

## INTRODUCCIÓN

### ANTECEDENTES

The Coca Cola Company empresa embotelladora de refrescos inició una nueva etapa en el proceso de administración en Bolivia en el mes de Junio de 1993, cuando la embotelladora Arica S.A. compró las franquicias de la compañía en las ciudades de La Paz, Cochabamba y Oruro.

En Enero de 1996, la embotelladora Arica S.A. tomó el control de las operaciones en las ciudades de Santa Cruz, Chuquisaca y Tarija, la misma que, desde entonces administra el 96%, del negocio de “The Coca Cola Company” en Bolivia. De ahí en adelante la compañía llevó el nombre de Embotelladoras Bolivianas Sociedad Anónima. (EMBOL S.A.).

Las primeras acciones de la empresa estuvieron orientadas a aprovechar las oportunidades inmediatas que ofrecía el mercado y lograr eficiencias en la reducción de costos. Posteriormente se consolida un equipo de profesionales bolivianos con amplia experiencia en el negocio de Coca Cola.

En nuestro departamento la planta de EMBOL S.A. Tarija inicia operaciones el 22 de Mayo de 1994, embotella, produce y comercializa bebidas gaseosas sin alcohol como son: Coca Cola, Fanta, Sprite, Mineragua y todas las variedades de Simba; comercializa también agua de mesa envasada, proporcionado por la planta embotelladora de la ciudad de Santa Cruz.

Para la elaboración de bebidas refrescantes se utiliza como materia prima, el agua. Las plantas embotelladoras de bebidas gaseosas en Bolivia, especialmente en el departamento de Tarija, se abastecen de agua de pozos profundos, por lo que cada industria tiene sus problemas particulares para realizar el tratamiento de agua que tiene disponible, debido a que estas presentan características químicas y bacteriológicas similares pero no iguales y tienen tendencia a contener sales minerales, que han sido extraídos de los estratos subterráneos por los cuales pasa el agua.

La operación de potabilización del agua, comprende una serie de procesos cuya finalidad es transformar la materia prima inicial (agua cruda), en producto final (agua potable). En este proceso de tratamiento del agua, se utilizan una serie de procesos y equipos, en una secuencia tal que el proceso siguiente va removiendo las impurezas que no eliminó la operación anterior.

El agua, es un recurso vital para el ser humano, es por eso que se considera importante el buen manejo del mismo. En muchas industrias el agua es de vital importancia, especialmente en la de bebidas y en este debe de cumplir con ciertos estándares de calidad según su uso.

Son muchos los factores que llevan a pensar en el uso de nuevas alternativas para el tratamiento de aguas, desde la regulación jurídica que día a día se va haciendo más estricta y exige que los procesos sean más limpios y amigables con el medio ambiente, la economía de ahorro que se tiene en las empresas, la necesidad de reducir los costos de inversión y operación, y sobre todo la calidad del agua cuando es de consumo.

Los sistemas de tratamiento de aguas convencionales son insuficientes para garantizar la calidad exigida. De esta manera, se empiezan a aplicar las nuevas tecnologías de potabilización, basadas en la combinación de los procesos físico-químicos como: filtración, difusión y adsorción de partículas (sin olvidar los sistemas de potabilización tradicionales, imprescindibles como proceso previo).

Actualmente la empresa EMBOL S.A. Tarija cuenta con agua propia, la misma que es extraída mediante una bomba de un pozo en los predios de la empresa, la cual debe satisfacer los requerimientos generales de agua potable y cumplir con requerimientos específicos como ser: Transparente, incolora, inodora y libre de cualquier sabor objetable. El agua extraída tiene un tratamiento de doble barrera, acondicionado física, química y microbiológicamente para su utilización.

La Planta EMBOL S.A., cuenta con un sistema de tratamiento de aguas convencional clásico, siendo un proceso químico que consiste en añadir cloro, cal y sulfato ferroso al agua cruda, y a continuación se procede a un filtrado a través de un filtro de arena,

un filtro de carbón activado y un filtro pulidor de agua, los tres son necesarios para lograr la eliminación total del cloro, los olores, sabores y colores.

El agua blanda, es obtenida de un ablandador que trabaja con zeolitas sintéticas como intercambiadores iónicos y es destinada a la generación de vapor, para abastecer la lavadora de botellas y al condensador de amoníaco.

Con el presente Proyecto “Diseño de una Nueva Planta de Tratamiento de Aguas para Uso en la Elaboración de Productos de EMBOL S.A. Tarija”, se pretende mejorar la calidad del sistema de tratamiento que se tiene actualmente, buscando una nueva alternativa que permita reducir el costo de inversión y operación y disponer de agua en cantidad y calidad necesaria.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una “Planta de Tratamiento de aguas para uso en la elaboración de productos de EMBOL S.A – Tarija”.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir las limitaciones del funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas que se tiene actualmente en la empresa.
- Seleccionar la tecnología adecuada a las necesidades de la empresa.
- Seleccionar y justificar las diferentes unidades que conformarán la planta de tratamiento de aguas.
- Realizar el requerimiento presupuestario, para la instalación de la planta de tratamiento de aguas seleccionada.

## JUSTIFICACIÓN

Debido a la gran cantidad de agua que se emplea en el proceso de producción de las bebidas gaseosas, la industria tiene especial cuidado a la hora de seleccionar una fuente de origen acuífera. El sector de la elaboración de las bebidas, requiere que el agua cumpla con estándares de calidad más estrictos que los de agua potable con relación a su turbidez, los sólidos disueltos, materia orgánica, contenidos microbiológicos y alcalinidad. No obstante, esa calidad cada vez está más deteriorada, entre muchas razones, por las influencias ambientales y el uso y la eliminación de productos químicos.

