagramas de flujo de procesos. El tratamiento de aguas para proceso conlleva una serie de operaciones físicas unitarias que en su conjunto deben entregar al final del recorrido un producto con las características deseadas

1.1 DESINFECCIÓN CON CLORO

La cloración de los abastecimientos públicos de agua representa el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitaria adecuada. Por los motivos señalados más adelante, el proceso será tan efectivo como lo sea el control que se ejerza para asegurarse de que todo el abastecimiento recibe cloro continuamente y en una cantidad proporcional al gasto, para que se produzca una desinfección eficaz. La desinfección significa una disminución de la población de bacterias hasta una concentración inocua, en contraste con la esterilización en la cual se efectúa una destrucción total de la población bacteriana. Por lo tanto debe prestarse especial atención a la cuidadosa selección y operación del equipo clorador, el cual debe satisfacer necesidades particulares del abastecimiento de agua, basándose en un conocimiento de las condiciones prevalecientes.

Aunque en el pasado se han ensayado otros desinfectantes, que en muy pocas ocasiones se usan hoy día, se han obtenido los mejores resultados con el uso del cloro, ya sea en forma de gas o de alguno de los diversos compuestos que lo contienen, como el cloruro de cal, el hipoclorito de sodio, de calcio etc. En todos los casos el cloro es el

desinfectante activo. Debido a su costo, confiabilidad, eficiencia y facilidad de manejo, el cloro es el que prácticamente se usa siempre. Debe mencionarse que el término “cloración” se usa generalmente como sinónimo de desinfección, en la práctica de trabajos de abastecimiento de agua.

Haciendo historia, en los EE.UU. se hizo el primer intento de desinfectar un abastecimiento público de agua el año de 1908. En ese año se instaló un equipo para aplicar una solución de hipoclorito al agua de abastecimiento de Jersey City. En las ciudades de Elmira, Pough-Keepsie y Albany, todos dentro del estado de Nueva York (EE.UU.), se hicieron instalaciones semejantes, así como en algunas municipalidades a través de todo el país. En 1912 se fabricó equipo comercial para la aplicación del cloro gaseoso a los abastecimientos de agua. Desde entonces se han ido diseñando equipos para los diferentes y numerosos usos que requieren actualmente los trabajos de abastecimiento de agua.

El cloro puede aplicarse como gas o como solución, ya sea solo o junto con otras sustancias químicas. Independientemente de su forma de aplicación, la cantidad o dosificación se regula mediante aparatos especiales llamados cloradores, o en su caso hipercloradores. La selección del equipo depende, desde luego, de cada instalación en particular.

Para una operación adecuada, el equipo de cloración requiere cuidados y atención. Deben ponerse a disposición del operador del equipo las recomendaciones e instrucciones del fabricante, y éstas deben seguirse estrictamente. A su vez, es conveniente que el operador se familiarice completamente con el equipo, de manera que esté en aptitud de hacer los ajustes necesarios y las reparaciones menores.

Pueden localizarse las fugas de cloro manteniendo abierto un frasco de amoníaco cerca de posibles fugas. Si el cloro se está escapando, se formarían humos blancos de cloruro de amonio perfectamente visibles. Como el cloro gaseoso es irritante, debe tenerse

cuidado de no inhalar nada del gas. Deben guardarse las máscaras de gas en un lugar fácilmente accesible, apartadas del clorador o de la caseta de cloración, de manera que puedan estar disponibles para ser usadas inmediatamente cuando se necesite. No es necesario recalcar que todas las fugas de cloro deben repararse lo más pronto posible, si no se quiere que haya daños personales ni daños a equipo valioso.

Es de primordial importancia el que se tomen precauciones para asegurar la aplicación continua del cloro al agua que se va a tratar. Debe tenerse especial cuidado para prevenir cualquier ruptura en el equipo. Por este motivo es recomendable tener cloradores duplicados para que el equipo de reserva pueda ponerse en servicio inmediatamente que se necesite. Deben tenerse a mano también piezas de repuesto, como tubos medidores, válvulas reguladoras, juntas y empaques, etc., para que las reparaciones puedan hacerse fácilmente. También debe tenerse disponible para uso inmediato equipo auxiliar de repuesto, como bombas.

Como es tan grande el número y tipo de cloradores, no es posible presentar aquí una descripción más detallada. Es más bien el operador quien debe documentarse en tantas publicaciones excelentes de los diversos fabricantes de este equipo, para obtener descripciones más detalladas de cualquier clorador particular que le interese.

Otros compuestos de cloro, como el hipoclorito de sodio o de calcio, tienen también propiedades desinfectantes. Estos hipocloritos se agregan usualmente en forma de solución al agua que se va a tratar, aunque se han desinfectado pozos, tanques, cisternas, líneas de tubería, etc., agregando directamente al agua la cantidad de polvo deseada.

La solución de hipoclorito de sodio se vende bajo diversos nombres comerciales y sus concentraciones varían desde el 3 al 15% de cloro disponible, en peso, y son razonablemente estables cuando se guardan en lugares frescos y oscuros.

El hipoclorito de calcio, conocido también como cloruro de cal, también es usado. Como este compuesto es relativamente inestable debe adquirirse en cortas cantidades conforme se vaya necesitando. Por lo general el producto químico disponible en el mercado contiene de 25 a 37% de cloro disponible en peso, consistiendo el resto en material inerte. Existen algunos productos disponibles en el comercio de hipoclorito de calcio que contienen de 65 a 80% de cloro, en peso. Estos productos son más estables que el cloruro de cal y se deterioran menos rápidamente durante el almacenamiento. Sin embargo su costo es comparativamente mayor.

La práctica de la cloración: las aguas naturales están formadas de soluciones complejas de muchas sustancias, la mayoría de las cuales pueden ignorarse, pero algunas de ellas influyen sobre la cloración en forma decisiva. Tales sustancias son:

1. Los sólidos suspendidos, los cuales pueden poner una barrera a las bacterias protegiéndolas de la acción destructora del cloro.
2. La materia orgánica, la cual reacciona con el cloro de tal modo que le quita sus propiedades desinfectantes.
3. El amoníaco, que reacciona con el cloro libre para formar un compuesto del cloro y que tiene cualidades desinfectantes menos eficaces que las del cloro libre mismo.
4. La reacción del agua, indicada por el valor de su pH. Las aguas de baja alcalinidad y pH son más fácilmente desinfectadas; por ejemplo, aguas con un pH menor a 7.2, en comparación con las que tienen un pH mayor a 7.6 tal como sucede en los Grandes Lagos (EE.UU.).

La rapidez de la desinfección con el cloro es proporcional a la temperatura del agua, de manera que, suponiendo los otros factores iguales, la cloración es más eficaz a altas temperaturas del agua. Por otro lado, el cloro es más estable en agua fría y permanecerá mayor tiempo en ella. Hasta cierto grado, esto compensa la menor velocidad de desinfección en agua fría.

El tiempo del que se pueda disponer para que el cloro actúe sobre los constituyentes del agua es uno de los aspectos más importantes en la práctica de la cloración. El tiempo mínimo de reacción debe ser de 10 a 15 minutos, pero sería preferible que se dejaran de transcurrir varias horas para que se pudiese garantizar una desinfección efectiva sin que el agua llegase al consumidor con una concentración indeseable de cloro residual que podría ser inconveniente debido a la presencia de sabores y olores.

Si se quiere llevar a cabo con éxito una cloración, el cloro debe agregarse de manera que:

1. Se mezcle por igual y completamente con todas las porciones del agua a tratar.
2. Sea continua.
3. Se aplique en cantidad suficiente para la clase de que se esté tratando según las condiciones prevalecientes y para que se llegue a verificar el grado de tratamiento que se desee.

En el diseño de los sistemas de cloración se prevé el mezclado adecuado y la continuidad de la aplicación. La cantidad de cloro necesaria varía en los diferentes abastecimientos de agua y conocerla es una de las obligaciones primordiales del operador.

El cloro en el agua es un agente químico muy activo. Si una pequeña cantidad se agrega al agua, reaccionará con la gran cantidad de sustancias disueltas o suspendidas en ella, y entonces su poder como agente desinfectante quedará destruido. Por ejemplo, el cloro reacciona rápidamente con el ácido sulfhídrico, lo cual da como resultado que no habrá desinfección; el manganeso, el hierro y los nitritos reaccionan en forma similar con el cloro y por ello no se lleva a cabo ninguna desinfección. Si se agrega la cantidad suficiente de cloro para que reaccione con estos compuestos, llamados compuestos reductores, entonces, un poco más de cloro que se agregue reaccionará con cualquier materia orgánica presente, para producir compuestos orgánicos de cloro, los cuales tienen poca o ninguna acción desinfectante y pueden causar sabores y olores. Si se agrega cloro en cantidad suficiente para que reaccione con todas las sustancias reductoras, la materia orgánica y el

amoníaco, un poco más de cloro que se agregue quedará como cloro residual libre disponible, el cual es un agente desinfectante muy activo.

La cantidad de sustancias reductoras, materia orgánica y amoníaco, varía para cada agua y varía también con el tiempo, en el mismo abastecimiento de agua. Consecuentemente, también varía la cantidad de cloro que tiene que agregarse a un abastecimiento de agua para su desinfección. La cantidad de cloro que consumen las sustancias reductoras y la materia orgánica se define como demanda de cloro. Cuantitativamente se define la demanda de cloro como la cantidad que se agrega, menos la cantidad que hay después del período de reacción seleccionado, generalmente de 10 minutos, según se mida por colorimetría. La cantidad de cloro que permanece después del período de reacción, se define como cloro residual y se expresa en miligramos por litro o partes por millón (ppm). El cloro residual puede existir como compuestos clorados de materia orgánica y amoníaco, en cuyo caso se conoce como “cloro residual combinado”; puede estar presente como cloro libre y en este caso se conoce como “cloro residual libre”; o puede estar al mismo tiempo como “combinado” y como “cloro residual libre” y en este caso se conoce como “cloro residual total”. En consecuencia, “cloro suficiente” es la cantidad requerida para producir un residual deseado, ya sea combinado, libre o total, después de un período de contacto definido.

1.2 FILTRACIÓN CON CARBÓN ACTIVADO

El proceso de adsorción consiste, en términos generales, en la captación de sustancias solubles presentes en la interface de una solución. Esta interface puede hallarse entre un líquido y un gas, un sólido, o entre dos líquidos diferentes. El proceso de adsorción no se ha empleado demasiado hasta el momento, pero la necesidad de una mayor calidad del efluente de los tratamientos de aguas residuales y de proceso ha conducido a un estudio más detallado del proceso de adsorción sobre carbón activado y de sus aplicaciones.

El tratamiento de aguas con carbón activado suele estar considerado como un proceso de refinado de aguas que ya han recibido un tratamiento biológico normal. En este caso, el carbón se emplea para eliminar parte de la materia orgánica disuelta. Asimismo, es posible eliminar parte de la materia particulada también presente, dependiendo de la forma en que entran en contacto el carbón y el agua.

Producción de carbón activado: el proceso de elaboración de carbón activado se basa en la de un carbón a partir de materiales tales como las cortezas de almendros, nogales o palmeras, u otras maderas, y carbón mineral. Este carbón se obtiene calentando el material de que se trate al rojo vivo para expulsar los hidrocarburos, pero sin aire suficiente para mantener la combustión. A continuación para activar el carbón, se expone la partícula a un gas oxidante a altas temperaturas. Este gas desarrolla una estructura porosa en el carbón natural favoreciendo la aparición de grandes superficies internas. Las propiedades superficiales que se obtienen como resultado dependen del material inicialmente empleado y del proceso exacto de elaboración, de modo que las variaciones posibles son muchas. El tipo de material base con el que se produce el carbón activado también puede afectar al tamaño de los poros y a las características de regeneración del carbón activado. Tras el proceso de activación, el carbón se puede separar o dividir en diferentes tamaños con diferentes capacidades de adsorción. Los dos tipos de clasificación son: carbón activado en polvo, con diámetro menor que el del tamiz 200, y granular, con diámetro superior a los 0.1mm.

Tratamiento con carbón activado granular (CAG): con frecuencia, se suele emplear una columna como medio de contacto del agua a tratar con el carbón activado granular. En una columna de carbón activado típica, el agua se introduce por la parte superior y se extrae por la parte inferior. El carbón está soportado por medio de un sistema de drenaje situado en la parte inferior. Normalmente es necesario disponer de un sistema para el lavado a contracorriente y para la limpieza de superficie, a fin de limitar las pérdidas de carga producidas por la retención de materia particulada en el interior de la columna de carbón.

Con el fin de resolver el problema de la obstrucción de la superficie del lecho de carbón, se han desarrollado sistemas de contacto de lecho expandido y de lecho móvil. En el sistema que emplea un lecho expandido, el agua entra por la parte inferior de la columna, permitiendo que se expanda el medio de manera idéntica a como ocurre con los lechos filtrantes durante la fase de lavado a contracorriente. En el sistema que se basa en columnas de lecho móvil, el carbón ya utilizado se va sustituyendo por carbón nuevo de forma continua. En esta clase de sistemas, la pérdida de carga no aumenta una vez alcanzado el punto de funcionamiento.

Tratamiento con carbón activado en polvo (CAP): un sistema de aplicación alternativo consiste en añadir carbón activado en polvo. Se puede añadir al efluente de procesos de tratamiento biológicos, directamente en las unidades de tratamiento, o formando parte de los diagramas de flujo de los procesos fisicoquímicos. En el caso de la adición al efluente, el carbón activado en polvo se añade en un tanque de contacto. Una vez transcurrido el tiempo de contacto deseado, se deja que el carbón sedimente en el fondo del tanque y seguidamente se extrae del mismo el agua tratada. Puesto que el carbón es muy fino, para favorecer y facilitar la eliminación de las partículas de carbón, puede ser necesario emplear un coagulante (como un polielectrolito) o llevar a cabo proceso de filtración en un filtro rápido de arena. La adición de carbón activo en polvo directamente al tanque de aireación ha demostrado ser una práctica efectiva en la eliminación de algunos materiales orgánicos refractarios solubles.

Regeneración del carbón: La viabilidad económica de la aplicación del carbón activado depende de la existencia de un medio eficaz para su regeneración y recuperación, una vez agotada su capacidad de adsorción. El carbón activado granular se regenera fácilmente por oxidación de la materia orgánica y su posterior eliminación de la superficie del carbón en un horno. En este proceso se destruye parte del carbón, entre un 5 y un 10%, y es necesario reemplazarlo por carbón nuevo o virgen. Es conveniente aclarar que la capacidad de adsorción del carbón regenerado es ligeramente inferior a la del carbón virgen. Un problema importante en el uso de carbón activado en polvo reside en que el

mecanismo de regeneración del mismo no está bien definido. Sin embargo, en cuanto este problema esté resuelto, es previsible que su aplicación aumente de forma considerable. La producción de carbón activado en polvo a partir de residuos sólidos reciclados puede obviar la necesidad de regenerar el carbón consumido. (Metcalf y Eddy, Inc., 1996)

Análisis del proceso de adsorción: el proceso de adsorción tiene lugar en tres etapas: macrotransporte, microtransporte y sorción. El macrotransporte engloba el movimiento por advección y difusión de la materia orgánica a través del líquido hasta alcanzar la interfase líquido-sólido. Por su parte, el microtransporte hace referencia a la difusión del material orgánico a través del sistema de macroporos del carbón activado granular hasta alcanzar las zonas de adsorción que se hallan en los microporos y submicroporos de los gránulos de carbón activado. La adsorción se produce en la superficie del gránulo y en sus macroporos y mesoporos, pero el área superficial de estas zonas del CAG es tan pequeña comparada con el área de los micro y submicroporos, que la cantidad de material adsorbido en ellos se considera despreciable. El uso del término sorción se debe a la dificultad de diferenciar la adsorción física de la adsorción química, y se emplea para describir el mecanismo por el cual la materia orgánica se adhiere al CAG. El equilibrio se alcanza cuando se igualan las tasas de sorción y desorción, momento en el que se agota la capacidad de adsorción del carbón. La capacidad teórica de adsorción de un determinado contaminante por medio del carbón activado se puede determinar calculando su isoterma de adsorción.

La cantidad de adsorbato que puede retener un adsorbente es función de las características y de la concentración del adsorbato y de la temperatura. En general, la cantidad de materia adsorbida se determina como función de la concentración a temperatura constante, y la función resultante se conoce con el nombre de isoterma de adsorción. Las fórmulas más frecuentemente empleadas para el tratamiento de los datos experimentales de la isoterma fueron desarrolladas por Freundlich, por Langmuir, y por Brunauer, Emmet y Teller (Isoterma BET). De las tres formulaciones, la más empleada para describir las características de adsorción del carbón activado empleado en el tratamiento de aguas es la Isoterma de Freundlich.

Isoterma de Freundlich: derivada a partir de consideraciones empíricas, la isoterma de Freundlich es la siguiente:

$$\frac{x}{m} = K_f C_e^{1/n} \quad (1.1)$$

Donde: x/m = cantidad adsorbida por peso unitario de adsorbente (carbón)
 C_e = concentración de equilibrio del adsorbato en solución después de la adsorción.
 K_f, n = constantes empíricas.

Las constantes de la isoterma de Freundlich se determinan representando gráficamente la relación entre (x/m) y C , empleando la ecuación (1.1) reescrita en la forma:

$$\log\left(\frac{x}{m}\right) = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (1.2)$$

La zona del CAG en la que se produce la sorción recibe el nombre de ZTM (figura 1.1). Una vez el agua contaminada haya circulado a través de una región del lecho de carbón cuya profundidad sea igual a la ZTM, la concentración del contaminante en el agua se habrá reducido a su valor mínimo. El proceso de adsorción no se continuará produciendo por debajo de ese nivel. Conforme se vayan saturando los estratos superiores de carbón granulado, la ZTM se irá desplazando hacia abajo hasta que se produzca el agotamiento. Para que la ZTM se desarrolle por completo dentro del lecho de CAG, es necesario que transcurra un cierto tiempo mínimo de contacto sin lecho. Si el tiempo de contacto de la columna sin lecho es demasiado corto (es decir, la carga hidráulica es demasiado elevada), la longitud de la ZTM será mayor que la profundidad del lecho de carbón activado, y no se conseguirá eliminar todo el contaminante adsorbible.

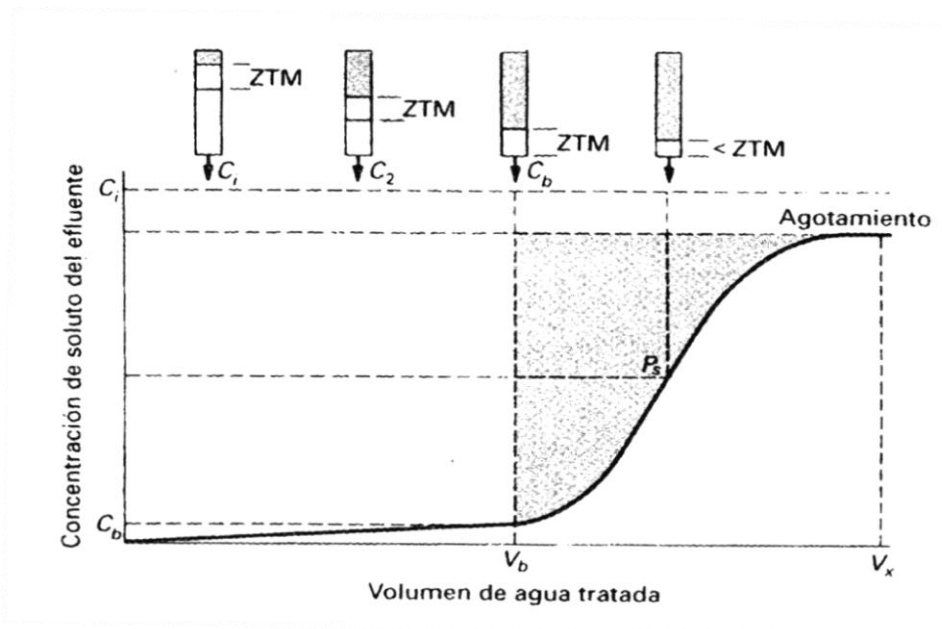


Figura 1.1 Curva típica de ruptura para el carbón activado, en la que se muestra la ZTM en relación con el volumen de agua tratada. (Metcalf y Eddy, Inc., 1996)

El grosor de la ZTM varía en función del caudal que circula por la columna debido a que los fenómenos de dispersión, difusión y formación de canales preferenciales en medio granular dependen directamente del caudal. El único procedimiento que permite aprovechar la capacidad de adsorción en la zona inferior de la columna consiste en la conexión en serie de dos columnas, habilitando la segunda al agotarse la capacidad adsorbente de la primera, o la conexión de múltiples columnas en paralelo. Para determinar las dimensiones y número de columnas necesarias para conseguir un tratamiento continuo es necesario conocer los valores óptimos de caudal y profundidad de la columna y la capacidad operativa del carbón activado. Debido a que estos parámetros solo se pueden establecer basándose en ensayos dinámicos en columnas experimentales, es recomendable realizar estudios en plantas piloto.

Capacidad de adsorción del carbón. La capacidad de adsorción de un determinado carbón se puede estimar a partir de los datos de la isoterma. Si se representan los datos de la isoterma, se obtiene una gráfica como la de la figura 1.2. A partir de esta figura, la capacidad de adsorción del carbón se puede determinar prolongando la isoterma hasta la intersección con una línea vertical trazada por el punto correspondiente a la concentración

inicial C_0 (x/m) representa la cantidad de materia adsorbida por unidad de peso de carbón activado una vez alcanzado el punto de equilibrio con la concentración inicial de constituyente. Esta condición se debe cumplir en la parte superior de un lecho de carbón correspondiente a un tratamiento en columna de contacto, por lo que representa la capacidad de adsorción última del carbón para un constituyente determinado.

Capacidad de adsorción de agotamiento. En las aplicaciones prácticas la capacidad de adsorción de agotamiento de una columna de contacto de CAG a escala real, $(x/m)_r$, es un porcentaje de la capacidad teórica de adsorción obtenida a partir de la isoterma. Se puede asumir como valor de la capacidad de adsorción de agotamiento un valor aproximado entre el 25 y el 50% de la capacidad de adsorción teórica $(x/m)_0$.

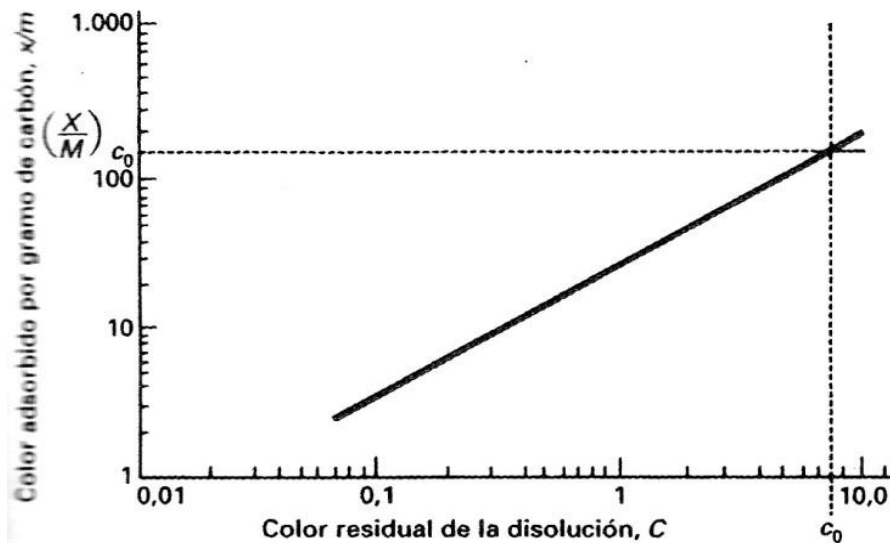


Figura 1.2 Isoterma típica de decoloración. (Metcalf y Eddy, Inc., 1996)

Una vez determinado el valor de $(x/m)_r$, el tiempo hasta el agotamiento se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$(x/m)_r = \frac{X_r}{M_c} = Q \left(C_i - \frac{C_r}{2} \right) \frac{t_r}{M_c} \quad (1.3)$$

Donde: $(x/m)_r$ = capacidad de adsorción real, g/g.

X_r = masa de material orgánico adsorbido en la columna de CAG al producirse el fenómeno de agotamiento, g.

M_c = masa de carbón contenido en la columna, g.

Q = caudal, $m^3/\text{día}$.

C_i = concentración de materia orgánica a la entrada de la columna, mg/l.

C_r = concentración de materia orgánica al producirse el agotamiento, mg/l.

t_r = tiempo hasta el agotamiento, días.

La ecuación (1.3) se basa en la consideración de que C_i se mantiene constante, y en que la concentración del efluente varía linealmente entre 0 y C_r . Despejando de la ecuación 1.3, el tiempo hasta el agotamiento se puede expresar como:

$$t_r = \frac{(x/m)_r M_c}{Q[C_i - (C_r/2)]} \quad (1.4)$$

Carbón activado en polvo. Para calcular la cantidad de carbón a añadir en la aplicación de carbón activado en polvo, los datos de isoterma de adsorción se pueden emplear en combinación con un análisis de balance de masas. Para obtener los parámetros óptimos de diseño necesarios, una vez más, es recomendable realizar estudios en planta piloto, debido a la cantidad de factores que afectan al proceso de adsorción. (Metcalf y Eddy, Inc., 1996)

1.3 FILTRACIÓN EN MEDIO GRANULAR

A pesar de que la filtración es una de las principales operaciones unitarias empleadas en el tratamiento del agua potable, la filtración de efluentes procedentes de procesos de tratamiento de aguas residuales es una práctica relativamente reciente. Hoy en día, la filtración se emplea, de modo generalizado, para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión (incluida la DBO particulada) de los efluentes de los procesos de tratamiento biológicos y químicos, y también se emplea para la eliminación del fósforo precipitado por vía química.

El diseño de los filtros y la valoración de su eficacia debe basarse en:

- (1) la comprensión de las variables que controlan el proceso
- (2) el conocimiento del mecanismo, o mecanismos, responsables de la eliminación de materia particulada del agua residual.

Descripción de la operación de filtración:

La operación completa de filtración consta de dos fases: filtración y lavado o regeneración (comúnmente llamada lavado a contracorriente). Mientras la descripción de los fenómenos que se producen durante la fase de filtración es, prácticamente, idéntica para todos los sistemas de filtración que se emplean para las aguas residuales, la fase de lavado es bastante diferente en función de si el filtro es de funcionamiento continuo o semicontinuo. Tal como expresan sus nombres, en los filtros de funcionamiento semicontinuo la filtración y el lavado son fases que se dan una a continuación de la otra, mientras que en los filtros de funcionamiento continuo ambas fases se producen de forma simultánea.

Operaciones de filtración semicontinuas:

Se identifican tanto la fase de filtración como de lavado de un filtro convencional de funcionamiento semicontinuo. La fase de filtración en la que se elimina la materia particulada, se lleva a cabo haciendo circular el agua través de un lecho granular, con o sin la adición de reactivos químicos. Dentro del estrato granular, la eliminación de los sólidos en suspensión contenidos en el agua residual se realiza mediante un complejo proceso en el que intervienen uno o más mecanismos de separación como el tamizado, interceptación, impacto, sedimentación y adsorción.

El final del ciclo de filtrado (fase de filtración), se alcanza cuando empieza a aumentar el contenido de sólidos en suspensión en el efluente hasta alcanzar un nivel máximo aceptable, o cuando se produce una pérdida de carga prefijada en la circulación a través del lecho filtrante. Idealmente, ambas circunstancias se producen simultáneamente.

Una vez se ha alcanzado cualquiera de estas condiciones, se termina la fase de filtración, y se debe lavar el filtro a contracorriente para eliminar la materia (sólidos en suspensión) que se ha acumulado en el seno del lecho granular filtrante. Para ello, se aplica un caudal de agua de lavado suficiente para fluidificar (expandir) el medio filtrante granular y arrastrar el material acumulado en el lecho. Para mejorar y favorecer la operación de lavado del filtro, suele emplearse una combinación de agua y aire. En la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales, el agua de lavado, que contiene los sólidos en suspensión que se eliminan en el proceso de filtración, se retorna a las instalaciones de sedimentación primaria o al proceso de tratamiento biológico.

Clasificación de los sistemas de filtración:

Se ha proyectado y construido diversos modelos y sistemas de funcionamiento de filtros. Los principales tipos de filtros de medio granular se clasifican atendiendo a:

- (1) tipo de funcionamiento;
- (2) tipo de medio filtrante empleado;
- (3) sentido de flujo durante la fase de filtración;
- (4) procedimiento de lavado a contracorriente
- (5) método de control del flujo.

Tipo de funcionamiento:

En relación con el tipo de funcionamiento, los filtros se pueden clasificar en continuos y semicontinuos. Los filtros semicontinuos se mantienen en funcionamiento hasta que se empieza a deteriorar la calidad del efluente o hasta que se produce una pérdida de carga excesiva en el filtro. Cuando se alcanza este punto, se detiene el filtro y se procede a su lavado para eliminar los sólidos acumulados. En los filtros continuos, los procesos de filtración y lavado se llevan a cabo de manera simultánea.

Sentido del flujo durante la filtración:

Los principales tipos de filtros empleados para la filtración de efluentes de aguas residuales

se pueden clasificar en filtros de flujo ascendente y filtros de flujo descendente. El más común es, con mucho, el filtro de flujo descendente.

