

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y MANUFACTURERA**



**“Automatización de la Planta de Tratamiento  
de Aguas en una Industria de Embotellado”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**POR LA MODALIDAD DE:  
ACTUALIZACION DE CONOCIMIENTOS**

***PRESENTADO POR :***  
**DANIEL GUSTAVO LACHERRE PUJADA**

**LIMA - PERÚ**  
**2002**

## **RESUMEN**

El principal propósito de este trabajo es demostrar la gran utilidad que tiene el control automático de procesos para mantener en determinado valor de operación las variables de un proceso de tratamiento de agua que son objeto de control de rutina en la industria de embotellado.

Este trabajo permite observar detalladamente dos procesos básicos, como son el tratamiento de agua para envasado y el ablandamiento de agua para el lavado de envases retornables, cada uno con sus respectivas especificaciones técnicas. Es a estos dos procesos precisamente que está dirigido el diseño e implementación de un control automático de procesos a fin de asegurar la calidad del agua.

## INDICE

### **INTRODUCCIÓN**

### **CAPÍTULO I: PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS**

- 1.1. Agua cruda
  - 1.1.1. Aguas subterráneas.
  - 1.1.2. Importancia del agua subterránea.
  - 1.1.3. Pozos para extracción de agua subterránea.
  - 1.1.4. Pre-tratamiento de agua cruda.
- 1.2. Proceso de tratamiento de agua para embotellado.
  - 1.2.1. Descripción del proceso.
  - 1.2.2. Definiciones importantes.
  - 1.2.3. Agua tratada.
  - 1.2.4. Descripción de los equipos.
  - 1.2.5. Especificaciones de agua en Proceso de tratamiento.
  - 1.2.6. Especificaciones de agua tratada.
- 1.3. Proceso de Ablandamiento de agua
  - 1.3.1. Descripción del proceso.
  - 1.3.2. Definiciones importantes.
  - 1.3.3. Mecanismo de ablandamiento.
  - 1.3.4. Operaciones básicas en el intercambio de ablandamiento.
  - 1.3.5. Cisterna de almacenamiento de agua blanda.
  - 1.3.6. Especificaciones de agua blanda.

### **CAPÍTULO II: AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA.**

- 2.1. Descripción de la estrategia de control para el proceso de tratamiento de agua.
  - 2.1.1. Analizador de cloro # 1.
  - 2.1.2. Analizador de cloro # 2.
  - 2.1.3. Medidor de pH.
- 2.2. Descripción de la estrategia de control para el proceso de ablandamiento de agua.

2.2.1. Analizador de cloro.

2.2.2. Analizadores de dureza.

2.3. Descripción de los equipos analizadores en línea.

2.3.1. Analizador de cloro.

2.3.2. Medidor de pH.

2.3.3. Analizador de dureza.

**CONCLUSIONES**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## INTRODUCCIÓN

El agua tratada es la principal materia prima para la elaboración de una bebida gaseosa, ya que ésta constituye el 92% de una bebida gaseosa, siendo el porcentaje restante jarabe y gas carbónico. Es por ello que en la industria de embotellado se debe tener especial cuidado en el tratamiento físico-químico que se le dá para garantizar que el agua producida sea de muy buena calidad y apta para el consumo humano.

Es necesario comprender que para mantener la calidad del agua resulta importante que las variables del proceso se mantengan dentro de sus especificaciones, y es allí donde se hace necesario el uso del control automático en el proceso, para hacerlo más eficiente y así mantener la calidad del producto terminado.

# CAPITULO I

## PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS

### 1.1. AGUA CRUDA

Una de las fuentes de abastecimiento del agua cruda son las aguas subterráneas.

#### 1.1.1. Aguas subterráneas

Son las aguas que se hallan acumuladas en el subsuelo luego de haber atravesado (filtrado) la capa permeable de la tierra. Las aguas subterráneas se acumulan en el subsuelo, porque encuentran una capa impermeable de sólidos que no pueden filtrar, entonces se forma un reservorio subterráneo llamado acuífero.

Durante la filtración del agua hacia el subsuelo, ésta disuelve las sales minerales que encuentra a su paso y se va incrementando en sólidos disueltos así como en dureza. Es por ello que las aguas subterráneas pueden tener características diferentes de una zona a otra (por las características del subsuelo).

#### 1.1.2. Importancia del agua Subterránea

Las aguas subterráneas constituyen cerca del 95 % del agua dulce de nuestro planeta, el agua de los lagos y ríos representa aproximadamente el 5%, por ello la importancia de este recurso con respecto a la vida humana y a la actividad económica.

Una gran ventaja de usar las aguas subterráneas está en el hecho en que generalmente es adecuada para el consumo humano sin necesidad de mucho tratamiento.

- También el costo del sistema de abastecimiento es menor que en otros procesos de abastecimiento de agua.

- Asimismo el agua subterránea también representa una segura reserva estratégica de agua potable en el caso de desastres naturales o guerras.

### **1.1.3. Pozos para extracción de agua subterránea**

Estos pozos tienen profundidades variables dependiendo de la profundidad donde se halla el acuífero.

En nuestro caso los pozos son de 100 - 150 m de profundidad. Para saber la profundidad en la que se halla el agua en los pozos se tiene el control de las variables llamada: (Ver Figura 1.1):

- a) Nivel estático
- b) Nivel dinámico.

a) *Nivel Estático.*- Es el nivel del agua en el pozo cuando éste no está abasteciendo de agua a la superficie.

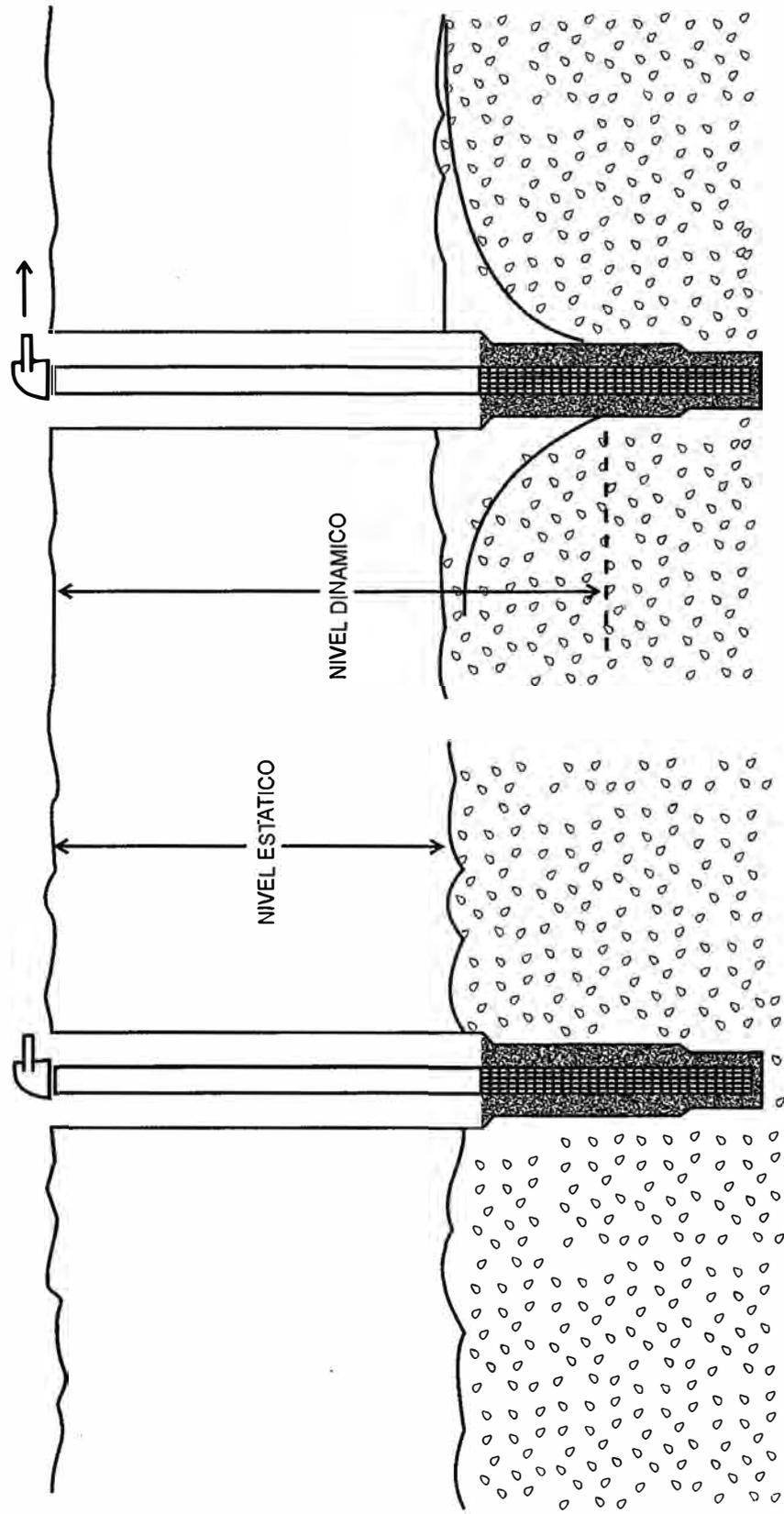
b) *Nivel Dinámico.*- Es el nivel del agua en el pozo cuando éste está abasteciendo de agua en forma constante a la superficie. Ver figura

### **1.1.4. Pre-tratamiento de agua cruda**

El agua cruda como ya se mencionó puede proceder de diversas fuentes, y a su vez puede tener características muy variables que pueden representar contaminaciones importantes para el proceso en que deseamos utilizarla, por ello generalmente se requiere que se someta a un pre-tratamiento con la siguiente finalidad:

- a) Eliminación o reducción de los sólidos y coloides en suspensión
- b) Eliminación o reducción de los gases disueltos.
- c) Eliminación o reducción de microorganismos.

FIGURA 1.1 NIVEL ESTÁTICO Y DINÁMICO DE UN POZO DE AGUA



Para la eliminación de sólidos y coloides en suspensión se suele usar operaciones muy conocidas que son la coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Esto permitirá retirar del agua la turbidez que posea debido a estos contaminantes.

- La eliminación de los gases disueltos se suele dar por aereación de las aguas, por calentamiento y por reacciones químicas de ciertas sustancias con el mismo oxígeno (sulfito de sodio en agua de calderos).
- La eliminación de microorganismos se reduce a través de la cloración, lo que permite también la oxidación de materia orgánica e inorgánica. Las aguas tienen una demanda o necesidad de cloro, dicha demanda está definida como la diferencia entre la cantidad de cloro aplicada y la cantidad de cloro remanente no usada al finalizar el tiempo de contacto especificado.

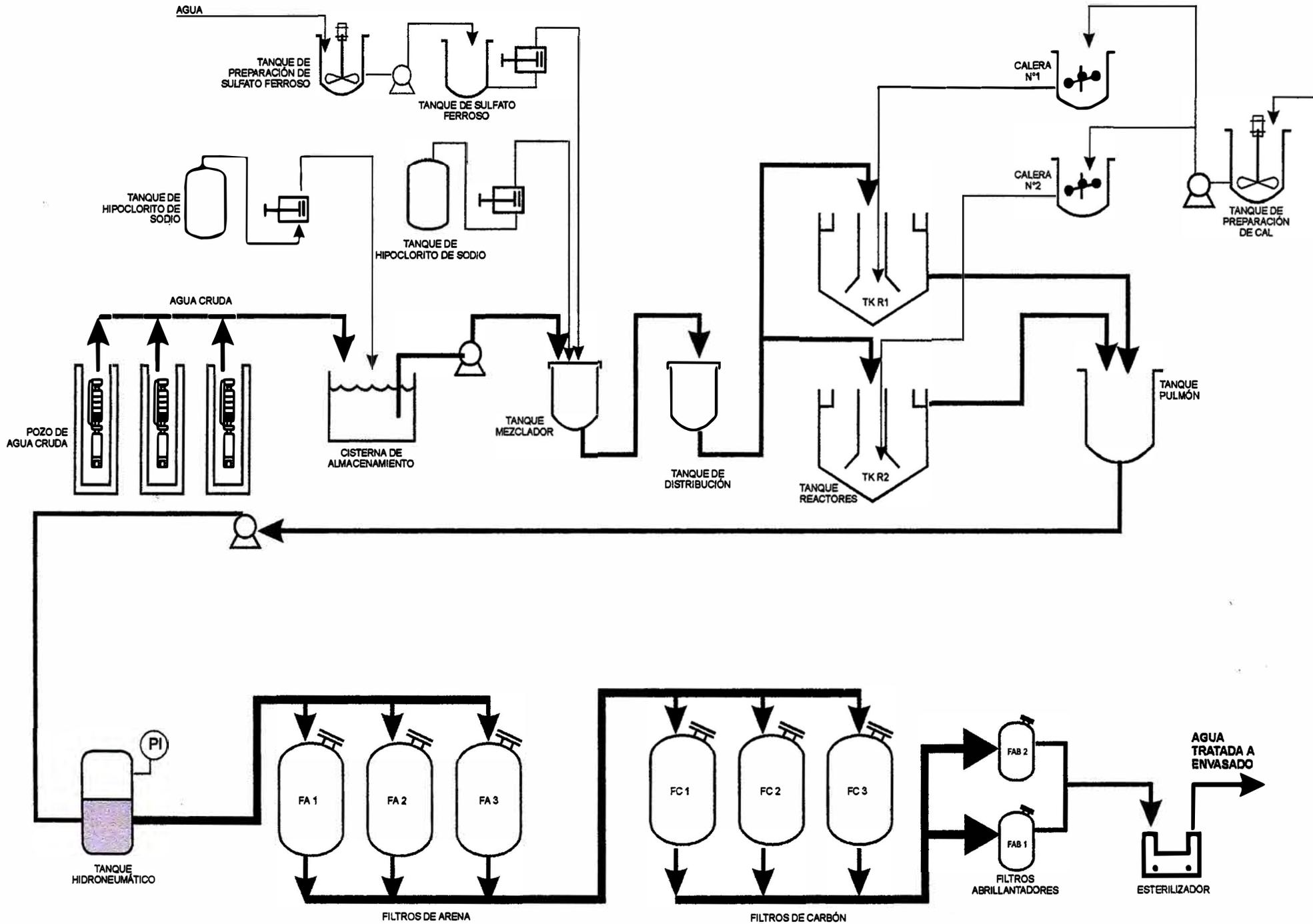
Aparte de las propiedades de desinfección, el cloro es un poderoso agente oxidante capaz de destruir la mayoría de sabores y olores, además de precipitar el fierro, el manganeso y otros constituyentes indeseables del agua.

## **1.2. PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA EMBOTELLADO**

### **1.2.1. Descripción del Proceso**

El proceso consiste en una cloración del agua cruda con hipoclorito de sodio y luego una combinación de floculación, supercloración y reducción de alcalinidad, para lo cual se utiliza sulfato ferroso, hipoclorito de sodio y cal hidratada, con un tiempo de contacto de 2 horas como mínimo.