El agua es una de las principales materias primas para la elaboración de bebidas gaseosas en EMBOL – S.A. y es sometida a un exigente tratamiento para adecuarse a los requerimientos de la OMS, organismos locales y de “The Coca-Cola Company”. El tratamiento consiste en varios pasos por ejemplo: filtración y desinfección con los que se asegura su inocuidad (libre de microorganismos), removiéndose además sabores extraños y contaminantes químicos.

La Planta de Tratamiento de Aguas con la que actualmente cuenta la empresa, es una planta convencional clásica de clarificación que tiene varios años de funcionamiento cumpliendo ya con su ciclo de vida estimado en sus equipos, los mismos presentan fallas y provocan problemas operacionales como la saturación de los filtros por los volúmenes que se manejan, arrastre de sólidos, acumulación de barros en los filtros y en ocasiones un efluente turbio, originando bastantes paradas en la producción para mantenimiento y saneamiento, además de mayor uso de agua y energía.

La elaboración del proyecto en el área de tratamiento de aguas en EMBOL S.A. Tarija, permitirá analizar el estado actual y establecer los requerimientos de un

posible nuevo sistema que sea más eficiente, con el objeto de remover o reducir a un nivel aceptable las impurezas contenidas en el agua. Realizando para esto una adaptación de tecnología; con el propósito de ampliar la capacidad de producción y con el fin de tener una materia prima que permita obtener un producto de buena calidad, además de disminuir los costos en insumos, mantenimiento, agua y energía en la planta, protegiendo la marca continuamente y creando confianza en el consumidor.

Se buscará obtener agua dentro de las especificaciones recomendadas, que será aceptable para la preparación de jarabes y del producto final. Obteniendo así los siguientes beneficios:

- Garantía de la consistencia.
- Protección de los aspectos sensoriales de la bebida.
- Garantía de la vida de anaquel en el mercado.

## **CAPÍTULO I**

### **DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA**

#### **1.1. LOCALIZACIÓN.**

Embotelladoras Bolivianas Unidas S.A. (EMBOL S.A.), tiene en la Ciudad de Tarija una planta embotelladora de bebidas refrescantes cuyo representante legal es el Sr. Ing. Marcelo Arce Campero; su actividad principal es la elaboración y venta de bebidas refrescantes carbonatadas. Se encuentra ubicada en una zona industrial, de la Avenida Jorge Paz Galarza, en el Barrio San Jorge I. Siendo sus principales productos de elaboración bebidas gaseosas de prestigio mundial como son Coca Cola, Fanta, Sprite, Mineragua y las variedades de Simba, también comercializa agua de mesa envasada que es proporcionada por la planta embotelladora de la ciudad de Santa Cruz, contribuyendo al desarrollo industrial de Tarija con la captación de recursos económicos dentro del sector privado.

Alrededor de la empresa, se desarrollan algunas actividades industriales como:

- Al norte colinda con una estación distribuidora de combustibles: gasolina, diesel, etc.
- Al sur colinda con Bodegas Kohlberg, cuya actividad principal es la producción de bebidas alcohólicas (vinos, etc.).
- Al oeste colinda con la industria Láctea PROLAC, cuya actividad principal es la industrialización y comercialización de productos lácteos.

Dada su importancia y variedad de productos; la Empresa tiene una participación importante en el Sector Industrial de las bebidas gaseosas; además de una gran importancia socioeconómica debido a que en todo el país, proporciona trabajo de manera directa e indirecta a distribuidores, comerciantes e intermediarios en general. (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.)

Con el trabajo arduo, serio y responsable de los administradores y trabajadores, Embotelladoras Bolivianas Unidas S.A. entrega a nivel regional, tanto a la capital como sus provincias, productos de alta calidad y presentación, elaborados con métodos modernos e higiénicos.

## **1.2. ORGANIZACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INDUSTRIA**

EMBOL S.A Tarija, está estructurada en diferentes niveles de organización, para tener un óptimo funcionamiento de las distintas gerencias y lograr de la mejor manera sus metas establecidas, proyectadas de manera tal que la interrelación entre estas sea efectiva y fluida, para que los beneficios como unidad de producción sea positiva para la empresa. El organigrama de la empresa se muestra en la Figura I-1 (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.).

El organigrama de EMBOL S.A., está distribuido de la siguiente manera:

- Gerencia Regional.
- Jefatura Administrativa y de Finanzas.
- Jefatura Comercial.
- Jefatura de Planta.
- Jefatura del Sistema Integrado.

### **1.2.1. Gerencia Regional.**

La Gerencia Regional, es la máxima autoridad, en jerarquía, responsable de los destinos de la empresa, cuya función gerencial como su nombre lo indica está limitada a la Región de influencia, que en nuestro caso es el departamento de Tarija.

Las funciones básicas de la gerencia se llevan adelante por medio del gerente general, que son de planificación supervisión, control y evaluación de la empresa.

### **1.2.2. Jefatura administrativa y de finanzas.**

Encargada del manejo económico, verifica los ingresos y egresos que tenga la fábrica, realiza los balances de contabilidad verificando los estados de cuentas corrientes en los bancos; además la administración de los recursos humanos.

Dentro de la jefatura está determinar la existencia de volúmenes de almacén, el depósito de producto terminado, entregado y de envases vacíos.

- Jefe de administración contable.
- Jefe de expedición.
- Mensajero.
- Portería.

### **1.2.3. Jefatura comercial.**

Sus actividades son la planificación, elaboración y ejecución de políticas de venta del producto embotellado, promoción al público consumidor y ampliación del mercado actual.

EMBOL S.A. Tarija, comercializa las gaseosas en la ciudad de Tarija y sus provincias en la cuales halla centrada su atención.

- Jefe de ventas de las provincias.
- Jefe de administración de ventas.
- Supervisores.
- Preventistas.

#### **1.2.4. Jefatura de la planta.**

Entre las funciones más importantes que tiene esta gerencia son:

Dirigir y controlar el perfecto funcionamiento de la planta principalmente en las diferentes fases de producción a través de una vigilancia continua, verificar y mantener condiciones óptimas de trabajo y de ambiente para que el personal se sienta a gusto y rinda sus mejores esfuerzos.