Tipos de materiales filtrantes y configuración de los lechos filtrantes:

Los principales tipos de configuración de los lechos filtrantes empleados actualmente para la filtración de aguas residuales se pueden clasificar en función del número de capas de material filtrante, lo cual da lugar a los filtros de una única capa, los de doble capa y los filtros multicapa. En filtros de flujo descendente convencionales, los tamaños de los granos de cada capa se distribuyen, de menor a mayor, después del lavado a contracorriente. En los filtros que cuentan con más de una capa, el grado en que se mezclan los materiales de las diferentes capas depende de la densidad y de la diferencia de tamaños entre los granos del material que compone cada una de las capas.

Los lechos filtrantes de doble y triple capa, así como los de capa única profundos, se desarrollaron para permitir que los sólidos en suspensión presentes en el líquido a filtrar puedan penetrar a mayor profundidad dentro del lecho filtrante, con lo cual se aprovecha más la capacidad de almacenamiento de sólidos dentro del filtro. En cambio, en los filtros de capa única poco profundos, se ha podido comprobar que gran parte de la eliminación de sólidos en suspensión se produce en los primeros milímetros de la capa filtrante. El hecho de que los sólidos penetren a mayor profundidad, también permite ciclos de filtración más largos, puesto que se reduce el ritmo de aumento de las pérdidas de carga producidas.

Presión actuante en la filtración:

Tanto la fuerza de la gravedad, como la creada por una presión aplicada, se pueden emplear para vencer la resistencia por fricción creada por el flujo que circula a través del lecho filtrante. Los filtros de gravedad del tipo indicado son los más comúnmente empleados en la filtración de efluentes tratados en plantas de tratamiento de gran tamaño. Los filtros a presión del tipo indicado funcionan igual que los de gravedad y se emplean en plantas pequeñas. La única diferencia entre ambos consiste en que, en los filtros a presión, la operación de filtrado se lleva a cabo en un depósito cerrado, bajo condiciones de presión.

conseguidas mediante bombeo. Los filtros a presión suelen funcionar con mayores pérdidas de carga máximas admisibles, lo cual conduce a ciclos de filtración más largos y a menores necesidades de lavado.

Filtración a caudal constante:

En el proceso de filtración a caudal constante se controla el caudal de entrada o el caudal efluente para asegurar que el caudal que circula a través del filtro es constante. El control del caudal de entrada se realiza mediante vertederos o bombeo, mientras que el control del caudal efluente se lleva a cabo mediante la instalación de una válvula de accionamiento manual o automático. Al inicio del ciclo, gran parte de la fuerza actuante disponible se disipa en la válvula, que se encuentra casi cerrada. Al irse incrementando la pérdida de carga en el paso por el filtro, la válvula se va abriendo progresivamente. Dado que las válvulas de control necesarias son elementos caros y que se han producido diversos problemas de funcionamiento con estos elementos, se han desarrollado sistemas alternativos de control del caudal cuyo uso está más extendido, como los vertederos y los sistemas de bombeo

Filtración a caudal variable:

En el proceso de filtración a caudal variable, el caudal que pasa a través del filtro va disminuyendo conforme aumenta la pérdida de carga. El control del caudal que circula por el filtro también se puede llevar a cabo, tanto a la entrada del filtro como a la salida. Cuando el caudal alcanza el valor del caudal mínimo de proyecto, se detiene el filtro y se procede a su lavado

VARIABLES DEL PROCESO DE FILTRACIÓN:

En la aplicación de la filtración para la eliminación de sólidos en suspensión remanentes, se ha comprobado que las variables más importantes del proceso de diseño son, posiblemente, la naturaleza de las partículas presentes en el agua a filtrar, el tamaño del material o materiales que componen el filtro, y el caudal de filtración.

Características del agua a filtrar:

Las características más importantes del agua a filtrar son la concentración de sólidos en suspensión, el tamaño y la distribución de tamaños de las partículas, y la consistencia de los flóculos. Generalmente, la concentración de sólidos en suspensión en el efluente de plantas de fangos activados y de filtros percoladores varía entre 6 y 30 mg/l. Debido a que esta concentración suele ser el parámetro de mayor interés, para el control práctico del proceso de filtrado se suele emplear el valor de la turbidez. Se ha podido comprobar que, dentro de ciertos límites, existe una correlación entre la concentración de sólidos en suspensión en las aguas residuales tratadas y los valores medidos de la turbidez. Una expresión típica de la relación entre ambos parámetros en el caso de procesos de fangos activados con mezcla completa, es la siguiente:

$$\text{Sólidos en suspensión, SS, mg/l} = (2,3 \text{ a } 2,4) \times (\text{Turbiedad, NTU}) \quad (1.5)$$

La observación más significativa relacionada con el tamaño de las partículas consiste en que la distribución de tamaños resulta ser bimodal. Este hecho es importante, puesto que influye sobre los mecanismos de eliminación que puedan tener lugar durante la filtración. Por ejemplo, parece razonable suponer que el mecanismo de eliminación de partículas de 1 micra de tamaño será diferente del que consiga la eliminación de las partículas de 80 micras (o incluso mayores). El carácter bimodal de la distribución de los tamaños de las partículas también se ha observado en las plantas de tratamiento de aguas.

La consistencia de los flóculos, que no sólo varía con el tipo de proceso sino también con el modo de operación, es asimismo importante. Por ejemplo, los flóculos residuales de la precipitación química del agua residual tratada biológicamente pueden ser considerablemente más débiles que los flóculos biológicos antes de la precipitación. Además, la consistencia de los flóculos biológicos varía con el tiempo medio de retención celular, aumentando con él. El aumento de la consistencia es consecuencia, en parte, de la producción de polímeros extracelulares que se producen con el aumento del tiempo medio

de retención celular. Para tiempos medios de retención celular extremadamente altos (15 días o más), se ha observado una disminución de la consistencia de los flóculos.

Características del medio filtrante:

La característica del medio filtrante que más afecta al proceso de filtración es el tamaño del grano. El tamaño del grano afecta tanto a la pérdida de carga en la circulación del agua a través del filtro como a la tasa de variación de dicho aumento durante el ciclo de filtración. Si el tamaño de grano efectivo del medio filtrante es demasiado pequeño, la mayor parte de la fuerza actuante se empleará para vencer la resistencia de fricción provocada por el lecho filtrante, mientras que si el tamaño efectivo es demasiado grande, muchas de las partículas de menor tamaño presentes en el agua a filtrar pasarán directamente a través del filtro sin ser eliminadas.

Velocidad de filtración: La velocidad de filtración es un parámetro importante por cuanto afecta a la superficie necesaria del filtro. Para una aplicación dada del filtro, la velocidad de filtración dependerá de la consistencia de los flóculos y del tamaño medio de grano del lecho filtrante. Por ejemplo, si los flóculos son de débil consistencia, las velocidades de filtración elevadas tenderán a romper los flóculos y a arrastrar gran parte de los mismos a través del filtro. Se ha observado que las velocidades de filtración dentro del intervalo de 4,8 a 19,2 m³/m² h no afectan la calidad del efluente del filtro, debido a la propia resistencia del flóculo biológico. (Metcalf y Eddy, Inc., 1996)

1.4 DESINFECCIÓN CON RAYOS ULTRAVIOLETA

Mecanismo de Desinfección UV

1.4.1 DIMERIZACIÓN DNA

Los microorganismos son inactivados por luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos. La radiación UV es absorbida por nucleótidos, los

bloques de construcción del ADN y ARN celulares en una manera dependiente de la longitud de onda con picos de cerca de 200 y 260 nm (Sonntag y Schuchmann, 1992). El UV absorbido promueve la formación de uniones entre nucleótidos adyacentes, creando moléculas dobles o dímeros (Jagger, 1967). Mientras que la formación de dímeros de tiamina-tiamina son los más comunes, también suelen ocurrir dímeros de citosina-citosina, citosina-tiamina, y dimerización del uracilo. La formación de un número suficiente de dímeros dentro de un microbio impide que éste duplique su ADN y ARN, impidiendo así su reproducción. Debido a la dependencia en la longitud de onda de la absorción UV del ADN, la inactivación UV de los microbios es también una función de la longitud de onda. La Figura 1.3 representa el espectro de la acción germicida de la inactivación UV del E.Coli. (DIN, 1996). El espectro del E.Coli alcanza su punto máximo a las longitudes de onda de cerca de 265nm y de cerca de 220nm. Es conveniente que el rendimiento de la lámpara de baja presión a 254nm coincida bien con el punto máximo de inactivación a cerca de 265 nm.

1.4.2 MECANISMOS DE REPARACIÓN

Muchos microbios que tienen un sistema metabólico funcional tienen varios mecanismos de reparación de los ácidos nucleicos dañados (Jagger, 1967). El mecanismo de reparación que es único a la desinfección UV es el de foto reactivación. La foto dimerización de tiaminas adyacentes resultantes de la absorción UV de los ácidos nucleicos puede ser invertida por una enzima foto reactivada que usa luz entre 300 y 500 nm para activar la partición del dímero.

Otras transformaciones inducidas por UV en los ácidos nucleicos incluyendo dímeros que se componen de citosina no pueden ser reparados excepto por mecanismo de reparación obscuro en el cual segmentos enteros de ácido nucleico son extraídos y el segmento complementario sin dañar es usado como molde para reparar y remplazar el segmento dañado.

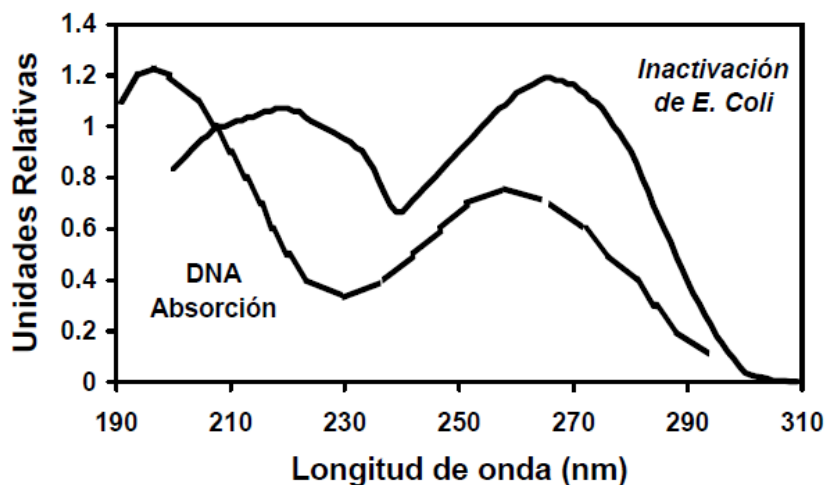


Figura 1.3 Comparación del espectro de acción de la inactivación del E. Coli con el de absorción del ácido nucleico. (Metcalf y Eddy, Inc., 1996)

Los virus no tienen mecanismos de reparación para invertir el daño creado por la luz UV. La habilidad de la bacteria y otros microbios para foto repararse está relacionada directamente a la extensión del daño UV, la exposición a la luz reactivadora entre 300 y 500nm y al pH y temperatura del agua. Una relación inversa significativa ha sido reportada entre la dosis UV aplicada y la foto reactivación de bacteria coliforme con menos reparación a dosis mayores (Lindenauer and Darby, 1994). Debe ocurrir exposición a luz entre 300 y 500nm dentro de dos a tres horas para que pueda propiciarse el efecto fotoreparador (Grocock, 1984). De acuerdo con ello, el tiempo de residencia dentro de un sistema de tratamiento de agua reducirá el potencial de fotoreparación.

1.4.3 LA CINÉTICA DE INACTIVACIÓN Y EL CONCEPTO DE DOSIS UV

La cinética de inactivación microbiana por UV es citada a menudo como siguiendo la ley de Chick:

$$N = N_0 e^{-kIt} \quad (1.6)$$

Donde N_0 es la concentración inicial de microbios previa a la aplicación de UV, N es el número de microbios que restan después de la exposición a la luz UV. I es la intensidad UV, t es el tiempo de exposición, y k es la constante del ritmo de inactivación. La dosis UV se define como el producto de la intensidad UV y tiempo. La Figura 1.4 presenta una representación gráfica de la ley de Chick mostrando inactivación como función de la dosis UV aplicada. Una interpretación útil de la ley de Chick es que por cada incremento en dosis UV igual a $2.3/k$ hay una reducción en el orden de magnitud de la población microbiana. Se observan a menudo derivaciones de la ley de Chick ya sea como un “hombro” a dosis bajas o “colas” a dosis altas (Figura 1.4).

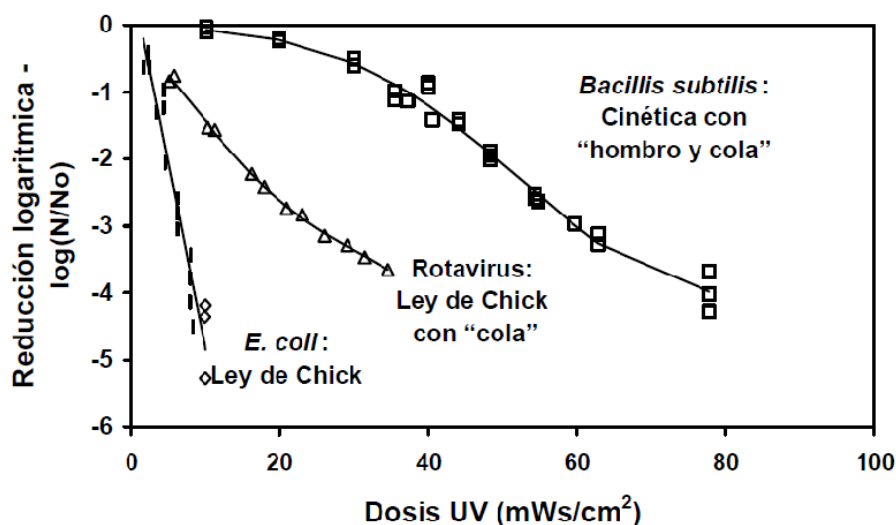


Figura 1.4 La cinética de inactivación de la desinfección por UV. (Metcalf y Eddy, Inc., 1996)

Los hombros a dosis bajas pueden ser explicados usando la cinética de inactivación de eventos en series (Severin et al, 1984). En cinética de eventos en series, la inactivación de un microbio se produce sólo después que haya ocurrido daño significativo dentro del microbio. En concordancia con lo anterior, el inicio de la inactivación (observada con una curva de respuesta de dosis) parece requerir una dosis de umbral. No todos los microbios demuestran cinética observable de eventos en serie en sus curvas de respuesta de dosis. Severin et al (1984) y Harris et al (1987) observaron inactivación de virus siguiendo la ley de Chick e inactivación bacteriana siguiendo la cinética de eventos en serie. Chang et al (1985) observó inactivación viral y la inactivación de algunos patógenos bacterianos

siguiendo la ley Chick mientras que la inactivación de quistes, esporas y otras bacterias tenían “hombros” .

Colas ocurren a dosis altas y pueden ser atribuidas a la acumulación de microbios y a la oclusión de microbios dentro de particulados (Parker y Darby, 1995) y otros microbios. Microbios absorbidos por material particulado y otros microbios experimentan una dosis UV más baja comparada con microbios individuales en la fase de volumen debido a la absorbancia del material particulado y a la biomasa. Por ejemplo, la transmisión UV a través de una célula de E.Coli es 70% a 254nm (Jagger, 1967). La transmisión UV a través del particulado dependerá de la composición del particulado y de la presencia de compuestos que absorben UV como el hierro.

La dosis generada por las lámparas monocromáticas de arco de mercurio de baja presión ha sido definida tradicionalmente como el producto de la intensidad a 254nm por el tiempo de exposición. Ninguna referencia a la acción microbiana es incluida en este cálculo. Con lámparas policromáticas de arco de mercurio de mediana presión, la contribución de cada longitud de onda germicida deducida del espectro de acción microbiana debe ser considerada en la determinación de la dosis (Meulemans, 1986). La dosis germicida generada por una lámpara de presión mediana de arco de mercurio puede ser definida como:

$$Dosis\ UV = \sum_{\lambda=200nm}^{\lambda=315nm} I(\lambda)G(\lambda)t \quad (1.7)$$

Donde $I(\lambda)$ es la energía de salida de la lámpara de mediana presión dependiente de la longitud de onda, mientras que $G(\lambda)$ es el espectro de acción dependiente de la longitud de onda del microbio siendo inactivado. Dado que la dosis en desinfección UV ha sido citada tradicionalmente para lámparas de arco de mercurio de baja presión, el espectro de acción microbiana debe ser normalizado a una longitud de onda de 254nm a un valor de uno. Al normalizar la acción espectral a uno, la dosis UV calculada para las lámparas de mediana

presión resulta comparable a las dosis calculadas para las lámparas de arco de mercurio de baja presión (Metcalf y Eddy, Inc., 1996)

1.4.4 TASAS DE INACTIVACIÓN

La Tabla 1.1 presenta un resumen de inactivación UV observada usando lámparas de baja presión con patógenos virales, bacterianos y protozoarios así como grupos de indicadores microbianos. Las tasas de inactivación microbiana varían dependiendo de la especie microbiana, la población microbiana y la longitud de onda de la luz UV. En general, las bacterias son menos resistentes a UV a 254nm que los virus, los cuales a su vez pueden ser menos resistentes que las esporas de bacterias. Mientras que quistes y oquistes de protozoarios son considerados como los patógenos microbianos más resistentes a UV a 254nm, hay alguna evidencia que los quistes son más susceptibles a ser inactivados por luz UV policromática de lámparas de mediana presión (Bukhari et al, 1998). En general, bacterias gram positivas son más resistentes que las gram negativas. La temperatura de agua y pH tienen poco o ningún impacto en la tasa de inactivación de microbios por UV (USEPA, 1996). Los efectos del pH observados con la inactivación del virus bacteriano MS-2 han sido atribuidos a aglutinación de microorganismos inducida por el pH (Malley et al, 1995) en vez de a la variación en la tasa de daño del DNA causado por UV. La Tabla 1.1 indica que salvo contadas excepciones, la dosis de inactivación de bacterias patogénicas son muy similares a las dosis requeridas para la desinfección de grupos de indicadores fecales tales como coliformes fecales.

Esto no sorprende dado que el mecanismo subyacente de desinfección UV es el mismo dentro de estos organismos. La naturaleza del exterior del bacterium tiene un efecto similar en la transmitancia UV dentro del micro-organismo. Se requiere dosis UV más altas cuando la bacteria tiene un exterior único protector absorbente de UV como en el caso de algunas esporas bacterianas (Munakata et al, 1991). Entre 1971 y 1988, casi 81% de la

erupción de enfermedades causadas por el agua asociadas con bacterias en los Estados Unidos (Craun, 1990) fueron causados por bacterias listadas o relacionadas a las indicadas en la Tabla 1.1 que se presenta más adelante.

Aunque no es posible determinar la sensibilidad de cada patógeno bacteriano existente a la luz UV, el mecanismo común de acción sobre el ácido nucleico provee un alto nivel de confianza que dosis similares podrían ser requeridas por la mayoría de patógenos bacterianos que pudiesen encontrarse en el agua potable. Debido al bajo número de virus requerido para infectar, se debe dar una consideración minuciosa a la dosis requerida para la inactivación de virus. El virus humano patogénico más resistente a UV descrito por cualquier autor es el Rotavirus (Reovirus) el cual fue reportado ser 11 veces más resistente a UV que E.Coli (Harris et al, 1987). Otros autores (Batigelli et al, 1993; Chang et al, 1985) han reportado una susceptibilidad mayor del Rotavirus a UV. Virus tales como poliovirus y hepatitis A son solamente de 2,5 veces más resistentes que el E. coli. Aunque existe alguna variación entre uno y otro estudio la evidencia aportada por el Grupo de Estudio del IAWPRC sobre microbiología del agua relacionada con la salud (IAWPRC, 1991) indica menos que una diferencia de cuatro veces en la resistencia del E.coli y virus a UV. Por contraste, los Rotavirus fueron encontrados similares al E.coli en su sensibilidad al cloro, pero poliovirus y algunos virus entéricos fueron reportados ser 40 o más veces más resistentes al cloro que E.coli (Engelbrecht et al, 1978; Scarpino et al, 1974). Victor Cabelli reporta (comunicación verbal) que el virus Norwalk que cuenta entre 20 y el 40% de la gastroenteritis aguda causada por el agua es resistente más de 100 veces al cloro que el E.coli. Hay varias implicancias de las observaciones arriba mencionadas. Primero, que el microbio más resistente a un método de desinfección no es el mismo para el otro. Una comparación adecuada de métodos de desinfección debe comprender el examen de un amplio rango de especies microbianas el cual debe incluir las más sensibles y resistentes para ambos desinfectantes. Segundo, el rango de resistencia para bacteria y virus es mucho más angosto cuando se usa UV que cuando se usa cloro. Este rango más estrecho proveerá más confianza cuando se use UV en vez de cloro que el nivel de desinfección alcanzado tal cual se indica con los indicadores tradicionales de microbios como reflejo del nivel de

desinfección alcanzado por otros microbios. Esta es una ventaja aparente debido a la facilidad, menor costo y familiaridad del operario con los ensayos estándares de coliformes comparados con los ensayos de virus o bacteriófagos que están siendo propuestos para el monitoreo de inactivación de virus cuando se usa cloro como desinfectante. Finalmente, dosis más altas de cloro y UV pueden ser administradas para asegurar la desinfección de microbios más resistentes. Con cloro, la dosis de desinfección resultará en una formación mayor de subproductos cloro orgánicos (Greiner et al, 1992). Existe actualmente un debate sobre la resistencia de los parásitos protozoarios a la desinfección UV. Trabajos pasados usando lámparas de arco de mercurio de baja presión indican que parásitos protozoarios como el *Giardia Lambia* y el *Cryptosporidium Parvum* son significativamente más resistentes a UV que bacterias y virus, requiriendo una dosis UV de 80 mWs/cm² para obtener una reducción de un log. Un trabajo reciente de Bukhari et al (1998), indica sin embargo que se puede obtener una reducción de 3.9 logs de *Cryptosporidium* en estudios de infección en ratones usando una lámpara de arco de mercurio de presión mediana. Sin embargo, no se verificaron reducciones significativas de *Cryptosporidium* usando ensayos *in vitro*. Los resultados sugieren que los métodos tradicionales de enumeración para medir la inactivación de quistes por UV pueden estar subestimando la reducción en viabilidad. Asimismo, las lámparas de arco de mercurio de mediana presión pueden tener una ventaja sobre las de baja presión respecto a la inactivación de protozoarios.

Tabla 1.1. Dosis UV en MWs/cm2 necesaria para inactivar una población microbiana por 1 Log (90%) y 2 Log (99%).

MICROORGANISMOS	REDUCCIÓN LOGARITMICA		MICROORGANISMOS	REDUCCIÓN LOGARITMICA	
	1	2		1	2
BACTERIA			Fecal coliforms ¹⁰	3.4	6.8
Bacillus anthracis	4.5	8.7	Salmonella enteritidis	4	7.6
Bacillus subtilis, spores	12	22	Salmonella paratyphi ³	3.2	---
Bacillus subtilis	7.1	11	Salmonella typhi ⁵	2.1	---
Campylobacter jejuni ⁵	1.1	---	Salmonella typhimurium ¹⁰	3	---
Clostridium tetani ¹	12	22	Shigella dysenteriae	2.2	4.2
Corynebacterium diphtheriae ¹	3.4	6.5	Shigella flexneri (paradysenteriae)	1.7	3.4
Escherichia coli	3	6.6	Shigella sonnei ⁵	3	5
Klebsiella terrigena ⁵	2.6	---	Staphylococcus aureus	5	6.6
Legionella pneumophila ⁴	0.9	2.8	Streptococcus faecalis ⁵	4.4	---
Sarcina lutea	20	26.4	Streptococcus pyogenes	2.2	---
Mycobacterium tuberculosis	6	10	Vibrio cholerae (V.comma) ⁶	---	6.5
Pseudomonas aeruginosa ⁶	5.5	10.5	Yersinia enterocolitica ⁵	1.1	---
VIRUS					
MS-2 Coliphage ⁵	18.6	---	Influenza virus ²	3.6	6.6
F-specific bacteriophage ²	6.9	---	Polio virus ^{5,6,9}	5 – 8	14
Hepatitis A ^{5,6}	7.3	---	Rotavirus ^{5,6,9,11}	6 – 15	15-40
PROTOZOARIOS			ALGAS		
Giardia lamblia ^{6,7}	82	---	Blue Green ^{1,3}	300	600
Cryptosporidium parvum ⁸	80	120	Chlorella vulgaris ^{1,2}	12	22
LEVADURA					
Saccharomyces cerevisiae ¹	7.3	13.2			

Tomado de (Metcalf y Eddy, Inc., 1996) **con referencias:** 1. Legan (1980) 2. Jevons (1982) 3. Grocock (1984) 4. Antopol (1979); Wilson et al (1993) 6. Wolfe (1990) 7. Rice and Hoff (1981) 8. Ransome et al (1993); 9. Harris et al (1987) 10. Trojan Technologies Ltd. 11. Battigelli et al (1993).

1.5 COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN

Se denomina *coagulación* al proceso de desestabilización y posterior agregación de partículas en suspensión coloidal presentes en el agua, para potenciar la etapa de decantación o espesado en la que esas partículas deben separarse del agua. La desestabilización se consigue neutralizando sus cargas eléctricas, con lo que dejan de actuar las fuerzas de repulsión, su potencial zeta se anula y los coloides tienden a agregarse por acción de masas normalmente, las partículas a coagular proceden:

- 1) Del suelo, por arrastre de minerales en disolución
- 2) De descomposición de materia orgánica natural en los cursos de agua
- 3) De vertidos domésticos e industriales.

El objetivo de la coagulación como proceso previo a la decantación es cambiar las propiedades de los elementos insolubles, de modo que sean más fácilmente separables. Como es mucho más sencillo separar partículas grandes y pesadas que partículas ligeras y de poca superficie específica, el proceso de coagulación tenderá a agrupar partículas pequeñas en otras mayores, y por tanto más sólidas, que denominaremos *flóculos*, para así separarlas más fácilmente. Los tamaños de partícula que podemos encontrar son los siguientes:

- Partículas que están en forma de *suspensión*, de tamaño $>10^{-7}$ m,
- Las que forman *solución coloidal*, de tamaño entre 10^{-7} y 10^{-9} m.
- Aquellas que forman una verdadera *solución*, de tamaño $<10^{-9}$ m

De esta manera, la coagulación consigue que el sistema sea inestable con el resultado final de la agregación de partículas. Este proceso se centra en aquellas partículas cuyos tamaños oscilen entre 10^{-4} y 10^{-9} m (partículas en suspensión y soluciones coloidales), no separables por decantación (gravedad) o por filtración.

En la figura 1.5 que se presenta a continuación se muestra una ilustración del proceso de sedimentación.



Figura 1.5 Proceso de sedimentación. (www.plantaspurificadorasdeagua.net, 2013)

1.5.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO

1) *Tipo y cantidad de coagulante* Aunque hay una cierta relación entre la turbidez del agua bruta y la dosis de coagulante, la cantidad exacta se debe determinar mediante ensayos (Jar-Test o Prueba de jarras) para evitar sobredosificaciones que rompan la adsorción superficial.

2) *pH del agua* Para cada coagulante, existe una zona de *pH* donde se produce una buena floculación en plazo corto y con una dosis dada de coagulante, debiéndose efectuar, siempre que sea posible, en esa zona para optimizar productos y rendimientos.

3) *Tiempo de mezcla y floculación* (periodo de coagulación) Es el tiempo transcurrido entre la adición de coagulante y el final de la agitación a una velocidad que impida la decantación de las materias floculadas.

4) *Temperatura del agua* La temperatura influye en el tiempo requerido para una buena formación de coágulos, (más fría, más tiempo)

5) *Agitación y presencia de núcleos* (sólidos en suspensión)

1.5.2 MECANISMOS DE FUNCIONAMIENTO

La reacción de los compuestos coagulantes con el agua implica:

- 1) Desestabilización de las partículas coloidales por compresión de la capa doble, debido al aumento de concentración de especies iónicas
- 2) Desestabilización coloidal por reducción del potencial Zeta, debida a la adsorción en la superficie coloidal de las especies iónicas polinucleares positivas (hidroxocomplejos).
- 3) Coagulación o aglomeración por arrastre de partículas

En la práctica, los procesos de coagulación combinan los tres mecanismos descritos y, según las condiciones externas (pH, temperatura, tipo de coagulante, etc.) predominará un mecanismo sobre los otros. Por ejemplo, a bajo *pH* y bajas dosificaciones de coagulante, predomina el mecanismo de adsorción (caso 2) y de desestabilización (caso 1), mientras que a *pH* altos y altas dosificaciones de coagulante predomina el mecanismo de arrastre (caso 3).

1.5.3 COAGULANTES

La coagulación se produce añadiendo a la dispersión iones de signo contrario al del coloide (coagulantes)

Las características más importantes son:

- 1) Cargas opuestas al coloide, con el fin de neutralizar las fuerzas electrostáticas (punto isoeléctrico o potencial Zeta nulo). A veces, el reactivo coagulante no consigue reducir el potencial Zeta hasta valores próximos a cero, siendo necesarios otros compuestos de apoyo denominados *coadyuvantes*.
- 2) Han de tener la mayor valencia posible, para que la rotura de la estabilidad coloidal sea lo más rápida posible.
- 3) Han de ser muy pesados, para que los flóculos formados puedan separarse lo más rápidamente posible por precipitación.