**FIGURA 1.2 DIAGRAMA DE FLUJO: PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA**



Después de esta etapa el agua pasa a una filtración por arena, purificación por carbón activado, una microfiltración a través de filtros abrillantadores, siendo la última etapa la esterilización con radiación ultravioleta (Ver Figura 1.2).

### 1.2.2 Definiciones importantes

a) **Dureza total.**- Es una característica química que tienen las aguas y está dada por la cantidad de sales de calcio y magnesio que puedan tener. Las sales pueden ser de sulfato, carbonato, bicarbonato o cloruros.

Para la evaluación de la dureza se utilizan reactivos como el EDTA, capaz de formar con el calcio y el magnesio compuestos solubles llamados "QUELATOS".

Normalmente, la dureza del agua se expresa en términos de mg/L de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), independientemente de si el calcio y el magnesio estén combinados con cloruros, sulfatos o bicarbonatos.

b) **Alcalinidad.**- La alcalinidad es una variable que está referida a la capacidad del agua para neutralizar los ácidos.

La presencia de carbonatos, bicarbonatos o hidróxido de calcio, magnesio o sodio es la causa más común de la alcalinidad en las aguas naturales.

Existen 2 tipos de alcalinidad:

b.1) *Alcalinidad P.*- También llamada "Alcalinidad a la fenolftaleína", incluye el total de hidróxidos y a la mitad de carbonatos que puede tener el agua.

b.2) *Alcalinidad M.*- Llamada "Alcalinidad al anaranjado de metilo" o alcalinidad total, representa al total de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos que pueda tener el agua.

En el análisis de agua, la alcalinidad se puede expresar en términos de mg/L de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

c) **Sólidos disueltos totales.**- Se considera así a toda la materia orgánica e inorgánica disuelta en el agua. Los sólidos totales mayores de 500 mg/L pueden impartir un sabor indeseable a una bebida o contribuir a la formación de sedimentos, producto de la inestabilidad de los componentes.

d) **pH.**- El valor de pH expresa una medida de la acidez del agua. En la escala  $\text{pH}=0$  el agua es muy ácida y en el otro extremo  $\text{pH}=14$  el agua es muy básica, pero en la escala intermedia  $\text{pH}=7$ , 7 el agua es neutra.

La mayoría de aguas naturales suelen estar con un pH desde 4 hasta 9 y son a menudo ligeramente alcalinas debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos disueltos.

e) **Turbidez.**- Es una característica de casi todas las aguas superficiales, pues debido a la erosión de la superficie terrestre contienen partículas de materia en suspensión, lo que provoca una reducción en su transparencia. Por lo tanto, la medición de la turbidez, indica el grado de opacidad o dispersión de la luz a causa de los sólidos suspendidos.

La turbidez también puede encontrarse en el agua tratada si ésta fue indebidamente estabilizada o filtrada. Las aguas subterráneas rara vez son turbias.

**f) Sólidos suspendidos.-** Cuando el agua toma contacto con materia muy pequeña puede disolver una parte y otra la mantiene sin disolver, ésta puede quedar precipitada. al fondo del recipiente o en suspensión (sin caer al fondo).

La materia que no se disuelve y no precipita se llama sólidos en suspensión y son los que otorgan turbidez al agua.

Los sólidos se mantienen en suspensión debido a su escaso tamaño y a fuerzas electrostáticas que hacen que no puedan unirse entre sí para ganar tamaño y peso que les permita precipitar.

**g) Cloro residual.-** Es la característica química que pueden tener las aguas pre-tratadas o tratadas con objeto de desinfectarlas o para oxidar materias orgánicas o inorgánicas capaz de aportar olores o sabores desagradables.

La determinación del cloro residual se realiza por reacciones químicas del cloro contenido en el agua con reactivos específicos, y pueden ser pruebas cuantitativas (con determinación exacta) o cualitativas (si existe o no en el agua).

El cloro residual se expresa en mg/L de cloro en agua.

### **1.2.3 Agua tratada**

El agua tratada proviene de un agua cruda que ha recibido un tratamiento físico y químico que le permite acondicionarla para un uso específico.

En el caso, el agua tratada es el elemento básico para la preparación de los productos, por lo que requiere tener un proceso controlado de fabricación que le otorgue la calidad necesaria que el producto requiere.

Se debe mencionar que de su calidad dependerá en gran parte la calidad del producto.

#### 1.2.4. Descripción de los Equipos

Para realizar el tratamiento de agua para el sistema de embotellado se debe de contar con los equipos necesarios para este propósito, ellos son:

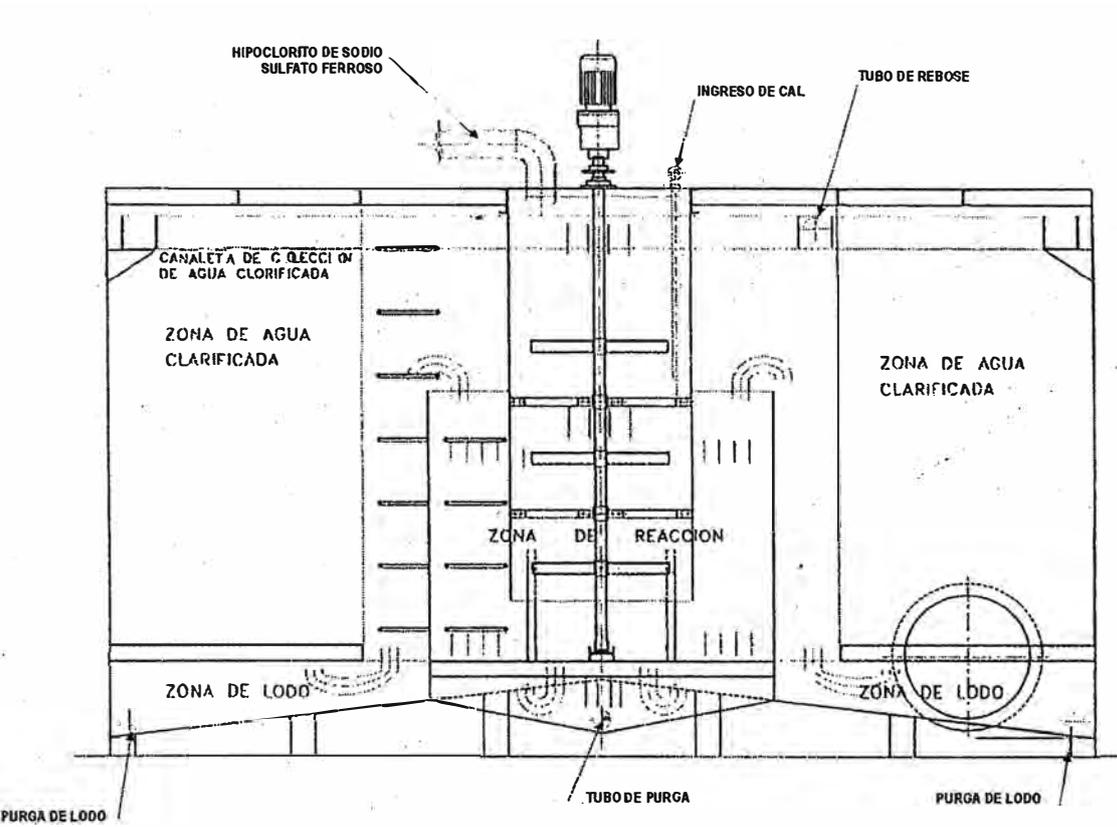
- a) Tanque reactor
- b) Dosificadores de reactivos
- c) Tanque Pulmón
- d) Tanque de presión
- e) Filtros de arena
- f) Filtros de carbón
- g) Filtros abrillantadores
- h) Esterilizadores

**a) El tanque reactor.-** También llamado tanque de reacción, es un recipiente con compartimientos internos pre-diseñados para funciones específicas, consta de las siguientes zonas:

- a.1) Zona de mezcla o reacción.
- a.2) Zona de floculación.
- a.3) Zona de sedimentación o clarificación.

A continuación detallamos el trabajo de cada una de estas zonas (Ver Figura 1.3).

**FIGURA 1.3**  
**TANQUE REACTOR**



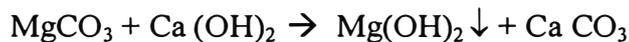
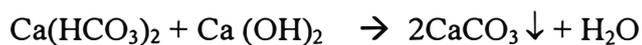
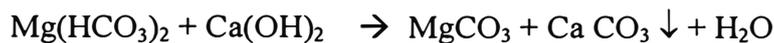
- a.1) Zona de mezcla o reacción.- Es el primer compartimiento y el más pequeño, aquí se realiza la mezcla del agua cruda y los reactivos químicos con altas velocidades de mezcla.

En este compartimiento ocurre el fenómeno químico llamado COAGULACIÓN, que es la reacción de un reactivo químico con agua para neutralizar las cargas electrostáticas de las partículas suspendidas, lo que permite posteriormente precipitarlas.

Dentro de los coagulantes más conocidos tenemos el Sulfato de Alúmina  $Al_2SO_4 (18H_2O)$  y el Sulfato Ferroso ( $FeSO_4$ ).

Reacciones características:

En el tanque de reacción suceden las siguientes reacciones:



Estas reacciones permiten la formación de los microcoágulos que quedan en suspensión y le otorgan al agua apariencia opaca-lechosa.

- a.2) Zona de floculación.- Esta zona generalmente tiene un agitador de paletas con baja revoluciones (aprox $\cong$ 15 RPM), que tiene como función la de poner en contacto los microcoágulos formados durante la coagulación. Al ponerse en contacto, éstos se adhieren entre sí y empiezan a ganar

tamaño y peso, lo que les permite caer y adherir otras partículas que encuentran en su camino, arrastrándolas al fondo del tanque. A esta operación se le conoce como FLOCULACIÓN.

La velocidad longitudinal del agua en esta zona puede ser de 20-50 cm/min, de forma tal que no se rompan los flocs formados.

En la parte inferior de estos tanques existe un colector de lodos que son purgados periódicamente cuando llegan a cierto nivel para evitar su arrastre a la zona de sedimentación.

a.3) Zona de sedimentación o decantación.- Esta zona es la más amplia ya que sirve para la sedimentación de las partículas formadas en las etapas anteriores. Las velocidades ascensionales del agua en esta zona son muy bajas y llegan desde 1 - 5 cm/min.

El mayor tiempo de residencia del agua ocurre en esta zona, lo que le permite terminar las reacciones químicas y la clarificación del agua.

**b) Dosificadores de reactivos.-** Son los equipos necesarios para la dosificación de las sustancias químicas que van a reaccionar con el agua cruda. Tienen como característica importante que la variación de dosificaciones con respecto al tiempo es muy pequeña, lo que permite mantener flujos de reactivos casi constantes obteniéndose reacciones químicas controladas.

Los equipos usados son:

- b.1 Dosificador de cal hidratada
- b.2 Dosificador de sulfato ferroso.
- b.3 Dosificador de Hipoclorito de sodio

Para la elección de dosificadores de reactivos es muy importante:

- 1) Determinar el rango de operación en que se desea usar.
- 2) La característica de sus materiales.
- 3) La capacidad de los tanques de alimentación.
- 4) La variación de sus flujos.
- 5) La necesidad o no de agitadores en el tanque de alimentación.

**c. Tanque Pulmón:** Se llama así a al tanque donde se almacena el agua proveniente del rebose de los tanques reactores, es decir el agua clarificada, y su utilidad radica en el hecho de contar con un recipiente conteniendo agua en proceso de tratamiento lista para ser enviada a los filtros de arena en caso ocurra una desviación en las características del sistema. Cuenta con un control de nivel que, cuando el nivel de agua baja hasta una altura determinada es enviada una señal que activa a la vez a la bomba que envía agua cruda de la cisterna principal a los tanques reactores y a los dosificadores de reactivos que ingresan a los mismos; cuando el nivel de agua asciende hasta la altura deseada, es enviada otra señal que hace apagar la bomba y los dosificadores. Cuenta además con una alarma que es activada por un electrodo de seguridad cuando el nivel del agua desciende hasta la mitad del tanque.

**d) Tanque de presión.-** Luego que el agua ha sido clarificada en el sedimentador del tanque de reacción es bombeada al tanque de presión o tanque hidroneumático que es el equipo auxiliar que permite almacenar y entregar agua a los filtros de arena a presiones que se hallan dentro de un rango de operación (Ver Figura 1.4).

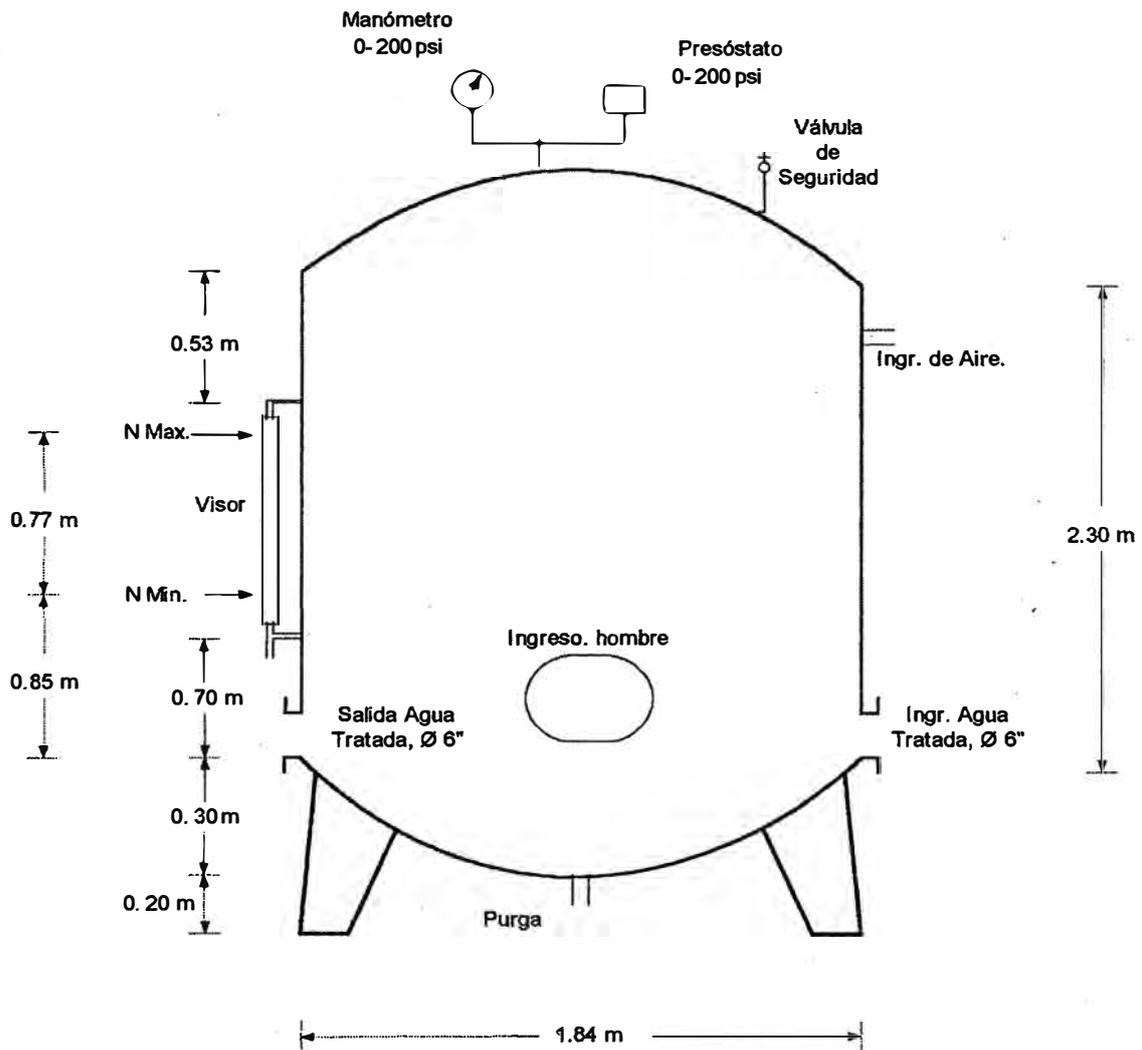
Para entregar agua a presiones controladas este equipo tiene un presostato, que es un elemento de control que trabaja de la siguiente forma:

- d.1) Tiene 2 "puntos de consigna" de presión, uno para la presión mínima N, otro para presión máxima deseada (Ver Figura 1.4).
- d.2) Está conectado eléctricamente a las bombas de agua para activarlas de acuerdo a su necesidad.