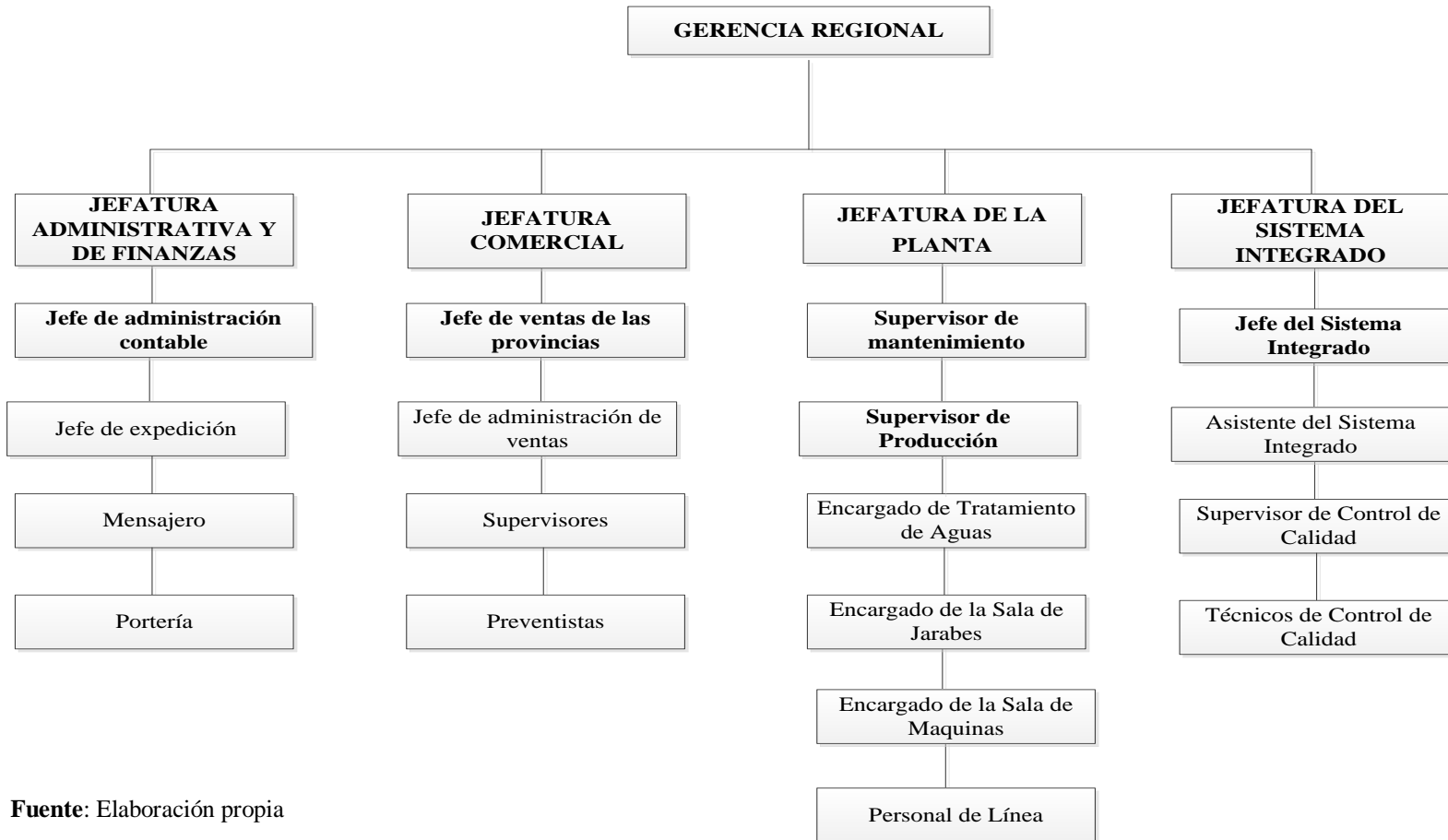
- Supervisor de mantenimiento.
  - Técnico Mecánico.
  - Técnico Eléctrico.
- Supervisor de Producción.
  - Encargado de Tratamiento de Aguas.
  - Encargado de la Sala de Jarabes.
  - Encargado de la Sala de Máquinas.
  - Personal de Línea.

#### **1.2.5. Jefatura del Sistema Integrado.**

Cuenta con un moderno sistema lo que permite garantizar a la población consumidora un producto saludable y de alta calidad

- Jefe del Sistema Integrado.
- Asistente del Sistema Integrado.
- Supervisor de Control de Calidad.
- Técnicos de Control de Calidad.