Cuando se añaden los coagulantes se produce una hidrólisis, con la formación de hidróxidos coloidales insolubles que adsorben las partículas coloidales, propiciando la precipitación.

Productos coagulantes: Podemos distinguir dos grandes grupos:

1) *Coagulantes inorgánicos*

- Sulfato de alúmina (sólido, SAS o líquido, SAL)
- Polímeros de aluminio (sales de aluminio que se condensan dando lugar a polímeros que son capaces de coagular)

2) *Coagulantes orgánicos* (polielectrolitos) que, a su vez, pueden ser:

- *De origen natural* Derivados del almidón, celulosa...

En ocasiones son considerados auxiliares de la coagulación o coadyuvantes.

- *Sintéticos* Macromoléculas de cadena larga (óxido de polietileno, poliacrilamida...)

Productos coadyuvantes: También distinguiremos entre:

1) *Coadyuvantes inorgánicos* Cal, arcilla, sulfato de magnesio...

2) *Coadyuvantes orgánicos* Alginatos (extracto de algas), almidones (extracto de granos vegetales)

El coagulante ideal será, por tanto, el que en primer lugar facilite una carga para la desestabilización de los coloides y después forme el coágulo o flóculo primario sobre el cual pudieran adsorberse fácilmente las partículas.

- *Aguas muy claras* Se precisa un floculo voluminoso y de rápida velocidad de formación (prevalece el mecanismo de adsorción).
- *Aguas residuales* Se precisa de una elevada densidad de carga para la desestabilización.

1.5.4 DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE

La dosificación de coagulante es muy variable en los diferentes ámbitos, siendo necesario establecer un valor óptimo mediante pruebas de laboratorio y ajustes de fábrica.

Dentro de las pruebas de laboratorio, destaca el ensayo *Jar-Test* (figura 1.6) La importancia del ensayo deriva de su facilidad de realización, interpretación y versatilidad al estudiar diferentes parámetros que influyen en el proceso de coagulación – floculación, determinando:

- Selección de coagulantes y/o floculantes
- Dosificación óptima
- Determinación de los puntos de dosificación
- Fijación de un *pH* óptimo de coagulación
- Ajuste de velocidades y tiempos de agitación
- Incidencia de otros reactivos

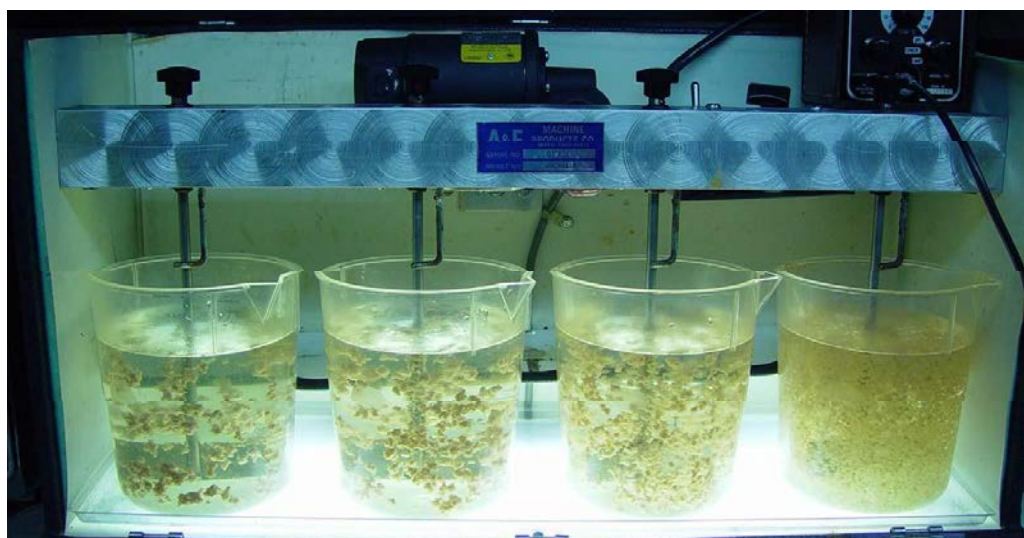


Figura 1.6 Ejemplo de una prueba de jarras o Jar-Test. (www.fotolog.com)

La metodología a seguir es la siguiente:

- 1) Colocación de las muestras en los vasos
- 2) Agitación rápida de la muestra mientras se adicionan las diferentes dosis de reactivo
- 3) Agitación lenta durante 15 minutos
- 4) Se levantan las palas y se deja decantar 15 – 20 minutos
- 5) Se toma medida de la turbidez de agua superficial aproximadamente 1 cm por debajo de la lámina de agua en cada uno de los vasos de precipitación.

Posteriormente se pueden modificar diferentes parámetros (por ejemplo, el *pH* del agua) para así comprobar su influencia en el proceso.

Finalmente, una vez determinado el *pH* y el coagulante a emplear, se hacen diferentes ensayos modificando la dosis a emplear, de tal manera que podamos definir mediante un criterio económico, la dosificación necesaria para aplicar a nuestra planta de tratamiento.

1.5.5 FLOCULACIÓN

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después en los floculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes construidos para este fin, denominados decantadores. El proceso de floculación es precedido por el de coagulación, por eso suele hablarse de procesos de coagulación - floculación.

La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico (coagulante) que, neutralizando las cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí.

En el proceso de floculación es importante conseguir la formación del floculo de mayor peso y cohesión posible, ya que estas características facilitan su eliminación. En general, algunos de los siguientes medios favorecen el engrosamiento y, consecuentemente, la sedimentabilidad del floculo:

- 1) Una coagulación previa tan perfecta como sea posible
- 2) Un aumento de la cantidad de floculos en el agua. Así, conviene poner el agua en contacto con los precipitados ya formados por el tratamiento anterior (recirculación de fangos, lecho de fangos, etc.), tratando de conseguir la mayor concentración posible.
- 3) Una agitación lenta y homogénea del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas coloidales descargadas eléctricamente se encuentren con un floculo.

4) El empleo de ciertos productos llamados floculantes.

Los floculantes (o coadyuvantes de coagulación) son productos que favorecen el proceso de formación del flóculo, actuando de puente o unión para captar mecánicamente las partículas en suspensión. La diferencia básica entre coagulante y floculante reside en que el coagulante anula las fuerzas repulsivas entre las partículas coloidales, iniciando la formación de microflóculos, en cambio el floculante engloba estos microflóculos aumentando su tamaño y densidad de modo que sedimenten más fácil y rápidamente. El empleo de los floculantes permite tratar mayores caudales de agua en una ETAP o EDAR, además de mejorar la floculación cuando ésta es difícil por cambios de calidad, bajas temperaturas, etc.

Los floculantes más empleados son los siguientes:

1) *Agentes adsorbentes*: Su misión consiste en dar mayor peso a los flóculos ligeros, caso de la adición de arcillas bentónicas que, al añadirse a los flóculos formados, mejoran su densidad (función ponderante). Para ello también se emplea el carbonato cálcico pulverizado (caliza). Otra función de estos agentes consiste en adsorber partículas coloidales, generando un preflóculo, que rápidamente aumenta de volumen, caso del carbón activo o de la tierra de diatomeas (función adsorbente).

2) *Sílice activa*: Se obtiene a partir del silicato sódico (Na_2SiO_3) en disolución, a la cual se le neutraliza con ácido una parte importante de la alcalinidad, en cuyo momento se dice que se ha activado. Presenta alta efectividad como auxiliar del tratamiento con sulfato de alúmina (alumbre) Hasta el descubrimiento de los polielectrolitos, la sílice activada era un floculante muy utilizado, pero hoy se utiliza con poca frecuencia.

Las ventajas en el uso de la sílice activa son las siguientes:

- Aumento de la velocidad de coagulación
- Empleo de dosis más reducidas de coagulante
- Márgenes amplios de *pH* para una coagulación óptima
- Formación de flóculos densos (incluso con bajas temperaturas)
- En aguas turbias mejor floculación y eliminación del color

En cuanto a las desventajas señalaremos:

- La preparación de la sílice activada requiere un minucioso control para evitar que gelifique.
- La sobredosis puede inhibir la floculación
- Puede ser ineficaz para ciertos tipos de aguas
- Gran volumen de fangos generados

3) *Polielectrolitos* : En la actualidad son los compuestos más utilizados en la floculación. Son polímeros de alto peso molecular, naturales o sintéticos. Contienen unidades de bajo peso molecular combinadas químicamente para formar una molécula de tamaño coloidal en las que cada una de ellas tiene una o más cargas o grupos ionizables.

Los polielectrolitos pueden actuar solos (coagulantes) o como coadyuvantes de la floculación, aumentando considerablemente el tamaño de los flóculos, pero de forma similar a lo que ocurre con la sílice, existe una dosis óptima, que si es superada, produce una floculación deficiente

Pueden ser:

- 1) *Naturales*: Almidones y sus derivados, polisacáridos de compuestos celulósicos, ciertos compuestos proteínicos, alginatos etc. Dan precipitados voluminosos que sedimentan rápidamente. Su empleo es, en ciertos casos, ventajoso pues pese a ser necesarios en dosis más elevadas, generalmente tienen un costo inferior al uso de los polielectrolitos sintéticos.
- 2) *Sintéticos* Pequeñas moléculas portadoras de carga eléctrica, polimerizadas formando largas cadenas, con la ventaja de su facilidad de fabricación en planta (adaptación a requerimientos).

Los polielectrolitos sintéticos se pueden clasificar en:

- a) *No iónicos* (poliacrilamidas) : De tipo no iónico en solución acuosa a *pH* neutro.
- b) *Aniónicos* : Polímeros de acrilamida-acrilato.

La dosis óptima aumenta linealmente con la dosificación de sulfato de alúmina, pero no se modifica el margen de *pH* óptimo para la coagulación y por esto su acción es independiente de la acidez o alcalinidad.

- c) *Catiónicos* : Amplio conjunto a base de poliacrilamidas catiónicas y poliaminas. Cuando se utilizan con coagulantes metálicos reducen la dosificación de coagulante, atenúan la

interferencia sobre la coagulación de ciertas sustancias y tienen la capacidad de flocular organismos vivos, tales como algas y bacterias.

1.5.6 FACTORES QUE AFECTAN LA FLOCULACIÓN

La floculación está condicionada por una serie de factores que determinan su eficacia en el proceso de separación de la fase sólido/líquido.

Dichos factores son:

1) *Dosis óptima de polímero* : Para una cierta concentración de sólidos, todo polímero añadido es adsorbido sobre los mismos. El punto a partir del cual el polímero no es totalmente adsorbido corresponde a la dosis óptima, que será la cantidad máxima de polímero que puede ser adsorbido sobre el sólido para producir un sistema floculado, a condición de que ningún enlace de superficie sea roto después de la formación de los flóculos. A medida que se desarrolla la floculación, la formación de flóculos disminuye la superficie disponible, y el número de colisiones entre las partículas se hace inferior, de modo que una cierta cantidad de finos se escapa al fenómeno de floculación para dar lugar a una ligera niebla en suspensión en el líquido sobrenadante.

2) *Agitación* : Una adecuada agitación es necesaria tanto en el momento de dosificación del polímero como en el proceso de formación y engorde del flóculo. La dispersión del polímero en el seno del agua exige una rápida agitación para favorecer una floculación homogénea en todos los puntos y crear un tamaño de flóculo igualmente homogéneo. La agitación rápida favorece además, un mayor número de colisiones entre las partículas y las cadenas de polímeros asegurando la floculación total de los coágulos. Una vez iniciada la floculación, conviene reducir la velocidad de agitación para evitar efectos de cizalladura que produzcan la rotura mecánica de los flóculos. De cualquier modo, es necesario siempre un óptimo estado de agitación para lograr que las partículas se acerquen lo suficiente para formar puentes de enlace y formar los agregados.

3) *Peso molecular del polímero*: El peso molecular es una de las propiedades que caracterizan a un polímero y determinan la eficacia de la floculación.

Cuando se utiliza un polímero de bajo peso molecular existe una tendencia por parte de cada molécula a ser adsorbida por una única partícula. Con un polímero del mismo tipo pero de mayor peso molecular se produce un aumento en la relación óptima polímero/sólidos es decir, mayor número de moléculas pueden ser adsorbidas y utilizadas por las partículas. Con un aumento del peso molecular se optimiza la dosis de polímero y se incrementa la velocidad de decantación.

4) *Concentración de sólidos* : La estabilidad de los flóculos crece con la densidad de los sólidos, debido al aumento de la probabilidad de unión de los fragmentos de los flóculos rotos. No obstante, para suspensiones muy concentradas, la velocidad de sedimentación es muy pequeña por la corriente ascendente del fluido desalojado, generándose un equilibrio entre ambos fenómenos.

5) *Superficie de los sólidos*: La dosis óptima de floculante es proporcional a la superficie específica del sólido; es decir, al aumentar de tamaño o superficie de la partícula se reduce la dosis de floculante.

6) *Efecto de la temperatura*: Existe la creencia general de que un aumento de temperatura mejora la floculación. Esto no siempre es así, ya que si bien la velocidad de difusión del floculante y de colisión de partículas es mayor, la adsorción es menor por ser exotérmica.

7) *Efecto del pH*: El *pH* puede afectar a la cantidad y tipo de cargas presentes en la superficie de los sólidos así como la cantidad de carga libre que configura el polímero en disolución. A su vez, la variación en la ionización en el polímero determina el grado de creación de puntos de enlace entre partículas y moléculas lo cual puede anular la eficacia de un polímero en un rango de *pH*. La efectividad de los polímeros varía en función del rango del *pH*:

a) Los polímeros aniónicos, normalmente, son más efectivos a *pH* entre 7 y 14.

- b) Los no iónicos son capaces de adsorber las partículas positivas y negativas, siendo, en general, muy eficaces a pH 6, si bien algunos también operan entre 6 y 10.
- c) Finalmente los catiónicos suelen actuar entre pH 4 y 8.

CAPÍTULO 2

PARÁMETROS DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA

En el sistema de tratamiento de aguas a estudiar se requiere monitorear y controlar ciertos parámetros físico-químicos, la medición de ellos nos permite determinar la eficacia de cada etapa del proceso, la calidad del producto final; y hacer correcciones de ser necesario. La medición de estos parámetros se lleva a cabo mediante toma de muestras de los diferentes puntos de control del sistema, a intervalos establecidos de tiempo. Con la determinación de sus características mediante análisis físico-químicos se obtiene información valiosa, pero se refiere únicamente al instante en que se obtuvo la muestra. Por esta razón se estableció una periodicidad de muestreos para cada punto según su posible variabilidad.

Estos parámetros son: turbidez, sólidos totales disueltos, pH, dureza, alcalinidad, concentración de cloro libre y concentración de cloro total, concentración de cloruros y concentración de aluminio. En el presente capítulo se detallarán dichas variables.

2.1 TURBIDEZ

La turbidez es una característica óptica o propiedad de un líquido, que en términos generales describe la claridad u opacidad del líquido. La turbidez no tiene que ver con el color, sino que se relaciona más con la pérdida de transparencia debida al efecto de partículas en suspensión, material coloidal, o ambos. Una falta de turbidez resulta en la pureza ya que es, en parte, el efecto de estos diversos materiales en suspensión sobre la luz que atraviesa el líquido.

La turbidez es tanto mayor cuanto mayor es la contaminación del agua, por lo que es un indicador de interés en el control de la eficacia de los procesos de depuración. La medición de la turbidez se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las

mismas condiciones. La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de turbidez, o Nefelometric Turbidity Unit (NTU).

El instrumento usado para su medida es el nefelómetro o turbidímetro, que mide la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

2.2 SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

El término sólidos hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 μm (o más pequeños). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un efluente de varias formas. Aguas para el consumo humano, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Por esta razón, se ha establecido un límite de 500 mg/L de sólidos disueltos para el agua potable en los Estados Unidos. Los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas usadas.

El promedio de sólidos disueltos totales para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm (Livingston, 1963). En el caso de los lagos, los valores de sólidos disueltos presentan una gran variación.

De acuerdo con Rawson (1951) y Hooper (1951) las concentraciones de sólidos disueltos totales guardan una correlación positiva con la productividad en lagos. Al mismo tiempo los sólidos disueltos afectan la penetración de luz en la columna de agua y la absorción selectiva de los diferentes largos de onda que integran el espectro visible (refiérase a la unidad de Luz).

La determinación de sólidos disueltos totales se basa en filtrar un volumen de agua conocido (100 mL es un volumen conveniente para agua dulce, para ambientes hipersalinos se utilizan generalmente volúmenes de 25 mL) para luego evaporarlo a 105°C, hasta que alcance un peso constante. A continuación, se procede a pesar el residuo filtrable que permanece luego de la evaporación. Dicho valor representa la concentración de sólidos disueltos totales. En el caso de muestras de agua provenientes de ambientes salinos se puede determinar el contenido de sólidos filtrables inorgánicos y orgánicos quemando la muestra, luego de ser previamente filtrada y evaporada. Al quemar la muestra utilizando temperaturas entre 500 y 550°C queda sólo la ceniza inorgánica. La pérdida en peso de la muestra representa el contenido de materia orgánica.

Un método alternativo y más sencillo consiste en estimar los sólidos disueltos totales utilizando la medida de conductividad del agua. Se ha encontrado que existe una correlación directa entre conductividad y concentración de sólidos disueltos totales (TDS, por sus siglas en inglés) para cuerpos de agua dulce y salobres. Dicha correlación no se extiende a ambientes "hipersalinos" (salinidad > 5%), donde la conductividad es afectada por la composición específica de iones presentes en el agua. En dichos ambientes, aún cuando la salinidad de dos estaciones pudiera ser la misma, la conductividad puede ser significativamente diferente, dado que las diferentes especies iónicas presentan niveles de conductancia específica diferentes. Para los ambientes de agua dulce y salobres se puede utilizar la siguiente expresión:

$$Kc = T \quad (2.1)$$

donde:

K = Conductividad expresada en μS

T = Sólidos Disueltos Totales

c = Coeficiente de correlación (establecido a una temperatura estándar)

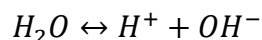
Algunos métodos de conductividad proveen la capacidad de medir Sólidos Disueltos Totales. En dichos instrumentos se utiliza un valor c calculado por el fabricante. [Metcalf y Eddy, 2000]

2.3 ALCALINIDAD

La alcalinidad de un agua residual o de abastecimiento está provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. De entre todos ellos los más comunes son el bicarbonato de calcio y el bicarbonato de magnesio. La alcalinidad ayuda a regular los cambios en pH producidos por la adición de ácidos. Normalmente el agua subterránea es alcalina y es importante su determinación en los casos en que se usa agua de pozo (para abaratar los costos de producción) en el influjo de aguas de proceso. La alcalinidad se determina por titulación con un ácido normalizado, expresándose los resultados en mg/L de carbonato de calcio (CaCO₃). (Metcalf y Eddy, Inc., 1996) La concentración de alcalinidad es importante controlarla porque puede provocar precipitados no deseables en el producto terminado.

2.4 PH

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. La concentración de ion hidrógeno presente en el agua está muy estrechamente relacionada con la cuantía en que se disocian las moléculas de agua. El agua se disocia en iones hidroxilo e hidrógeno del siguiente modo:



Aplicando la ley de acción de masas a esta ecuación:

$$\frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]} = K \quad (2.2)$$

Ecuación en la que los corchetes representan las concentraciones de los diferentes constituyentes en moles por litro. Puesto que la concentración del agua en un sistema

acuoso es esencialmente constante, se puede incorporar el valor de ésta a la constante de equilibrio K para obtener:

$$[H^+][OH^-] = K_w \quad (2.3)$$

Donde K_w se conoce con el nombre de constante de ionización o producto de ionización del agua, y su valor es, aproximadamente 1.10^{-14} a la temperatura de 25°C . La ecuación 2.4.2 puede utilizarse para el cálculo de la concentración de ion hidroxilo una vez conocida la concentración de ion hidrógeno y viceversa. La forma habitual de expresar la concentración de ion hidrógeno es como pH, que se define como el logaritmo decimal cambiado de signo de la concentración de ion hidrógeno.

$$pH = -\log_{10}[H^+] \quad (2.4)$$

Si empleamos una notación análoga para el pOH (logaritmo cambiado de signo de la concentración de ion hidroxilo) es fácil comprobar que a partir de la ecuación 2.4.2 y para agua a 25°C , se obtiene:

$$pH + pOH = 14 \quad (2.5)$$

El pH de los sistemas acuosos puede medirse convenientemente con un pH-metro. Para el mismo procedimiento de medición también se emplean soluciones indicadoras y papeles de pH que cambian de color a determinados valores del pH.

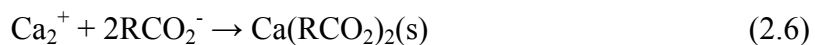
Un pH neutro tiene un valor de 7. Se busca que las aguas que se utilizan para consumo tengan un valor de pH que esté entre 6 y 8, siendo 7 el valor ideal. (Metcalf y Eddy, Inc., 1996)

2.5 DUREZA

El término dureza se refiere al contenido total de iones alcalinotérreos (Grupo 2) que hay en el agua. Como la concentración de Ca_2^+ y Mg_2^+ es, normalmente, mucho mayor que la del resto de iones alcalinotérreos, la dureza es prácticamente igual a la suma de las concentraciones de estos dos iones. La dureza, por lo general, se expresa como el número equivalente de miligramos de carbonato de calcio (CaCO_3) por litro. Es decir, si la concentración total de Ca_2^+ y Mg_2^+ es 1 mM, se dice que la dureza es 100 mg/L de CaCO_3 (= 1 mM de CaCO_3). Un agua de dureza inferior a 60 mg/L de CaCO_3 se considera blanda. Si la dureza es superior a 270 mg/L de CaCO_3 , el agua se considera dura. La dureza específica indica la concentración individual de cada ión alcalinotérreo.

Conocer la dureza total del agua es importante tanto en el sector privado como en el industrial porque:

1. El agua dura reacciona con el jabón formando grumos insolubles:



Jabón Precipitado

El Ca_2^+ y el Mg_2^+ pueden consumir una cantidad importante del jabón que se utiliza en limpieza.

2. El agua dura deja depósitos sólidos o costras en las tuberías cuando se evapora. El calor convierte los bicarbonatos solubles en carbonatos (por pérdida de CO_2) y se forma un precipitado de CaCO_3 que puede llegar a obstruir las tuberías de una caldera:



La fracción de dureza a causa del $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2(\text{aq})$ se denomina dureza temporal porque este calcio se pierde al calentar por precipitación de CaCO_3 . La dureza debida a otras sales, sobre todo CaSO_4 disuelto, se denomina dureza permanente porque no se elimina por calefacción.

3. El agua dura es beneficiosa en agua de riego porque los iones alcalinotérreos tienden a flocular (formar agregados) con las partículas coloidales del suelo y, como consecuencia, aumenta la permeabilidad del suelo al agua.
4. El agua blanda ataca al hormigón y a otros derivados del cemento.

2.5.1 FUNDAMENTO CIENTÍFICO DE LA MEDICIÓN DE DUREZA

Para medir la dureza total, en primer lugar, se trata la muestra con ácido ascórbico o con hidroxilamina para reducir el Fe^{3+} a Fe^{2+} , y con cianuro para enmascarar el Fe^{2+} , el Cu^{2+} y otros iones metálicos minoritarios. A continuación, se lleva a cabo una valoración complexométrica con ácido etilendiaminotetraacético (AEDT), en medio amoniacal tamponado a pH 10, en presencia de una mezcla de indicadores (negro de Eriocromo T y rojo de metilo):

1. Al adicionar el negro de Eriocromo T (NET) a la muestra de agua se forman complejos de color rojo, de los cuales el más estable es el de Mg:

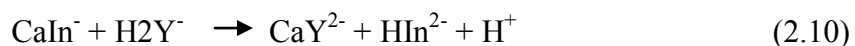


Rojo

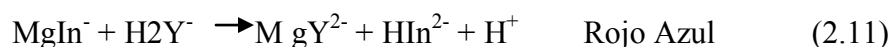


Rojo

2. Al valorar con AEDT (H_2Y^-), el agente complejante destruye en primer lugar el complejo de Ca:



3. Una vez destruido el complejo de Ca, la adición de más AEDT destruye el complejo de Mg:



Cuando el indicador queda libre, la disolución adquiere su color característico al pH de trabajo, azul.

El cambio de color rojo-azul del indicador utilizado no es tan brusco como sería de desear. Por ello, es recomendable añadir a la disolución un colorante inerte, cuyo color cambia su apariencia antes y después del punto de equivalencia. Añadiendo rojo de metilo (viraje de rojo en medio ácido a amarillo en medio básico) se produce un color rojo antes del punto final y un color verde después del mismo.

2.6 CONCENTRACIÓN DE CLORO LIBRE Y CLORO TOTAL

La presencia de cloro residual en el agua potable es indicativo de dos aspectos fundamentales que cualquier operador y/o ingeniero de una Planta de tratamiento de agua debe dominar:

1. Que una suficiente cantidad de cloro fue añadida inicialmente al agua para inactivar las bacterias y algunos virus causantes de enfermedades diarreicas.
2. Que el agua se encuentra protegida de posibles recontaminaciones microbiológicas durante su almacenamiento o transferencia.

La presencia de *cloro residual* en el agua es, por lo tanto, correlacionada con la ausencia de micro-organismos patógenos causantes de enfermedades, de tal manera que representa una medida de la potabilidad de aquélla.

2.6.1 CONCEPTOS Y DEFINICIONES

Cuando el cloro es añadido al agua, ya sea en la forma de hipoclorito de calcio o sodio, o como cloro elemental (gas licuado), lejía de sosa o como isocianurato (cloro orgánico), se

desarrollan una serie de procesos o combinaciones químicas que se describen a continuación.

Una cierta cantidad de cloro reacciona primeramente con el material orgánico y los metales presentes en el agua formando complejos químicos que como tales no aportan a la desinfección de ésta. Este primer aspecto es lo que se conoce normalmente como “*demanda de cloro del agua*”. La cantidad de cloro remanente, después de que la demanda de cloro fue satisfecha, se contabiliza como “*cloro total*” y puede ser determinada químicamente, de manera directa, mediante el uso de un indicador químico.

A su vez, el cloro total se subdivide en: 1) la cantidad de cloro que va a reaccionar con iones nitra-tos y que, por lo tanto, no representa propiamente una cantidad disponible para desinfección; se la conoce como “*cloro combinado*”; y: 2) el cloro residual o “*cloro libre*” que representa la concentración de cloro disponible para inactivar, como se ha dicho, microorganismos causantes de enfermedades.

Apreciemos el siguiente ejemplo : Supongamos una muestra de agua desmineralizada y filtrada por carbón activado de forma que sea absolutamente limpia, exenta de contenido en elementos metálicos y material orgánico. Por definición, la “*demanda de cloro*” será igual a cero, así como ninguna cantidad de cloro será necesaria como “*cloro combinado*”. Por lo tanto, la concentración de “*cloro residual*” será igual a la concentración de cloro que inicialmente se añada a esta muestra de agua.

De manera diferente, en el caso de las aguas naturales, especialmente las relacionadas con los suministros de aguas superficiales tales como ríos o lagos, el material orgánico ejercerá una demanda de cloro y los nitratos y fosfatos formarán cloro combinado. Así, la concentración de cloro libre o residual será menor que la concentración de cloro añadida inicialmente y que la cantidad de cloro total detectado químicamente.

2.6.1.1 DEMANDA DE CLORO

Reacciones que se generan con el material orgánico, metales y otros compuestos presentes en el agua

2.6.1.2 CLORO TOTAL

Concentración de cloro remanente después del consumo por la demanda de cloro del agua. Se determina por colorimetría.

2.6.1.3 CLORO COMBINADO

Concentración de cloro combinado o reaccionado con nitrógeno presente inicialmente en el agua. Cantidad no disponible para desinfección

2.6.1.4 CLORO LIBRE O RESIDUAL

Concentración de cloro disponible para desinfección.

2.6.2 ¿PORQUÉ HACEMOS DETERMINACIONES DE CLORO LIBRE O RESIDUAL EN EL AGUA POTABLE?

El Sistema Internacional de Agua Segura, SWS, recomienda examinar constantemente el cloro residual por las siguientes dos circunstancias:

- a. Para monitorear procedimientos de dosificación de cloro en las mismas Plantas de tratamiento químico del agua; y:
- b. Para evaluar los sistemas de transferencia y/o almacenamiento de aguas ya sea en domicilios o en Plantas o fábricas de alimentos.

La finalidad del examen químico de cloro libre o residual en las Plantas de tratamiento de agua es determinar cuánto cloro, en cualesquiera de sus diferentes presentaciones comerciales, debe ser añadido al agua que será usada como bebida de

consumo humano o como material de limpieza en Plantas o Fábricas de Alimentos. En el caso de su uso por humanos, el control tiene que ver con el mantenimiento del residual de acuerdo a las normas fijadas internacionalmente. Y si es el caso de agua que se ha de guardar en los hogares, para verificar que se cumple la relación “*concentración de cloro residual versus tiempo promedio de almacenamiento (típicamente de 4-24 horas)*”.