Luego, cuando la presión en el interior del tanque baja al valor mínimo deseado, el presostato activa la bomba de agua (a la que esté conectada) y ésta envía agua hasta llegar a la presión máxima que indique la señal del punto de consigna presostato, cuando esto sucede las bombas paran y luego vuelven a reiniciar el ciclo de trabajo una y otra vez.

Como es normal este tanque de presión tiene una válvula de seguridad automática, la cual debe de activarse en el caso de que la presión de referencia para la válvula sea excedida.

**FIGURA 1.4**  
**TANQUE HIDRONEUMÁTICO**



El tanque hidroneumático cuenta también con un sistema de alarma que se activa cuando la presión del sistema baja hasta 75 PSI. Esta se activa debido al presostato instalado en paralelo con el manómetro y que envía la señal al tablero de control.

**e) Filtro de arena (de presión).**- Son los equipos que tienen por función la de retener las partículas que puedan contener el agua que viene desde el tanque reactor.

e.1) Características

Los filtros de arena tienen características muy definidas, dentro de las cuales podemos mencionar las siguientes (Ver Figura 1.5):

1.- Tiene un soporte (en el fondo) de grava que le permite depositar el lecho filtrante de grava fina.

El soporte de grava está constituido de capas de grava de diferentes tamaños y espesor constante.

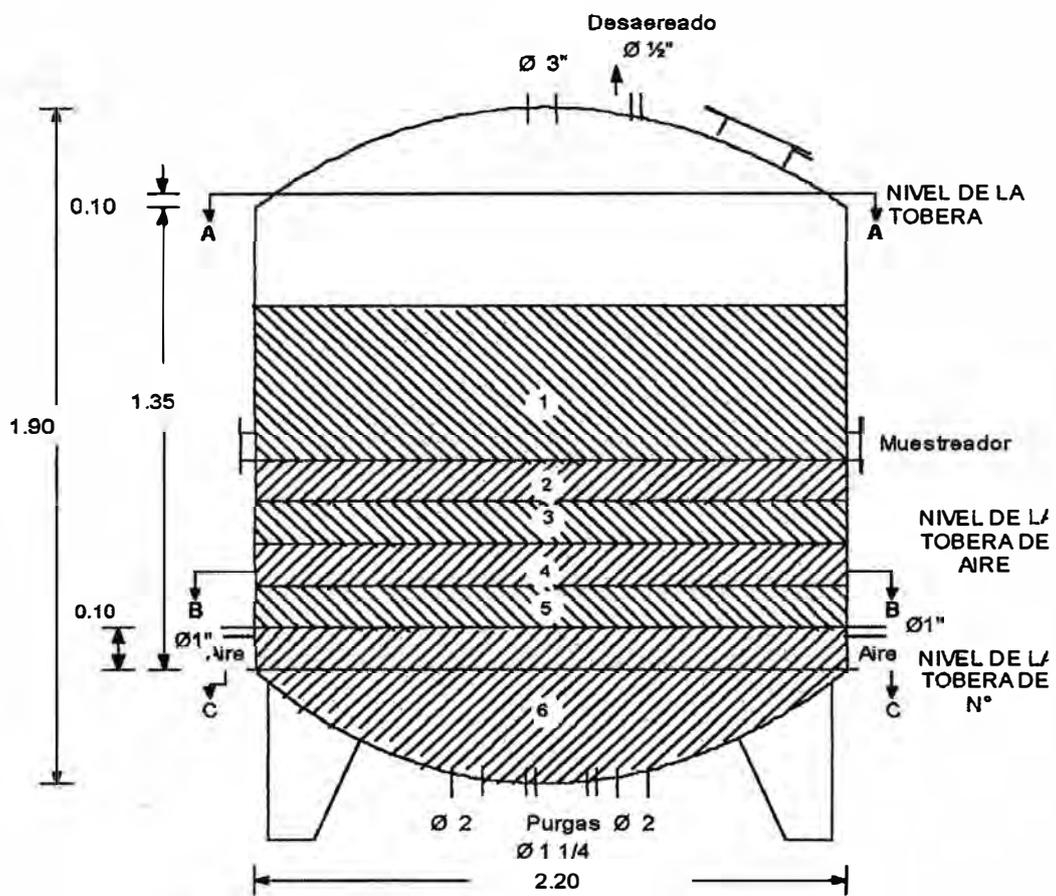
Una forma común de distribuir la grava de soporte es la siguiente:

**Tabla Nro.1.1**

**DISTRIBUCION DEL LECHO DEL FILTRO**

<b>ITEM</b>	<b>TAMAÑO PULGADAS</b>	<b>ALTURA PULGADAS</b>	<b>PESO EN Kg</b>	<b>MATERIAL</b>
1	1/32	25	4200	Arena
2	1/16	4	500	Grava
3	1/8	4	500	Grava
4	¼	4	500	Grava
5	½	4	500	Grava
6	1	4	1500	Grava

**FIGURA 1.5**  
**FILTRO DE ARENA**



- 2.- Tienen un espacio vacío en la parte superior para la expansión del lecho durante el contralavado ( $\cong 15''$ ).
- 3.- Tiene un lecho filtrante sobre el cual cae el agua y le permite retener las partículas finas de ésta. En la parte superior se ha formado una delgada capa de lodos que a su vez ayuda a la mejor filtración y a la retención de bacterias muertas inclusive.

La capacidad de retención de este filtro llega hasta tamaños de  $20\mu$ .

Generalmente el lecho filtrante está formado por grava de  $1/16''$  y  $1/32''$  y tiene una altura  $\geq 20''$ .

Cuando no existe una buena operación de lavado o la frecuencia no es la adecuada, el lecho filtrante va acumulando lodos que cada vez van haciéndose más compactos y van adhiriéndose a la arena quitándole capacidad de filtración. Al suceder esto, el lecho se empieza a "quebrar" abriéndose las llamadas "cangrejeras", que son surcos por donde el agua empieza a pasar directamente y luego de esto ya no cumple con la función de filtrar.

- 4.- Los filtros de arena son recomendados para filtrar hasta  $4 \text{ gal/min pie}^2$  como máximo, condición muy importante que se debe tener en cuenta para diseñar un filtro.

5.- Tienen una válvula de purga de aire que les permite eliminar el aire después de haber desaguado el filtro, después de hacer el lavado con aire comprimido o para realizar un vaciado del agua del filtro.

6.- Deben de tener válvulas de seguridad que evite los inconvenientes de sobrepresión.

e.2) Lavado de filtros de arena.

El lavado de filtros se realiza en contracorriente y se recomienda que sea con flujos de 12 a 16 gal/min.pie<sup>2</sup> es decir 3 ó 4 veces el flujo de filtración, para ello se necesita de bombas de alto flujo y baja presión.

El inconveniente de usar bombas de alto flujo sólo para lavado, además del alto consumo de agua, hizo necesario usar otro método de lavado.

Este otro método de lavado es el que usa agua y aire comprimido en paralelo siempre en contracorriente. Este método permite usar menos agua, además de evitar la formación de las bolas de lodo en el lecho del filtro, siempre y cuando la distribución de aire sea homogénea en toda la superficie transversal de los filtros.

Cuando lo anterior no sucede existe una acumulación de lodos en la zona donde la distribución de aire no es buena, teniendo que realizar más frecuentemente operaciones de limpieza de lechos filtrantes.

El filtro convencional fue diseñado para que el lavado sea sólo con agua, por ello en el fondo del filtro generalmente existe un plato perforado o un tubo con colectores ramificados de agua, los mismos que tienen agujeros perforados.

Al adaptarse los filtros convencionales a sistemas de lavado con aire comprimido, es necesario instalar un sistema de inyección de aire, el cual pueda permitir una distribución homogénea del aire en el filtro.

#### **f) Filtros de carbón activado**

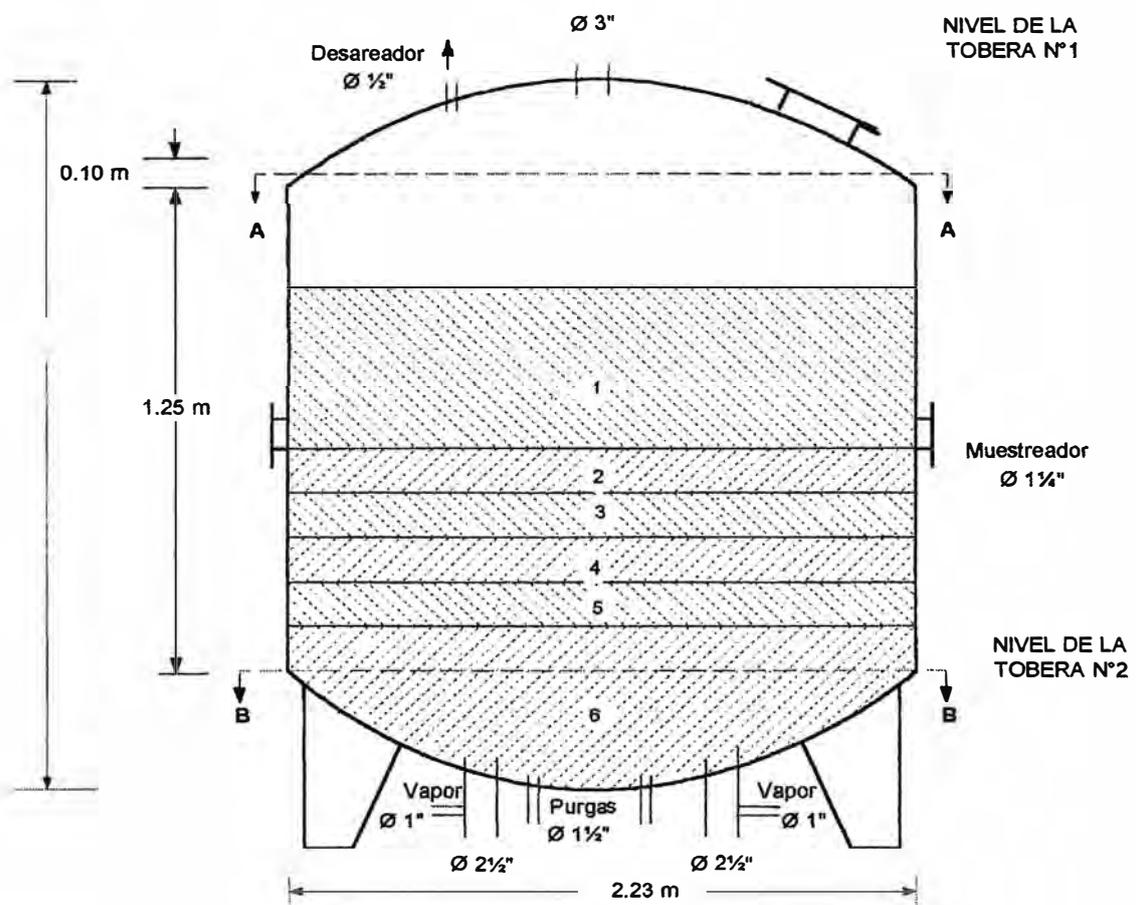
Se le llama así porque en su interior tienen un lecho de carbón activado de 25" - 30" de altura. Su función consiste en remover el cloro residual, sabores, olores y moléculas que aporten color al agua (Ver Figura 1.6).

##### **f.1) Carbón activado**

El material que se usa en los filtros de carbón es el Carbón Activado granular (CAG), este material debe ser capaz de remover el exceso de cloro, sabor, olor y color, fenoles y otras sustancias orgánicas.

Existen diferentes tipos de CAG y son fabricados de varios materiales. Los carbonos más ampliamente usados son los de carbón lignito o bituminoso, otras fuentes son el coque de petróleo, el coque de madera y el coque de cáscara de coco.

**FIGURA 1.6**  
**FILTRO DE CARBON**



Estos materiales crudos son quebrados y calentados a altas temperaturas de 600°C a 800°C bajo presión. Este material es nuevamente quebrado y graduado de acuerdo a su tamaño de partícula, lavado con ácido, lavado con agua y luego enjuagado.

De este proceso resultan las partículas de carbón que tienen un número muy grande de poros y áreas superficiales muy grandes de hasta 1000 m<sup>2</sup>/gr. de carbón, esta estructura les permite adsorber moléculas orgánicas que pueda poseer el agua.

El carbón activado granular es a veces llamado "la esponja", por su apariencia y la facilidad para adsorber moléculas extrañas.

El carbón adsorbe al cloro libre y lo transforma en ácido clorhídrico por medio de una reacción catalítica, una parte muy pequeña de carbón se oxida a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

El carbón activado trabaja por adsorción, que es la adhesión de las impurezas a la superficie de un sólido, por ejemplo un vidrio de una ventana o espejo recogerá una fina película de suciedad si se sumerge en agua sucia, este poder de adhesión es la adsorción, por ello el área superficial de los poros del carbón debe ser muy amplia (1000 m<sup>2</sup>/gr. de carbón).

El carbón debe tener ciertas propiedades físicas y químicas para que sea realmente efectivo.