**FIGURA I -1**  
**ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA**



Fuente: Elaboración propia

### **1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO.**

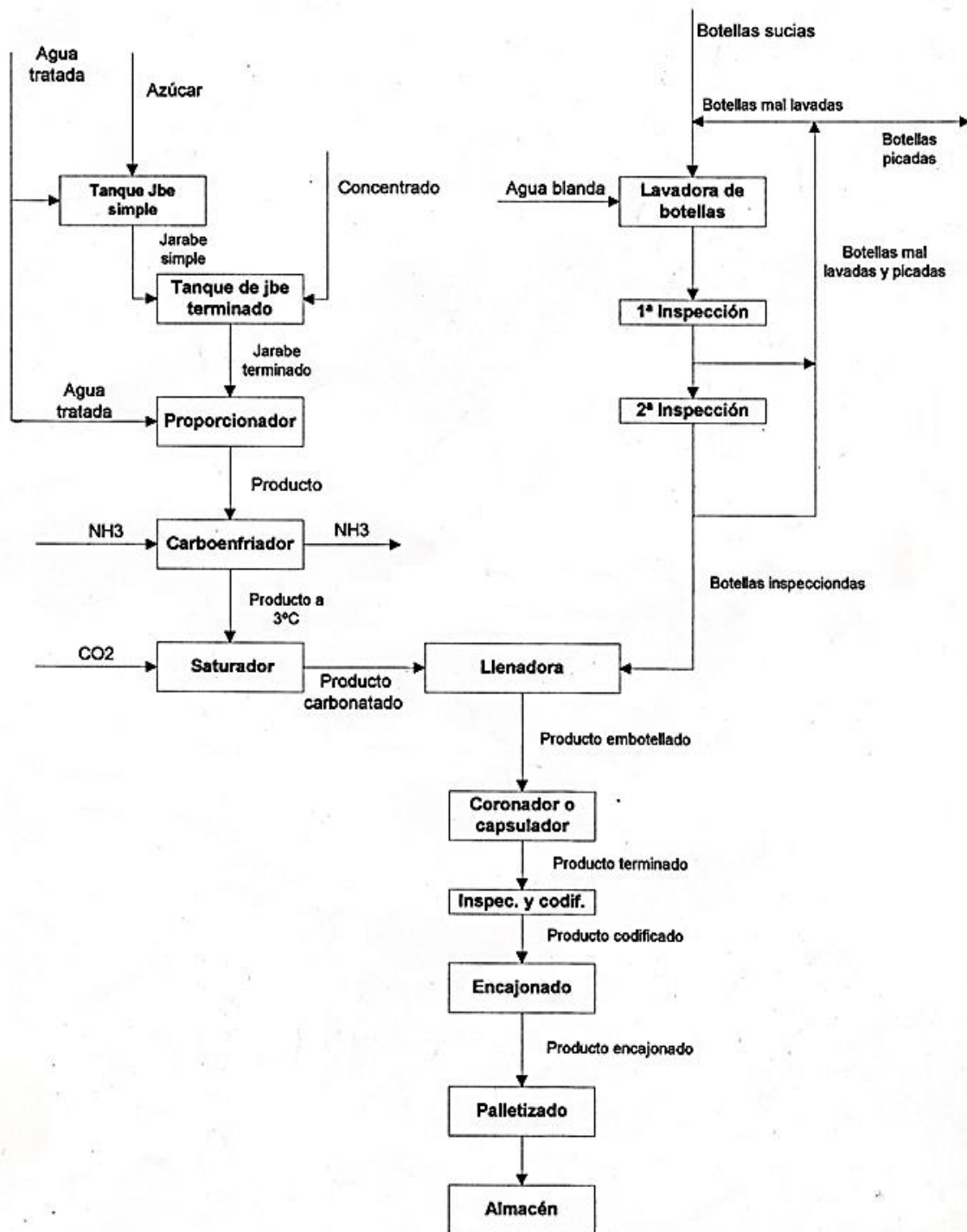
El proceso productivo para la bebida gaseosa, consta de una serie de etapas; las que se describen en este capítulo. El proceso inicia con la obtención de agua; extraída de un pozo propio; que luego de pasar por procesos de purificación, filtrado en arena, filtrado en carbón activado; son mezclados con azúcar para obtener el jarabe simple; al que se le agregan preservantes, concentrados, etc., y se obtiene el jarabe terminado. Para el lavado de envases existe otro tipo tratamiento del agua. Luego el jarabe terminado es enfriado y mezclado con agua y CO<sub>2</sub>, para ser embotellado. Otras partes del proceso son: Inspección de las botellas, empaçado y paletizado de la gaseosa. El diagrama del proceso se muestra en la FIGURA I - 2.

#### **1.3.1. Recepción de materias primas**

El proceso de fabricación comienza con la recepción de las materias primas para verificar las especificaciones de calidad. Las materias primas que se utilizan en la preparación de las bebidas gaseosas carbonatadas son:

- **Agua:** Es la materia prima más importante en la elaboración de bebidas gaseosas, ya que constituye el mayor porcentaje de la composición del producto, por lo que los controles y cuidados son necesarios antes de destinarla al proceso de elaboración del producto, también se la utiliza en la limpieza de la maquinaria (saneamiento), limpieza de ambientes de la planta y para uso doméstico. El agua es tratada química y bacteriológicamente, para cumplir con los altos estándares de calidad exigidos por las compañías envasadoras.

FIGURA I - 2  
PRODUCCIÓN DE BEBIDAS GASEOSAS



Fuente: Gonzalo Segovia, 2011.

- **Azúcar:** El azúcar, es usado para la elaboración de Coca – Cola y de los demás sabores, imparte el dulzor deseado, da cuerpo a la bebida y ayuda a proporcionarle su sabor. (SANCHEZ TORREZ YENNY, Septiembre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.)

El tipo de azúcar utilizado es la sacarosa, que debe cumplir con los requerimientos exigidos en la compañía, por lo que en el laboratorio de control de calidad, a cada lote de azúcar que ingresa a la planta se le efectúa una serie de pruebas como ser:

- Inspección para verificar la humedad.
  - Inspección para verificar suciedad.
  - Bolsas rota.
  - Sabor.
  - Olor y color.
  - Turbidez.
  - Peso neto.
- **Concentrado o Base De Bebida:** El concentrado o bebida base es una mezcla de aromas saborizante, edulcorante, estabilizante, acidulante y colorantes permitidos para garantizar de esta manera, la obtención de productos de calidad conocida. Que da el sabor característico a cada una de las variedades presentes en el mercado.
  - **Dióxido de Carbono:** El dióxido de carbono o gas carbónico es un gas relativamente soluble, el cual constituye una de las características más importantes de las bebidas gaseosas carbonatadas, la proporción de Dióxido de Carbono varía cada tipo de envase (vidrio, o pet **ow**), formato y sabor que se produce. Responsable de las burbujas de la gaseosa, el dióxido de carbono se introduce al agua bajo presión. A medida que se agrega más dióxido de carbono, disminuye el pH, otorgando más acidez a la gaseosa y por lo tanto resulta más burbujeante. También se lo considera un conservante, ya que genera un medio ácido que previene el crecimiento de microorganismos. (SANCHEZ TORREZ YENNY, Septiembre 2011, Informe de Prácticas)

### **1.3.2. Proceso de Tratamiento del Agua.**

Las plantas embotelladoras obtienen el agua que utilizan de diferentes fuentes. El agua proveniente de pozos profundos generalmente mantiene sus características químicas y bacteriológicas constantes; sin embargo, tiende a absorber sales minerales de los estratos subterráneos por donde pasa. (PROCESOS DE MANUFACTURA, U.S.A. 1998, Sección Agua, “Manual de Calidad”, Pepsi International).