Es muy importante reconocer que la finalidad anterior difiere de la meta acerca de la infraestructura de bombeo y sistemas de transferencia del agua en ciudades y aún en Plantas fabriles, para lo cual, la Organización Mundial de la Salud (año 1993) definió cuantitativamente como recomendable: “una concentración de cloro residual o libre igual o mayor a 0.5 ppm después de 30 minutos de contacto a un pH menor o igual a 8.0”. Esta definición resulta apropiada únicamente cuando los usuarios beben el líquido directamente de la línea de flujo. Un nivel de cloro libre o residual de 0.5 ppm será suficiente para mantener la calidad del agua a través de la red de distribución, pero es insuficiente, por ejemplo, para mantener la calidad del agua cuando ésta es almacenada en el hogar o fábrica por 24 horas o más. Así, el sistema de regulación SWS recomienda que nuestro procedimiento de control de la dosificación de cloro considere las siguientes pautas:

1. 30 minutos después de la dosificación de cloro, la concentración de cloro residual o libre en el agua tratada no debe ser superior a 2 ppm (esto asegura que el agua no tendrá condiciones organolépticas de sabor y olor indeseables).
2. 24 horas después de la adición de cloro, en sistemas de almacenamiento, la concentración de cloro residual o libre debe ser de 0.2 ppm mínimo, para asegurar que el agua se encuentra limpia, microbiológicamente hablando.

2.6.3 ¿RESULTA ÚTIL DETERMINAR LA DEMANDA DE CLORO DEL AGUA ?

En una Planta de clarificación y potabilización del agua, sin duda. Específicamente, la demanda inicial de cloro da una idea concreta acerca del nivel de contaminación microbiológica, metálica y de aniones, que permanecen en el agua aún después de los

procesos de coagulación y filtración, así como permite al ingeniero de Planta comparar costos de tratamiento químico globales en función del consumo de cloro que es necesario para alcanzar condiciones de potabilidad del agua. (Induquim Gonveg Cia. Ltda.)

2.7 CONCENTRACIÓN DE CLORUROS

Los cloruros son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje.

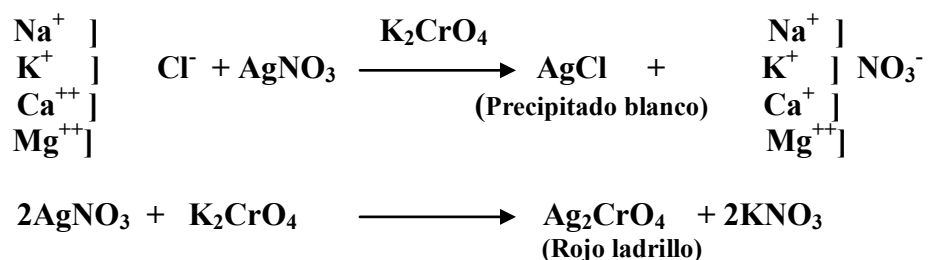
El sabor salado del agua, producido por los cloruros, es variable y dependiente de la composición química del agua, cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio, el sabor salado es detectable a una concentración de 250 ppm de NaCl.

Cuando el cloruro está presente como una sal de calcio o de magnesio, el típico sabor salado de los cloruros puede estar ausente aún a concentraciones de 1000 ppm.

El cloruro es esencial en la dieta y pasa a través del sistema digestivo, inalterado. Un alto contenido de cloruros en el agua para uso industrial, puede causar corrosión en las tuberías metálicas y en las estructuras.

La máxima concentración permisible de cloruros en el agua potable es de 250 ppm, este valor se estableció más por razones de sabor, que por razones sanitarias.

Para analizar los cloruros, la muestra, a un pH neutro o ligeramente alcalino, se titula con nitrato de plata (AgNO_3), usando como indicador Cromato de potasio (K_2CrO_4). El cloruro de plata AgCl , precipita cuantitativamente primero, al terminarse los cloruros, el AgNO_3 reacciona con el K_2CrO_4 formando un precipitado rojo ladrillo de Ag_2CrO_4 .



El pH óptimo para llevar a cabo el análisis de cloruros es de 7.0 a 8.3 , ya que cuando tenemos valores de pH mayores a 8.3, el ión Ag^+ precipita en forma de $\text{Ag}(\text{OH})$; cuando la muestra tiene un pH menor que 7.0, el Cromato de potasio se oxida a dicromato, afectando el viraje del indicador.

Interferencias: Las interferencias más comunes son el: color y el pH.

El color debe ser eliminado por medio de un tratamiento de la muestra con carbón activado.

El pH se ajusta en el intervalo de 7.0 a 8.3

Si existen bromuros y yoduros, éstos son titulados junto con los cloruros ocasionando resultados falsos. (American Society for testing and Materials., 1994)

CAPÍTULO 3

SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DEL CASO EN ESTUDIO

El sistema de tratamiento de aguas que se estudia en este trabajo consiste en una serie de estaciones que convierten una mezcla de agua de pozo y agua municipal en agua completamente pura para ser utilizada en la fabricación de jugos pre-ensados que son vendidos a nivel nacional e internacional. En la figura 3.1 se presenta el diagrama del sistema de tratamiento de aguas de la fábrica:

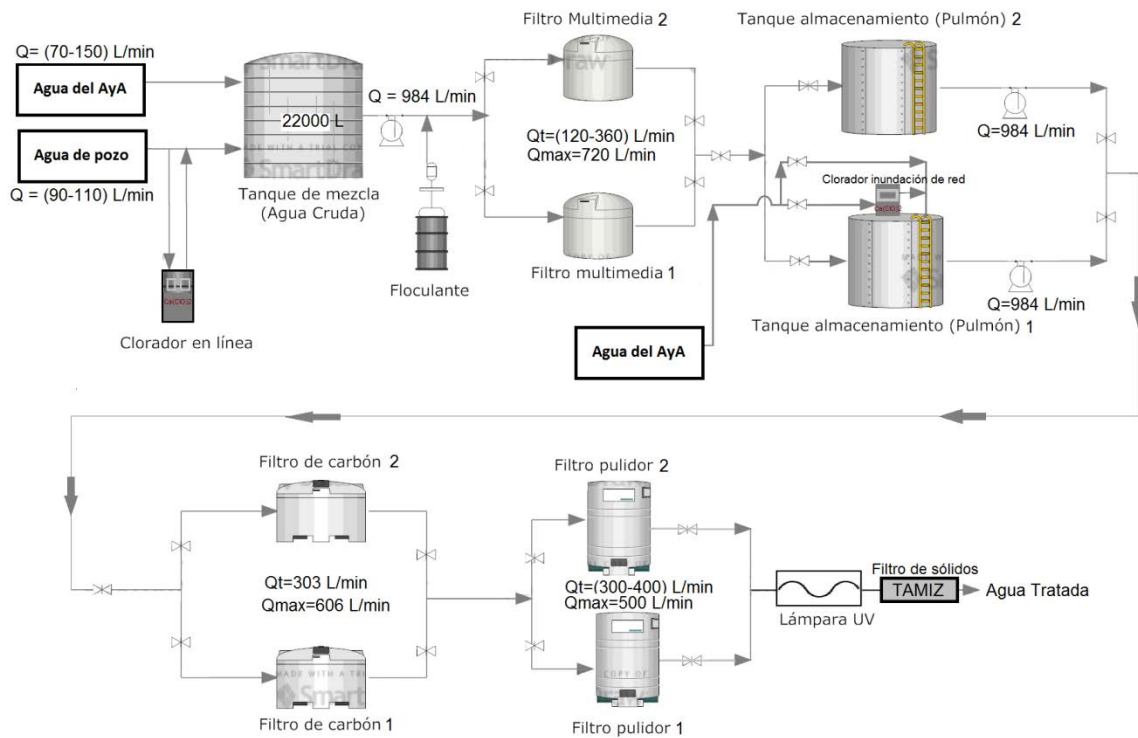


Figura 3.1 Diagrama del sistema de tratamiento de aguas de proceso

A continuación se detalla el proceso. El sistema de tratamiento del agua para ser utilizada en la fabricación de bebidas pre-ensadas, consiste en un tren de estaciones multibarrera que principalmente mediante métodos fisicoquímicos van depurando el agua hasta convertirla en el producto que piden las especificaciones internas de la empresa. En el principio de la línea de producción se extrae agua de pozo (a un flujo de entre 90 L/min y 110 L/min), y se mezcla con agua del AyA (a un flujo de entre 70 L/min y 150L/min), en

un tanque (tanque de agua cruda) para obtener una mezcla de aproximadamente 50% agua del AyA y 50% agua de pozo. Antes de la entrada al tanque, el agua de pozo pasa por un clorador en línea, que le agrega una concentración de cloro tal que el cloro libre en el agua de mezcla nunca sea menor a 1 ppm. Ambas entradas son por arriba del tanque lo que garantiza una turbulencia suficiente para lograr una mezcla suficientemente homogénea de las dos fuentes de agua. Se cuenta con otro sistema de cloración que fue diseñado para realizar el saneo de toda la red de tuberías, pero solo añade cloro al tanque de almacenamiento de agua clorada número uno, y en caso de emergencia no podría utilizarse como clorador alternativo puesto que no desinfecta el tanque de mezcla ni el tanque de almacenamiento de agua clorada número dos.

Del tanque de mezcla se envía el agua hacia los dos filtros multimedia donde principalmente se le baja la turbidez al agua. Antes de la entrada a los filtros multimedia se le agrega en línea un floculante (policloruro de aluminio), mediante una bomba dosificadora que inyecta el agente coagulante en la tubería y luego es mezclada por un mezclador estático instalado a continuación del punto de entrada de floculante. Este paso es para ayudar a la formación de flóculos que posteriormente quedarán atrapados en las capas de dichos filtros. Cuando se activan las bombas que inyectan agua a los filtros multimedia se activa la inyección de floculante, pero no se regula la dosificación según el flujo.

De los filtros multimedia el recorrido sigue hacia los tanques de almacenamiento o tanques pulmón (dos tanques de 22000 L). En los tanques pulmón la concentración de cloro libre nunca debe ser menor a 1 ppm según requerimientos del sistema integral de calidad. De aquí se succiona el agua cuando se requiere agua para el proceso y se hace pasar por dos filtros de carbón que remueven totalmente el cloro que había sido agregado en las etapas previas. El cloro total a la salida de los filtros de carbón debe ser de cero partes por millón (0 ppm). Este parámetro siempre se cumple con el tamaño actual de los filtros de carbón y el programa de regeneración del carbón activado que se hace cada semana, cuando empieza a dar indicios de que no están siendo capaces de remover la carga de cloro se cambia el empaque de carbón activado (esto sucede aproximadamente cada 5 años). De los filtros de

carbón el agua sale hacia dos filtros pulidores que eliminan algún posible residuo de carbón proveniente de la etapa anterior de filtración en las torres mencionadas. Luego en la etapa final del proceso el agua pasa por una lámpara de luz ultravioleta que elimina bacterias según se explicó en el capítulo 1 de este trabajo. Como medida de seguridad hay un filtro para retención de sólidos constituido por una malla o tamiz, colocado en la tubería de salida de la lámpara UV, con el fin de retener cualquier tipo de sólido proveniente de la ruptura de algún elemento de la lámpara UV (cuarzos, lámpara, entre otros).

Para garantizar la efectividad del proceso y la calidad del agua utilizada en todo momento en la preparación de bebidas, se tiene un sistema de monitoreo y aseguramiento de la calidad que es realizado por el departamento de calidad de la empresa, el cual cuenta con un laboratorio debidamente equipado. Dicho sistema consiste en la realización de muestreos y llenado de registros cada cuatro horas de cuatro puntos clave (agua tratada, agua clorada, agua cruda y agua pulmón); y cada veinticuatro horas de un muestreo más amplio que incluye cinco puntos clave (agua tratada, agua clorada, agua pulmón, agua cruda y agua de pozo).

CAPÍTULO 4

INSTRUCTIVO PARA OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE PROCESO

4.1 PROPÓSITO

Describir las etapas del sistema multi barrera de tratamiento de agua cruda (compuesta por agua municipal y agua de pozo) que será utilizada en la manufactura de bebidas no carbonatadas, néctares y jugos con el fin de garantizar el cumplimiento de las especificaciones de la compañía dueña de la marca y el cumplimiento de la legislación nacional aplicable.

4.2 ALCANCE

Este documento aplica para la operación de manufactura de bebidas para la compañía madre (dueña de la marca) por la envasadora en su división de bebidas no carbonatadas.

En la figura 4.1 se muestra el diagrama de flujo del proceso de tratamiento del agua para ser utilizada en el proceso de producción de bebidas.

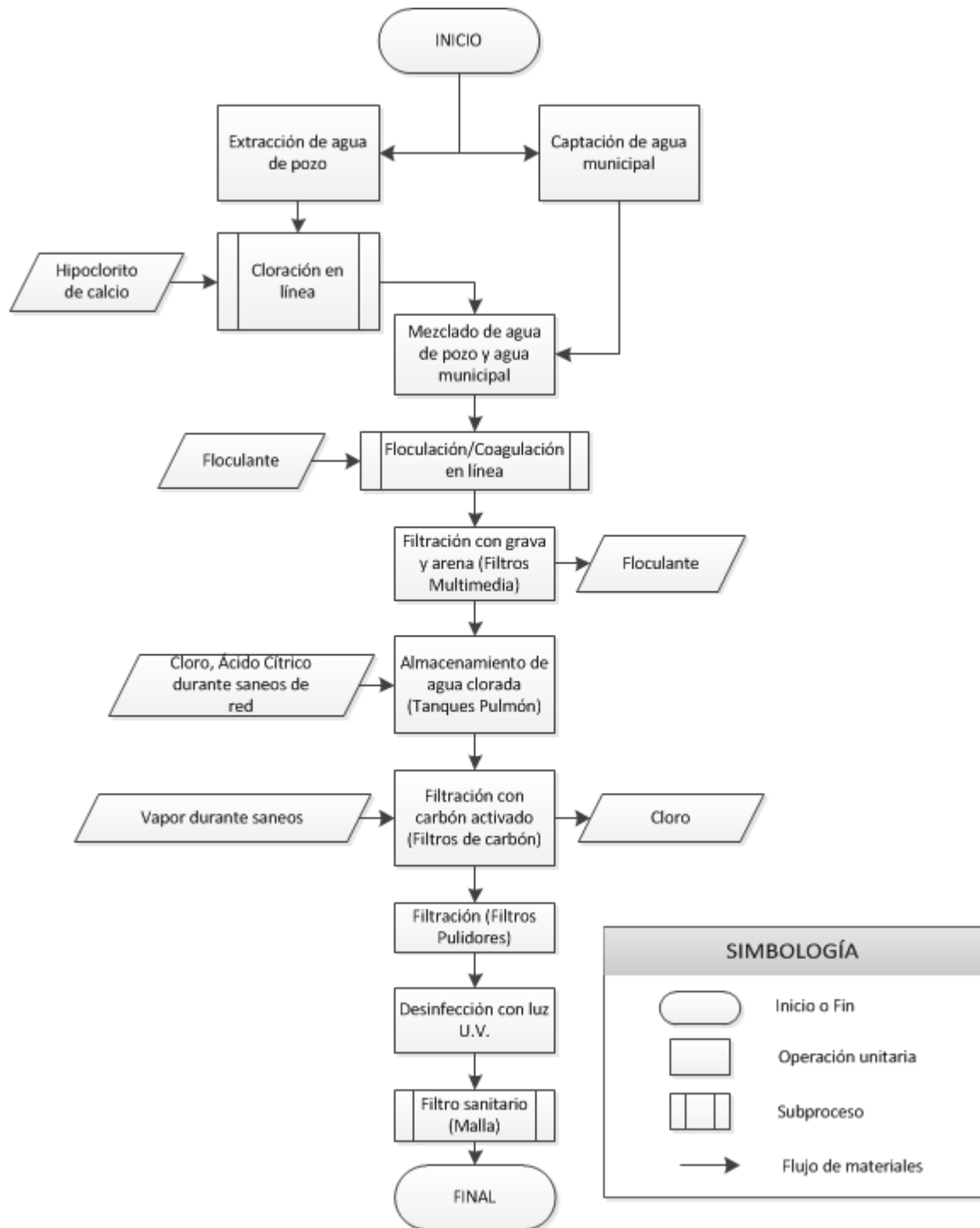


Figura 4.1 Diagrama de flujo del sistema de tratamiento de aguas.

4.3 DOCUMENTOS RELACIONADOS

La compañía cuenta con un sistema interno de consulta de documentación en línea, donde se puede consultar por palabra clave o por código de documento. En la tabla 4.1 se resumen los documentos relacionados con el proceso de aguas de proceso, para su consulta en caso de requerirlo.

Tabla 4.1 Documentos pertinentes al sistema de tratamiento de aguas de proceso y registros relacionados.

Descripción
Programa maestro de limpieza de tratamiento de aguas
Control operacional diario para el floculante y el clorador.
Control operacional diario del Sistema de Tratamiento del Agua.
Control de Saneamiento de filtros de carbón.
Control de saneamiento de filtros pulidores.
Control de retrolavados de los Filtros Multimedia.
Control de retrolavados de los Filtros de Carbón.
Saneamiento de Tanques de Almacenamiento de Agua Clorada.
Saneamiento de Tanques de Cloración.
Control de saneamiento Red de distribución.
Control de niveles de cloro en saneamientos de Red de Distribución.
Control de Cambio de los Filtros Pulidores.
Monitoreo y verificación de Filtros de Proceso de Tratamiento de Aguas
Control de Tratamiento de Aguas de Proceso
Tabla de control tratamiento de aguas NCB
Matriz de medios filtrantes NCB

4.4 DEFINICIONES

En la siguiente tabla 4.2 se presentan las definiciones de los términos utilizados para describir equipos, procedimientos y puntos de muestreo del sistema de tratamiento de aguas de proceso.

Tabla 4.2 Definiciones utilizadas para referenciar equipos, procedimientos y puntos de muestreo.

Término	Definición
Agua Municipal	Agua suministrada por Acueductos y Alcantarillados (AyA).
Agua de pozo	Agua extraída de los mantos acuíferos ubicados en el subsuelo de las instalaciones.
Agua Cruda	Agua antes de que entre al sistema de tratamiento, incluyen sistemas de pre-tratamiento, compuesta por la combinación de agua de AyA y agua de pozo.
Agua Tratada	Agua que ha pasado a través de un sistema de tratamiento multibarrera y que cumple con todas las especificaciones de calidad e inocuidad para ser utilizada en cualquiera de los procesos de manufactura de bebidas.
Cloración en línea	El sistema de cloración en línea obtiene un flujo de agua de la línea principal de agua de pozo e introduce una porción de este en el clorador, donde las tabletas de desinfectante (hipoclorito de calcio) se erosionan a una velocidad controlada y de esta forma el agua es clorada. Una bomba reinyecta la solución tratada con cloro dentro de la línea principal de agua de pozo, la cual se deposita en el tanque de cloración junto con el agua municipal, aquí se mezclan con el fin de lograr la desinfección de ambas fuentes.
Coagulación - Floculación	Procedimiento que se utiliza para la eliminación de las partículas coloidales, es decir, para poder sedimentar partículas que están en suspensión y dan turbidez al agua, y así poder posteriormente eliminarlas por filtración.
Filtración multimedia	Filtros construidos por capas de grava de diferente tamaño, retiene los flóculos provenientes del proceso de coagulación/ floculación, así como restos de partículas coloidales que le dan turbidez al agua.
Retro lavado	Inversión del flujo de agua a presión, para eliminar sólidos retenidos, biomasa excesiva, burbujas de aire y evitar la cementación o petrificación de la cama o medio filtrante.
Enjuague rápido	Consiste en la aplicación de un flujo de agua similar al utilizado en el retro lavado, pero en la dirección de flujo de trabajo, para retirar cualquier impureza presente aún en el interior del filtro.
Enjuague lento	Se refiere a la aplicación de un flujo de agua menor, que el utilizado en un enjuague para permitir la adecuada estratificación del medio filtrante, esto es que las partículas de mayor tamaño se depositen en el fondo y las de menor tamaño queden en la superficie.
Filtros de carbón activado	Filtros constituidos por grava y carbón activado, donde se eliminan los residuos de cloro libre que quedan en el agua después del proceso de cloración, así como la remoción de olores y sabores extraños.
Filtros pulidores	Los filtros pulidores son un tipo de cartucho de polipropileno de alta pureza, por donde pasa el agua proveniente de los filtros de carbón, con el fin de eliminar cualquier remanente de carbón (finos) presente en el agua.
Unidad de Luz Ultravioleta	Sistema constituido por cuatro luces fluorescentes de ultravioleta, capaz de eliminar microorganismos presentes en el agua. Constituye un mecanismo complementario de desinfección.
Filtro para retención de sólidos	Constituido por una malla o tamiz, colocado en la tubería de salida de la lámpara UV, con el fin de retener cualquier tipo de sólido proveniente de la ruptura de algún elemento de la lámpara UV (cuarzos, lámpara, entre otros).

4.5 RESPONSABILIDADES

4.5.1 RESPONSABILIDADES DEL COORDINADOR DE ENVASADO ASÉPTICO

- 4.5.1.1 Conocer el proceso y la documentación relacionada con el mismo.
- 4.5.1.2 Velar por el correcto llenado de registros.
- 4.5.1.3 Aplicar las acciones correctivas cuando se presente alguna anomalía en el proceso.
- 4.5.1.4 Informar al Superintendente de planta sobre cualquier situación especial que se presente en el proceso.
- 4.5.1.5 Coordinar con otros departamentos cuando se requiera la ayuda de los mismos.
- 4.5.1.6 Verificar el cumplimiento de los Procedimientos de Buenas Prácticas de Manufactura en el área de tratamiento de aguas de proceso.

4.5.2 RESPONSABILIDADES DEL OPERADOR ESPECIALIZADO

- 4.5.2.1 Conocer el proceso y la documentación relacionada con el mismo.
- 4.5.2.2 Completar los registros del área.
- 4.5.2.3 Aplicar las tareas de operación y de limpieza y saneamiento requeridas en el sistema de tratamiento de aguas de proceso descritas en los documentos *Programa maestro de limpieza de tratamiento de aguas* y el presente instructivo.
- 4.5.2.4 Informar al Jefe Inmediato sobre cualquier anomalía o situación especial que se presente en el proceso.
- 4.5.2.5 Aplicar los Procedimientos de Buenas Prácticas de Manufactura, en el área.

4.5.3 RESPONSABILIDADES DEL AUDITOR DE CALIDAD

- 4.5.3.1 Monitorear y aplicar las pruebas de control de calidad correspondientes a las diferentes etapas del proceso de tratamiento del agua multibarrera.

- 4.5.3.2** Informar al Coordinador del proceso sobre cualquier anomalía encontrada luego de realizadas las pruebas de calidad correspondientes.
- 4.5.3.3** Autorizar la utilización del agua luego de haber recibido el tratamiento que se especifica en este instructivo, y cumpla las especificaciones de calidad establecidas por la compañía.
- 4.5.3.4** Muestrear el agua cruda y realizar un análisis completo después de cualquier interrupción del abasto, alteración de la calidad del agua o desastre natural que pudiera afectar la efectividad del sistema de tratamiento y reportar los resultados al jefe inmediato.
- 4.5.3.5** Aplicar los Procedimientos de Buenas Prácticas de Manufactura, en el área.

4.6 MATERIALES

Materia prima:

1. Agua Municipal
2. Agua de pozo

Ayudas de proceso:

1. Floculante
2. Desinfectante
3. Agente acidificante

Medios filtrantes:

1. Grava (1/8 x 1/16).
2. Garnet (8/12, 30/40), densidad (130-140) Lbs/ft³
3. Arena sílice malla 40
4. Antracita
5. Carbón activado granular

6. Cartuchos filtros pulidores polipropileno grado alimenticio; de 3µm nominales equivalentes a 20 µm absolutas.
7. Filtro sanitario inoxidable 304

4.7 EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE MEDICION

4.7.1 COMPONENTES PRINCIPALES

- Tanque de almacenamiento de agua cruda de 22000 L (polietileno de alta densidad).
- Dos bombas de 15 hp para envío de agua cruda a filtros multimedia.
- Bomba dosificadora de floculante, de motor con capacidad de 20 L/h, 4 bar.
- Unidad de cloración en línea Accu-tab®. Especificado en manual del proveedor.
- Unidad de cloración Accu-tab® para inundación de red. Especificado en manual del proveedor
- Mezclador estático tubular para aplicación de polímero. Insertado en la tubería
- Dos filtros multimedia de acero al carbón de 66 in x 60 in, 86 ft³ cada uno.
- Cuatro medidores de flujo para: agua de pozo, agua municipal, agua que pasa por filtros multimedia y agua que pasa por filtros de carbón.
- Dos tanques de almacenamiento de agua filtrada y clorada, con capacidad de 45000 L en total (22500 L por tanque). De hierro forjado con protección epóxica interna.
- Dos bombas de 15 hp para envío de agua clorada y filtrada (agua almacenada en tanques pulmón o tanques de almacenamiento de agua clorada) a filtros de carbón activado.
- Dos filtros de carbón, de acero inoxidable de 96 in x 54 in, 80 ft³ cada uno.
- Unidad de Luz Ultravioleta de 4 in de diámetro
- Filtros pulidores de 16 elementos (2.5 in x10 in x 3 micras cada uno).
- Filtro para retención de sólidos (20 mesh).
- Red de distribución sanitaria de acero inoxidable.
- Pantalla para control visual de niveles en tanques de almacenamiento.

- Bomba pozo
- Manómetros
- Termómetros
- Medidor de concentración de cloro
- Controladores de nivel (electroválvulas y boyas)

4.7.1.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA

- Cisterna de polietileno con volumen total de 22000 L.
- Dos entradas bridadas de 3 in, salida bridada de 4 in.
- Entrada de agua municipal de aproximadamente (70-150) L/min.
- Entrada de agua de pozo de aproximadamente (90-110) L/min.
- Sistema de control de nivel para cerrar electroválvula de agua municipal y parar bombas de pozos cuando el tanque está lleno y parar bombas multimedia cuando el tanque está con bajo nivel.

4.7.1.2 CLORADOR EN LÍNEA (2)

- Sistema clorador marca Accu-Tab modelo 3012.
- Cilindro de polipropileno blanco de 9 in de diámetro y 26 in de altura;
- Conexión de entrada $\frac{3}{4}$ in FPT
- Conexión de salida de 1 $\frac{1}{2}$ in FPT.
- Indicador de caudal (rotámetro)
- Bomba multietapas (tipo booster).
- Estructura de aluminio.
- Equipo de control

4.7.1.3 BOMBAS MULTIMEDIA

- Potencia: 15 hp cada una.
- Flujo máximo: 984 L/min.
- Presión: 3.5 bar, cada una según curva.
- Controladas por variadores de frecuencia según presión de operación.
- Entrada 3 in y salida 2 in.

4.7.1.4 BOMBA PARA APLICACIÓN DE FLOCULANTE

- Flujo: 25 mL/min.
- Entrada y salida de 3/8 in.
- Tanque de almacenamiento de 120 L.
- Potencia del mezclador: 1/20 hp.
- Controlada por señal de 4-20 mA procedente de medidor de flujo según flujo en línea de entrada de agua a filtros multimedia.
- Punto de inyección en mezclador estático de 3 in antes de entrar a filtros multimedia.

4.7.1.5 MEZCLADOR ESTÁTICO

- Diámetro tubería: 3 in PVC, cédula 80 bridada.
- Tres elementos de mezcla.
- Punto de inyección $\frac{3}{4}$ " NPT reducido a $\frac{1}{2}$ " NPT.

4.7.1.6 FILTROS MULTIMEDIA

- Material de construcción: Acero al carbón.
- Dimensiones: 66 in (1.68 m) diámetro, 60 in (1.52 m) altura de cilindro.

- Medio filtrante: 102 ft³ totales de media filtrante en cada filtro (de abajo para arriba):
 - Base de 16 ft³ de grava (1/8 x 1/16).
 - Garnet (8/12) 8 ft³
 - Garnet (30/40) 17 ft³
 - Arena sílice 28 ft³
 - Antracita 33 ft³
- Flujo máximo permitido: 360 L/min (6 L/s) por filtro (4 gpm/ft² de área de filtro).
- Flujo máximo permitido usando los dos filtros: 720 L/min (12 L/s).
- Flujo recomendado cuando no existe urgencia de llenar tanques de almacenamiento: (120 – 360) L/min, (2-6) L/s usando los dos filtros en conjunto.
- Flujo de retro lavado y enjuague rápido: (700-900) L/min.
- Flujo de enjuague lento: (400-600) L/min.

4.7.1.7 MEDIDORES DE FLUJO

- Sensores tipo “paddlewheel” (paleta) montados en línea.
- Lectura remota digital individual para cada medidor, programable con lectura de flujo actual, flujo total, salida en mA y otros parámetros.
- Salida de (4-20) mA para controlar bombas dosificadoras.

4.7.1.8 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA FILTRADA

- Volumen total 45 000 L.
- Entrada de 3 in, dos salidas de 3 in, unidas a 4 in.
- Sistema de control de nivel para apagar bombas multimedia cuando el tanque está lleno y para detener las bombas carbón cuando el tanque está con bajo nivel.

4.7.1.9 BOMBAS DE FILTROS DE CARBÓN

- Potencia: 15 hp cada una.
- Flujo máximo: 984 L/min
- Presión: 3.5 bar cada una según curva.
- Controladas por variadores de frecuencia según presión de operación.
- Entrada 3 in, salida 2 in.