Las propiedades físicas deseables son:

a) Tamaño de partículas

El tamaño de partículas debe ser tal que haya buena adsorción y capacidad de filtración con baja caída de presión.

b) Dureza de partículas

Las partículas de carbón deben de ser lo suficientemente duras, tal que resistan la acción abrasiva durante el retrolavado.

Partículas suaves o desmenuzables darán lugar a "finos" luego de los lavados a contracorriente y también contribuyen con la pérdida de carbón.

c) Índice de yodo

La capacidad del carbón para adsorber algunas sustancias químicas se mide indirectamente a través de la prueba del índice de Yodo; esta prueba consiste en poner en contacto al carbón con una solución de yodo y luego valorar la cantidad de yodo remanente en condiciones controladas.

d) Área superficial/gr. de carbón

Nos da una idea de la superficie de contacto que puede ofrecer un gramo de carbón, a mayor superficie de contacto mayor probabilidad de eficiencia de adsorción.

## f.2) Características

f.2.1) Al igual que los filtros de arena tiene un soporte de grava sobre el cual descansa el lecho de carbón activado.

f.2.2) El lecho filtrante es de carbón activado con características propias para tratamiento de agua para bebidas, como el tamaño, el índice de yodo, granulometría, densidad, etc. Se recomienda que el tamaño del lecho sea mayor que 20".

**Tabla Nro. 1.2**

### **DISTRIBUCION DEL LECHO DEL FILTRO**

<b>ITEM</b>	<b>TAMAÑO PULGADAS</b>	<b>ALTURA PULGADAS</b>	<b>PESO EN Kg</b>	<b>MATERIAL</b>
1	1/32	25	1200	Carbón activado
2	1/16	4	545	Grava
3	1/8	4	545	Grava
4	¼	4	545	Grava
5	½	4	545	Grava
6	1	4	1500	Grava

f.2.3) Es muy importante que el filtro tenga un espacio vacío desde la superficie del lecho de carbón hasta los distribuidores de agua (15" - 20"), lo que permitirá que durante el lavado a contracorriente parte del carbón no sea arrastrado hacia el desagüe.

f.2.4) El agua que puede admitir un filtro de carbón debe ser tal que esté libre de turbidez o partículas que alteren su capacidad de adsorción (por

cubrimiento parcial de la superficie de contacto del carbón).

f.2.5) Proveedores de carbón activado indican que la capacidad máxima de filtración recomendada, es = 5 gal/min.pie<sup>2</sup>.

f.2.6) Al igual que los filtros de arena es muy importante que el filtro tenga una purga de aire en la parte superior del tanque para la eliminación del mismo.

### **f.3) Lavado de filtro de carbón.**

El lavado de los filtros de carbón es en contracorriente y requiere de flujos de agua menores que el filtro de arena.

Para un buen lavado se requiere mantener las partículas de carbón en suspensión, de forma que no sean arrastradas al desagüe.

La aplicación de aire comprimido en contracorriente también es muy útil pero se debe tener cuidado de no exceder su flujo para no arrastrar carbón al desagüe.

### **f.4) Desinfección de filtros de carbón**

Se ha demostrado mediante muchos ensayos exhaustivos que los productos químicos cloro hipoclorito, cloraminas formaldehído y otros no

pueden dejar libre de contaminación a los filtros de carbón.

Los productos químicos que liberan cloro así como el cloro mismo actúan dudosamente ya que el carbón activo muestra una fuerte acción reductora (consumo de cloro), y este medio de oxidación no podría alcanzar las colonias hasta dentro de los poros del carbón.

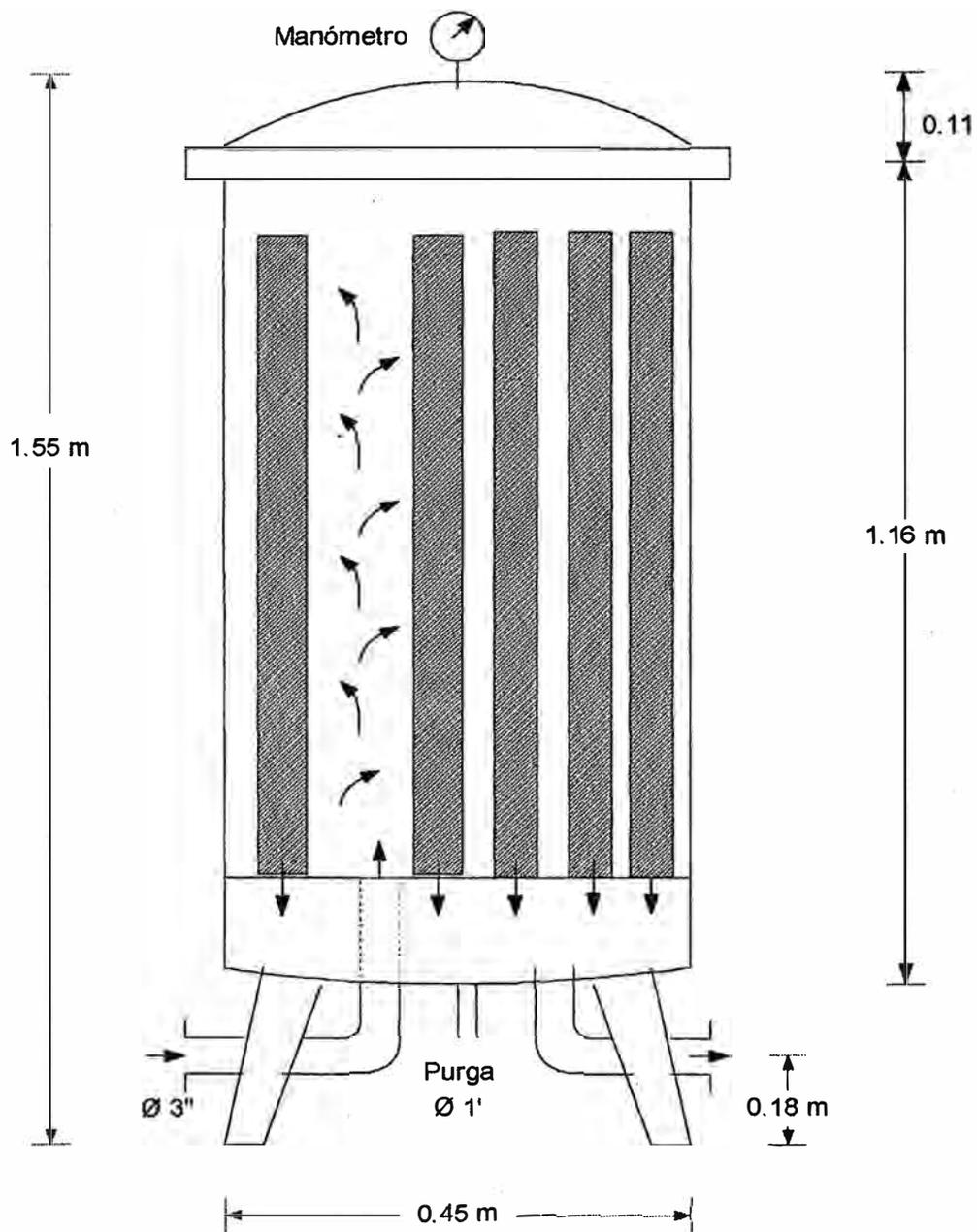
Con las grandes cantidades de oxidante ante todo preparadas a base de cloro que serían necesarias para desinfectar grandes capas de carbón, se llegaría a una saturación clara del carbón activado (agotamiento).

Los desinfectantes orgánicos no son indicados ya que son adsorbidos rápidamente y además son fácilmente diluibles.

El medio más seguro para la desinfección del carbón activado es usando la temperatura, es decir con agua caliente entre 80° - 90° C. El agua caliente se bombea al circuito hasta que el lecho de carbón halla alcanzado la temperatura citada por un tiempo de 1 a 2 horas.

La otra forma de calentar a la temperatura deseada es inyectando vapor saturado al lecho de carbón previamente mojado.

**FIGURA 1.7**  
**FILTRO ABRILLANTADOR**



**g) Filtros brillantadores**

Son los que están ubicados en la última etapa de filtración y permiten asegurar que las partículas que puedan ser arrastradas desde el filtro de carbón sean atrapadas en éste.

Se caracterizan por poseer en su interior cartuchos que pueden ser de fibra celulósica compacta o flexible, generalmente su máxima porosidad es  $\leq 10$  micrones (Ver Figura 1.7).

En nuestra planta usamos filtros de porosidad de 5 micrones.

De acuerdo a la cantidad de agua a filtrar se elige el filtro, y su cambio se determina en función a la caída de presión que pueda tener con respecto al valor inicial.

El agua que pasa por estos filtros llega a tener turbideces  $\leq 0,1$  NTU (en agua tratada).

**1.2.5. ESPECIFICACIONES DE AGUA EN PROCESO DE TRATAMIENTO****A. DESCRIPCION**

Son las especificaciones que debe tener el agua en las diferentes etapas del proceso de tratamiento.

**B. CLASIFICACION**

No aplica

**C. DEFINICIONES**

- a. AGUA CRUDA: Agua obtenida de la red pública o de pozos subterráneos.
- b. AGUA CRUDA CLORADA: Agua cruda que ha sido sometida a la operación de cloración en planta.
- c. AGUA EFLUENTE DEL FILTRO DE ARENA: Agua que ha sido sometida a operaciones de cloración, coagulación, reducción de alcalinidad y filtración con arena.
- d. AGUA EFLUENTE DEL FILTRO DE CARBON: Agua efluente del filtro de arena y que ha sido sometida a una operación de adsorción en los filtros de carbón.
- e. AGUA POTABLE: Agua segura e indicada para beber, basada en cualquiera de los dos estándares más estrictos siguientes: de regulación local para agua para beber o Guías publicadas por la Organización Mundial de la Salud, OMS, para agua para beber.

**D. REQUISITOS**Requisitos para el Agua Cruda

El agua cruda suministrada para la fabricación de los productos elaborados en la planta a través de tratamiento adicional utilizando un sistema de tratamiento de agua de etapas múltiples, sin tener en cuenta su origen, debe cumplir con el más estricto de los siguientes estándares: Estándares locales de agua potable para beber o con los estándares de la Organización Mundial de la Salud OMS para agua potable para beber.

El agua cruda que cumpla estos requerimientos, debe clorarse en una etapa anterior al punto de ingreso a la planta. De ser necesario, el agua superficial debe ser pre-filtrada y clorada antes de ingresar a la planta.

#### Características Sensoriales

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>REQUISITO</b>
Olor	Sin olor objetable
Apariencia	No debe observarse color, turbidez, ni materia extraña

#### Requisitos para el agua cruda clorada

#### Características Físicas, Químicas y Físico-Químicas

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>REQUISITO</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>
Cloro residual (Cloro libre)	0.5 - 1.0	mg/L

#### Requisitos para el agua efluente del filtro de arena

#### Características Físicas, Químicas y Físico-Químicas

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>REQUISITO</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>
Turbidez	<0,5	NTU
Cloro residual (Cloro libre)	1 - 3	mg/L

## Características Sensoriales

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>REQUISITO</b>
Olor	Ligero olor a cloro, sin otro olor objetable
Color	Color no visible

Requisitos para el agua efluente del filtro de CARBON/ABRILLANTADOR

El agua en esta etapa debe cumplir con el más estricto de los siguientes estándares: todos los requisitos de regulación local para agua potable para bebida, o con las Guías de la Organización Mundial de la Salud para agua potable para bebida. Además debe cumplir las siguientes especificaciones:

## Características Físicas, Químicas y Físico Químicas

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>REQUISITO</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>
Alcalinidad Total (como carbonato de calcio)	< 70	mg/L
Cloro (como cloro total)	0	mg/LCl
Fierro	< 0,1	Mg/L
Aluminio	< 0,2	mg/L

## Características Microbiológicas

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>REQUISITO</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>
Microorganismos mesófilos aerobios viables (Bacterias mesófilas)	<25	ufc/ml
Coliformes	<1	ufc/100 ml

## Características Sensoriales

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>REQUISITO</b>
Olor	Ninguno
Color	Color no visible
Sabor	No detectable sabor no conforme

**1.2.6. ESPECIFICACIONES DE AGUA TRATADA****DESCRIPCION**

Es la especificación que debe tener el agua que va a ser utilizada como materia prima en la elaboración de los productos en la planta.

**CLASIFICACION**

No aplica

## DEFINICIONES

**AGUA TRATADA:** Recibe esta denominación por ser el producto final del proceso de tratamiento de agua.

**AGUA POTABLE:** Agua segura e indicada para beber, basada en cualquiera de los dos estándares más estrictos siguientes: de regulación local para agua para beber, o Guías publicadas por la Organización Mundial de la Salud, OMS, para agua para beber.

## REQUISITOS

El agua tratada debe ser considerada como agua potable por las autoridades locales y debe cumplir con el más estricto de los siguientes estándares: todos los requisitos de regulación local para agua potable para bebida o con las Guías de la Organización Mundial de la Salud para agua potable para bebida. Además de cumplir con las siguientes especificaciones:

### Características Físicas, Químicas y Físico-Químicas

CARACTERISTICA	REQUISITO	UNIDAD DE MEDIDA
Turbidez	< 0,5	NTU
pH	> 4,9	---
Alcalinidad Total (como carbonato de calcio)	< 70	mg/L
Nivel residual de cloro total u otro desinfectante en el tratamiento final del agua	0,0	mg/L
Cloruros (como Na Cl)	< 250	mg/L Cl
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> ión)	< 250	mg/L

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>REQUISITO</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>
Sulfatos y Cloruros totales en combinación	< 400	mg/L
Sólidos totales disueltos (TDS)	< 500	mg/L
Dureza Total y Dureza Cálcica (como dureza total)	< 500	mg/L
Sodio	< 200	mg/L
Fierro	< 0,1	mg/L
Aluminio	< 0,2	mg/L
Trihalom etanos	<100	ppb
Color	Máximo 5	UC

#### Características Microbiológicas

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>REQUISITO</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>
Microorganismos mesófilos aerobios viables (Bacterias mesófilas)	< 25	ufc/ml
Coliformes	> 1	ufc/100 ml

#### Características Sensoriales

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>REQUISITO</b>
Olor	Ninguno
Color	Color no visible
Sabor	No detectable sabor no conforme

### **1.3. PROCESO DE ABLANDAMIENTO DEL AGUA**

La necesidad de lavar botellas en un medio con temperaturas desde 25 70°C hace necesario el uso de un agua que, durante el lavado, no forme incrustaciones en las lavadoras que luego causan problemas de contaminación por arrastre de soda cáustica.

El agua a usar en los lavados amerita contar con un proceso de ablandamiento que evite los inconvenientes mencionados.

Así mismo existen otras operaciones que necesitan del agua blanda para un eficaz funcionamiento, como:

- a. La generación de vapor
- b. Las torres de enfriamiento de las líneas de producción.
- c. La refrigeración en la sala de refinación de azúcar.