Los métodos de tratamiento de aguas y los principios en que se basan son:

- Provisión de agua de pozo.
- Agua Blanda.
- Agua para el Proceso.

El diagrama se muestra en la Figura I - 3.

#### **1.3.2.1. Provisión de agua de pozo.**

EMBOL S.A. Tarija, cuenta con agua propia, la misma que es extraída de un pozo de 160 metros de profundidad, mediante un sistema de bombas centrífugas y llevada a un tanque de almacenamiento de 100 metros cúbicos de capacidad, la producción del pozo es de 25000 litros por hora. (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.).

##### **1.3.2.1.1. Cloración del agua de pozo.**

El tratamiento de cloración del agua, solo se puede ser aplicado en plantas abastecidas en fuentes de agua que cumplan con las especificaciones físico – químicas y microbiológicas.

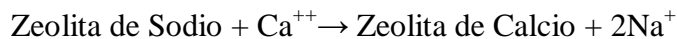
El agua es derivada a un tanque cisterna de retención, en el que permanecerá en el contacto con el cloro mínimo dos horas, tiempo adecuado para eliminar la mayor parte de las bacterias, hongos, virus, esporas y algas presentes en el agua. El proceso de cloración elimina impurezas, componentes del color y parte del hierro quedaran retenidas en el fondo.

- **Agua para uso Doméstico:** Esta agua es extraída de uno de los pozos con ayuda de una bomba sumergible a un tanque de almacenamiento donde se clora con hipoclorito de calcio.
- **Agua para el Enfriado:** Es el agua que se encuentra en el tanque de almacenamiento que es bombeada a la sala de jarabe simple donde se encuentra la torre de enfriamiento.
- **Agua contra Incendios y Limpieza:** Agua que es extraída del pozo que se distribuye a toda la planta en los puntos estratégicos previstos, usándose no solo en caso de incendios sino también para hacer limpieza de la planta.

### 1.3.2.2. Agua Blanda.

Se denomina así al agua en la que se reduce la presencia de carbonatos de calcio mediante un proceso de intercambio iónico, el carbonato de calcio es el compuesto químico que se deposita en las cañerías, equipos y calderas, siendo de importancia eliminar o reducir el mismo a niveles aceptables. Para el efecto EMBOL S.A., cuenta con dos unidades de ablandamiento las cuales funcionan alternadamente, interiormente tiene una carga de resina iónica, la cual intercambia iones de sodio con iones de calcio presente en el agua, de esta manera baja la concentración de iones de calcio en el agua. (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.) Una vez que se han saturado estas resinas se procede a su regeneración utilizando cloruro de sodio (sal). Periódicamente se realizan limpiezas a contracorriente con agua.

Ablandamiento:



Regeneración:



### **1.3.2.3. Agua para el Proceso.**

La purificación del agua para uso industrial puede ser muy compleja o relativamente simple, dependiendo de las propiedades del agua cruda y el grado de pureza requerido. Se emplean muchos métodos y combinaciones de ellos, pero todos abarcan tres procesos básicos: Tratamiento físico, químico y físico químico.

Para obtener agua tratada, el agua es sometida a una serie de etapas de tratamiento. Primero se procede con una floculación y precipitación de compuestos orgánicos. Para esto mediante una bomba se envía agua cruda al tanque reactor.

#### **1.3.2.3.1. Tratamiento físico.**

Se utilizan coagulantes para favorecer a la sedimentación de partículas y de la materia suspendida, en la sedimentación se aprovecha la acción que ejerce la fuerza de gravedad sobre las partículas más pesadas que el agua, las que descienden y se depositan en el fondo.

Posteriormente con el objeto de eliminar sólidos suspendidos o flotantes en el agua y como etapa adicional a la sedimentación se utilizan los filtros de arena.

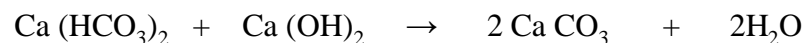
#### **1.3.2.2.2. Tratamiento químico.**

##### **1.3.2.2.2.1. Tanque Reactor.**

Es un tanque cilíndrico que tiene una capacidad de 30 metros cúbicos, tiene un tratamiento de doble barrera, acondicionando física, química y microbiológicamente para su utilización. (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas)

El primer proceso de precipitación química consiste en la adición de cal hidratada  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$  para disminuir la alcalinidad de bicarbonatos.

La cal disminuye la alcalinidad de bicarbonatos formando carbonato de calcio relativamente insoluble:



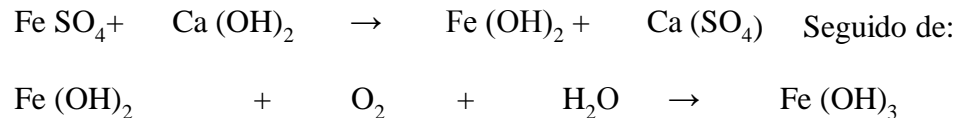
Se elimina también en menor o mayor medida magnesio, hierro, manganeso y cromo; si es que tuvieran presentes.

El hierro y magnesio, puede separarse por precipitación utilizando cal sosa o sosa cáustica para ajustar el pH, al nivel adecuado.