4.7.1.10 FILTROS CARBÓN

- Material de construcción: Acero inoxidable 304.
- Dimensiones: 54 in (1.37 m) diámetro, 96 in (2.44 m) altura de cilindro.
- Medio filtrante: 80 ft³ totales de medio filtrante en cada filtro (de abajo para arriba):
 - Base de 12 ft³ de grava 1/8 x 1/16.
 - Carbón activado: 80 ft³.
- Flujo máximo permitido: 303 L/min. (5 L/s) por filtro (1 gpm/ft³ de media).
- Flujo máximo permitido usando los dos filtros: 606 L/min.
- Flujo de retrolavado y enjuague rápido: (400-600) L/min.
- Flujo de enjuague lento: (300-400) L/min.

4.7.1.11 FILTROS PULIDORES

- Dimensiones de la carcasa: 13 in (0.33 m) diámetro, 37 in (0.94 m) altura de cilindro.
- Dimensiones del filtro: 8 cartuchos (CLR 3-29.25) por filtro.
- Entrada 2 in NPT, salida 2 in NPT.
- Flujo máximo (300-400) L/min por filtro.
- Flujo máximo usando los dos filtros: 500 L/min.
- Presión de salida 40 psi a 72 psi.

4.7.1.12 UNIDAD DE LUZ ULTRAVIOLETA

- Cámara de tratamiento.
- Dos salidas de toma de muestra.
- Puerto de drenaje.
- Cobertores de enchufes.
- Lámparas que emiten luz ultravioleta de 254 nm.
- Mangas de cuarzo que permiten el paso de radiación de las lámparas ultravioleta.
- Sistema de monitoreo integrado.
- Flujo máximo permitido 50 lbs a 70 lbs de presión.

4.7.1.13 MALLA PARA RETENCIÓN DE SÓLIDOS

- Filtro sanitario inoxidable 304, tipo clam 2", mesh 20.

4.7.1.14 RED DE DISTRIBUCIÓN

- Cabezal principal de tubería inoxidable tipo sanitario de 3 in.
- Ramales y bajadas de 2 in y 1.5 in de tubería inoxidable tipo sanitario.
- Válvulas de control tipo bola sanitarias en cada bajada.
- Válvula check sanitaria vertical.

4.7.1.15 BOMBA DE POZO

- Potencia: 3 hp
- Flujo máximo recomendado: 144 L/min
- Rpm: 3450

4.7.1.16 MANÓMETROS

- Rango de trabajo: 0 bar a 10 bar
- Presión máxima: 25 bar
- Salida de corriente: 4 a 20 mA

4.7.1.17 TERMÓMETROS

- Rango de trabajo: 0°C a 120 °C
- Rango de uso: 75°C a 100 °C

4.7.1.18 MEDIDOR DE CONCENTRACIÓN DE CLORO

- Rango de medición: 0 ppm a 20 ppm HOCl
- Desviación estándar: 0.7%
- Interferencias: el dióxido de cloro y el dióxido de ozono perturban la medición.

4.8 DESCRIPCIÓN DEL USO DEL AGUA EN LA PLANTA

4.8.1 APLICACIONES DEL AGUA

El agua en la planta de bebidas no carbonatadas es utilizada para la fabricación de jugos, néctares y bebidas no carbonatadas, operaciones de enfriamiento y generación de vapor, operaciones de limpieza y saneamiento. En la tabla 4.3 se detalla el tipo de agua y su respectiva aplicación.

Tabla 4.3 Usos de los diferentes tipos de agua utilizados en el proceso de la fábrica.

TIPO	USO
Agua tratada	El agua tratada es usada en la preparación de bebidas y en limpiezas (CIP)
Agua clorada	El agua clorada se utiliza en el sistema de enfriamiento, en caso de ser necesario.
Agua Municipal	El agua es utilizada en el comedor, servicios sanitarios, duchas, lavamanos, calderas y para riego.

4.8.2 DESCRIPCIÓN DE LAS FUENTES DE AGUA

La planta se abastece de agua tanto del proveedor de agua municipal, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), como de un pozo subterráneo localizado dentro de sus instalaciones.

El AyA obtiene el agua de una combinación de fuentes superficiales y subterráneas. Actualmente el río Reventazón abastece el 35% del agua de la Gran Área Metropolitana, y el restante 65% es abastecido por pozos y manantiales ubicados en las inmediaciones de la ciudad. (Hidromaq S.A., 2012).

En relación a la fuente subterránea se conoce que los acuíferos del Valle Central se constituyen por secuencias superpuestas de lavas y tobas, dando origen a los acuíferos Colima Inferior, Colima Superior y Barva. Estos acuíferos abastecen el 65% del agua potable de la Gran Área Metropolitana, a través de los manantiales de Puente de Mulas, Potrerillos y el campo de pozos La Valencia, administrado por Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) y por pozos privados registrados y clandestinos. (Hidromaq S.A., 2012)

4.8.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO TRATAMIENTO

4.8.3.1 ENCENDIDO Y APAGADO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE PROCESO

4.8.3.1.1 ARRANQUE DE SISTEMA

Operador especializado debe:

1. Revisar configuración de tuberías (verificar que las llaves de entrada de agua de Municipal y de pozo estén abiertas, además las llaves entrada y salida a los tanques pulmón).
2. Revisar el clorador (verificar cantidad de pastillas y encendido del sistema).
3. Encender el pozo y el sistema de tratamiento de agua de proceso en automático.
4. Encender la lámpara UV.

Auditor de calidad debe: Realizar las pruebas fisicoquímicas requeridas para autorizar el uso del agua.

4.8.3.1.2 APAGADO DEL SISTEMA

Operador especializado debe:

1. Apagar bomba del pozo, apagar clorador, y apagar lámpara UV.
2. Apagar el panel de control de sistema de tratamiento de agua de proceso.
3. Revisar que las instalaciones queden cerradas (todos los candados colocados y cerrados).

4.8.3.2 POZO

El proceso que se lleva a cabo en esta etapa es la extracción de agua subterránea (50 metros de profundidad) por medio de una bomba y un sistema de tuberías. El agua es

enviada al tanque de mezcla (tanque negro). El flujo de trabajo máximo recomendado es de 2.4 L/s.

4.8.3.2.1 OPERACIÓN

Para la puesta en marcha del pozo, se debe ir al panel del control ubicado a un costado de la bodega de producto terminado y mover el interruptor de acuerdo al modo de trabajo esto es en forma automática o manual, según se indica en el tablero.

Para apagar la entrada de agua pozo únicamente de debe dejar el interruptor en posición vertical (se indica la posición con el numero 0).

4.8.3.2.2 MANTENIMIENTO

El mantenimiento preventivo abarca únicamente la bomba que se encuentra en el pozo, y tiene una frecuencia anual establecida en el *Programa de Mantenimiento de Planta*, para más información dirigirse a este documento. Nota: en caso de presentarse un desastre natural o un evento que pueda alterar la calidad del agua y afectar la efectividad del sistema de tratamiento, el departamento de calidad debe realizar un análisis completo al agua de pozo (físico, químico y microbiológico) como medida de control y prevención.

4.8.3.3 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA CRUDA

4.8.3.3.1 DESCRIPCIÓN

Esta unidad permite la mezcla de las dos fuentes de agua utilizadas en el proceso, tiene una capacidad de 22000 L. También en esta unidad se inicia el proceso de desinfección del agua cruda, ya que el agua proveniente del pozo se clora previo a su entrada al tanque.

4.8.3.3.2 LLENADO DEL TANQUE

1. Verificar la posición de válvulas de entrada de agua de pozo y agua municipal.
2. Ajustar las válvulas para proporcionar la mezcla de ambas fuentes según medición de alcalinidad total. Verificar flujo de las dos fuentes utilizando los medidores de flujo en el panel a la par del centro de control de bombas.
3. La bomba del pozo se apagará y la electroválvula del agua municipal se cerrará automáticamente cuando el tanque alcanza su nivel máximo. Las bombas multimedia se apagarán automáticamente en caso de bajo nivel del tanque.

Nota: asegurarse que la tapa superior del tanque siempre quede en su posición cerrada y asegurada con candado.

4.8.3.3.3 LIMPIEZA DEL TANQUE

1. Aplicar frecuencia de limpieza establecida en el documento *Programa maestro de limpieza de tratamiento de aguas*.
2. Limpiar el tanque de almacenamiento, vaciándolo, removiendo la suciedad visible, limpiando las superficies con una solución débil de limpiador (detergente en una concentración de 5% a 15 %). Se puede utilizar un cepillo suave para llevar a cabo la limpieza.
3. Enjuagar el tanque hasta eliminar los restos de detergente.
4. Como último paso sanitizar el tanque con una solución de 5 a 20 ppm de desinfectante por 10 minutos mínimo.
5. Registre la limpieza realizada en el documento *Saneamiento de Tanques de Cloración*.

4.8.3.4 CLORADOR EN LÍNEA

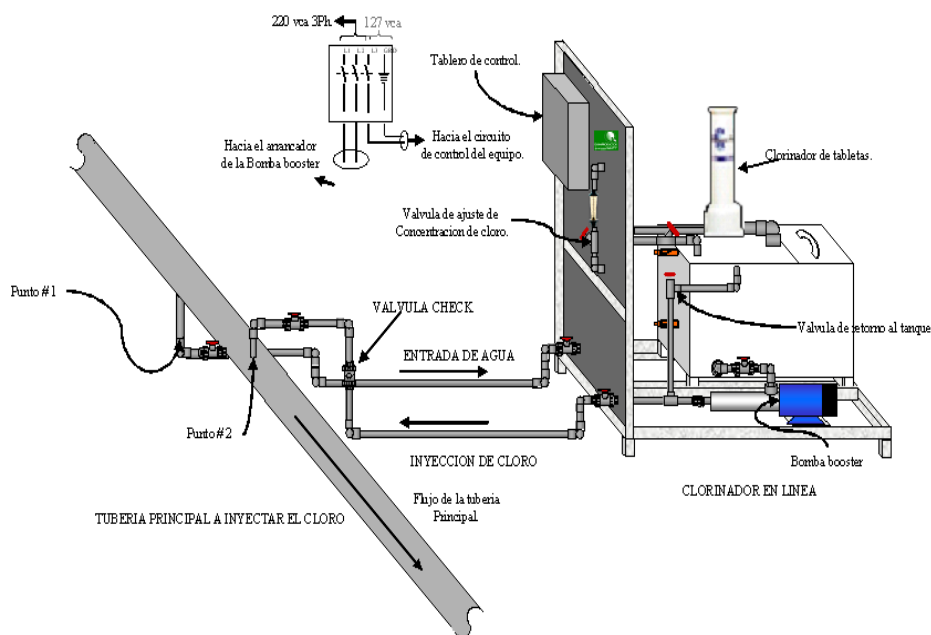


Figura 4.2 Sistema de cloración en línea.

4.8.3.4.1 DESCRIPCIÓN

El objetivo es facilitar la operación de la aplicación de cloro en las tuberías de agua para asegurar los estándares de concentración. Su misión es asegurar la concentración de cloro en las tuberías de agua a tratar, mediante la inyección de la solución de cloro a presión.

4.8.3.4.2 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

En la figura 4.3 se muestra este sistema de cloración en línea, el cual está formado por una estructura de aluminio en la cual está montado un tanque contenedor de la solución

de cloro, un clorador de tabletas y una bomba tipo booster como sus principales componentes.

Al encender el equipo, se detectará bajo nivel de la solución e inmediatamente se energizará la válvula solenoide para permitir el paso de agua al equipo. Esta agua se desplazará por el clorador de tabletas para preparar la solución de cloro.

Cuando se alcance el nivel de arranque de la bomba, está empezará a inyectar cloro en la tubería a presión y cuando se alcance el nivel máximo permitido en el tanque de preparación se desenergizará la válvula solenoide y dejará de llenar el tanque por la condición de la señal de nivel. A su vez cuando el nivel de la solución alcance el nivel bajo de relleno del contenedor, se activará la válvula solenoide para volver a llenar el tanque, esta operación se hará sin apagar la bomba de alta presión.

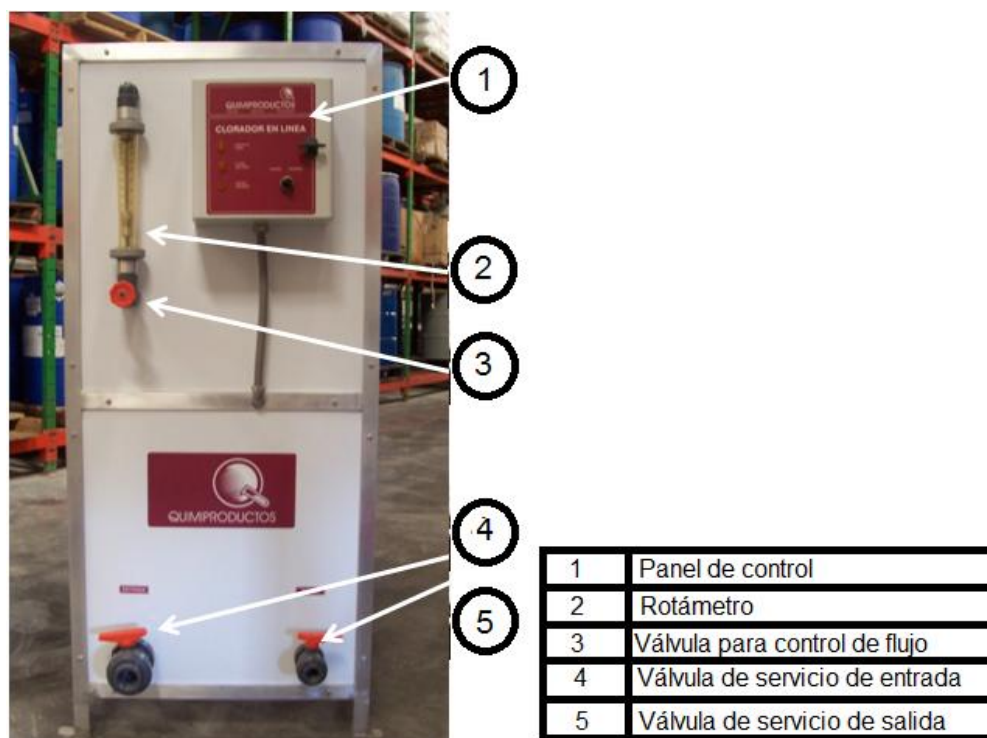


Figura 4.3 Clorador en línea.

4.8.3.4.3 OPERACIÓN DEL EQUIPO

- 1) Colocar en el clorador las tabletas de hipoclorito de calcio hasta el nivel adecuado (12 a 16 pastillas). Nota: Recuerde utilizar el EPP requerido (guantes de neopreno largos y mascarilla) para la carga de pastillas.
- 2) Abrir las válvulas de alimentación de agua y la válvula de inyección del equipo.
- 3) Abrir las válvulas de la tubería a inyectar.
- 4) Activar el interruptor térmico que se encuentra en el interior del gabinete de control.
- 5) Posicionar el selector del equipo de control en “Encendido”.
- 6) Inmediatamente se activará la válvula solenoide dejando pasar agua a través del rotámetro. Realizar ajustes en la válvula tipo “Y” y observando en el rotámetro el flujo que entra en el clorador para asegurar la concentración de cloro. Para asegurar una concentración de cloro mayor a 1 ppm, la lectura debe estar en el rango (10-15) L/min.
- 7) Abrir la válvula de entrada directa de agua hacia el tanque a la mitad.
- 8) Abrir la válvula de retorno de la bomba un poco para no forzar demasiado la bomba.
- 9) Si hay demasiada concentración (mayor a 6ppm de Cl_2 libre), disminuir el flujo que entra al clorador observando el rotámetro o abrir gradualmente la válvula de entrada directa de agua hacia el tanque.
- 10) Si falta concentración (igual o menor a 1ppm de Cl_2 libre) aumentar el flujo que entra al clorador observando el rotámetro. Si es necesario, cierre gradualmente la válvula de entrada de agua directa hacia el tanque o cierre la válvula de retorno de la bomba de alta presión.
- 11) Para deshabilitar el equipo, posicionar el selector en “Apagado”.
- 12) Cerrar las válvulas de alimentación de agua y la válvula de inyección del equipo así como también las válvulas de la tubería a inyectar.
- 13) Desactivar el interruptor térmico del interior del gabinete de control.

4.8.3.4.4 CORRECCIÓN DE FALLAS

En la tabla 4.4 se recopilan las fallas que más frecuentemente se podrían presentar en el clorador en línea y que se debe hacer para solventar el fallo.

Tabla 4.4 Tabla de consulta para corrección de fallas más frecuentes en el sistema de cloración.

FALLA	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN CORRECTIVA.
No enciende el equipo.	Falta de alimentación de voltaje.	Revise con gente de mantenimiento.
	Fusible de gabinete dañado.	Cambie fusible.
	Selector dañado.	Cambie selector.
	Falseo de cableado de alimentación.	Revise y reapriete el cableado en tablillas.
No hay flujo de agua en el equipo.	Válvula de bola cerrada en la entrada del equipo.	Abra válvula de la entrada al equipo.
	Falta de flujo en tubería principal.	Espere que haya flujo en tubería.
	Válvula solenoide desactivada o dañada.	Revise la válvula y de ser necesario, cámbiela.
	Válvula tipo “Y” Cerrada.	Abra la válvula tipo “Y”.
	Alto nivel en el contenedor.	Espere a que se vacíe hasta el nivel bajo.
	Falseo de cableado.	Revise y reapriete el cableado en tablillas.
No dosifica cloro.	Falta de nivel de la solución.	Espere a que recupere nivel.
	Válvula de salida del tanque cerrada.	Abra la válvula de salida del tanque.
	Fusible dañado de la bomba booster.	Revise el fusible y cambie.
	Arrancador de la bomba booster, botado.	Reestablecer arrancador de la bomba.
	No hay tabletas de hipoclorito de calcio en clorador	Introduzca tabletas de hipoclorito de calcio en el clorador
	Válvula de salida del equipo cerrada.	Abra la válvula de salida del equipo.
	Bomba dañada.	Repáre y/o cambie la bomba dañada.
Alta concentración de Cloro.	Alto flujo de entrada al Clorador	Regule el flujo de entrada al clorador por medio de la válvula de precisión tipo “y” al frente del
	Válvula cerrada de entrada de agua directa hacia el tanque.	Abra la válvula de entrada de agua directa hacia el tanque.
	Válvula de recirculación cerrada.	Abra la válvula de recirculación.
Baja concentración de Cloro.	Falta de pastillas de hipoclorito de calcio.	Llene el clorador con pastillas de hipoclorito de calcio.
	Bajo flujo de entrada al clorador	Aumente el flujo de entrada al clorador.
	Válvula cerrada a la salida del equipo.	Abra la válvula de salida del equipo.
	Válvula de recirculación muy abierta.	Cierre gradualmente para aumentar la concentración.

4.8.3.4.5 MANTENIMIENTO RECOMENDADO

En la tabla 4.5 se hace una recopilación del mantenimiento recomendado por el fabricante para las principales partes del sistema clorador.

Tabla 4.5 Mantenimiento recomendado para cada una de las partes del sistema clorador.

EQUIPO	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN.
Válvula solenoide	3 meses.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realice limpieza e inspección visual del diafragma. 2. Quite la parte superior de la válvula. 3. Revise que el diafragma no se encuentre dañado, de ser necesario cámbielo. 4. Realice limpieza e inspección al vástago. 5. Revise que no se encuentre dañado, cambie de ser necesario. 6. Agregue aceite en el vástago y monte en la parte superior de la válvula y apriete
Bomba Booster	1 semana	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cerrar la válvula reguladora de flujo y abra la válvula de retorno al tanque y encienda el equipo durante 30 minutos, haciendo que entre solo agua sin cloro por la bomba para que esta se enjuague. 2. Revise los retenes y empaques que no tengan fugas. 3. Revise el eje impulsor que no se encuentre desgastado. 4. Revise el aislamiento de las bobinas.
Rotámetro	3 meses	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realice limpieza e inspección general de rotámetro
Clorador de tabletas	3 meses	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realice limpieza e inspección general de clorador.
Tablero de control	6 meses	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realice limpieza e inspección general del tablero de control. 2. Reapriete el cableado en tablillas de conexión, arrancador de la bomba, relevadores y botonera.

4.8.3.4.6 MEDIDAS DE SEGURIDAD

Al manipular las pastillas de hipoclorito de calcio:

- Se debe usar protección respiratoria. Idealmente se debe manipular en áreas con ventilación apropiada.
- Se deben de usar guantes de Nitrilo, Neopreno, Hule de Butilo.

4.8.3.4.7 PRECAUCIONES

- Mantener en el envase original con la tapa muy bien cerrada.
- Mantenerlo lejos de calor, chispas, flamas, luz directa del sol, y otras fuentes de calor, incluyendo los de tabaco.
- Mantenga alejado el producto de materiales combustibles.
- Siempre agregue el producto en grandes cantidades de agua.
- No mezcle este producto con otros químicos.
- Se puede generar fuego si se contamina el producto con ácidos, materiales orgánicos u otros materiales fácilmente combustibles tales como petróleo, keroseno, gasolina, productos para pintura, madera y papel.
- No agregar este producto en envases que contengan remanentes de otros productos ya que se puede provocar una reacción violenta que genere fuego o explosión.

4.8.3.5 CENTRO DE CONTROL, BOMBAS MULTIMEDIA Y BOMBAS CARBÓN

El equipo de bombeo está constituido por cuatro bombas, dos para bombear agua hacia los filtros de carbón y otras dos para bombear agua hacia los filtros multimedia.

Las Bombas 1 y 2 – Bombas Filtros Carbón se presentan en la figura 4.7.

Las Bombas 3 y 4 – Bombas Multimedia se presentan en la figura 4.8

4.8.3.5.1 OPERACIÓN AUTOMÁTICA

1. Verificar que la perilla principal del panel que se muestra en las figuras 4.4 y 4.5 (centro de control) está en “auto”. Las bombas deben arrancarse y automáticamente mantener una presión de 50 psi (3.5 bar).

Nota: la presión se puede verificar en los manómetros digitales ubicados en las tuberías cercanas a las bombas multimedia y carbón.

2. En operación automática las bombas automáticamente arrancarán, detendrán y variarán su velocidad según la demanda del sistema. Si no hay uso de agua del sistema por un período de cinco minutos las dos bombas de cualquier de los dos sistemas se apagarán automáticamente. Volverán a reactivarse cuando la presión cae a menos de 40 psi. Esto se muestra en el sensor que se observa en la figura 4.6.
3. En operación automática las cuatro bombas están protegidas contra bajo nivel de sus tanques respectivos por un sistema de control de nivel. Si el nivel del tanque cae bajo el punto mínimo las bombas se apagarán hasta que el agua del tanque vuelva a un nivel aceptable. Las bombas multimedia se apagarán cuando se llenan los tanques de almacenamiento de agua filtrada (tanques pulmón).



Figura 4.4 Panel de control eléctrico (centro de control)



1. Perilla principal, permite seleccionar el modo de trabajo del sistema de tratamiento, es decir de forma manual o automática. Además apaga el sistema.

2. Interruptores para operación manual de bombas

Figura 4.5. Interruptores del sistema de bombeo.



Figura 4.6. Sensor de presión automático.

4.8.3.5.2 OPERACIÓN MANUAL

Gire la perilla principal a “man”. Gire las perillas de las bombas que desea utilizar a la posición “I”. Las bombas respectivas se encenderán y se mantendrán encendidas hasta que su perilla individual o la del sistema se gire a “O”.

Operación manual se utilizará si hay un problema con la operación automática del sistema o en el caso de las bombas multimedia, si se quiere retrolavar o enjuagar un filtro y los tanques de almacenamiento de agua filtrada (taques pulmón) están llenos.

NOTA IMPORTANTE: El sistema de protección por control de niveles solo funciona en operación automática. Si el sistema está en operación manual estos controles están deshabilitados.

4.8.3.5.3 MANTENIMIENTO

Cada seis meses se realiza un mantenimiento preventivo al equipo de bombeo, que incluye revisiones mecánicas y eléctricas. Para mayor información dirijase al plan de mantenimiento respectivo.

4.8.3.5.4 CAVITACIÓN

1. En caso de cavitación por introducción de aire en el cabezal de una bomba, inmediatamente desconecte la(s) bomba(s) afectada(s) y verifique el nivel de agua del tanque correspondiente.
2. Si el nivel es adecuado, encienda las bombas nuevamente, cierre las válvulas de entrada (alimentación) a los filtros correspondientes a esas bombas y permita que alcance su presión de operación normal. Abra la válvula de entrada de uno de los filtros y luego abra y cierre la válvula de enjuague de ese filtro, repitiendo el proceso hasta que desaparezca la cavitación.

NOTA IMPORTANTE: Cavitación no es normal y es dañina para las bombas. Si una bomba empieza a cavitarse, desconéctela, investigue y corrija el problema antes de utilizarla nuevamente.

3. Si hay que efectuar mantenimiento o por otro motivo, se puede manipular las válvulas de entrada y salida de las bombas. Sin embargo es importante que siempre esté abierta la válvula de entrada y que haya agua en el tanque cuando la bomba correspondiente está en marcha.

4.8.3.6 BOMBA DOSIFICADORA DE FLOCULANTE Y MEZCLADOR ESTÁTICO

4.8.3.6.1 DESCRIPCIÓN

Bomba dosificadora: esta bomba se encarga de dosificar el floculante al mezclador estático que se encuentra en la línea de entrada a filtros multimedia – se prepara una solución según las indicaciones del proveedor de floculante. La dosis recomendada es de: 7 ppm para ello se necesitan agregar 6.5 L de floculante a 73.5 L de agua, cuando el volumen total a preparar son 80 L. Se recomienda validar la dosis cuando se observe un decaimiento en el desempeño de floculación.

Mezclador estático: con este equipo se mezcla el agua proveniente del tanque mezcla con la solución de floculante, y de esta forma propiciar el proceso de coagulación-floculación del agua cruda.

4.8.3.6.2 OPERACIÓN

Operación Automática

1. Para la operación automática de la bomba dosificadora, verifique que el nivel de líquido (solución de floculante) del recipiente es adecuado.

2. Verifique que la bomba está conectada a un tomacorriente 110V.
3. Verifique en la bomba dosificadora, que la perilla de speed se encuentra en la marca correspondiente a 40, y la de stroke en la marca de 60.

Para mayores detalles sobre la operación y programación de la bomba dosificadora automática, consulte el manual del fabricante. En la figura 4.7 se señalan los principales elementos del sistema de floculación.

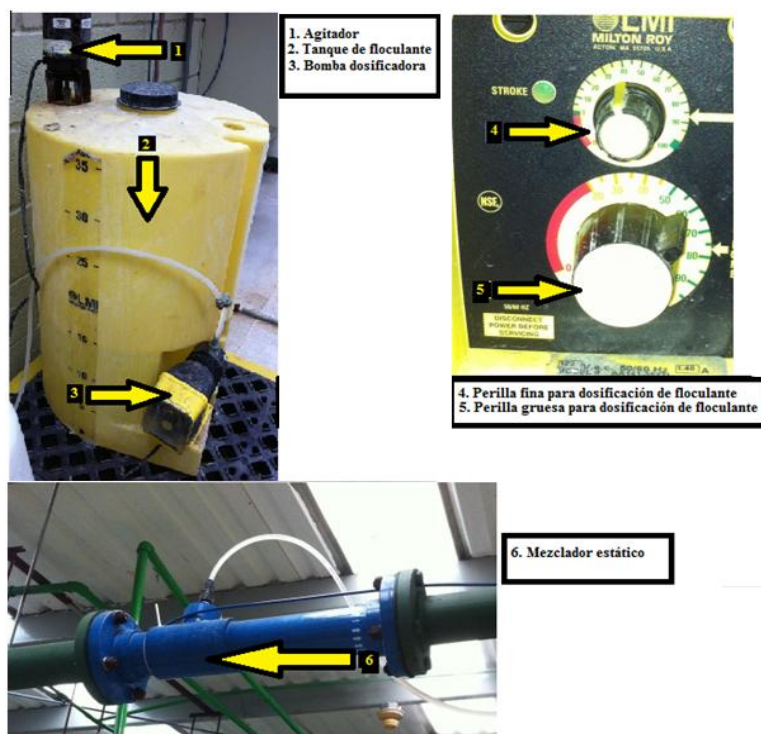


Figura 4.7 Sistema de dosificación y mezcla de floculante.

4.8.3.6.4 INSPECCIÓN DIARIA

Diariamente se deben revisar las perillas de stroke y speed de la bomba con el fin de verificar que se encuentren en la posición adecuada (40/60), además se debe revisar el nivel de tanque contenedor de floculante y cuando sea necesario preparar nueva solución.

4.8.3.7 MEDIDORES DE FLUJO

4.8.3.7.1 DESCRIPCIÓN

La lectura de los medidores de flujo registra el flujo actual de la fuente seleccionada en litros por minuto. En el fondo de cada pantalla aparece el total en litros el cual puede ser reseteado si así se desea.

En el caso del medidor de pozos y el medidor de los filtros multimedia se aprovecha la señal variable de 4-20 mA que estos generan para controlar las bombas dosificadoras correspondientes.

Los sensores de control de nivel para agua municipal y pozos se encuentran en el interior del tanque de mezcla. El sensor de flujo para la línea de los filtros de carbón está en la tubería de 4 pulgadas procedente de los tanques de almacenamiento de agua filtrada (tanques pulmón). El sensor de flujo para los filtros multimedia está en la línea de 3 pulgadas arriba del primer filtro.