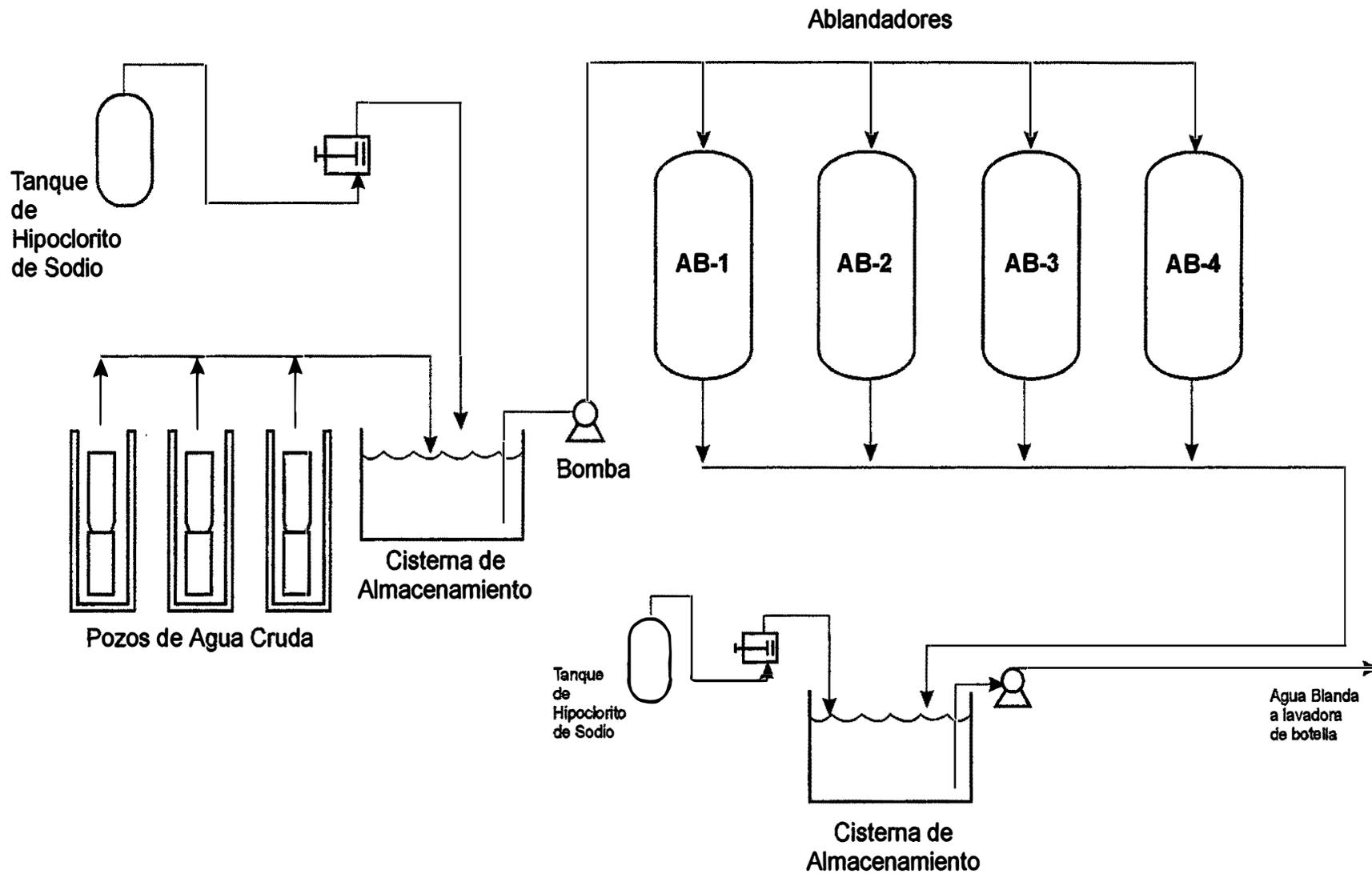
Por estos motivos, se exponen algunos conocimientos necesarios referentes a este proceso.

#### **1.3.1. Descripción del Proceso**

El proceso consiste en una cloración del agua con hipoclorito de sodio y luego eliminación de los iones calcio y magnesio mediante intercambio iónico con el uso de una resina de intercambio catiónica (Ver figura 1.8).

La resina después de un ciclo de trabajo se agota; es decir que ya no puede adsorber más iones de calcio y magnesio, y pasa por una etapa de regeneración, para lo cual se le hace pasar una solución de salmuera que le da nuevamente capacidad para producir agua blanda.

**FIGURA 1.8 DIAGRAMA DE FLUJO: PROCESO DE ABLANDAMIENTO DE AGUA**



### 1.3.2. Definiciones Importantes

- a) Agua Blanda.- Llamemos así al agua que no tiene sales disueltas de calcio o magnesio.

En la naturaleza difícilmente se presenta el agua blanda, generalmente se suele obtener esta agua a través de un proceso de intercambio de iones.

- b) Iones.- Son átomos o moléculas que se hallan disueltas en el agua y tienen carga eléctrica, dichas sustancias se caracterizan, porque no son visibles. En algunos casos se observa sólo algún color característico cuando se hallan en solución acuosa.

En el agua existen iones como calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), Hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ), cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) etc.

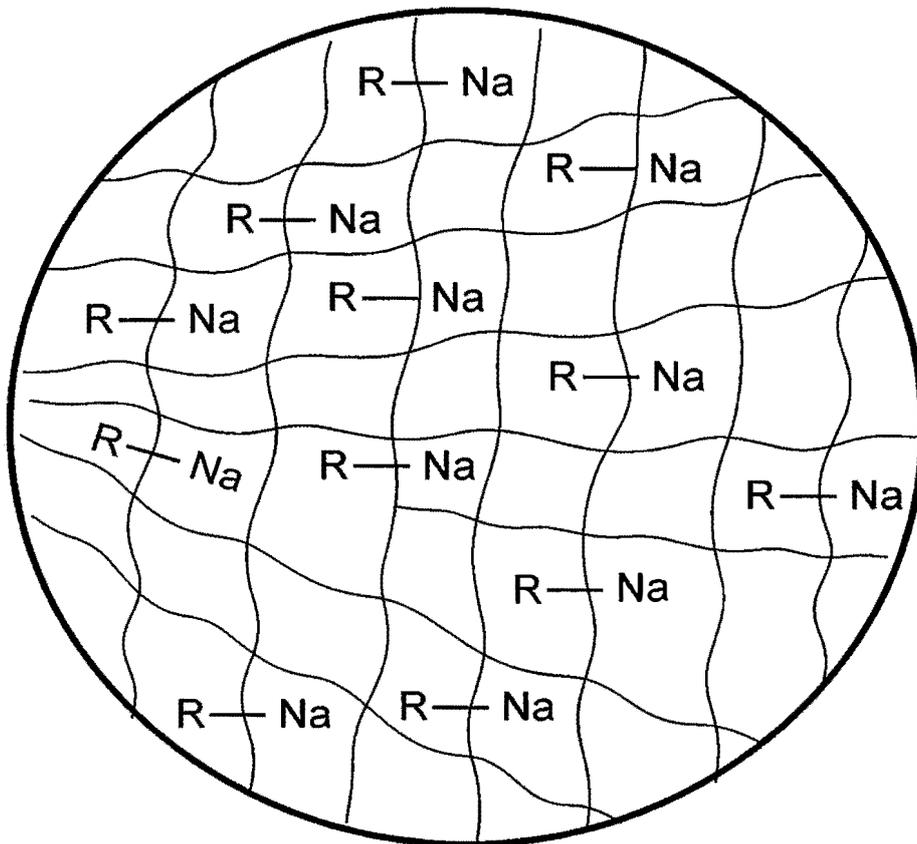
Tal como se aprecia las fórmulas de los iones, tienen en la parte superior números con signos positivos (+) o negativos (-), esta diferencia se debe a que los iones son de dos tipos: Cationes y aniones.

Los cationes son aquellos que tienen el signo (+)

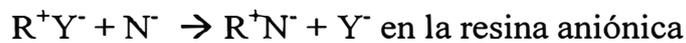
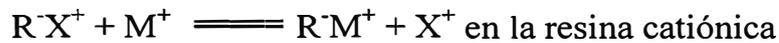
Los aniones son aquellos que tienen signo negativo (-)

- c) Resinas de intercambio.- Son polímeros sintéticos tipo gel que se presenta en forma de partículas esféricas transparentes de color amarillo o pardo. Se caracterizan porque tienen la propiedad de cambiar sus iones característicos por otros que poseen los líquidos. También se caracterizan por ser regenerables, lo que permite su reuso en forma permanente (Ver figuras 1.9).

**FIGURA 1.9**  
**ESQUEMA DE LA COMPOSICIÓN DE UNA RESINA DE**  
**INTERCAMBIO IONICO**

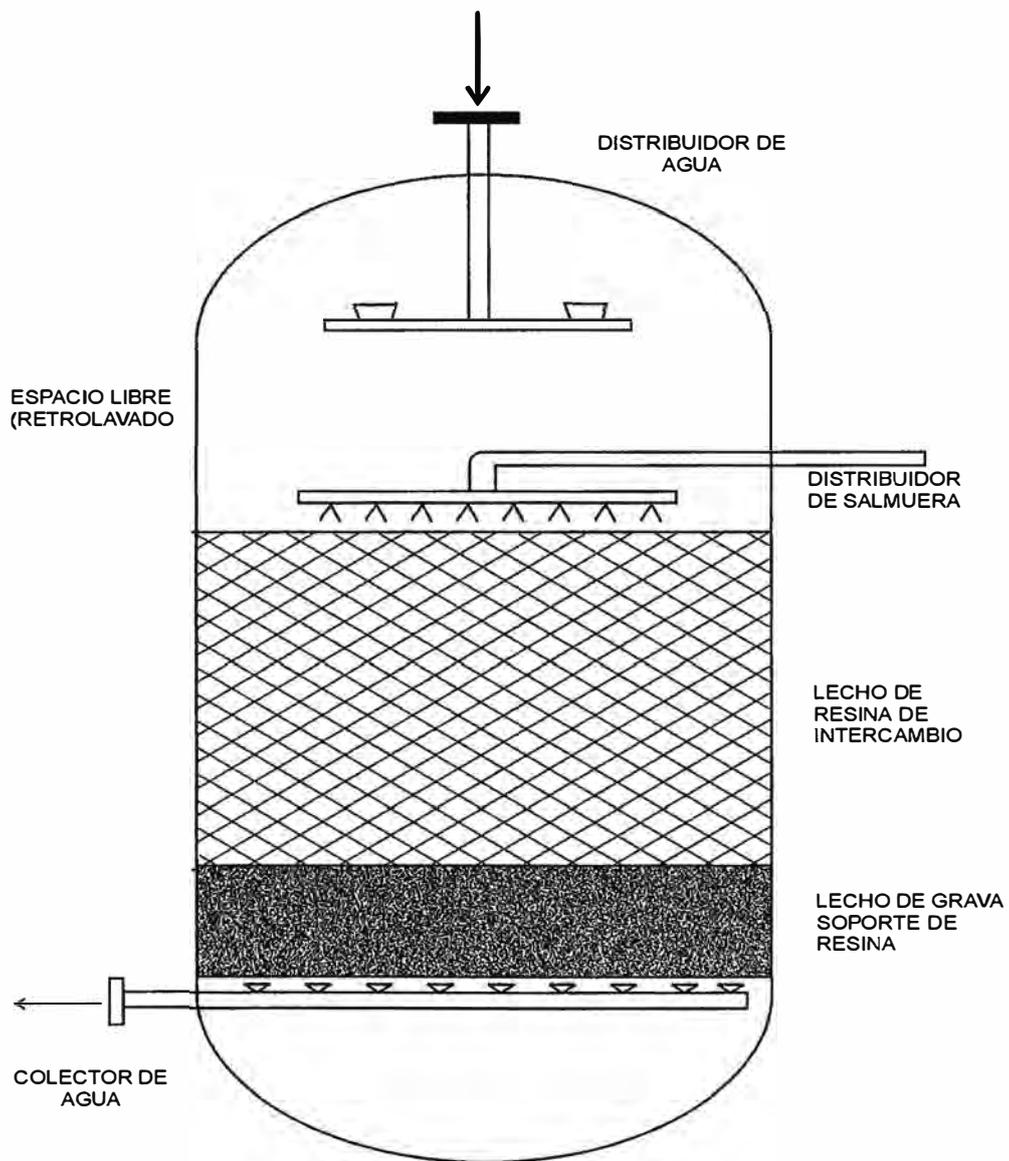


Su comportamiento químico está dado por:



- d) Intercambiador de iones.- Se llama así al equipo en el cual se produce el intercambio iónico, en él existe un lecho de grava de soporte acomodado en forma ordenada y encima se halla el lecho de resina de intercambio iónico, que puede ser aniónica o catiónica según la necesidad del intercambio. Sus características físicas se muestran en la Figura 1.10.
- e) Absorción.- Es la incorporación de moléculas de sustancias extrañas dentro de la estructura, de un líquido o un sólido sin que se produzca una reacción química; en la absorción hay reversibilidad pues la sustancia absorbida puede recuperarse con las mismas propiedades físicas y químicas, por ejemplo los paños absorbentes o las esponjas.
- f) Adsorción.- Es la adherencia física de las moléculas a la superficie de un sólido, produciéndose una reacción química, por ejemplo a la superficie de las resinas de intercambio, posteriormente son retirados por cambio con otros iones (por diferencia de concentración).
- g) Capacidad total de intercambio.- Es la capacidad máxima de intercambio de iones que puede tener la resina, es decir cuando todos los radicales de intercambio de las resinas son ocupados por iones de intercambio, luego de esto la resina ya no adsorbe un solo catión más.

**FIGURA 1.10**  
**INTERCAMBIADOR DE IONES**  
**(Ablandador)**



- h) Capacidad útil de intercambio.- Es la capacidad a la cual la resina empieza a dejar pasar algunos iones indeseables debido a que sus radicales están empezando a saturarse.

La capacidad útil es variable y depende de varios factores como el tiempo de contacto, el flujo de agua en el ablandador, la altura del lecho de resina y la concentración del ión a ser extraído del agua.

- i) Saturación o agotamiento.- Se llama así cuando la resina pierde capacidad de retener la dureza del agua y ya no cumple con la función de adsorber iones y tiene que ser regenerada.
- j) Altura del lecho.- Es la medida en metros de la altura que tienen la resina en el ablandador con el fin de realizar un ablandamiento satisfactorio, se recomienda que sea  $\geq 75$  cm (30pulg).
- k) Flujo de operación.- Indica la capacidad de agua que pasa por el ablandador en un minuto. Generalmente se expresa en:

$$\text{Flujo} = \frac{\text{Volumen de agua}}{\text{tiempo x área transversal del ablandador}}$$

- l) Tiempo de contacto.- Es el tiempo mínimo necesario que se requiere para el contacto entre el agua y la resina del ablandador, se considera que debe ser mayor o igual a un minuto (1 min.).