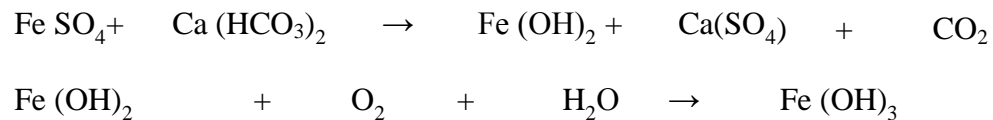
La adición de álcalis convierte el hierro férrico a hidróxido que se sedimenta, y para facilitar la sedimentación se utiliza cloro para acelerar la velocidad de oxidación.

Las reacciones con el sulfato ferroso son las siguientes:

a) Con hidróxido de calcio:



b) Con alcalinidad natural:



Los olores, sabores y gases disueltos que contaminan el agua, se elimina por adsorción mediante filtros de arena, filtro de carbón activo y un filtro pulidor garantizando con esto el agua de acuerdo a los estándares exigidos por la compañía.

#### **1.3.2.2.3. Tratamiento fisicoquímico.**

Varios procesos importantes de tratamiento de agua dependen de la acción química y física combinada. Entre ellos están la coagulación, la absorción y la adsorción, los aditivos para cambiar la tensión superficial y la inhibición de corrosión. (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas).

##### **1.3.2.2.3.1. Coagulación.**

Gran parte de la materia suspendida está formada por partículas demasiado pequeñas que no se sedimentan con rapidez. El uso de un coagulante químico como el sulfato

ferroso, puede hacer que los materiales suspendidos de tipo coloidal o finamente divididos se reúnan en partículas mayores denominadas coágulos o grumos. Los coagulantes forman un precipitado floculento que tiene una enorme área de superficie por unidad de volumen. En este precipitado la materia suspendida y coloidal del agua se separa gracias a los fenómenos de atracción electrostática, adsorción, absorción y aglutinación física formando grumos visibles que se sedimentan por gravedad.

#### **1.3.2.2.3.2. Adsorción y Absorción.**

Para eliminar del agua el color, el sabor y los olores, se utilizan los procesos de absorción y adsorción de materias orgánicas y coloidales. Los olores, sabores y gases disueltos que contaminan el agua, se eliminan por adsorción mediante filtros de arena, filtro de carbón activo y un filtro pulidor garantizando con esto el agua de acuerdo a los estándares exigidos por la compañía. (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.)

#### **1.3.2.2.4. Filtros de agua.**

La filtración es el procedimiento por el cual se eliminan del agua pequeñas partículas de distintas sustancias al hacer pasar el agua a través de un medio poroso que retiene los sólidos. Es necesario que el agua sea tratada antes de ser filtrada, de manera que el color y las materias en suspensión sean eliminadas, las sustancias orgánicas se oxiden y precipiten, igualmente las bacterias se destruyan y se reduzcan tanto el sabor como el olor. De no lograrse todo esto que es esencial, el agua no solamente será de calidad inferior sino que, además, los filtros se deteriorarán. Los tres tipos de filtros que se emplean en el tratamiento del agua son: un filtro de lecho de arena, un filtro de carbón activado y un pulidor de agua. Los tres son necesarios para lograr la eliminación total del cloro, los olores, sabores y colores.

##### **1.3.2.2.4.1. Filtro de Arena.**

La finalidad del filtro de arena es, básicamente, la de retener los flóculos u otras sustancias en suspensión que pudieran haber salido del tanque de reacción.

El filtro de arena tiene la función de retener todas las impurezas grandes,

componentes del color y parte del hierro quedarán retenidas en el filtro. Al pasar el agua por los lechos de gravas le quita la turbidez.

Los flóculos en suspensión no pasan a través de las capas del filtro sino que permanecen sobre el revestimiento de arena, llenando los intersticios y formando una especie de nata. Esta superficie sirve para filtrar impurezas, incrementando así su eficiencia.

El agua filtrada se recoge en el fondo del filtro y pasa al purificador de carbón activado. (SANCHEZ TORREZ YENNY, Septiembre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.)

#### ***Retrolavado.***

Retro lavado es el nombre que se da al procedimiento que se sigue para deshacerse de las impurezas que han sido extraídas del agua durante la filtración normal.