4.8.3.7.2 OPERACIÓN

Los medidores pueden ser calibrados y se pueden programar otras preferencias al apretar “Enter” por 3 o 5 segundos (dependiendo si se quiere calibrar o cambiar opciones) y entrar el password el cual es 3 flechas arriba y una abajo. Para mayores detalles consulte el manual operativo de la pantalla de display.

4.8.3.8 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA FILTRADA Y CLORADA (TANQUES PULMÓN)

Los tanques de almacenamiento de agua filtrada y clorada (tanques pulmón), tienen como

función principal la retención del agua, por un lapso de al menos 30 minutos, tiempo necesario para garantizar el proceso de desinfección.

4.8.3.8.1 OPERACIÓN

Las válvulas de salida de cada tanque deben permanecer 100% abiertas en todo momento a menos que haya necesidad de mantenimiento.

La válvula de entrada procedente de los filtros multimedia en la parte superior de los tanques de almacenamiento debe permanecer abierta en todo momento para asegurar su llenado.

En los tanques hay sensores de nivel que proporcionan protección para apagar las bombas de los filtros de carbón en caso de bajo nivel y otros que apagan las bombas de los filtros de multimedia cuando los tanques se llenan.

4.8.3.8.2 LIMPIEZA DE LOS TANQUES

Los tanques deben limpiarse cada seis meses, según el *Programa maestro de limpieza de tratamiento de aguas* utilizando el método descrito en el punto 4.8.3.3.3 , a excepción del paso de desinfección, ya que estos contenedores permanecen con agua clorada durante toda su operación.

La figura 4.8 muestra los tanques pulmón instalados uno junto al otro, Existe en medio de ellos una llave para muestreo cada 4 horas que proviene de una tubería que conecta una salida de ambos tanques y une las dos fuentes en una sola.



Figura 4.8 Tanques de almacenamiento de agua clorada.

4.8.3.9 FILTROS MULTIMEDIA Y FILTROS DE CARBÓN

4.8.3.9.1 DESCRIPCIÓN

Los sistemas de filtración en procesos de tratamiento de agua, generalmente implican la separación de algún compuesto o elemento indeseable presente en el agua, para ello existen variedad de medios filtrantes capaces de remover sustancias específicas, en el caso de los filtros multimedia, estos utilizan diferentes tipos de grava (arena) para separar partículas sólidas de tamaño muy pequeño; por su parte los filtros de carbón, los cuales están rellenos con una pequeña cama arena, seguida de carbón activado, permiten la remoción del cloro presente en el agua.

4.8.3.9.2 INSTRUCCIONES GENERALES PARA UNA ADECUADA OPERACIÓN

La operación de los filtros multimedia y los filtros de carbón activado (mostrados en la figura 4.9) es prácticamente idéntica con excepción del procedimiento para sanitización. Las instrucciones para operación de los filtros aplican a ambos filtros.

1. Cuando se abre o cierra una válvula de un filtro es sumamente importante que la acción sea lenta y pausada.
2. El abrir o cerrar una válvula de forma rápida puede ser peligroso para el operador o dañino al equipo.
3. Verifique cual(es) válvula(s) debe abrir o cerrar antes de tomar la acción. Si no se presta la debida atención y abre o cierra una válvula equivocada podría resultar una contaminación del agua filtrada u otras consecuencias no deseadas. Puede ser útil verificar la ruta que tomará el agua previo a abrir o cerrar válvulas para evitar errores. Recuerde que la válvula de servicio (salida) nunca debe estar abierta cuando se está efectuando un retro lavado o un enjuague del equipo.
4. También siempre hay que verificar la posición de una válvula antes y después de accionarla. Una válvula abierta siempre está en posición paralela a la tubería y una válvula cerrada siempre está perpendicular con respecto a la tubería.
5. También es importante verificar los flujos de salida de los equipos. Las normas para flujos máximos nunca deben excederse y cuando sea posible opere los filtros a flujos moderados para mejores resultados.

4.8.3.9.3 PUESTA EN MARCHA O SERVICIO

Para llevar a cabo el proceso de filtración se debe asegurar que el flujo de agua proveniente de los tanques de almacenamiento (mezcla o clorada) ingrese por la parte superior del filtro, pase por medio filtrante que esta al interior del filtro para finalmente salir en la parte baja del mismo, con esto se cumple el proceso, como se indica en la figura 4.10



Figura 4.9. Filtros multimedia y filtros de carbón.

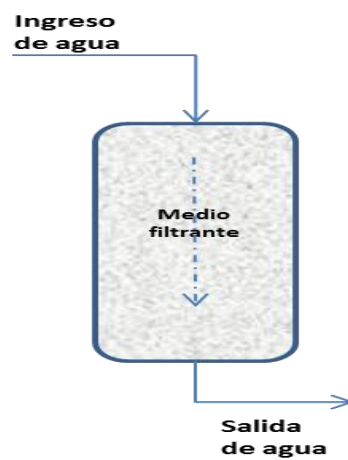


Figura 4.10. Esquema del proceso de filtración.

Para la puesta en servicio del filtro realice los siguientes pasos:

1. Abra la válvula de Entrada a Filtro (Alimentación), siempre se trabaja con esta válvula totalmente abierta, es decir que debe quedar paralela a la tubería.
2. Abra la válvula de salida de filtro; esta válvula se trabaja de 3 a 4 dientes abierta, con el fin no sobrepasar los flujos de trabajo recomendados en los puntos 4.7.1.6 y 4.7.1.10, por lo queda en posición diagonal con respecto a la tubería.
3. Verifique que las válvulas: Entrada de Retro lavado, Enjuague y Salida de Retro lavado este cerradas, es decir en posición perpendicular a la tubería.
4. Verifique que ha abierto y cerrado las válvulas indicadas anteriormente (Ver figura 4.11).
Nota: Ajuste la válvula de “salida de filtro” para dar el flujo de salida deseado según el medidor de flujo. Nunca exceda el flujo máximo. (Ver punto 4.7.1.6 y 4.7.1.10 del presente instructivo).

Es recomendable utilizar los dos filtros multimedia y los dos filtros de carbón en paralelo o sea que los dos trabajen al mismo tiempo y las salidas de ambos están ajustadas para que ambos tengan el mismo flujo de salida. En la figura 4.11 se muestra el esquema de tuberías y posición de válvulas para la puesta en marcha de los filtros multimedia.



Figura 4.11 Puesta en marcha de filtros multimedia.

4.8.3.9.4 RETRO LAVADO

Retro lavado significa sencillamente revertir el flujo normal para que el agua fluya de abajo para arriba desalojando y removiendo la suciedad y contaminación acumuladas, como se aprecia en la siguiente figura 4.12 que se presenta a continuación.

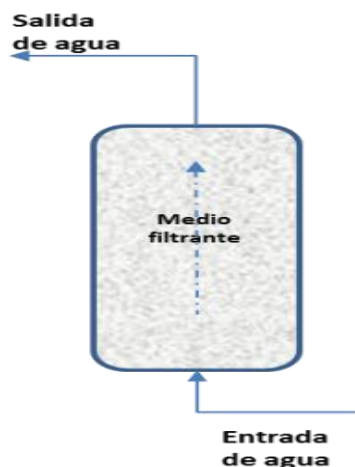


Figura 4.12. Esquema del proceso de retro lavado (dirección del flujo)

Después de un período de servicio será necesario retro lavar cada filtro. La especificación o el criterio para realizar un retro lavado se encuentra en el *Programa maestro de limpieza de tratamiento de aguas*, el cual indica lo siguiente: el criterio para realizar un retro lavado en los filtros multimedia es el siguiente: “cuando exista un incremento en el diferencial de presiones (presión de entrada menos presión de salida) del filtro que sea mayor a 5 psi adicionales al diferencial inicial entonces se debe retro lavar”.

Por ejemplo: cuando el filtro está limpio y trabaja normalmente la presión de entrada es de 50 psi y salida 47 psi, hay una diferencia de 3 psi, que se considera normal, se retrolavaría cuando la diferencia es de 8 psi. (3 psi de una caída normal de presión más 5 psi). También se puede observar tendencias del valor de turbidez las cuales indicarían la necesidad de retro lavar aun antes de observar una caída de presión.

En el caso de los filtros de carbón se tiene el criterio de realizar dos retro lavados semanales uno antes del proceso de sanitización y otro finalizada la sanitización.

4.8.3.9.4.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR EL RETRO LAVADO (FILTROS MULTIMEDIA-FILTRO DE CARBÓN)

1. Cierre la válvula de entrada a filtro (alimentación).
2. Cierre la válvula de salida de filtro.
3. Verifique que la válvula de enjuague se encuentra cerrada.
4. Abra la válvula de entrada de retro lavado, totalmente, la válvula debe quedar en dirección paralela a la tubería.
5. Abra la válvula de salida de retro lavado parcialmente. Recuerde que la apertura de la válvula está regulada por el flujo de trabajo recomendado en los puntos 4.7.1.6 y 4.7.1.10 del presente instructivo.
6. Antes de iniciar verifique que ha abierto y cerrado las válvulas indicadas en la figura 4.13. Recuerde de nunca tener la válvula de salida de filtro abierta cuando se efectúa un retro lavado.
7. Se debe retro lavar por un mínimo de diez minutos o hasta que el agua que sale al drenaje se observe limpia (transparente), esto en el caso de los filtros multimedia. El tiempo de retro lavado de los filtros de carbón es de ocho minutos, sin embargo este tiempo puede prolongarse si fuera necesario.
8. Se puede seguir operando el segundo filtro mientras se retro lava el primero, sin embargo por el alto volumen de agua que precisa un retro lavado, siempre se debe verificar el nivel de agua en los respectivos tanques de almacenamiento (mezcla o clorada).



Figura 4.13. Esquema de tuberías para realizar retrolavado

4.8.3.9.4.2 ENJUAGUE RÁPIDO

Después de efectuar el retro lavado se debe hacer un enjuague rápido con el mismo flujo del retro lavado, por un período de 3-4 minutos. Este enjuague se realiza en la dirección de flujo de trabajo del filtro y tiene con finalidad desprender residuos de suciedad que puedan estar presentes aún al interior del filtro.

Para realizar el enjuague realice los siguientes pasos:

1. Verifique que la válvula de salida de Filtro se mantiene cerrada.
2. Cierre la válvula de Entrada de Retro lavado
3. Cierre la válvula de Salida de Retro lavado
4. Abra la válvula de entrada a filtro (Alimentación)
5. Abra la válvula de enjuague, según los requerimientos de flujo.

Nota: Para efectuar un enjuague rápido verifique que ha abierto y cerrado las válvulas indicadas en la figura 4.14. Recuerde de nunca tener la válvula de salida de filtro abierta cuando se efectúa un enjuague.



Figura 4.14 Esquema de tuberías para realizar enjuague rápido

4.8.3.9.4.3 ENJUAGUE LENTO

Después del enjuague rápido y antes de poner el filtro en servicio, efectúe un enjuague lento, la única diferencia con relación al enjuague rápido es que para este enjuague se cierra un poco la válvula de enjuague, ya que el flujo debe ser menor, lo demás se mantiene igual. Para realizar el ajuste del flujo utilice el medidor de flujo correspondiente. Recuerde de nunca tener la válvula de servicio abierta cuando se efectúa un enjuague.

El enjuague lento debe durar un mínimo de 3 minutos. Verifique la calidad del agua antes de poner el filtro nuevamente en servicio. Si la turbidez, concentración de cloro, u otro parámetro están fuera de norma, siga con el enjuague lento hasta alcanzar los valores requeridos. El esquema de posición de las llaves para enjuague lento se muestra en la figura 4.15.



Figura 4.15. Esquema de tuberías para realizar un enjuague lento.

4.8.3.9.5 SANITIZACIÓN

4.8.3.9.5.1 SANITIZACIÓN DE FILTROS MULTIMEDIA

Si el agua que entra a los filtros multimedia siempre está con un residual de cloro libre mayor a 1ppm rara vez hará falta sanitizar estos filtros. Sin embargo, si se determina que hay que sanitizar los filtros multimedia con base en los resultados de las pruebas microbiológicas, por tratarse de una fuente común de agua ambos deben sanitizarse al

mismo tiempo. También se debe seguir la frecuencia indicada en el documento *Programa maestro de limpieza de tratamiento de aguas*

Procedimiento

1. Verifique que hay suficiente agua almacenada en los tanques de almacenamiento de agua clorada y filtrada (tanques pulmón) para uso mientras se efectúe la sanitización de los filtros o realice la sanitización un día que no haya producción.
2. Cierre las válvulas de salida de los dos filtros.
3. Efectúe un retro lavado normal para ambos filtros.
4. Después del retro lavado, aplique 5-20 ppm de desinfectante al agua en el tanque de almacenamiento de agua cruda. No se requiere mucha agua superclorada para esta operación por lo tanto no precisa que esté lleno el tanque.
5. Abra las válvulas de uno de los filtros en posición de enjuague lento hasta que agua superclorada salga a drenaje.
6. Cierre todas las válvulas.
7. Repita el mismo proceso para el segundo filtro.
8. Deje ambos en reposo por un mínimo de una hora.
9. Efectúe un retro lavado normal seguido por un enjuague rápido y un enjuague lento para cada filtro. Siga con el enjuague lento hasta que el agua sale con un nivel de cloro normal.
10. Verifique el estado de cada filtro con un análisis microbiológico.

4.8.3.9.5.2 SANITIZACIÓN DE FILTROS CARBÓN ACTIVADO

Periódicamente se deben sanitizar los filtros de carbón, según frecuencia establecida en el *Programa maestro de limpieza de tratamiento de aguas*. Si por resultados de análisis microbiológicos se determina que precisa una sanitización, ésta se debe efectuar en ambos filtros antes de seguir utilizándolos.

Procedimiento

1. Efectúe un retro lavado normal (8 minutos) en el filtro que se sanitizará.
2. Efectúe un enjuague rápido (3 minutos) en el filtro que se sanitizará.
3. Cierre la válvula de entrada a filtro (alimentación) y deje que el filtro se vacíe, para esto mantenga la válvula de enjuague abierta.
4. Al verificar que ya no tiene agua el filtro, cierre la válvula enjuague y verifique que todas las válvulas se encuentran cerradas.
5. Abra la válvula de drenaje que se encuentra en la parte inferior del domo del filtro de carbón (para eliminar el condensado del vapor), la válvula que se encuentra en la parte superior de la torre y las válvulas de muestreo microbiológico.
6. Abra la válvula de purga (mostrada en la figura 4.16) de la línea de vapor hasta que salga vapor vivo y luego cierre la válvula. Para evitar un choque térmico, gire la válvula de entrada de vapor al filtro solamente hasta 1/4 a 1/3 abierta y permita que se caliente esa zona del filtro por unos quince minutos. Posteriormente abra la válvula aproximadamente hasta 3/4.
7. Cuando se alcance una temperatura entre 85-95 °C en la totalidad del área superficial del filtro, se debe de mantener abierta la llave de vapor durante un período mínimo de 3 horas, el tiempo recomendado es de 4 a 5 horas, para garantizar una adecuada sanitización.
8. Al terminar este período cierre las válvulas de la parte inferior del domo del filtro de carbón, la válvula de la parte superior y válvulas de muestreo microbiológico (con el fin de evitar el ingreso de una burbuja dentro del filtro y provocar una recontaminación en el mismo), y abra la válvula de enjuague. Para evitar un choque térmico durante el enfriamiento, abra la válvula entrada a filtro (alimentación) lentamente y con un flujo bajo (1 diente) durante quince minutos. Hasta alcanzar temperatura ambiente
9. Abrir la válvula de entrada a filtro (alimentación) completamente para terminar de enfriar el filtro.

10. Al terminar de enfriar el filtro, efectúe otro retro lavado normal hasta que el agua del retro lavado salga limpia, efectúe los enjuagues normales, revise la calidad del agua y coloque el filtro nuevamente en servicio.
11. Verifique el estado del filtro con un análisis microbiológico.



Figura 4.16. Válvulas utilizadas en el saneamiento de los filtros de carbón activado.

4.8.3.9.5.3 MANTENIMIENTO

Bajo condiciones normales no será necesario revisar, limpiar ni reemplazar la media de los filtros multimedia por un período de varios años, por lo tanto no hace falta abrir el filtro a menos que se perciba un problema poco usual.

Lo mismo aplica para los filtros de carbón, sin embargo el carbón activado tiene su vida útil y cuando se percibe que se ha disminuido su capacidad de decoloración y remoción

de sabores y olores es probable que se deba proceder a reemplazarlo (por lo general cada cinco años, según requerimiento normativo).

Los análisis fisicoquímicos deben efectuarse con el filtro en uso, o sea cuando se está recirculando agua normalmente.

4.8.3.10 PROCEDIMIENTO PARA CAMBIO DE CARBÓN ACTIVADO (SEGÚN PROVEEDOR)

La instalación del medio de soporte (antracitas) y del carbón debe hacerse siguiendo las indicaciones:

1. Se recomienda cubrir el distribuidor (toberas) con un soporte de antracitas en este caso con Antracita # 2. hasta tapar completamente dicho distribuidor.
2. La carga de carbón se debe realizar gradualmente, primero inundar con agua el filtro hasta 10 cm aproximadamente, luego cargar cierta cantidad de carbón activado granular esto para evitar fracturar el carbón y que la distribución de este sea homogénea, la idea es que siempre debe haber un soporte de agua para agregar dicho producto. Esto hasta agregar la totalidad de carbón activado necesario.
3. Después de que todos los materiales se hayan colocado, se introduce agua lentamente de abajo hacia arriba hasta inundar completamente la cama. La cama se deja reposar al menos 8 horas. Con el objeto de saturar de agua a todos los poros e intersticios y así eliminar completamente el aire de la cama.
4. Flujo de retro lavado para desfinar, se recomienda que se realice con la tapa abierta, durante cada retro lavado, el agua debe aplicarse en un flujo inicial de no más de 2 gpm/ft³ de área filtrante. Posteriormente el flujo debe incrementarse de forma gradual en un período de 3 minutos, hasta alcanzar el máximo flujo: 9 gpm/ft³ indicado por graficas dependiendo el tipo de carbón activado en este caso Carboactiv 12x40 con 30% de expansión de cama de carbón hay que mantenerlo a este máximo durante más de 5 minutos y hasta ver que el agua a la salida de la concha sea cristalina

5. Es indispensable una buena distribución del agua sobre la superficie del carbón, ya que de no ser así, el agua se canaliza y no entra en contacto con la totalidad del carbón. Este es un problema que se presenta frecuentemente en la operación de adsorbedores industriales.
6. No es necesario, pero sí es recomendable el uso de toberas en el sistema inferior de recolección del líquido. Estas toberas optimizan el retro lavado y con ellas, no se requieren gravas de soporte del carbón. Se fabrican tanto en acero inoxidable como en ABS. Las primeras se utilizan en equipos en los que se inyecta vapor como sanitizante, ya que las segundas no están diseñadas para trabajar a altas temperaturas.
7. Se recomienda dejar un espacio libre de cabeza entre 35-40%, para asegurar una adecuada expansión de la cama durante los retro lavados.

4.8.3.11 FILTROS PULIDORES

4.8.3.11.1 DESCRIPCIÓN

Los filtros pulidores permiten retener posibles partículas finas de carbón que se puedan desprender de los filtros de carbón. El micraje utilizado es de 3µm nominales equivalentes a 20 µm absolutas. Sus componentes son un portafiltro o carcasa y una serie de cartuchos filtrantes intercambiables de tres micras de retención. Los pulidores son fabricados en polipropileno categoría alimenticio (con aprobación de la FDA). Hay que tomar en cuenta que el cambio del cartucho filtrante se debe realizar cada cuatro o seis meses de uso o en el momento que el flujo de agua baja considerablemente, o inclusive si se presentara algún problema de turbidez en el agua tratada.

4.8.3.11.2 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE FILTROS PULIDORES

Por lo general los filtros pulidores durarán mucho tiempo antes de ensuciarse o requerir un

cambio. Una de las formas de comprobar el grado de eficiencia de los filtros es monitorear la caída de presión, esto se hace comparando la caída de presión luego de realizar una limpieza o cambio (filtros limpios) con la caída de presión después de unos días de uso, si este valor es mayor a 5 psi, se debe evaluar si realizar una limpieza de los cartuchos o un reemplazo. Adicionalmente se tienen los siguientes criterios para realizar una limpieza o reemplazo de cartuchos:

- Cuando se observen tendencias hacia niveles no aceptables de turbidez
- Cuando los resultados de las pruebas microbiológicas lo exijan.

NOTA: Tomando en cuenta los resultados de microbiología, turbidez y presión se determina un plazo recomendado de mes y medio para realizar el cambio de cartuchos de los filtros pulidores. Y de acuerdo al documento *Programa maestro de limpieza de tratamiento de aguas* se debe realizar una limpieza y desinfección semanal.

4.8.3.11.2.1 REEMPLAZO CARTUCHOS DE FILTROS PULIDORES

Procedimiento:

1. Para instalar nuevos cartuchos en los filtros pulidores, verifique que estén cerradas las válvulas de entrada y salida al filtro al cual va a efectuar la instalación.
2. Abra la válvula de purga y permita que se vacíe completamente el filtro. Remueva las 12 tuercas mariposa de la tapadera del filtro y remueva la tapadera.
3. Levante el ensamblaje de filtros y sáquelo del cuerpo del filtro. Tenga cuidado de no extraviar el sello original del tubo principal.
4. Saque las 8 tuercas al fondo del ensamblaje de filtros y remueva los cartuchos viejos. Ver figura 4.17.
5. Limpie los ocho tubos distribuidores con un chorro de agua a presión.
6. Coloque el nuevo cartucho en el tubo y aprieta la tuerca con presión adecuada de mano sin herramientas asegurándose de no deformar los cartuchos.
7. Repita el proceso para los ocho tubos.

8. Coloque el ensamblaje nuevamente en el cuerpo del filtro asegurándose que esté colocado el sello en el tubo principal.
9. Centre el ensamblaje en el tubo principal asegurándose que no quede levantado en un lado.
10. Verifique el estado del sello de la tapadera y colóquela en el cuerpo.
11. Apriete las tuercas de forma gradual y ordenada, apretando tuercas en puntos opuestos y siguiendo alrededor hasta que todas queden bien aseguradas. **Utilice solo la fuerza de las manos para apretarlas, nunca utilice herramientas.**
12. Si desea sanitizar el filtro, antes de colocar la tapadera llene el filtro con agua y agregue el desinfectante al agua. Coloque la tapadera y ciérrelo completamente.
13. Déjelo en reposo por unos diez minutos, enjuáguelo hasta verificar que el agua salga limpia y sin desinfectante.
14. Comunique al personal de calidad el procedimiento realizado, y ponga en servicio el filtro.

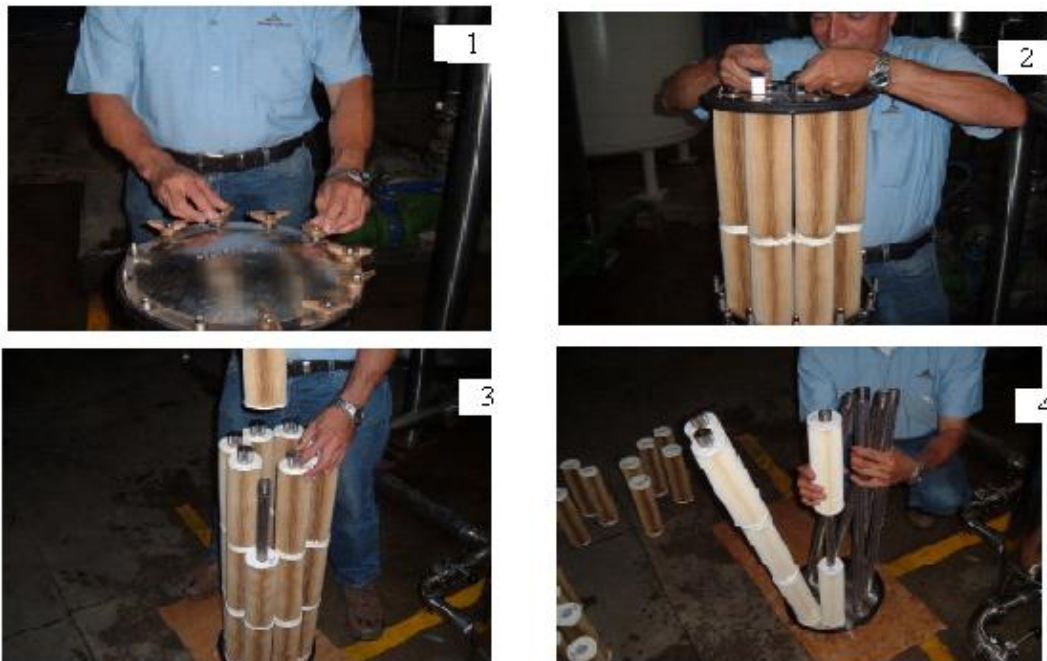


Figura 4.17 Esquema cambio de filtros pulidores.

4.8.3.11.2.2 LIMPIEZA DE CARTUCHOS

Para efectuar la limpieza de los cartuchos de los filtros pulidores siga los siguientes pasos:

1. Siga los pasos del 1 al 5 del punto 4.8.3.11.2.1
2. Lleve los cartuchos a una zona limpia y utilice un chorro de agua a presión para realizar una limpieza mecánica de los mismos.
3. Siga los pasos del 8 al 11 del punto 4.8.3.11.2.1, para colocar el ensamblaje en el cuerpo del filtro.
4. Inunde en una solución de cloro de 50-100ppm, durante 30 minutos. (este paso puede realizarse cuando se lleva a cabo la inundación de red semanal).
5. Verifique que ya no hay cloro en el agua y ponga en servicio el filtro.

4.8.3.12 UNIDAD DE LUZ ULTRAVIOLETA

4.8.3.12.1 DESCRIPCIÓN

El sistema de luz ultravioleta, permite realizar una desinfección complementaria del agua.

4.8.3.12.2 INSTRUCCIONES GENERALES DE OPERACIÓN DE LA UNIDAD DE LUZ ULTRAVIOLETA

1. Este equipo debe operarse con especial cuidado para evitar daños a las lámparas de luz UV que se encuentran en su interior.
2. Cuando se abre o cierra una válvula de la unidad es sumamente importante que la acción sea lenta y pausada para evitar dañar el equipo.
3. Verifique cual(es) válvula(s) debe abrir o cerrar antes de tomar la acción. Puede ser útil verificar previamente la ruta que tomará el agua al abrir o cerrar válvulas para evitar errores. En condiciones normales de operación, para poner la unidad en

servicio debe abrirse primero la válvula de salida y posteriormente la de entrada; cuando se realice un retro lavado se debe proceder de manera inversa.

4. Nunca permita que la temperatura del agua que circula por la unidad supere los 49°C, pues esto podría causar un daño irreparable a las lámparas y componentes electrónicos.
5. Otro cuidado especial que debe tenerse en su manejo es no exceder tres ciclos de encendido/apagado por 24 horas de operación, esto disminuiría la vida útil de las lámparas.

4.8.3.12.3 MONITOREO DE LA LUZ UV

El funcionamiento de la unidad de luz ultravioleta debe monitorearse mediante la verificación del sistema de monitoreo integrado de la unidad cada 2 horas, registrando los resultados en el documento *Control operacional diario del Sistema de Tratamiento del Agua*.

Este sistema tiene dos puntos de control: un panel con 4 luces indicadoras de estado, una por cada lámpara (ver cuadro A de figura 4.20), y una luz de alarma (ver cuadro B de la figura 4.18).

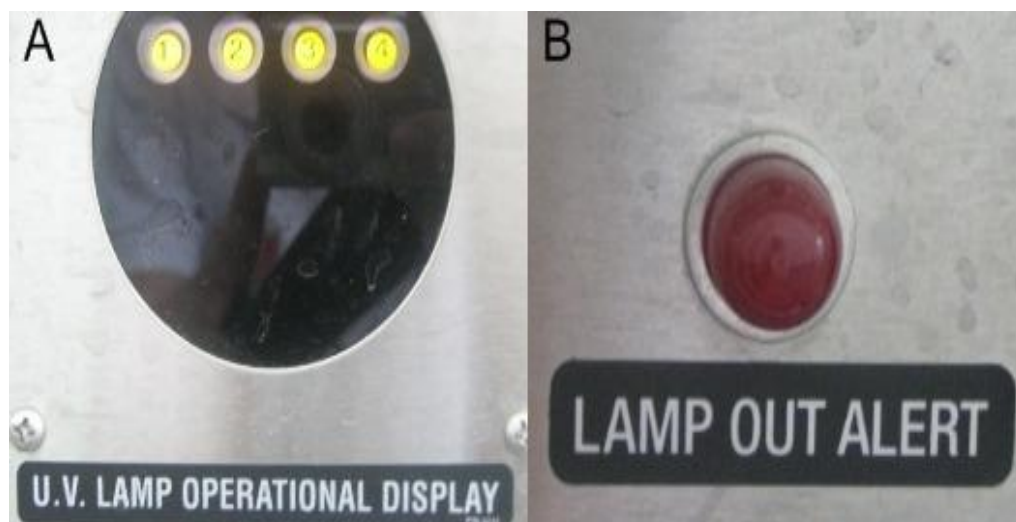


Figura 4.18. Sistema de monitoreo lámparas ultravioleta.