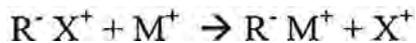
m) Salmuera.- Es la solución que se prepara con sal industrial y agua para regenerar a los ablandadores. Se suele recomendar que la regeneración debe de ser con soluciones de 10% a 20% (P/V).

(P/V), significa el peso de la sal dividido entre el volumen de agua a preparar. Ejemplo:

$$500\text{Kgr y } 5000\text{L de agua} = \frac{500\text{Kg}}{5000\text{L}} \times 100\% = 10\%(P/V)$$

### 1.3.3. Mecanismo de ablandamiento - regeneración

Cuando se trató de intercambiadores de iones mencionamos que existe el intercambio catiónico que actúa de la siguiente forma:



Donde R: Es el polímero que sujeta al catión X.

X: Es el ión o catión característico de la resina.

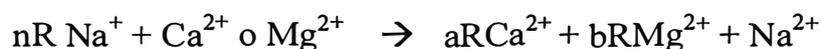
M<sup>+</sup>: Es el catión que se halla en el líquido y que va a ser intercambiado.

Para el caso del ablandamiento se produce lo siguiente (en nuestro caso).

X: Na<sup>+</sup> (sodio)

M<sup>+</sup>: Ca<sup>2+</sup> o Mg<sup>2+</sup> (calcio o magnesio)

Luego tenemos:



Como se observa la resina R cambia a sus cationes sodio ( $\text{Na}^+$ ) por otros cationes que son el calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y el magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), al perder a estos cationes el agua se convierte en blanda.

Es necesario, observar que la resina tiene una capacidad de intercambio a partir de la cual se agota y ya no absorbe más cationes.

#### **1.3.4. Operaciones básicas en el intercambio de ablandamiento**

Son las operaciones que se realizan durante un ciclo de trabajo y que secuencialmente son las que siguen.

- a) Ablandamiento
- b) Retrolavado
- c) Regeneración
- d) Enjuague.

**a) Ablandamiento.-** Es la operación que consiste en la producción continua de agua blanda, es la que más tiempo dura.

**b) Retrolavado.-** Es la operación por la cual se realiza un lavado a contracorriente de la resina a condiciones controladas de flujo, que permita retirar la materia depositada en el lecho, pero no el arrastre de resina del ablandador.

**c) Regeneración.-** Es la operación que permite devolver a la resina su capacidad para adsorber dureza. Se realiza con soluciones de sal industrial llamada salmuera.

**d) Enjuague.-** Es la operación que consiste en la eliminación de los residuos de la salmuera usada en la regeneración para evitar que

éstos le otorguen al agua propiedades corrosivas o variadas de sus características organolépticas.

#### **1.3.5. Cisterna de Almacenamiento de Agua Blanda:**

Es el recipiente que sirve de almacenamiento al agua blanda; es decir al agua proveniente de los intercambiadores de iones (ablandadores). Cuenta con el control de nivel del proceso, que cuando el nivel de agua baja hasta una altura determinada es enviada una señal que activa a la vez la bomba, que envía agua de la cisterna principal de agua cruda a los ablandadores. Cuando el nivel de agua asciende hasta la altura deseada, es enviada otra señal para apagar la bomba. Cuenta además con una alarma que es activada por un electrodo de seguridad, cuando el nivel del agua desciende hasta la mitad de la cisterna.

Al instante en que el agua es almacenada en dicha cisterna. está siendo clorada mediante el uso de un flow switch instalado en la línea de descarga hacia la cisterna y que activa al dosificador de hipoclorito de sodio. Esto para mantener la especificación del agua blanda en 1-3 mg/L de cloro residual, ya que ésta será utilizada para el último enjuague de las botellas.

### 1.3.6. ESPECIFICACIONES DE AGUA BLANDA

#### ESPECIFICACIONES FISICO - QUIMICAS

CARACTERISTICA	REQUISITO	UNIDAD DE MEDIDA
➤ Turbidez	< 1,0	NTU
➤ Dureza total	< 30	mg/L
➤ Cloruros	< 250	mg/L Cl
➤ Hierro	< 0,3	mg/L
➤ Cloro residual	1 – 3	mg/L
➤ Sólidos totales disueltos	< 850	mg/L

#### ESPECIFICACIONES MICROBIOLÓGICAS

CARACTERÍSTICA	ESPECIFICACION ACEPTABLE
Recuento de microorganismos aerobios mesófilos viables (RMAMV)	> 50 ufc/100 ml de muestra
Levaduras y Hongos	> 1 ufc/100 ml de muestra
Coliformes Totales y Fecales	> 1 ufc/100 ml de muestra

## **CAPITULO II**

### **AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA**

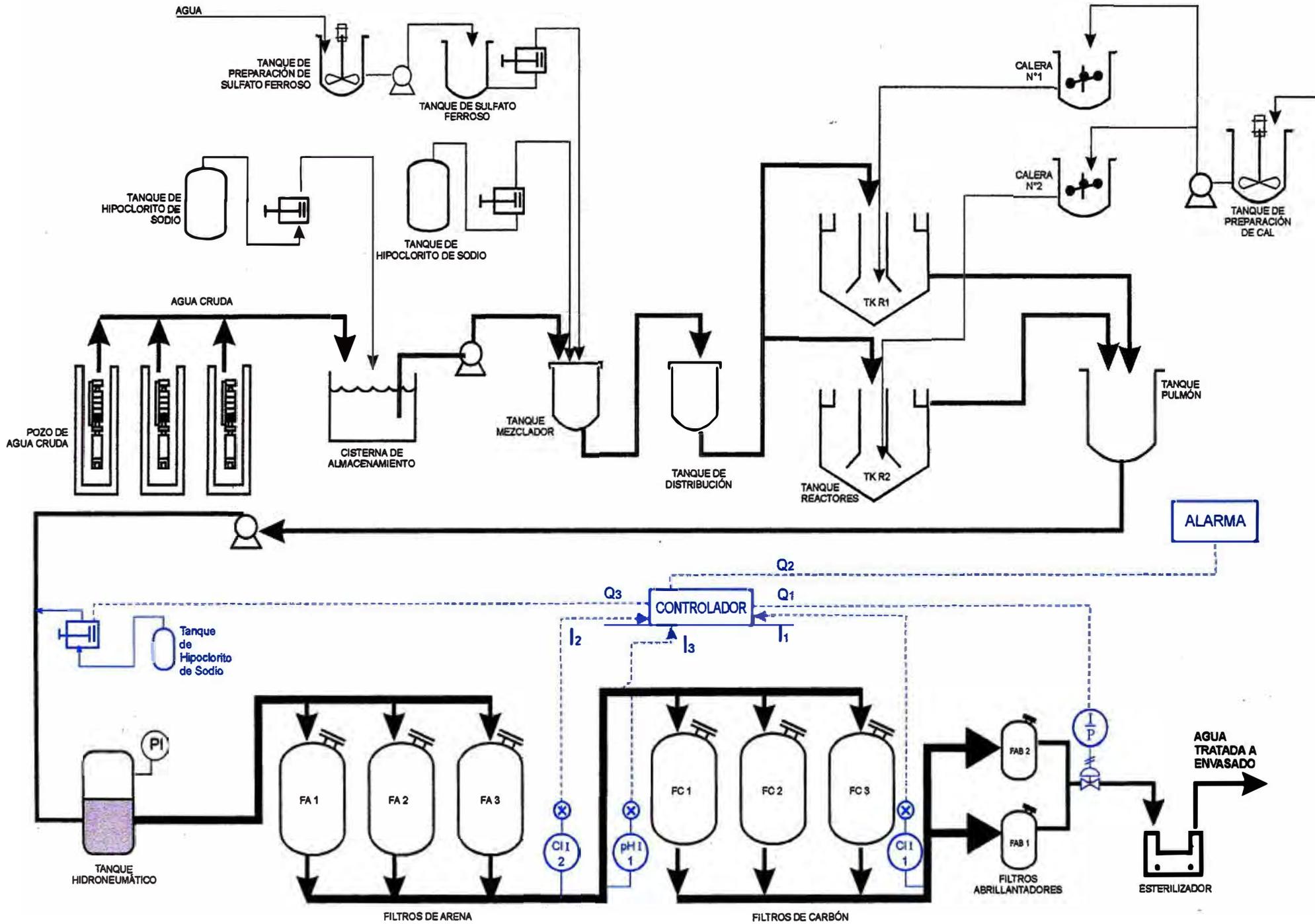
#### **2.1. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA**

Se cuenta con dos analizadores de cloro, una a la salida de los filtros de carbón y otro a la salida de los filtros de arena, y un sensor de pH también a la salida de los filtros de arena (Ver Figura 2.1).

**2.1.1. ANALIZADOR DE CLORO # 1:** El primer analizador de cloro (CII1), mide el valor de la variable Cloro Total, que según especificación de sistema debe ser 0 mg/L. En caso registre un valor mayor que cero, éste envía una señal al transmisor, al que está conectado físicamente. El transmisor capta la señal y la convierte en una señal intensa para transmitirla al controlador que puede tratarse de un PLC. El controlador recibe la señal, que está en relación con el Cloro Total y la compara con el valor que se desea mantener dicha variable. Según el resultado de la comparación decide que hacer y envía una señal Q1 al elemento final de control, en este caso una válvula con actuador neumático a través del transductor I/P, que convierte la señal de corriente (I) en neumática (P), para operar la válvula y regular el suministro de agua tratada a planta de envasado. Paralelamente a esta acción, el controlador envía otra señal Q2 a un sistema de alarma al que está conectado.

**2.1.2. ANALIZADOR DE CLORO # 2:** El segundo analizador de cloro(CII2) mide el valor de la variable Cloro Residual a la salida de los filtros de arena, que según especificación del proceso debe estar entre 1 y 3 mg/L. Este analizador puede tener un punto de consigna a 1.2 mg/L de cloro residual, de tal manera que cuando se registre este

**FIG. 2.1. ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA**



valor envía una señal al transmisor. El Transmisor capta la señal y a su vez la envía al controlador (PLC). El controlador recibe la señal que está en relación con la variable a controlar (cloro residual) y la compara con el valor que se desea mantener, según el resultado de la comparación envía una señal Q2 a un sistema de alarma para que de esta manera el operador del sistema realice sus acciones a fin de corregir la desviación que se ha producido, a la vez que envía otra señal Q3 para activar el dosificador de hipoclorito de sodio ubicado antes del tanque de presión, para mantener la variable controlada hasta que se corrija la desviación. Cuando el analizador registra un valor de 2.0 mg/L, envía otra señal para repetir el ciclo y que el dosificador se apague y, en caso de que la desviación no se corrija a tiempo, es decir que a pesar de que se está dosificando hipoclorito adicionalmente el cloro residual descienda a un valor menor que 1.0 mg/L, el controlador enviará la señal Q1 al transductor I/P para convertir la señal de corriente (I) en neumática (P) y regule la válvula que controla el suministro de agua tratada a la planta de envasado. Esto último será hasta que el analizador registre un valor igual a 1.0 mg/L, en ese momento el controlador enviará otra señal para operar la válvula y continuar con el suministro de agua. La alarma se apagará cuando se registre un valor igual a 1.2 mg/L.

**2.1.3. MEDIDOR DE pH:** En el caso del sensor de pH (pH11), este se encuentra también a la salida de los filtros de arena y mide el valor de la variable pH a la salida de los mismos, que por especificaciones del proceso se sabe que debe ser mayor que 4.9. Pero para mantener a la variable controlada se puede tener un set point proporcional a un valor de 6.0, de tal manera que cuando se registre un valor así, el sensor envíe una señal al transmisor que a su vez la envía al controlador (PLC) que, compara este valor con el que se desea

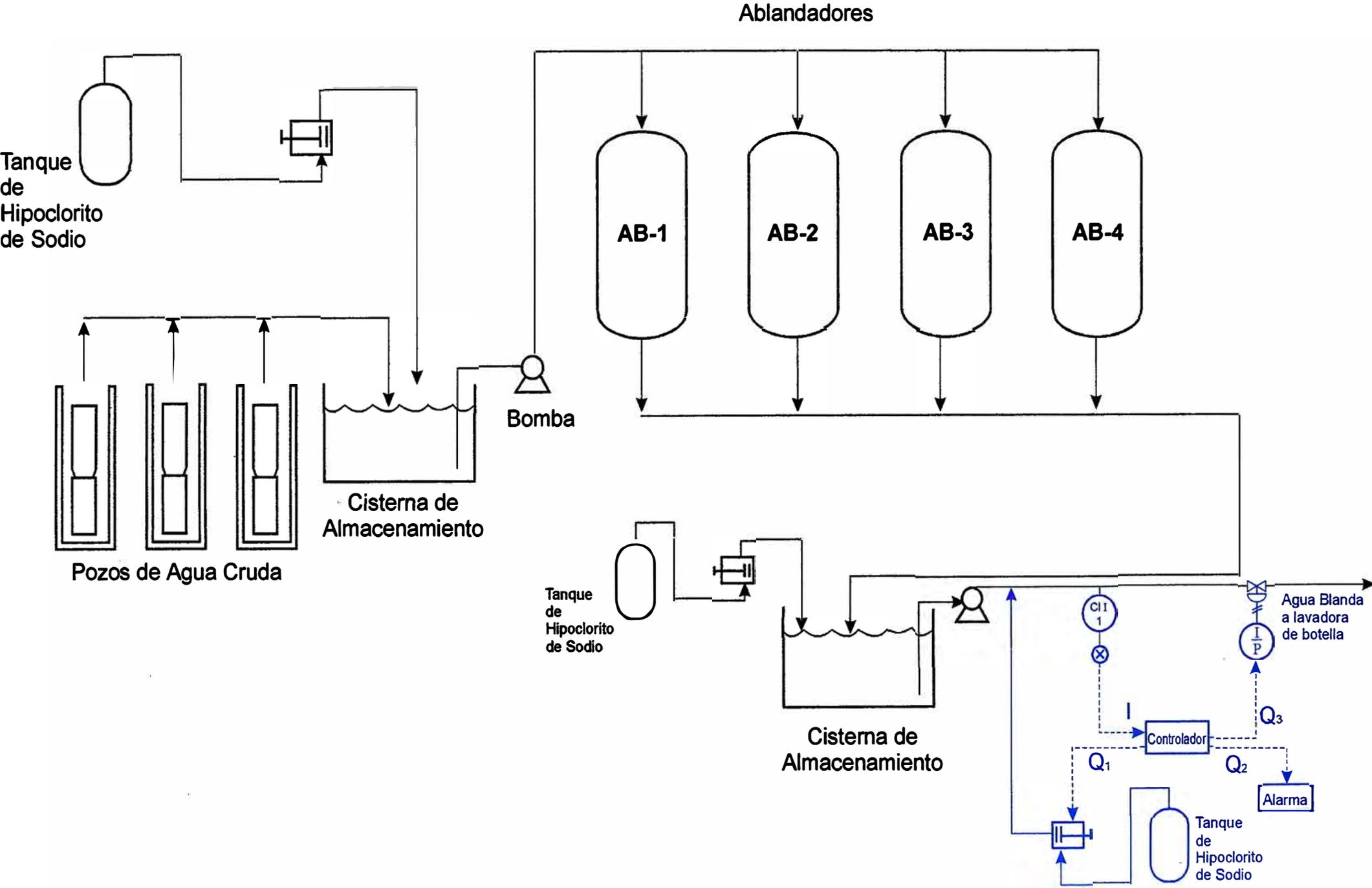
mantener y envía una señal Q2 para activar la alarma, y el operador del sistema realice sus acciones a fin de corregir la desviación que se ha producido. La alarma seguirá activada hasta que se registre un valor mayor a 6.0, en ese instante se apagará. En el caso de que el valor de la variable (pH) continúe descendiendo, es decir la desviación no se corrija a tiempo, el controlador enviará la señal Q2 que accionará la válvula que regula el suministro de agua tratada a planta de envasado cuando se registre un valor proporcional a 5.0. Esto último será hasta que el sensor registre nuevamente un valor proporcional a 5.0 o mayor, en ese momento el controlador enviará otra señal para operar la válvula y continuar con el suministro de agua.