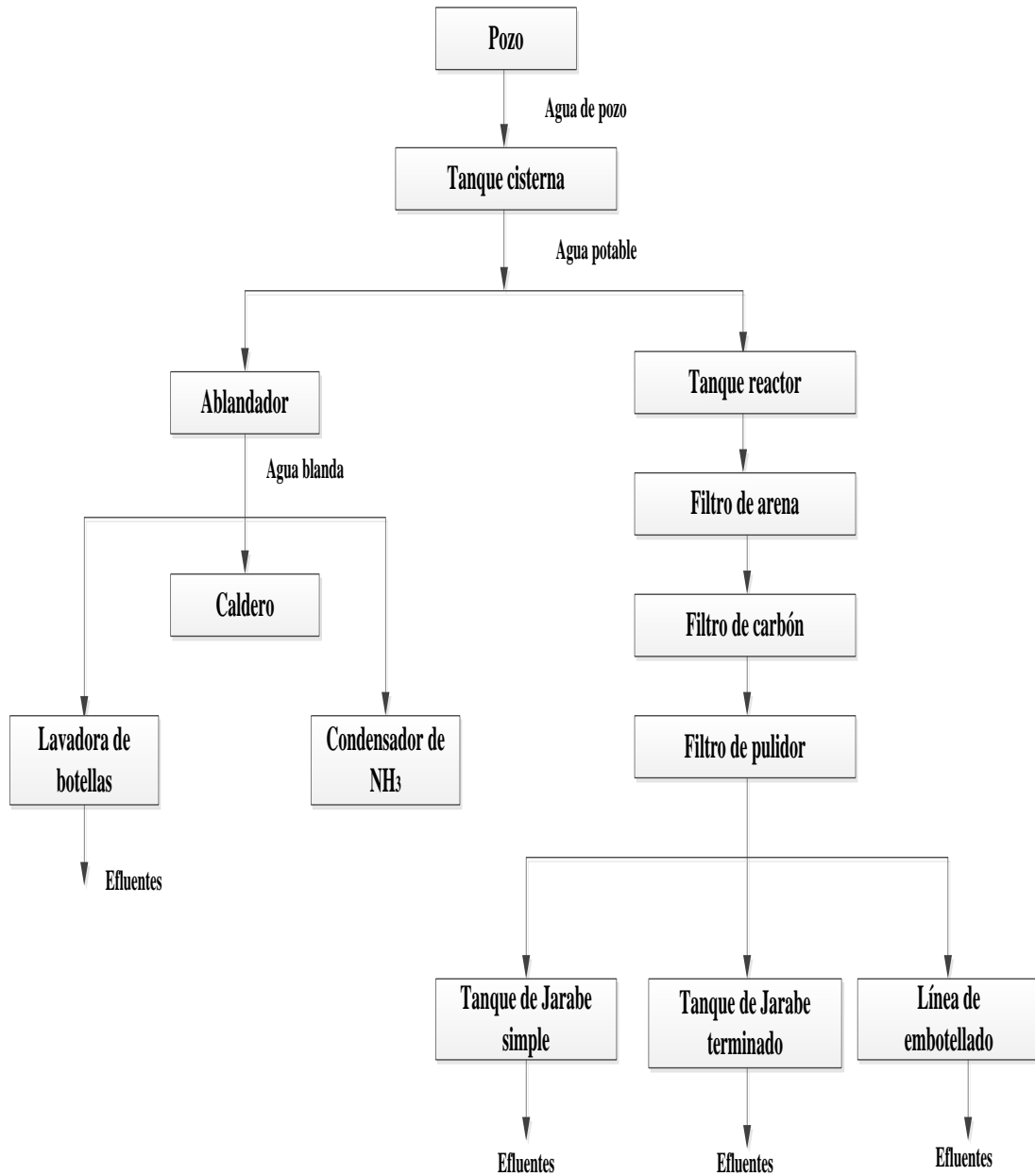
#### **1.3.2.2.4.2. Filtro de Carbón Activado.**

El filtro de carbón, tiene como objetivo la eliminación del cloro y de otras moléculas que causan sabor, color y olor en el agua tratada, de manera de obtener un agua clara, inodora e insípida. (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas). El filtro de carbón activado es un armazón de diseño semejante al del filtro de arena. Tiene el mismo tipo de lecho de grava y arena fina para sostener el carbón en la parte superior del armazón.

#### **1.3.2.2.4.3. Filtro Pulidor de Agua.**

La finalidad del pulidor de agua es una filtración fina. Este produce agua cristalina al remover las partículas visibles de carbón, óxido y otras sustancias extrañas que puedan haber eludido los filtros de arena y de carbón. Los medios filtrantes son los de cartuchos celulósicos. El filtro pulidor debe poder atrapar y retener partículas mayores de 20, (micrómetros). (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.)

**FIGURA I - 3**  
**DIAGRAMA DE UTILIZACIÓN DEL AGUA**



**Fuente:** Gonzalo Segovia, 2011.

### **1.3.3. Elaboración del Jarabe para la Preparación de la Bebida.**

Los ingredientes que dan sabor a los refrescos se mezclan en una solución de agua y azúcar, que recibe generalmente el nombre de jarabe, este se combina con agua luego la mezcla es carbonatada para producir el refresco. La elaboración del jarabe es, por consiguiente, el paso de mayor importancia en la producción de bebidas carbonatadas, como se muestra en la Figura 1.4. Un jarabe de alta calidad y uniforme es esencial para la producción de la bebida. A fin de elaborar una bebida de buena calidad, los ingredientes deben estar exentos de toda impureza que pueda afectar adversamente el sabor o la apariencia del refresco terminado. Es necesario, por lo tanto, someter estos ingredientes básicos, el agua y el azúcar, a un cierto tratamiento, a objeto de garantizar su calidad uniforme. (SANCHEZ TORREZ YENNY, Septiembre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.)

En el caso de nuestro interés se prepara dos tipos de jarabes que los denotamos:

- Jarabe Simple.
- Jarabe Terminado.