- La luz de alarma solo se encenderá si alguna de las lámparas deja de funcionar, en cuyo caso emitirá una señal audible durante treinta segundos y se tornará de color rojo.
- Las luces indicadoras del sistema de monitoreo evidencian el estado de cada una de las 4 lámparas; si la luz es amarilla la lámpara se encuentra operando normalmente; si la luz es roja la lámpara ha dejado de funcionar por alguna razón y se requieren acciones correctivas.

Cuando alguna de las luces indicadoras se muestra roja o se activa la señal de alarma, debe detenerse inmediatamente la producción, abrir la unidad y valorar la integridad de la(s) lámpara(s) dañada(s). Si no se trata de un daño físico debe procederse a cambiar la lámpara lo antes posible.

En caso de que exista evidencia alguna de rotura en la manga de cuarzo y/o en la lámpara de luz U.V. elimine en su totalidad los trozos de cristal que se puedan encontrar en la unidad de luz U.V. y en la malla de retención de sólidos. En caso de rotura de la lámpara (por ende derrame de mercurio) deben acatarse las siguientes indicaciones:

- Calculando el volumen de agua que ha corrido desde el último chequeo satisfactorio, determinar la cantidad de producto que pueda estar comprometido e identificarlo como retenido.
- Deseche adecuadamente los lotes de producto terminado involucrados.
- Descarte toda el agua que hay en el sistema de tratamiento de aguas a partir de la unidad de luz UV (incluyendo jarabe simple y bebida terminada).
- Realice una limpieza utilizando algún producto autorizado por la Jefatura de Calidad (como el Divo LE®, diseñado para el secuestro y neutralización de metales pesados).

4.8.3.12.4 MANTENIMIENTO DE LA LUZ UV

El mantenimiento de este equipo es realizado por personal externo (proveedor), que realiza una visitas periódicas a planta y le da seguimiento a las lámparas UV de Tratamiento de Aguas y Azúcar líquido.

4.8.3.12.4.1 REEMPLAZO DE LÁMPARAS ULTRAVIOLETA

Las lámparas de luz ultravioleta ubicadas dentro de la unidad se deben reemplazar cada 9000 horas de uso o cada 24 meses (lo que ocurra primero). Para cambiar una lámpara debe procederse de la siguiente manera:

1. En primer lugar se debe desconectar todo el poder eléctrico de la unidad y el flujo de agua para luego despresurizar el sistema.
2. Drenar la cámara de luz UV.
3. Para sacar la lámpara deben utilizarse guantes de algodón limpios.
4. Antes de meter la lámpara de reemplazo, esta debe inspeccionarse visualmente en busca de grietas o cualquier otro tipo de daño.
5. Si la lámpara está íntegra puede insertarse lentamente dentro de la manga de cuarzo empujando un lado de la luz U.V. con una mano y sosteniéndola en posición horizontal con la otra mano.
6. Enroscar la lámpara en el mecanismo de cerrojo de la tuerca de compresión para asegurar que la lámpara se encuentra segura dentro de la manga de cuarzo.
7. Cada enchufe de la lámpara se encuentra identificado con un número que corresponde a la posición de cada lámpara en la placa del extremo final. Los dos pines de la lámpara deben ser empujados para que calcen de manera segura con los pines en el conector.
8. Rotar y atornillar con la mano la tapa del enchufe de la lámpara en su lugar.
9. Instalar las tapas de las tuercas de compresión y las tuercas de compresión en la segunda placa del extremo final y tallar con la mano.

4.8.3.12.4.2 LIMPIEZA DE LAS MANGAS DE CUARZO

Para realizar la limpieza de las mangas se debe de desconectar tanto el agua que entra en la unidad como el circuito eléctrico, luego se debe proceder de la siguiente manera:

1. Drenar la cámara de tratamiento de la luz ultra violeta.
2. Remover el cobertor del enchufe.
3. Utilizando guantes (para no contaminar las mangas ni las lámparas) remover las tapas retenedoras y el enchufe de las lámparas.
4. Remover las luces U.V. de las mangas de cuarzo.
5. Utilizando la herramienta adecuada soltar la tuerca de compresión y remover cuidadosamente las mangas de cuarzo.
6. Lavar las mangas con agua y jabón suavemente, enjuagar en agua limpia y caliente.
7. Limpiar la ventana detectora durante la limpieza y mantenimiento de las mangas de cuarzo

4.8.3.12.4.3 REEMPLAZAR LAS MANGAS DE CUARZO

Cada dos años se deben de reemplazar las mangas de cuarzo, utilizando el mismo procedimiento empleado en la instalación.

Procedimiento:

1. Primero se debe de eliminar toda la energía que se dirige a la unidad de luz ultravioleta.
2. Utilizando guantes limpios se deben de sacar las mangas del empaque del proveedor y chequear que no presenten quebraduras ni ningún otro tipo de daño.
3. Remover el cobertor del enchufe al final de la cámara de tratamiento y colocar el anillo “O” en un lugar seguro.
4. Remover todas las tuercas de compresión.
5. Deslizar el tubo PVC a través del nipple trenzado y empujar a través del segundo nipple de la placa del extremo final.
6. Repetir para todas las mangas de cuarzo. Coloque el final de la manga de cuarzo sobre el tubo PVC hacia dentro del tubo trenzado y lentamente empuje la manga dentro de la cámara a través de la segunda placa del extremo final.

7. Repita para todas las mangas de cuarzo. Instale la tuerca de compresión y el anillo “O” colocando el anillo “O” dentro del relieve interno de la tuerca de compresión, debajo del área trenzada.
8. Coloque la tuerca de compresión y el anillo “O” en el final de la manga de cuarzo hasta que la manga haga contacto con el final de la tuerca de compresión (Se puede necesitar girar y empujar un poco para ajustarla adecuadamente), se puede utilizar agua desionizada como lubricante.
9. Talle la tuerca de compresión aproximadamente media vuelta después de que el nipple trenzado y el anillo “O” hagan contacto.
10. Repita este procedimiento para la segunda placa del extremo final.
11. Lentamente presurice el sistema y llene la cámara en busca de fugas, de encontrarse alguna, despresurice el sistema y utilice la herramienta de tuerca de compresión para tallar ligeramente la tuerca.

4.8.3.13 MALLA DE RETENCIÓN DE SÓLIDOS

4.8.3.13.1 DESCRIPCIÓN

Se ubica una malla para retención de sólidos a la salida de la lámpara UV, como medida de prevención ante una eventual ruptura de algún componente presente en dicha lámpara, por ejemplo una lámpara o una manga de cuarzo.

4.8.3.13.2 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Se debe verificar el estado físico de la malla cada seis meses, según documento *Matriz de medios filtrantes NCB*. Además se debe realizar una limpieza mecánica y sanitización antes volver a usar, lo remendado sería realizar el proceso de revisión y limpieza mecánica, antes de una sanitización fuerte de la red de distribución, para aprovechar sanitizar la malla por medio de este proceso.

4.8.3.14 RED DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución está constituida por las tuberías que distribuyen el agua tratada a las diferentes áreas donde esta es utilizada (pasteurizadores, tanques de preparación, alcip, silos de azúcar líquido, entre otros).

4.8.3.14.2 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución debe sanitizarse según lo indicado en el *Programa maestro de limpieza de tratamiento de aguas* (dos sanitizaciones por semana: una sanitización fuerte (50 a 100) ppm de desinfectante al cierre de producción semanal y una sanitización a baja concentración a media semana (1-10) ppm de desinfectante).

Nota: Cuando los resultados de microbiología semanales indiquen cumplimiento y esta tendencia se mantenga en el tiempo, es posible valorar la no realización de la inundación de media semana a baja concentración, para esto los departamentos de Jarabes y Calidad, deben llegar a un consenso y dejar definidas las razones que permiten no realizar esta sanitización, en los registros que corresponde.

4.8.3.14.2.1 PROCEDIMIENTO DE SANITIZACIÓN

1. Sacar de servicio el tanque pulmón en donde se va a preparar la solución de cloro. Este siempre va a ser el tanque pulmón 1 que es sobre el cual está instalado el clorador para realizar la inundación de red.
2. Para sacar el tanque pulmón fuera de servicio se debe de cerrar la llave de ingreso de agua que se encuentra en la parte superior de los tanques. Figuras 4.19 y 4.20.



Figura 4.19 Clorador para inundación de red y tuberías conexas.



Figura 4.20 Llave de ingreso de agua a tanque pulmón

3. Generalmente cuando el tanque se saca de servicio, el otro tanque está en uso y requiere ser llenado para abastecer la demanda de agua del proceso, para evitar un desabasto el llenado del tanque se debe trabajar con el sistema en manual, con la salvedad de recordar llenar el tanque para evitar quedarse sin agua. (es importante mantener el monitoreo de los niveles de los tanques de almacenamiento para evitar un desabasto y por ende paros de producción).
4. Para saber cuándo se debe de cerrar la llave de salida del tanque en el que se va a adicionar el cloro, se debe de revisar el nivel en el panel del cuarto de tratamiento de aguas, cuando el nivel este entre los 350 - 450 la llave de salida se debe cerrar (ver figura 4.21)

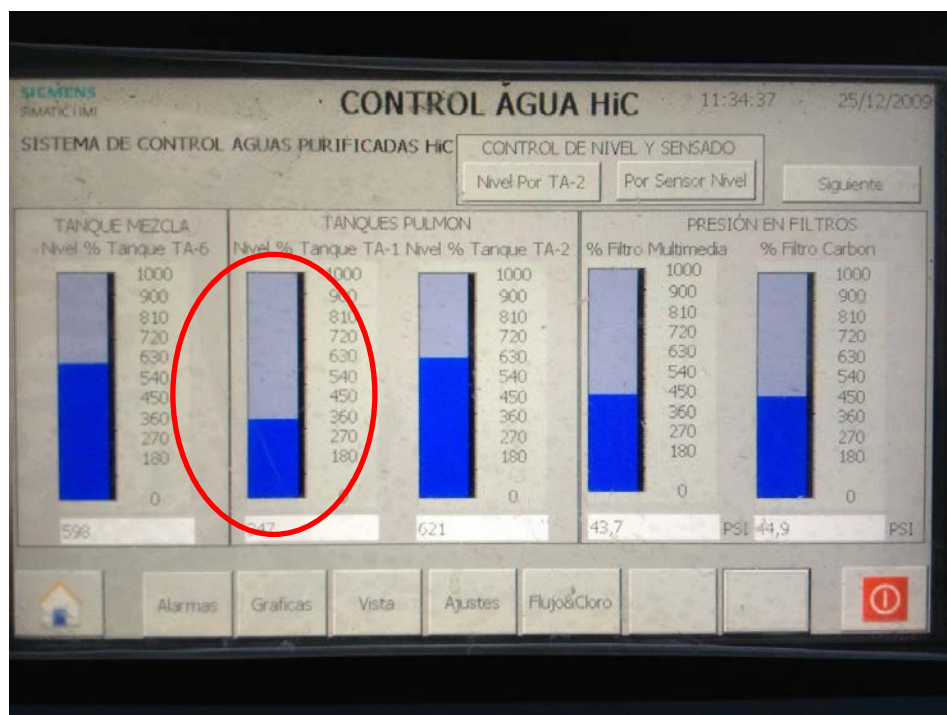


Figura 4.21 Pantalla para control de nivel de tanques de almacenamiento.

5. Al cerrar la llave ya tiene la cantidad de agua inicial para preparar la solución de cloro, tome entonces el equipo de seguridad (guantes y mascarilla), pese 1 a 2 kilogramos de ácido cítrico y adiciónelos al tanque (verifique el pH del agua, con ayuda

del departamento de control de calidad, el valor debe estar en el rango de 3 a 5), luego proceda a cargar dos camas de pastillas de desinfectante en el clorador, ubicado a un costado de la pasarela de acceso a los tanques pulmón. Ver figura 4.22.

6. Después de colocadas las dos camas de pastillas, se debe de cerrar el clorador y proceder a cargar el agua.
7. Proceda a abrir la llave de paso que envía el agua al clorador, luego cierre la llave de paso que envía el agua al tanque.



Figura 4.22 Carga de pastillas de desinfectante en el clorador.



Figura 4.23. Configuración de llaves para puesta en servicio de clorador

8. Diríjase a la parte inferior de los tanques, en medio de ellos existe una tubería de agua municipal, cuya llave está cerrada, abra la llave para que el agua llegue al clorador y las pastillas. Figura 4.24.
9. El rotámetro indicará el flujo máximo, una vez hecha esta acción el sistema se debe de dejar llenar por 20 minutos. Figura 4.25.



Figura 4.24 Llave de alimentación de agua a clorador

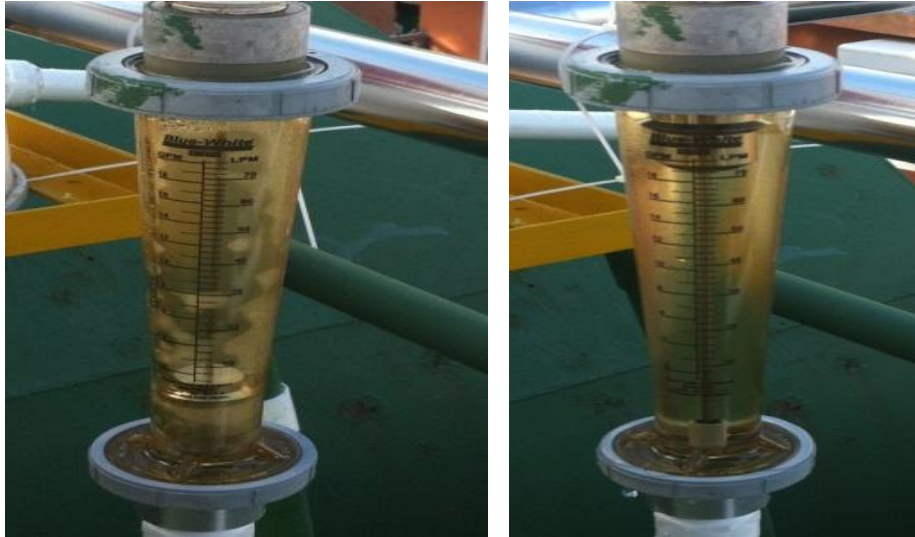


Figura 4.25 Visualización de flujo de entrada a clorador.

10. Al cumplirse los 20 minutos, el nivel del tanque pulmón 1 en la pantalla del tratamiento de aguas debe de estar entre los 450 y 550. La pantalla del panel se muestra en la figura 4.26.

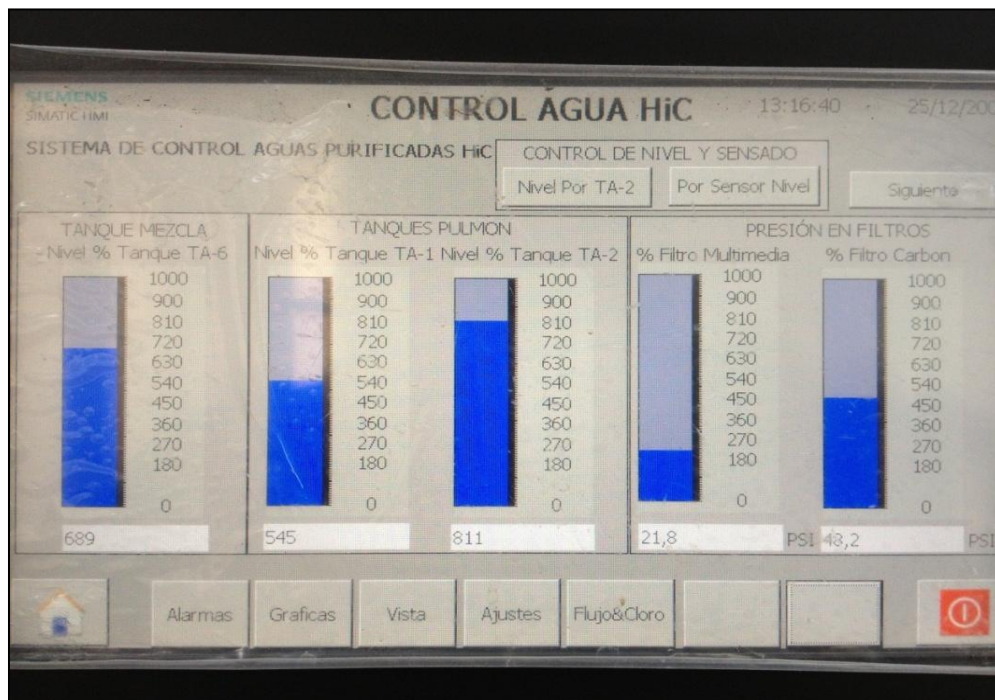


Figura 4.26 Nivel de agua clorada en tanque pulmón 1.

11. Cuando se ha alcanzado este nivel, se debe de tomar muestra del tanque y llevarla a calidad para aprobación, si la concentración (50- 100 ppm) es la correcta, cierre la llave que alimenta de agua el clorador, y luego coloque las llaves de paso en la posición original, recuerde la llave de paso al tanque debe de estar abierta y la de paso al clorador cerrada.
12. Si la muestra no es satisfactoria deje trabajar el clorador por 5 minutos más y tome muestras hasta lograr la concentración requerida de cloro.
13. Seguidamente cierre la válvula de ingreso de agua a los filtros de carbón y haga un “by-pass” de manera que el agua proveniente del tanque pulmón logre llegar a los filtros pulidores y a la red de distribución sin entrar en contacto con el filtro carbón.
14. Haga drenar el agua del tanque pulmón a través de todas las tuberías de la Red de Distribución que se encuentran en el Departamento de Jarabes, Azúcar Líquido y ALCIP.
15. Asegúrese que la concentración de cloro se encuentren dentro de lo establecido en todos los puntos de la Red de Distribución durante 30 minutos.
16. Una vez finalizado este período coloque ambos tanques pulmón en funcionamiento para nivelar el pH y la concentración de cloro.
17. Elimine el “by-pass” que se realizó anteriormente y abra la válvula de ingreso de agua a los filtros de carbón de manera que toda el agua proveniente de los tanques pulmón entre en contacto con los filtros de carbón.
18. Haga drenar esta agua a través de la Red de Distribución para eliminar en su totalidad de cloro presente en las tuberías.
19. Verifique que la concentración de cloro final sea igual a “0” y el pH se encuentre neutro.
20. Cerciórese de la efectividad del saneo mediante un muestreo microbiológico.

4.8.4 DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE COMPROBACIÓN O

VERIFICACIÓN

Las actividades de verificación diaria son realizadas por el departamento de control de calidad y el departamento de Jarabes, adicionalmente se realizan auditorías internas de buenos hábitos de manufactura mensuales, y de prerequisites operacionales al menos una vez al año.

CAPÍTULO 5

INSTRUCTIVO PARA REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE ANÁLISIS DE AGUAS EN EL LABORATORIO

Las pruebas que se le realizan a las muestras de agua a la salida de cada una de las etapas están debidamente establecidas y se lleva un registro de los resultados que garantiza un control sobre cada una de las variables críticas del proceso de purificación. En dicho registro se establecen los parámetros a medir. La frecuencia de los análisis está establecida en cuatro horas para los puntos más variables. Para los puntos menos variables la frecuencia de muestreo es veinticuatro horas. El equipo de protección personal recomendado para realizar estos análisis es: gabacha de laboratorio, anteojos de seguridad y guantes impermeables de látex, nitrilo u otro semejante. A continuación se presentan los procedimientos para la medición de los parámetros a medir:

5.1 ALCALINIDAD

Usar este procedimiento para determinar el nivel de alcalinidad total en muestras de agua.

Equipo

- Cilindro graduado de 100 mL
- Frasco Erlenmeyer de 250 mL
- Bureta (10 mL o 25 mL)
- Ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0.02N
- Tiosulfato de sodio (o indicador "T")
- Anaranjado de metilo (o indicador "M")

1. Tome la muestra según el *Instructivo para la toma de muestras*.
2. Enjuagar el cilindro graduado y el Erlenmeyer con el agua que esté probando. Entonces, agregue 100 mL de muestra.
3. Agregar dos gotas de solución "T" al agua para neutralizar cualquier presencia de cloro.
4. Agregar de 2 – 4 gotas del indicador "M" (anaranjado de metilo) y revolver (Figura 5.1).

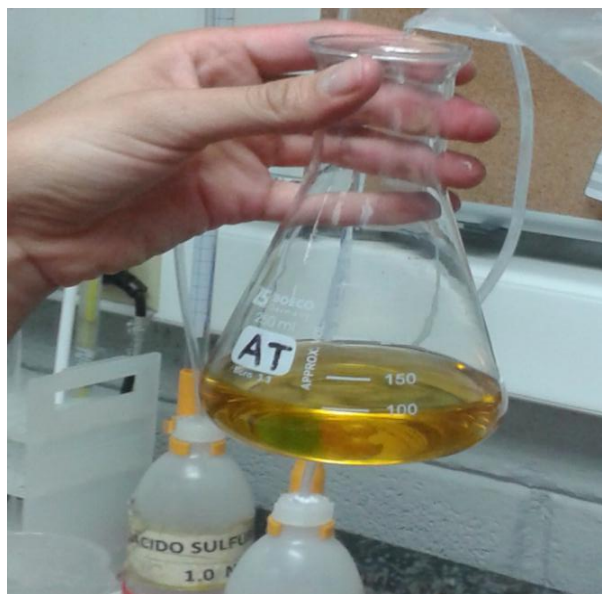


Figura 5.1 Muestra de agua con indicador T más indicador M (anaranjado de metilo).

5. Titular con H_2SO_4 0.02N revolviendo continuamente hasta que el color cambie de amarillo a anaranjado fuerte. Si está poco seguro cuando el color anaranjado se haya desarrollado totalmente, leer la bureta, y luego agregar unas gotas más de ácido. Si el color no cambia más, usar la primera lectura de la bureta. Ver figura 5.2.



Figura 5.2 Color de la muestra luego del viraje

6. Leer el volumen total del ácido durante la titulación. Multiplicar este volumen total por 10 para obtener la alcalinidad total (mg/l como CaCO_3). Registrar alcalinidad total en el *Registro de Control de Tratamiento de Aguas de Proceso*.

5.2 TURBIDEZ

Usar este procedimiento para determinar la turbidez en muestras de agua.

1. Tome la muestra según el *Instructivo para la toma de muestras*.
2. Revise que el aparato que se vaya a utilizar este debidamente calibrado. Mostrado en figura 5.3.
3. Encienda el aparato presionando la tecla “ON/OFF”.



Figura 5.3 Tecla de encendido y apagado del turbidímetro

4. Enjuague la celda de muestreo al menos tres veces con la misma agua a la que se le va a medir la turbidez. Ver figura 5.4



Figura 5.4 Celda de muestreo (vial) utilizada con el turbidímetro Hanna.

5. Llene la celda de muestreo con el agua muestreada.
6. Seque la celda de muestreo con una toalla de papel libre de fibras.
7. Coloque la tapa de la celda y cuidadosamente invierta la muestra para agitar cualquier partícula que pudiera haberse decantado. Ver figura 5.5.
8. Coloque la celda en el turbidímetro con la marca de dirección hacia adelante.



Figura 5.5 Colocación del vial dentro del turbidímetro.

9. Baje la cubierta de la luz.

10. Presione la tecla “READ”. Según se muestra en la figura 5.6.



Figura 5.6 Presionando la tecla “read” para lectura de turbidez.

11. Espere a que se estabilice la lectura y tome el valor que marca la pantalla del equipo. Anótelo en el registro correspondiente (*Registro de Control de Tratamiento de Aguas de Proceso*).

12. Apague el turbidímetro, presionando la tecla “ON/OFF” que utilizó para encenderlo.

5.3 DUREZA

Presencia de iones Calcio y Magnesio disueltas en el agua. La dureza del agua es importante medirla para aquellos casos en que esta pueda provocar fallas operativas en el equipo por incrustación o alteraciones en la apariencia por precipitados en la bebida terminada.

- Materiales o reactivos:**
- Buffer $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$
 - Indicador Eriocromo negro T

- EDTA 0.01N

Equipos e instrumentos de medición:

- 1 beaker de 100 mL
- 1 probeta de 100 mL
- Agitador magnético
- Pastilla agitadora

1. Tome una muestra de agua a medir siguiendo los pasos del *Instructivo para la recolección de muestras de agua*.
2. Enjuague la probeta y el beaker con el agua a medir.
3. Mida en la probeta 50 mL de muestra.
4. Vierta los 50 mL de muestra en un beaker de 100 mL.
5. Agregue 3 gotas de buffer ph 10 $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$.
6. Agregue 2 gotas de indicador Eriocromo negro T.

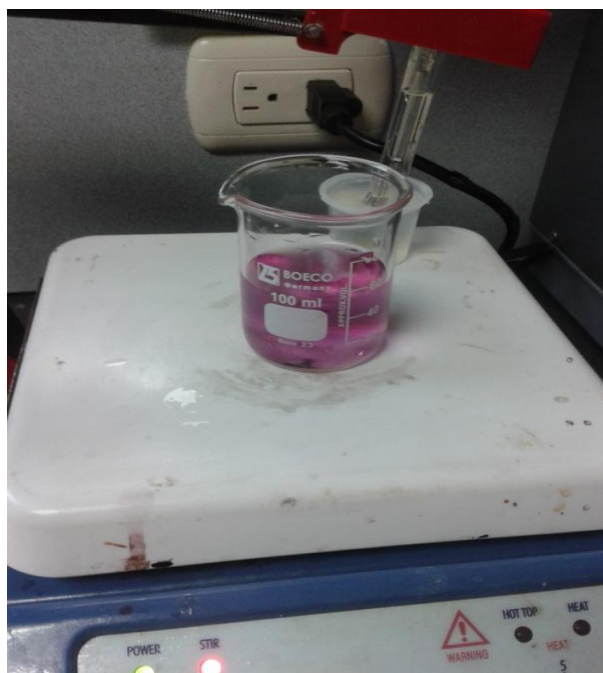


Figura 5.7 Muestra de 50 mL con indicador y buffer

7. Agite la solución y observe el color. Debe ser morado. Ver figura 5.7.
8. Valore con EDTA 0.01N hasta el viraje a color azul. Ver figura 5.8.



Figura 5.8 Color de la muestra después del viraje.

9. Multiplique los mililitros consumidos para el cambio de color por 20.
10. Anote el dato (ppm) en el *Registro de Control del Tratamiento de Aguas de Proceso*.

5.4 CLORO LIBRE Y TOTAL

Cloro libre: Cloro que queda como excedente luego que ha reaccionado con la materia orgánica y microbiológica.

Cloro total: Todas las formas de cloro existentes en una muestra de agua.

Materiales o reactivos: - Reactivo para cloro libre y total Hannah

- Reactivo para cloro total Hannah
- Agua des ionizada.

Equipos e instrumentos de medición:

- Vial de 10 mL
- Probeta de 10 mL o jeringa de 5 mL.
- Colorímetro

A) Medición de cloro libre:

1. Tome una muestra del agua a medir siguiendo los pasos del *Instructivo para la recolección de muestras de agua*.
2. Revise que el aparato que se vaya a utilizar este debidamente calibrado (figura 5.9).



Figura 5.9 Colorímetro Hanna para medición de cloro libre y total

3. Mida 5 mL de agua des ionizada utilizando la probeta o la jeringa de 5 mL. Ver figura 5.10.

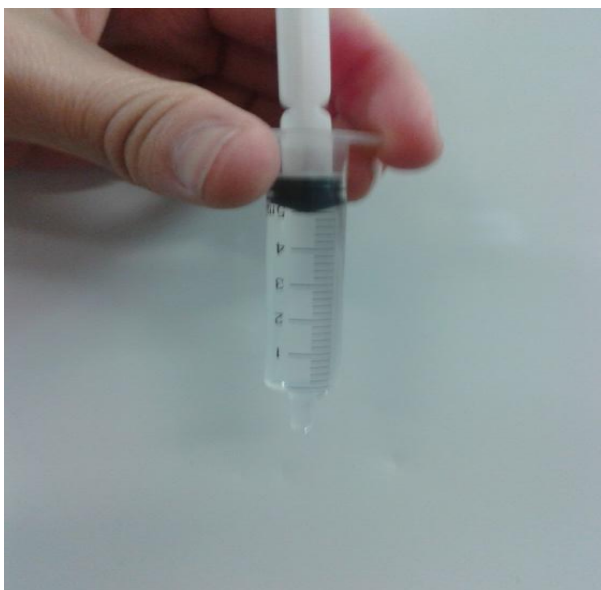


Figura 5.10 Utilización de la jeringa

3. Vierta los 5 mL de agua des ionizada en el vial.
4. Vierta 5 mL de muestra en el mismo vial hasta completar 10 mL, (5 mL de muestra + 5 mL de agua desionizada). Ver figura 5.11.