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL PROCESO DE ABLANDAMIENTO DE AGUA**

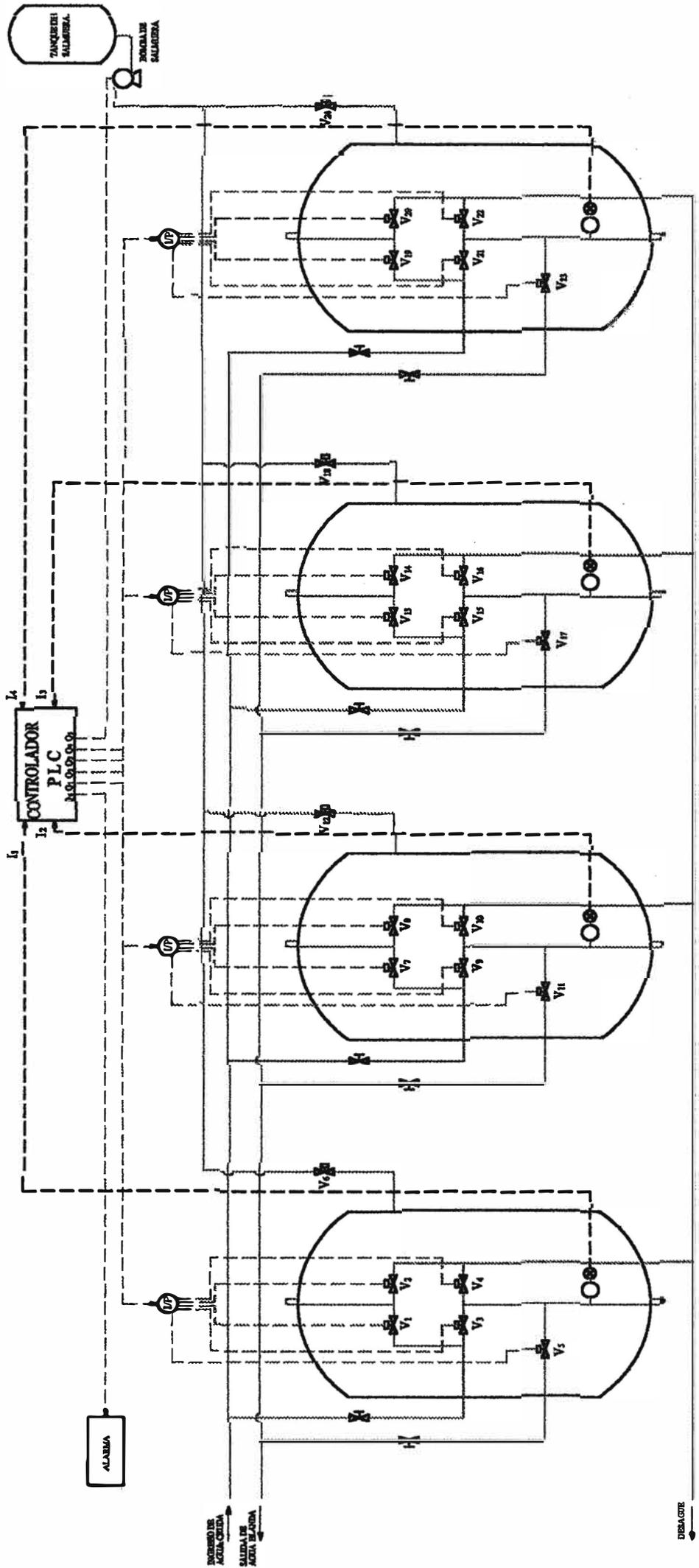
Se cuenta con un analizador de cloro en línea de la cisterna de almacenamiento de agua blanda hacia las lavadoras de botellas (ver figura 2.2.) y cuatro analizadores de dureza, uno a la salida de cada ablandador (Ver Figura 2.2).

**2.2.1. Analizador de Cloro:** El analizador de cloro (CII1) mide el valor de la variable Cloro Residual en el agua blanda que es enviada de la cisterna hacia las lavadoras de botellas, que según especificación del proceso debe estar entre 1 y 3 mg/L (Ver Figura 2.2). Este analizador puede tener un punto de consigna a 1.2 mg/L de cloro residual, de tal manera que cuando se registre este valor envía una señal al transmisor. El transmisor capta la señal y a su vez la envía al controlador (PLC). El controlador recibe la señal que está en relación con la variable a controlar (cloro residual) y la compara con el valor que se desea mantener, según el resultado de la comparación envía

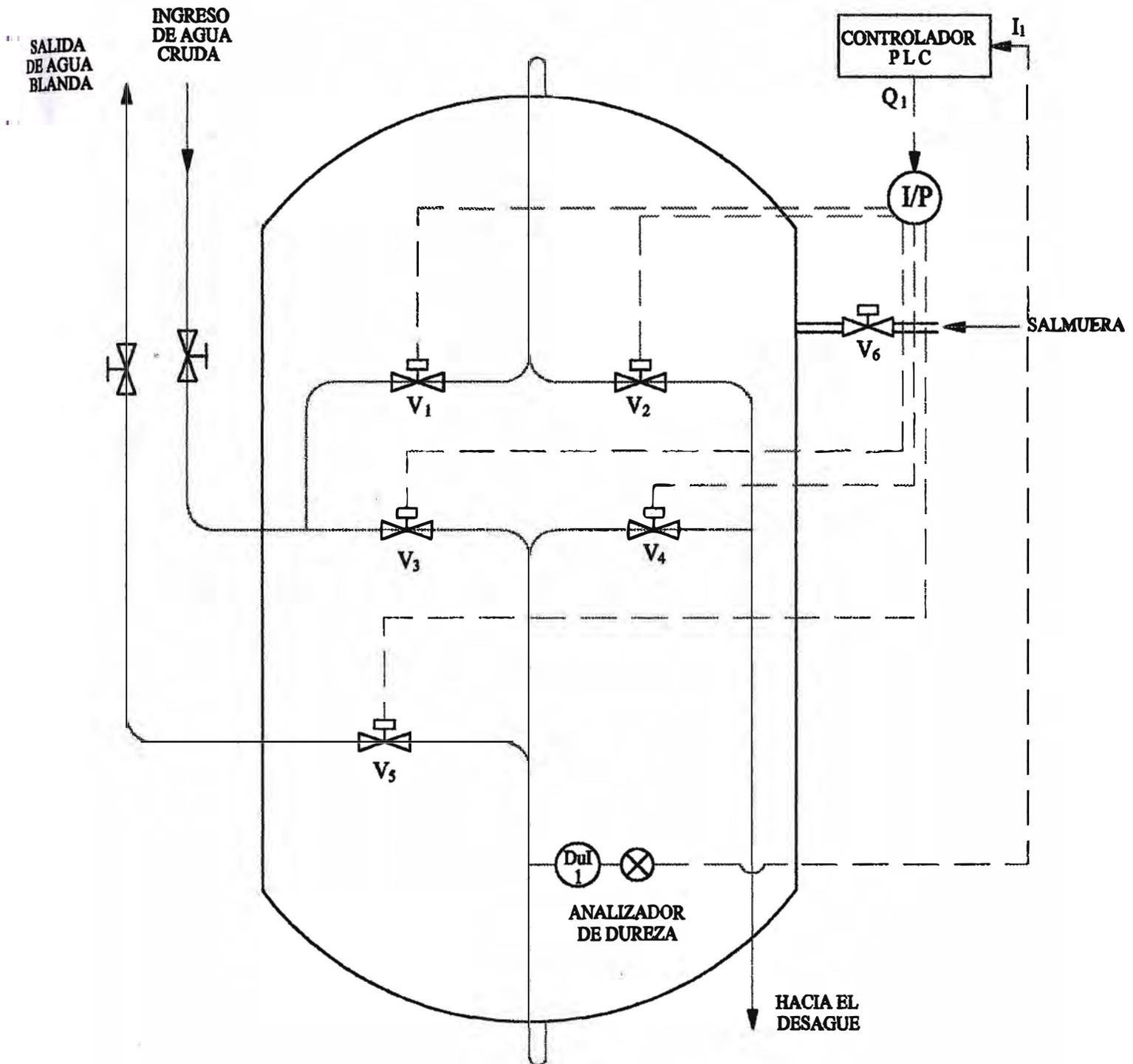
**FIG. 2.2 ESTRATEGIA DE CONTROL PARA EL PROCESO DE ABLANDAMIENTO DE AGUA**



**Fig. 2.3 DIAGRAMA DETALLADO DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL DE DUREZA PARA LOS ABLANDADORES**



**Fig. 2.4** DIAGRAMA DETALLADO DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL PARA UN ABLANDADOR



una señal Q2 a un sistema de alarma para que de esta manera el operador del sistema realice sus acciones a fin de corregir la desviación que se ha producido, a la vez que envía otra señal Q1 para activar el dosificador de hipoclorito de sodio ubicado en la línea de descarga de la bomba para mantener la variable controlada hasta que se corrija la desviación. Cuando el analizador registra un valor de 2.0 mg/L envía otra señal para repetir el ciclo y que el dosificador se apague y, en caso de que la desviación no se corrija a tiempo, es decir que a pesar de que se está dosificando hipoclorito adicionalmente el cloro residual descienda a un valor menor que 1.0 mg/L, el controlador enviará la señal Q3 al transductor I/P para convertir la señal de corriente (I) en neumática (P) y active la válvula que regula el suministro de agua blanda a las lavadoras de botellas. Esto último será hasta que el analizador registre un valor igual a 1.0 mg/L, en ese momento el controlador enviará otra señal para operar la válvula y continuar con el suministro de agua. La alarma se apagará cuando se registre un valor igual a 1.2 mg/L.

**2.2.2. Analizadores de Dureza:** Los analizadores de dureza (DuI1, DuI2, DuI3 y DuI4) miden la variable Dureza Total, y están ubicados cada uno en la salida de cada ablandador. Según especificaciones del proceso, la dureza total debe ser menor o igual a 30 mg/L (Ver Figura 2.3 y Figura 2.4).

Como ya se explicó antes, el control de nivel de la cisterna de agua blanda activa a la bomba que envía agua cruda a los ablandadores, que trabajan siempre dos en paralelo. El agua cruda ingresa a los ablandadores 1 y 2 que tienen abiertas sus válvulas V1 y V7 y, sale como agua blanda por las válvulas V5 y V11 respectivamente, que

también están abiertas, mientras las válvulas V2, V3, V4, V6 y V8, V9, V10, V12 permanecen cerradas.

El analizador de dureza que se encuentra a la salida de cada ablandador tiene un set point de 30 mg/L, de tal manera que cuando se registre un valor igual a este, envía una señal a los transmisores y estos a su vez la envían al controlador (PLC). El controlador recibe las señales de entrada I1 e I2 y las compara con el valor deseado. Según el resultado de la comparación envía las señales de salida Q1 y Q2 que ordenan cerrar las válvulas V1, V7, V5 y V11 y abrir las válvulas V2, V3, V8 y V9, para hacer el retrolavado, esto por espacio de 20 minutos; a la vez que las señales de salida Q3 y Q4 hacen abrir las válvulas V13, V17, V19 y V23 para que trabajen los ablandadores 3 y 4, y la señal de salida Q6 que activa la alarma que indica que los ablandadores 1 y 2 se han agotado.

Luego de 20 minutos se cierran las válvulas V2, V3, V8 y V9 y se abren V6 y V12, a la vez que la señal de salida Q5 activa la bomba que envía solución de salmuera a los ablandadores 1 y 2 para regenerar la resina. Esto por espacio de 60 minutos. Transcurrido este tiempo se apaga la bomba de salmuera y se cierran las válvulas V6 y V12, y se abren V1, V4, V7 y V10 para realizar el enjuague final hasta que el analizador de dureza registre un valor de la variable igual o menor que 30 mg/L, en ese momento se cerrarán las válvulas V1, V4, V7 y V10 y los ablandadores quedarán disponibles para seguir produciendo agua blanda cuando se requieran.

## **2.3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS ANALIZADORES EN LINEA.**

### **2.3.1. ANALIZADOR DE CLORO**

**Rango:** 0-5 mg/L de cloro residual total o libre.

**Calidad:** Mejor que  $\pm 5\%$  de lectura o  $\pm 0.05$  mg/L

**Resolución:** 0.01 mg/L

**Detección mínima:** 0.05 mg/L.

**Repetitibilidad:** Dentro de  $\pm 0.05$  mg/L

**Tiempo de respuesta:** Para un cambio completo de escala, respuesta al 90% en 2.5 minutos, 100% en 5 minutos

**Tiempo de respuesta:** Un análisis completo de la muestra cada 2.5 minutos

**Muestra del flujo de rango:** 100 - 500 mL/min total (300 ml./min recomendados). La muestra del flujo de rango se toma mientras la célula muestra se mezcla con la muestra limpia.

**Muestra de entrada de presión:**

- 1 psig mínimo; 5 psig máximo (las presiones altas pueden causar una falla en el tubo de prueba)
- 1 a 20 psig .Usar un regulador ajustable simple, Cat. No. 47351-00
- 20 a 120 psig. Usar el regulador actual y el ajustable, Cat. No. 47358 00)

**Desagüe:** Gravedad, compresión de aire o salida recomendada.

**Muestra de Temperatura del rango:** 5 a 40 °C (41 a 104 °F)

**Interfaces:** Agentes oxidantes como el bromino, dióxido de cloro, permanganato y ozono causarán interferencia positiva.