Figura 5.11 Utilización de la marca de 10 mL

5. Encienda el colorímetro y presione “range” hasta que aparezca “P1” (figura 5.12).

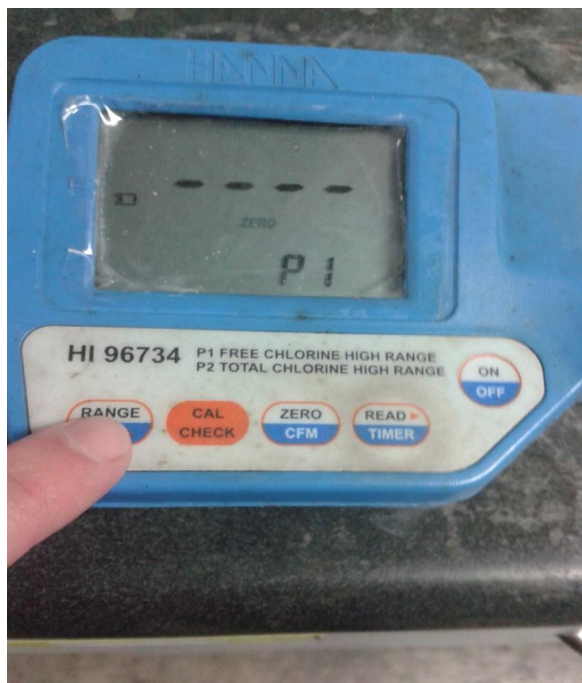


Figura 5.12 Estableciendo el parámetro de “P1” para cloro libre.

5. Ponga el vial dentro del colorímetro, coloque la cubierta de luz y presione “zero” para medir el blanco.
6. Espere a que el colorímetro marque “0.00”. Ver figura 5.13



Figura 5.13 Colocación del vial dentro del colorímetro con su cubierta de luz.

7. Agregue un sobre de reactivo para cloro libre y total Hannah al vial (figura 5.14)



Figura 5.14 Sobre de reactivo utilizado

8. Agite la disolución y espere como máximo 1 minuto. Si hay cloro libre la disolución cambiará de color a algún tono de rosado o fucsia (según se muestra en la figura 5.15).



Figura 5.15 Muestra con el reactivo después de la agitación.

9. Ponga nuevamente el vial dentro del colorímetro y coloque la cubierta de luz.
10. Presione “read” y anote el valor (ppm) en el Registro correspondiente (figura 5.16).

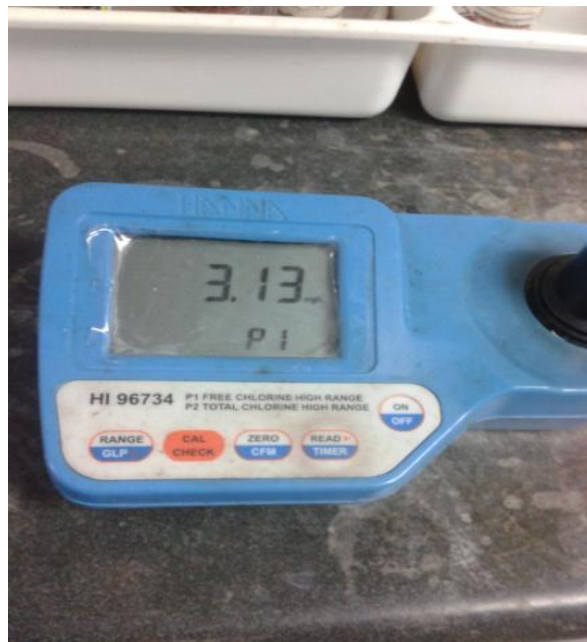


Figura 5.16 Muestra de una medición de cloro libre.

B) Medición de cloro total:

1. Tome una muestra del agua a medir siguiendo los pasos del *Instructivo para la recolección de muestras de agua*.
2. Revise que el aparato que se vaya a utilizar este debidamente calibrado.
3. Mida 5 mL de agua desionizada utilizando la probeta o la jeringa de 5 mL.
4. Vierta los 5 mL de agua des ionizada en el vial.
5. Vierta 5 mL de muestra en el mismo vial hasta completar 10 mL, (5 mL de muestra + 5 mL de agua desionizada).
6. Encienda el colorímetro y presione “range” hasta que aparezca “P2” (ver figura 5.17)

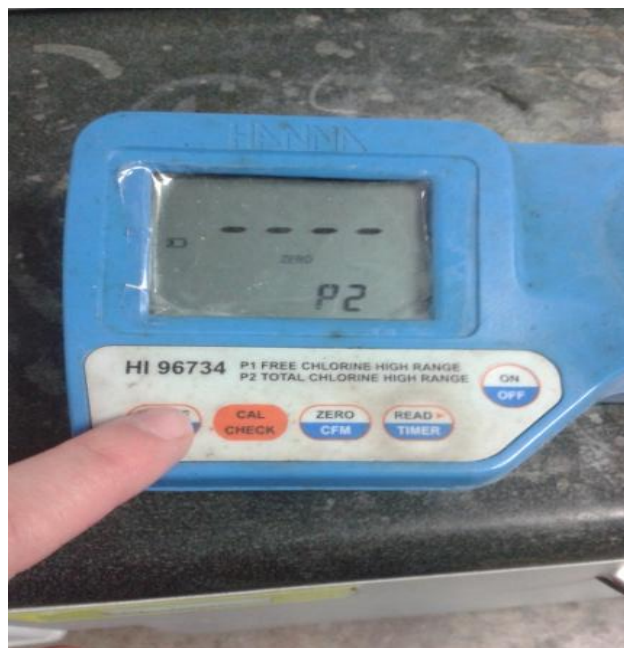


Figura 5.17 Estableciendo el parámetro a medir en el colorímetro “P2” para cloro total.

7. Ponga el vial dentro del colorímetro, coloque la cubierta de luz y presione “zero” para medir el blanco.
8. Espere a que el colorímetro marque “0.00”.
9. Agregue un sobre de reactivo para cloro libre y total Hannah al vial y tres gotas de reactivo para cloro total a la disolución contenida en la celda.
10. Agite la disolución y espere como máximo 1 minuto. Si hay cloro total la disolución dejará de ser transparente aunque a veces un ligero cambio de color no es significativo.

En la figura 5.18 se muestra como debe verse el vial después de la adición de los reactivos. Aunque el color idealmente debe ser completamente transparente un poco de coloración rosada no significa que necesariamente haya presencia de color total en la muestra de agua tratada. No descarte la muestra y proceda con la medición.



Figura 5.18 Muestra con los reactivos después de la agitación.

11. Ponga nuevamente el vial dentro del colorímetro y coloque la cubierta de luz.
12. Presione “read” por varios segundos hasta que se active el “timer” (dos minutos) y espere a que aparezca el valor de la medición del cloro total, anote el valor (ppm) en el Registro correspondiente.

5.5 CLORUROS

A continuación se describirán las instrucciones a seguir para determinar la concentración de Cloruros en el agua.

- Materiales o reactivos:**
- Cromato de Potasio 5% m/v
 - Nitrato de Plata 0.020 N

Equipos e instrumentos de medición:

- 1 Probeta de 10 mL

- 1 Erlenmeyer de 25 mL
- 2 Goteros

1. Tome la muestra de agua a medir según el *Instructivo para la recolección de muestras de agua*.
2. Enjuague la probeta de 10 mL y el erlenmeyer de 25 mL con el agua a la cual se le va a determinar la concentración de cloruros.
3. Mida en la probeta 10 mL del agua muestreada.
4. Vierta los 10 mL de agua muestreada en el erlenmeyer de 25 mL.
5. Agregue 3 gotas de Cromato de Potasio. El agua se tornará amarilla.
6. Agite bien la solución.
7. Después, agregue gota a gota y agitando Nitrato de plata hasta que la disolución presente un color café.
8. Multiplique el número de gotas necesario para que la disolución cambie de color por 10.
9. Anote el dato (ppm), en el *Registro de Control del Tratamiento de Aguas de Proceso*.

5.6 MEDICIÓN DE pH

Para la medición del pH del agua tome la muestra según el *Instructivo para la toma de muestras*; coloque una muestra dentro de un beaker de manera que la altura sea suficiente para sumergir la cabeza del electrodo del peachímetro. Coloque el electrodo dentro de la muestra y espere a que se estabilice la lectura. Para agilizar la estabilización de la lectura coloque la muestra sobre un agitador magnético y ponga dentro del beaker una pastilla agitadora magnética. Anote el dato (ppm), en el *Registro de Control del Tratamiento de Aguas de Proceso*. En la figura 5.19 se muestra el equipo utilizado en esta medición. Consta de de un medidor de pH y un agitador magnético.



Figura 5.19 Equipo para medición del pH.

5.7 MEDICIÓN DE ALUMINIO

Este procedimiento establece el método para determinar la concentración de aluminio en las muestras de agua tratada, por medio de métodos espectrofotométricos. Esta prueba debe ser desempeñada diariamente cuando compuestos de aluminio se empleen como coagulantes.

Verificar que los equipos de inspección, medición y prueba utilizados en el desarrollo de este documento estén calibrados y/o verificados de acuerdo al Procedimiento Estándar de Operación "Calibración y Verificación de Equipos de Inspección, Medición y Prueba" definido por la unidad operativa.

5.7.1 MÉTODO DE ALUMINON (MÉTODO HACH 8012)

El Aluminon (sal de amonio de ácido aurin tricarboxílico) se combina con el aluminio en la muestra para formar un complejo rojo naranja. La intensidad del color es proporcional a la concentración del aluminio. Se adiciona ácido ascórbico para eliminar la

interferencia. El reactivo de aluminio AluVer® 3, empacada en polvo muestra una estabilidad excepcional y se puede usar en aplicación de agua fresca. El resultado de las pruebas se mide en 522nm. Adecuado para el análisis del aluminio en un rango de concentración de 0.008 a 0.800 mg/L en el agua. Antes de comenzar el análisis: La determinación de aluminio total requiere una digestión previa. Lavar los artículos de vidrio con ácido clorhídrico 6.0 N y con agua desionizada antes de usarlos, para evitar los contaminantes absorbidos en el vidrio. Para obtener resultados de precisión, la temperatura de la muestra debe estar entre 20–25 °C (68–77°F).

5.7.2 EQUIPO Y REACTIVOS PARA MEDICIÓN DE ALUMINIO

- Espectrofotómetro
- Celda de muestra para uso en el espectrofotómetro
- 2 Beaker 50 mL
- Set del reactivo del aluminio que incluye:
 - o 1 Sobre de reactivo AluVer® 3 en polvo
 - o 1 Sobre de reactivo de ácido ascórbico en polvo
 - o 1 Sobre de reactivo blanqueador en polvo
- Agua desionizada
- 2 Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 mL

5.7.3 PROCEDIMIENTO PARA MEDICIÓN DE ALUMINIO

Opere los instrumentos de acuerdo con las instrucciones del fabricante y siga el procedimiento incluido en el manual de procedimientos del instrumento.

- La temperatura de la muestra debe estar entre 20 - 25°C (68 - 77°F) para obtener resultados exactos.

- Limpie todos los implementos de cristal con 6.0 N HCl y agua desionizada antes de iniciar.
- Tome una muestra de 50 mL de agua y agréguele una bolsita de reactivo de ácido ascórbico y luego otra de reactivo en polvo de AluVer® 3.
- Después de adicionar estos reactivos se generará un color naranja a naranja rojo si está presente el aluminio.
- Agite la muestra en un agitador magnético con pastilla hasta que se disuelvan completamente los reactivos.
- Una vez disueltos los reactivos coloque la mitad de la muestra (25 mL) en otro beaker y agréguele el reactivo blanqueador (bleaching reagent).
- Agite esta muestra hasta que se disuelva el blanqueador completamente.
- Encienda el espectrofotómetro y prográmelo para una medición de absorbancia a 522nm de longitud de onda.
- Vierta en una cubeta de análisis cuadrada la muestra blanqueada y en otra celda la celda sin blanquear. Espere 15 minutos.
- Coloque la cubeta blanqueada dentro de la porta celda del espectrofotómetro con la marca de diamante de cara a la pantalla de lectura.
- Ponga el espectrofotómetro a establecer el cero.
- Una vez establecido el cero retire la celda con muestra blanqueada y coloque ahora la celda no blanqueada con la marca de diamante de cara a la pantalla de lectura.
- Mida la absorbancia.
- Limpie el exterior de la celda de muestras antes de cada inserción en el porta celda del instrumento. Use una toalla mojada, después use una seca para eliminar las huellas digitales u otras marcas.
- La concentración de aluminio en mg/L es igual a:

$$\text{Concentración (mg/L)} = \frac{\text{Absorbancia} + 0,0027}{0,6121} \quad (5.1)$$

- Anote el dato (mg/L), en el *Registro de Control del Tratamiento de Aguas de Proceso*.

5.7.4 INTERFERENCIAS EN LA MEDICIÓN DE ALUMINIO

Hay sustancias que si están presentes interfieren con la medición de la concentración de aluminio por espectrofotometría. En la tabla 5.1 se resumen las principales sustancias interferentes y su posible tratamiento.

Tabla 5.1 Sustancias interferentes y niveles de interferencia en la medición de la concentración de aluminio [tomado de www.hach.com]

Sustancia interferente	Niveles de interferencia y tratamientos
Acidez	Mayor que 300 mg/L como CaCO ₃ . Las muestras con acidez en concentraciones superiores deben ser tratadas de la manera siguiente: 1. Añadir una gota de solución indicadora de m-nitrofenol a la muestra de 50 mL con ácido ascórbico. 2. Añadir una gota de solución patrón de hidróxido sódico 5.0 N. Tapar el tubo. Invertir para mezclar. Repetir tantas veces como sea necesario hasta que el color cambie de incoloro a amarillo. 3. Añadir una gota de la solución patrón de ácido sulfúrico 5.25 N, para cambiar la solución de amarilla a incolora. Continuar con el procedimiento.
Alcalinidad	1000 mg/L como CaCO ₃ . Las interferencias por concentraciones de alcalinidad más altas se pueden eliminar mediante el siguiente tratamiento preliminar: 1. Añadir una gota de solución indicadora de m-nitrofenol a la muestra de 50 mL con ácido ascórbico. Un color amarillo indica una alcalinidad excesiva. 2. Si la muestra está amarilla, agregar una gota de solución patrón de ácido sulfúrico 5.25 N. Tapar el tubo. Invertir para mezclar. Si el color amarillo persiste, repetir hasta que la muestra cambie a incolora. Continuar con el procedimiento.
Fluoruro	Interfiere a todos los niveles. Véase la Figura 5.22
Fosfato	Mayor que 50 mg/L
Hierro	Mayor que 20 mg/L
Polifosfato	El polifosfato interfiere a todos los niveles, causando errores negativos y no debe estar presente. Antes de efectuar el procedimiento el polifosfato debe ser convertido a ortofosfato por el Método con hidrólisis ácida.

El fluoruro interfiere a todos los niveles por acomplejamiento con el aluminio. La concentración real de aluminio se puede determinar utilizando el gráfico que se muestra en la figura 5.22 cuando se conoce la concentración de fluoruro.

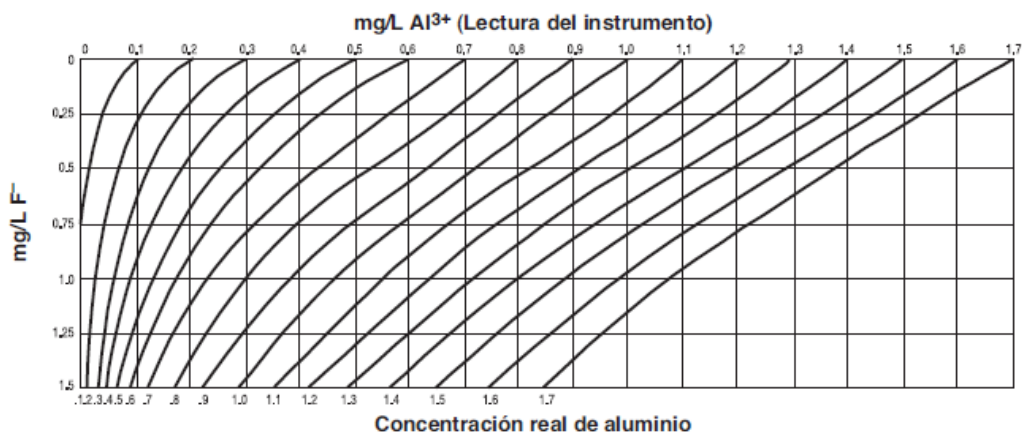


Figura 5.22 Gráfico de interferencia del fluoruro. (Hach Company).

Para utilizar el gráfico de interferencia de fluoruro:

1. Seleccionar la línea vertical a lo largo de la parte superior del gráfico que representa la lectura de aluminio obtenida en el paso 15 del procedimiento.
2. Localizar el punto de la línea que se cruza con la línea horizontal que indica cuanto fluoruro hay en la muestra.
3. Extrapolar la concentración real de aluminio siguiendo las líneas curvas a ambos lados del punto de intersección hacia abajo hasta la concentración real de aluminio.

Por ejemplo, si el resultado del ensayo de aluminio fue 0.7 mg/L de Al y el fluoruro presente en la muestra fue 1 mg/L F⁻ entonces el punto donde la línea de 0.7 se cruza con la línea de 1 mg/L F⁻ cae entre las curvas de 1.2 y 1.3 mg/L de Al. En este caso, el contenido real de aluminio sería de 1.27 mg/L Al³⁺.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DEL PROCESO Y PROPUESTAS DE MEJORA

El sistema de tratamiento de aguas de proceso estudiado durante esta práctica profesional, es capaz de procesar los volúmenes de agua requeridos actualmente por la planta, y de producir resultados satisfactorios en los valores de las variables críticas de calidad. El monitoreo de dichas variables garantiza la calidad del producto a la salida.

Sin embargo el sistema estudiado presenta oportunidades de mejora.

Una de las variables que más frecuentemente requiere acciones correctivas para lograr que se mantenga dentro de los límites de calidad establecidos, es la turbidez a la salida de los filtros multimedia. Aquí el límite máximo permitido es 0.30 NTU, y constantemente la medición en este punto se acerca a, o excede, aunque sea en poco, este límite. La acción correctiva inmediata es enjuagar o retrolavar el filtro multimedia que está provocando este valor desviado; lo cual conlleva un gran gasto de agua. Pero debido a que la etapa de coagulación-floculación es la etapa diseñada para tratar la turbidez, es este paso el que requiere un análisis mayor. En esta etapa se recomienda optimizar la cantidad de coagulante que se está inyectando en el flujo de entrada hacia los filtros multimedia. Aunque en la literatura se dice que hay cierta relación entre la turbidez del agua bruta y la dosis de floculante, la cantidad exacta se debe determinar mediante una prueba de jarras, para evitar bajas dosificaciones, y sobredosificaciones que rompan la adsorción superficial. Esta prueba se realiza con el fin de determinar la concentración óptima de coagulante necesaria para obtener un flóculo de las mejores características.

Por otro lado, en esta etapa la inyección de coagulante se activa cuando se activan las bombas de los filtros multimedia, pero no regula la dosificación con respecto al flujo que pase hacia los filtros. Este flujo puede tener variaciones muy grandes. Por esto se recomienda montar un medidor de flujo antes del punto de inyección de floculante y establecer un sistema de control automático que regule la cantidad de floculante que se

inyecta en línea según el flujo de alimentación. Esto permitiría controlar la concentración de floculante que se inyecta al sistema.

Otra etapa que tiene áreas de oportunidad es la cloración. No hay un sistema de respaldo para el clorador en línea. Si falla el sistema de cloración en línea la única opción que existe de desinfectar el agua de pozo sería algún tipo de dosificación manual. El requerimiento de calidad exige que la concentración de cloro libre sea ≥ 1 ppm en el tanque de mezcla.

Con el fin de solventar este problema se propone poner una tubería que conecte la salida del clorador utilizado en inundaciones de red, con el tanque de mezcla; para casos de emergencia donde falle el clorador en línea instalado para la cloración del agua de pozo.

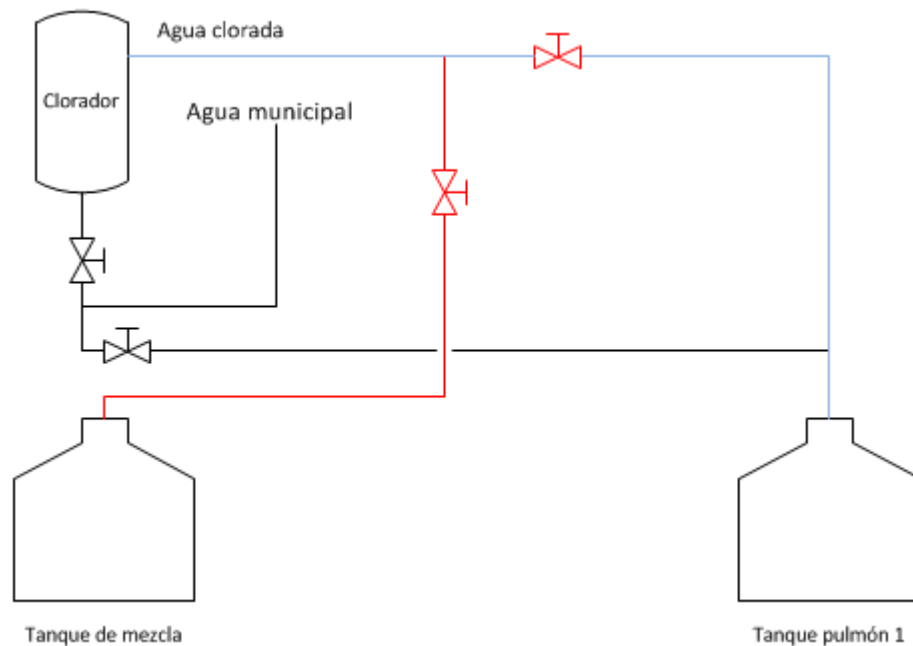


Figura 6.1 Tramo de tubería y válvulas (en rojo) que se propone agregar con el fin de utilizar el clorador para inundaciones de red, en la cloración del agua de pozo para casos de emergencia cuando falle el clorador en línea del agua de pozo.

En la figura 6.1 se muestra destacado el tramo de tubería (y dos válvulas) que habría que agregar para obtener utilizar el clorador de inundación de red, como clorador de reserva para el agua de pozo, en caso de que falle el clorador principal. Aquí no sería necesario instalar una bomba pues el flujo se movería por gravedad con la presión de la tubería del agua municipal.

Otra área de oportunidad que tiene el sistema es el tema económico. Actualmente se utiliza en el proceso aproximadamente un 60% de agua municipal, y un 40% de agua de pozo. Aquí hay un área de oportunidad pues el consumo de agua municipal se podría reducir. El agua de pozo tiene un costo ínfimo comparado con el del agua municipal.

No se puede utilizar solo agua de pozo porque dicha fuente posee una alcalinidad muy alta. A como está el sistema actualmente si no se utilizara agua municipal la alcalinidad del agua tratada se mantendría en valores fuera de lo permitido (máximo 85 ppm). La alcalinidad del agua de pozo es medida diariamente y su valor oscila entre 95 ppm y 140 ppm.

Se considera la idea de que para poder optimizar económicamente el sistema se podría utilizar solo agua de pozo instalando un dealcalinizador. Para aceptar o desechar esta idea se hace una cotización del costo de instalación, y costos de operación y mantenimiento para un sistema dealcalinizador; con el fin de comparar con el costo del agua municipal utilizada. Así se verá la viabilidad económica de esta propuesta. Siendo que el valor límite máximo permitido por la norma de calidad de la compañía para la alcalinidad es de 85 ppm, se necesita un equipo que sea capaz de bajar la alcalinidad hasta 70 ppm (para tener un factor de seguridad). Debe ser un dealcalinizador continuo, diseñado para trabajar 24 horas al día, con tanques resistentes a la corrosión.

Según el último estudio técnico de valoración de caudal de pozo, realizado en el 2012, (Hidromaq S.A., 2012); la cantidad recomendada de explotación del pozo N°3 (el que se está utilizando actualmente) es un caudal menor o equivalente a 2.4 litros por

segundo para no estresar el acuífero superficial captado. Según los registros de consumo que se llevan en la planta, el consumo promedio diario en lo que va del año 2013 (de enero a noviembre), es de 134.500 litros. El pozo a la capacidad recomendada de explotación es capaz de producir 207.360 litros diarios, lo cual excede la demanda promedio de agua.

Se hizo una cotización de un sistema dealcalinizador, y el costo del equipo instalado es de \$35744 lo cual corresponde a 18.050.720 (al tipo de cambio ¢505 por dólar). Costo estimado mensual de operación y mantenimiento es de ¢1.138.000, según datos del proveedor. El costo mensual promedio (tomando un período de un año) del consumo de agua municipal es de ¢3.156 millones. Debido a que actualmente se utiliza un 40% de agua de pozo, el ahorro se calcula utilizando la fórmula:

$$A = C_{AyA} * (0.6 * m^3_{totales}) - C_{Operación} \quad (6.1)$$

Donde: A : Ahorro en un tiempo determinado (ejemplo un mes)

C_{AyA} : Costo por m^3 del agua del AyA

$m^3_{totales}$: Cantidad de m^3 totales consumidos en el período determinado

m^3_{Pozo} : Cantidad de m^3 de agua de pozo consumidos en el período determinado

$C_{Operación}$: Costo de operación del equipo dealcalinizador en período determinado

Al día de hoy: $C_{AyA} = \text{¢}1655/m^3$

$m^3_{totales} \text{ promedio mensual} = 3150m^3$

$C_{Operación} \text{ estimado} = \text{¢}1.138.000$

Con estos datos: $A_{\text{mensual promedio}} = 1655 * (0.6 * 3150) - 1138000 = \text{¢}1.989.950$. El equipo instalado se pagaría en 9 meses. Se concluye que es económicamente viable instalar un dealcalinizador para eliminar o reducir el consumo de agua municipal.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El sistema es capaz de mantener las variables críticas para la medición de la calidad del agua dentro de los rangos especificados.
- Cuando la medición de la turbidez se acerca a, o excede el límite máximo, hay que enjuagar los filtros multimedia. Si aún así la medición no vuelve a un valor aceptado, hay que retrolavar los filtros multimedia.
- Cuando la medición de alcalinidad se acerca a, o excede el límite máximo, hay que aumentar el flujo de entrada de agua municipal.
- Cuando la medición de dureza se acerca a, o excede el límite máximo, hay que aumentar el flujo de entrada de agua municipal.
- Cuando la medición de desinfectante (cloro) se acerca a, o baja del límite mínimo, hay que revisar que el clorador tenga pastillas; si esta no es la causa hay que abrir más la llave de entrada al clorador y cerrar gradualmente la llave de recirculación.
- Cuando la medición de sólidos suspendidos totales se acerca a, o excede el límite máximo hay que revisar la dosificación de floculante y el funcionamiento de los filtros multimedia, filtros de carbón y filtros pulidores.
- Cuando el cloro total a la salida del sistema no es cero hay que regenerar los filtros de carbón o en su defecto cambiar el relleno del empaque.
- El parámetro que más frecuentemente presenta desviaciones que requieren acciones de corrección es la turbidez a la salida de los filtros multimedia.

- Se recomienda realizar una prueba de jarras para determinar la cantidad óptima de floculante que se debe introducir al sistema.
- Se recomienda instalar un medidor de flujo antes del punto de inyección de floculante, y conectar la señal del medidor de flujo a la bomba dosificadora para que por medio de control automático se regule la cantidad de floculante que se introduce al sistema según el flujo de entrada a los filtros multimedia.
- Se recomienda instalar una tubería que conecte el clorador para inundación de red con el tanque de mezcla para poder utilizar este como sistema alternativo de cloración en caso de que falle el clorador principal.
- Se recomienda instalar un dealcalinizador con el fin de reducir costos. Eliminando el consumo de agua municipal y utilizando exclusivamente agua de pozo para la fabricación de bebidas. Esto representaría un ahorro mensual promedio de ¢1.989.950, esto pagaría la inversión en 9 meses y después de este período sería un ahorro real para la compañía.

BIBIOGRAFÍA

1. American Society for testing and Materials. (1994). Obtenido de <http://arturobola.tripod.com/cloru.htm>
2. Hach Company. (s.f.). www.hach.com. Obtenido de [www.hach.com asset-get.download.jsa id=763 82270](http://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=763_82270)
3. Hernández Muñoz, A. (2001). *Depuración y dsinfección de aguas residuales. 5a Edición*. Madrid: Colegio de ingenieros de Caminos, Canales y Puerto.
4. Hidromaq S.A. (2012). *Informe técnico de valorización de caudal de pozos para Coca Cola Femsa planta Coronado*. Coronado.
5. Induquim Gonveg Cia. Ltda. (s.f.). www.induquimgonveg.com. Obtenido de <http://induquimgonveg.com/files/DeterminaciondeCloroResidualyCloroTotal.pdf>
6. León Morales, R. (2010). *Control operacional de sistemas de aguas residuales*. San José, Costa Rica: INA.
7. Mafart, P. (1994). *Procesos físicos de conservación en ingeniería alimentaria, volumen 1*. Zaragoza, España.: Acribia.
8. McCabe, L., Smith, J. C., & Harriot, P. (1991). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. Madrid: McGraw-Hill.
9. Metcalf y Eddy, Inc. (1996). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tomo 1*. México, D. F.: MacGraw-Hill/Interamericana editores s.a. de C.V.
10. Rigola Lapeña, M. (1989). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Barcelona, España.: Marcombo.
11. Sawyer, C. N., & McCarthy, P. L. (1967). *Chemistry for sanitary engineers*. New York: McGraw-Hill.
12. Welty, J. R. (1997). *Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa*. México D.F.: Limusa-Noriega editores.
13. www.fotolog.com.(s.f.). Obtenido de http://sp2.fotolog.com/photo/2/36/55/g_a_t_e_a_n_d_o/1192650099_f.jpg
14. www.plantaspurificadorasdeagua.net. (2013). Obtenido de http://www.plantaspurificadorasdeagua.net/imagenes3/g_floculacion.jpg