Cromo hexavalente causará una interferencia positiva: 1 mg/l  $\text{Cr}^{6+}$  = aprox.0.02 mg/l como  $\text{Cl}_2$

Dureza no excede de 1000 mg/L con  $\text{CaCO}_3$

Alcalinidad no excede de 400 mg/L por análisis de Cloro libre-- 700 mg/l por análisis de total de Cloro.

**Temperatura Operativa de Rango:** 0 a 40° C (32 a 104 °F)

**El registrador de Salida:** Selectivo para 0-10 mV, 0-100 mV, 0-1 V o 4-20 mA. Promedio de salida programable sobre cualquier porción del rango 0 - 5 mg/L (Aislamiento de 130V desde tierra).

**Alarmas:** Dos muestras de alarmas y analizador del sistema de alarma y analizador de apagado de alarma, cada uno equipado con bobina SPDT con contactos de 5A resistentes a una carga de 230 Vac.

**El Requerimiento de Potencia:** 0.8A a 115 Vac Max 50/60 Hz, 0.4A a 230 Vac Max 50/60 Hz (interruptor; 50 VA, 25 W nominal)

**Conexiones de desagüe:** 3/4" diámetro de cañería

**Purga aérea (opcional):** Calidad de aire 0.1 CFM a 20 psig máximo, 1/8" OD

**Caja:** NEMA - 12 instrumento cerrado de fibra de vidrio cubierto con polibicarbonato; diseñado para instalación interior.

**Dimensiones:** 34.3 cm de ancho x 41.9 cm de largo x 19.1 de profundidad (13.5 x 16.5 x 7.5 ")

**Prueba:** Pared prueba

**Peso neto:** 11.3 Kg (25 lb)

\*Para una temperatura de 35-40 °C, el valor de presión máxima es reducido a 85 psig

### **Descripción del instrumento**

El Analizador de Cloro es un microprocesador-controlado, analizador de proceso diseñado para supervisar continuamente el contenido de cloro en la muestra. Tanto el cloro libre como el cloro total pueden ser supervisados en el rango de 0 a 5 mg/L. El buffer y el indicador de soluciones utilizados determinan la opción para el análisis del cloro libre o total.

El Método Colorimétrico DPD (N, N-Diethyl-p-phenylenediamine) y el buffer son introducidos en la muestra, tomando un color rojo que indica la intensidad proporcional de la concentración de cloro.

El registrador de salidas de 0-10 mV, 0-100 mV, 0-1 V o 4-20 mA están disponibles para manejar un mapa de registro. El Registro promedio de valores máximos y mínimos mg/L Cl<sub>2</sub> son programados por el operador en el teclado del analizador. Utilizar una salida a la vez.

Los circuitos de alarma programables proporcionan los cierres de bobina, ambos normalmente abiertos y normalmente cerrados, para dos puntos determinados en el nivel de cloro. Los puntos establecidos pueden ser programados por el operador en cualquier parte dentro del rango global. El sistema de advertencia y los rasgos del sistema proporcionan autoevaluaciones y diagnósticos automáticos que detectan un posible número de errores, y

proporcionan alarma de cierre de bobina que indican la necesidad por la atención del operador.

El analizador puede proporcionar datos a una impresora o computadora externa, y recibe comandos de entrada desde una computadora por medio de una interface del entrada/salida de serial opcional.

El indicador y el buffer reactivo (ambos de 473 mL) son colocados en la caja del instrumento en las botellas llenas por la fábrica original. Los reactivos son reemplazados una vez al mes.

La caja del instrumento está diseñada según los 12 requisitos industriales NEMA. Construido de materiales a prueba de corrosión, la tapa frontal es de plástico transparente que permite una vista completa de los componentes del analizador al operador. El control de mando externo no afecta el ambiente de la caja. Las conexiones eléctricas están arriba y al lado, y las conexiones hidráulicas están al fondo de la caja.

La tapa frontal está asegurada con dos tornillos de plásticos que pueden ser asegurados a mano o sellados con un destornillador para mayor seguridad.

### **Método de Análisis**

El cloro libre disponible (ácido hipocloroso e iones hipocloritos) oxidan el indicador reactivo DPD a un pH entre 6.3 y 6.6 para formar un compuesto coloreado magenta. La profundidad o intensidad del color resultante son proporcionales a la concentración

de cloro en la muestra. Un buffer de solución para cloro libre mantiene un pH apropiado.

El total de cloro disponible (cloro libre disponible más cloraminas combinados) es determinado agregando potasio yodado a la reacción. Las Cloraminas en la muestra oxidan el yodo para ionizar, junto con cualquier cloro libre disponible, oxida al indicador de DPD para formar el color magenta a un pH de 5.1. Un buffer de solución diferente que contiene potasio yodado mantiene la reacción pH. Después que la reacción química está completa, el absorbente óptico en 510nm es comparado para la medida de absorción a través de la muestra antes de que los reactivos fueran agregados. La concentración de Cloro es calculada por la diferencia en la absorción.

### **Principio de Funcionamiento**

El analizador está diseñado para capturar y analizar una porción de la muestra cada dos y un minuto y medio. La porción de muestra se captura en el colorímetro que mide célula donde el espacio de absorción es moderado. La medida de absorción de la muestra permite la compensación por cualquier turbiedad o color natural en la muestra, y proporciona un punto cero de referencia automático. En este punto, se agregan los reactivos para desarrollar el color magenta que es medido y comparado con la referencia.

Una bomba peristáltica controla el flujo de muestra ingresada e inyecta volúmenes medidos del buffer y del indicador de reactivos en un ciclo de dos y un minuto y medio. El módulo del pump/válvula usa una palanca (funciona con motor) para operar bloques que presionan la tubería recubierta contra un plato fijo.

### 2.3.2. Medidor de pH:

Este instrumento puede medir los valores pH y tienen una puesta en fábrica de escala de medida. Puede tener una escala estándar tal como 0 -14 pH, 0-1000 mV, etc., o una escala especial.

El instrumento proporciona potencia al sensor, recibe las señales del sensor y las procesa por indicación, retransmisión y control o propósito de alarma. Si se desea, la puesta en fábrica de escala de medida puede ser cambiada de campo.

Las salidas incluyen un 0-5 VDC/0-1 mA y 4-20 mA. Cuando un terminal de entrada aislante de mesa es instalado, este aísla la salida de 4-20mA de la tierra, la línea de potencia y la señal de entrada. Cuando un terminal de entrada opcional del módulo de pulso es instalado en vez de la mesa aislante, este proporciona un contacto pulsado de cierre de salida en lugar de los 4-20 mA por variable de velocidad, pulso conducción de recarga.

Un porcentaje de la forma del controlador es proporcionado por un simple proporcional, sólo para control de aplicaciones. La salida de 4 20 mA se establece sobre rango de interés para regular la proporcionalidad final del elemento de control.

## ESPECIFICACIONES

### Operacional

**Display...** Ilumina la lectura del LCD con dígitos de 1/2 " o metro analógico con escala de 3-1/2"

### **Rango de medida:**

el pH..... 0-14 pH

**Condiciones de Ambiente.....** -22 a 122°F (-30 a 50°C), 0 a 100% humedad relativa, no condensada.

**Función de Bobina:**

Setpoints..... Ajustable de 0-100% de escala de medición.;

Banda muerta..... Ajustable de 0-15% de escala de medición.

Indicadores..... LED se ilumina cuando la bobina respectiva está operativa

Salidas..... Dos contactos de salida SPDT, U.L. tasando: 5A 115/250 VAC, 5A @ 30VDC resistente

**NOTA:** Las bobinas dan energía en respuesta al incremento o reducción de la lectura del interruptor seleccionado. Cuando un modo bajo de operación se selecciona para la bobina B, puede operarse como una bobina de alarma dual. Un alto setpoint de alarma puede aplicarse a fin de que la bobina B también dé energía en respuesta al incremento de lectura. En este modo, el setpoint de alarma alto tiene una banda muerta fija de 2% del promedio del valor de medición.

**Temperatura**

Compensación..... Automático, 0-100°C (32-212° F), 300 ohm thermistor; o fijo con el valor de la resistencia

**Sensor analizador**

Distancia..... 3000 pies máximo para GLI 5 alambre de sensor técnico diferencial; o 10 pies máximo para conexión directa de electrodo de combinación (GLI Modelo 714 preamp se requiere para distancias mayores que 10 pies)

Requerimientos de Potencia..... 98-132 VAC, 50/60 Hz (menos de 5VA); 195-265 VAC opcionales, 50/60 Hz,

**Salidas analógicas:**

Estándar..... No expansible y no aislada: 0-1 mA, 100 ohm carga máxima,  
o 0- 5 VDC, 500K ohm carga mínima,

**Expansible y no aislada:**

4-20 mA, 825 ohm carga máxima,

Opcional. Aislacion\* para salida de 4-20 mA sólo;  
575 ohm carga máxima.

- Las salidas no aisladas se aíslan desde tierra y línea de poder, pero no desde la entrada o ambas. La salida aislada se aísla desde la entrada, tierra, línea de poder y todas las otras salidas.

El rango extiende - Los 4-20 mA de salida analógica pueden hacerse al representar un segmento seleccionado de la escala de medición. Este segmento o " subintervalo promedio" no puede ser menor que el 10% del promedio de la escala de medición, pero puede ser colocado en cualquier parte dentro de ese promedio.

**Controlador de Salidas:**

Actual..... Una señal (usa salida análoga):  
4-20 mA, 900 ohm carga máxima,

**NOTA:** Si 4-20 mA es aislado, se limita la carga máxima a 575 ohm.

Pulsado..... Un cierre del contacto seco; 0 para usuario específico

máximo de 70-120 pulsos/minuto; 50 milisegundos de cierre de contacto; la frecuencia del pulso es proporcional a 0-100% de la salida del controlador. La velocidad de contacto es 200 VDC, 1/2 amperio, DC, 10 vatios, máximo.

### **Actuación del analizador (las salidas Eléctricas y Analógicas)**

#### **Certificación eléctrica**

(opcional)..... CSA: Propósito General

Sensibilidad..... 0.1% promedio

Estabilidad..... 0.1% promedio por 24 hrs., no acumulativo

No Linealidad..... 0.05% promedio

Repetibilidad..... 0.1% promedio

Variación de Temperatura ..Cero: 0.01% promedio por °C

Promedio: 0.015%

Tiempo de respuesta.....3 segundos a 90% de valor en el cambio de paso

#### **Mecánica**

Cierre..... NEMA 4X, 1/2 DIN, PVC con dos hoyos conductores de 1/2 pulgada y dos monturas de acero limpio.

Configuraciones base. La superficie, el tablero y el tubo de soporte horizontal; el tubo opcional de soporte vertical.

El Peso neto es de 3 lbs. (1.36 kg)

### 2.3.3. ANALIZADOR DE DUREZA

El monitor de dureza monitor/alarma creado para proporcionar una señal de alarma cuando la dureza total en una muestra de agua sobrepasa el límite preestablecido y se ha diseñado para funcionar de forma contínua, sin vigilancia, con un mantenimiento mínimo. Las provisiones de reactivos duran dos meses antes de volverse a llenar y de que sea preciso estandarizar. Al realizar un análisis cada dos minutos, el monitor permite que los operadores de los ablandadores de agua comercial e industrial establezcan sistemas de regeneración automáticos o semiautomáticos iniciados mediante demanda. Detecta el avance de dureza cuando se ha agotado la capacidad del ablandador. Se puede disponer de puntos de alarma de 1, 2, 5, 10, 20, 50 y 100 mg/L de dureza total como  $\text{CaCO}_3$ . Los indicadores LED (luz emitida por diodo) muestran el estado «duro» o “blando” de la muestra.

#### **Funcionamiento**

El corazón es un módulo lineal de válvula/ bomba peristáltica. Dicho módulo mide e inyecta en la celda colorimétrica el flujo que entra en la muestra y los reactivos. Una barra agitadora y un motor mezclan la muestra y el reactivo. Se desarrolla el color y se mide fotométricamente la transmisión de la luz. Las muestras con baja dureza desarrollan el color azul y transmiten una luz débil. Las muestras con fuerte dureza desarrollan el color rojo y transmiten una luz fuerte.

Cuando el nivel de la luz medida se halla un 50% o más por encima del nivel máximo, se activan los circuitos de alarma. Cada dos minutos se introduce una nueva muestra y se realiza su análisis. El estado “DURO” activa un relé SPDT que se puede utilizar para controlar un anunciador y/o iniciar la regeneración. Se requieren tres

indicaciones consecutivas de “DURO” (seis minutos, aproximadamente) antes de que se activen los circuitos de alarma, con lo que se eliminan las alarmas erróneas a fluctuaciones momentáneas en la dureza. Se requieren dos indicaciones consecutivas de “BLANDO” antes de que se anule la alarma.

### **Sistema de Control de Dureza**

Monitorea en forma continua y el set-point es sugerido por el usuario de acuerdo a su requerimiento.

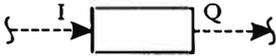
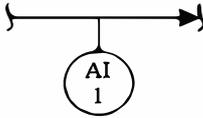
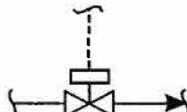
### **Especificaciones**

- Detecta un punto de consigna (Set point) de: 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50 ppm como dureza total.
- Tiempo de respuesta: cada 2 min.
- Repetibilidad: +/-10% del punto set 1-2 ppm, 4% del punto set 5-50 ppm.
- Salida por relay para control ON-OFF.
- Basado en el principio espectrofotométrico.
- Utiliza reactivo cada 2 meses.

## CONCLUSIONES

- El uso de sistemas de control automáticos nos ayuda a mantener dentro de determinados valores de operación las variables más importantes de los procesos de tratamiento de aguas, como son: cloro residual, dureza total y pH.
- El control automático de procesos proporciona al supervisor y al operador del sistema las herramientas necesarias para mantener controlado el proceso y así suministrar a planta el producto con la calidad requerida.
- El control automático de procesos proporciona eficiencia al proceso para mantener la variable controlada dentro de sus puntos críticos de control, a pesar de las perturbaciones que se presenten, y así garantizar la calidad del producto y la satisfacción del cliente.

**TABLA A-1**  
**SÍMBOLOS GENERALES DE LOS INSTRUMENTOS – SIGNIFICADO**

DESCRIPCION	SIMBOLOGIA
Controlador	
Elemento analizador/medidor	
Señal eléctrica o electrónica	
Señal neumática	
Transductor	
Transmisor	
Válvula de control de acción manual	
Válvula de control de acción neumática	
Válvula con actuador eléctrico	

- Esta simbología para instrumentos está basada según las normas de la “Instrument Society of America” (ISA)
- En cuanto a los equipos que se observan en los “Diagramas de flujo: Proceso de Tratamiento de Agua” y “Diagrama de Flujo: Proceso de Ablandamiento de Agua”, están basados en la “Simbología para la Elaboración de Diagramas de Flujo e Ingeniería” del “Sistema de Normalización Corporación José R. Lindley S.A.”