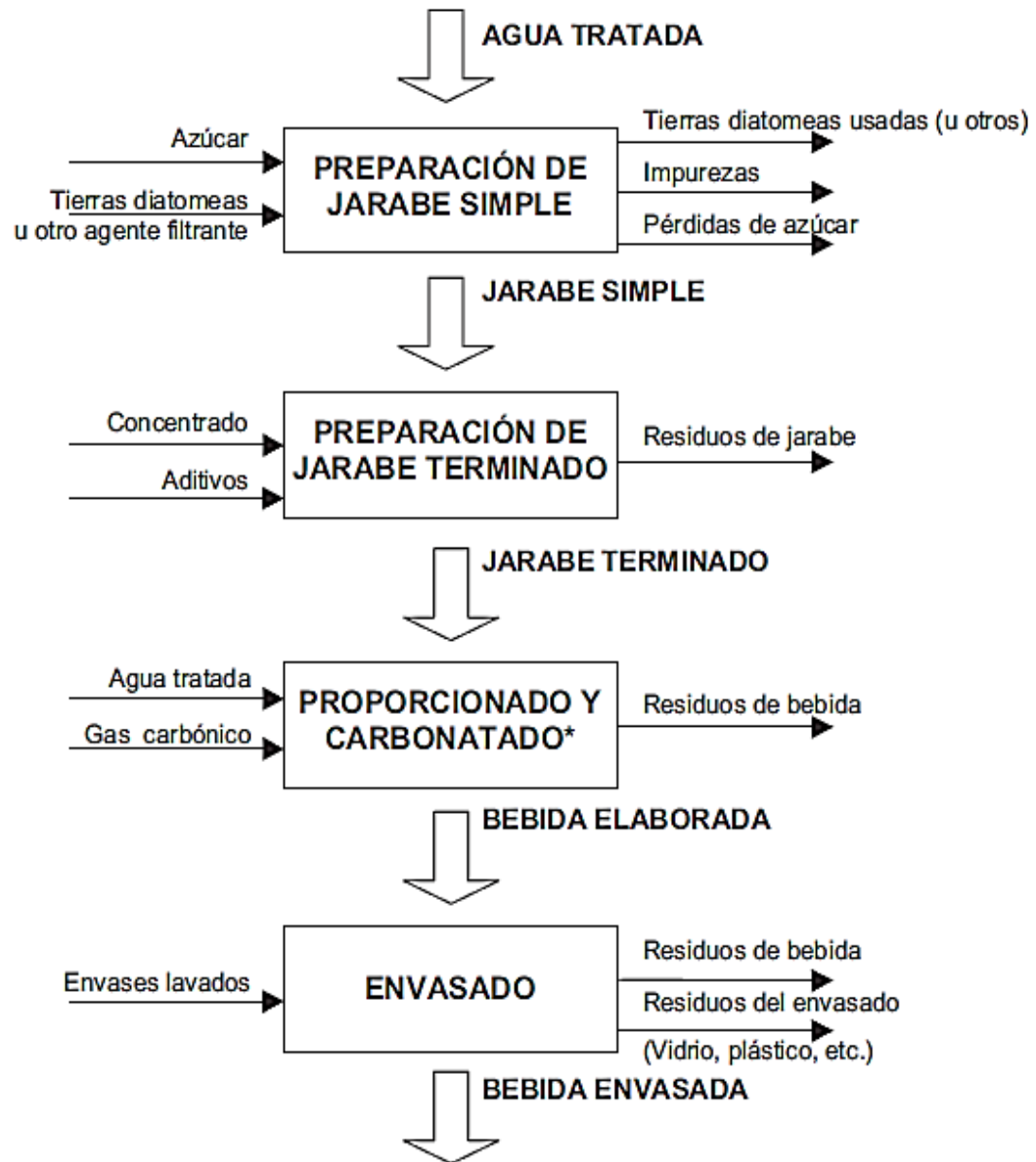
#### **1.3.3.1. Jarabe Simple.**

Se denota como jarabe simple a la solución que únicamente está compuesta de azúcar y agua a una concentración establecida.

Para la elaboración de jarabe simple se siguen las siguientes operaciones:

- Saneamiento.
- Pesada de Azúcar.
- Pasteurización del Jarabe Simple.
- Filtración del Jarabe Simple.
- Enfriamiento del Jarabe Simple.

**FIGURA I - 4**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SALA DE JARABE**



Fuente: Gonzalo Segovia, 2011.

- **Saneamiento:** El primer paso a seguir antes de comenzar la preparación de jarabe es el saneamiento, que consiste en el lavado y limpieza del recinto destinado a la preparación, además se lava y esteriliza el tanque que se dispone para tal cometido, esto se realiza con agua, vapor y se enjuaga con agua proveniente del filtro pulidor, se da el mismo tratamiento a cañerías, filtro, pasteurizador, enfriador, etc., que se encuentra en la sala de jarabe simple. (SANCHEZ TORREZ YENNY, Septiembre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.)
- **Pesada de Azúcar:** La pesada de azúcar se lo realiza manualmente con ayuda de una balanza, y en cantidades determinadas según el número de unidades de jarabe terminado que quiera prepararse y según el sabor.
- **Pasteurización:** Una vez terminado el saneamiento se arma el circuito, con todo limpio y esterilizado, y se procede a llenar el tanque destinado a la preparación de jarabe simple con agua tratada hasta el volumen determinado por la cantidad de jarabe a preparar y la concentración deseada.
- **Filtración:** La solución de jarabe simple pasa al filtro de placas que tiene la función de retener en su superficie todas las impurezas que pudieran estar presentes en el jarabe. (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.).
- **Enfriamiento:** Una vez que comienza la filtración final, el jarabe pasa por un intercambiador de calor denominado enfriador, cuya función básica es la de enfriar el jarabe simple para su posterior utilización.

### 1.3.3.2. Jarabe terminado para la Elaboración de Bebidas Gaseosas.

Para la elaboración de jarabe terminado en la producción de bebidas, se siguen los siguientes pasos:

- **Almacenamiento de concentrado del Jarabe:** Para la elaboración de jarabe terminado se utiliza concentrados de distintos sabores, los cuales se almacenan en una cámara fría.

- **Sanearamiento del Jarabe:** Para garantizar la higiene y limpieza de los equipos: tanques, cañerías, etc. estos esterilizan con vapor de agua provenientes de la caldera, luego de transcurrido un tiempo se procede a enjuagar los mismos con agua tratada. (SANCHEZ TORREZ YENNY, Septiembre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.).
- **Preparación del concentrado base de la bebida:** Lo llamaremos concentrado base a aquellos que resultan de la formación de más de un constituyente, que se prepara de acuerdo a las instrucciones y siguiendo la secuencia que se indica.
- **Preparación de jarabe terminado:** El jarabe simple debe estar entre 20, a 25°C, para la preparación del jarabe terminado. Mientras se realiza la agitación del jarabe se prepara el concentrado base y se realiza la dosificación según prescripción. Luego se espera un tiempo prudente de reposo para tomar muestras del preparado y controlar los Brix.

#### **1.3.4. Lavado de botellas.**

En este proceso se tiene dos subprocesos definidos: Lavado de envases de vidrio y enjuague de botellas PET OW.

##### **1.3.4.1. Lavado de envases de vidrio.**

Las botellas que vienen sucias del mercado consumidor y las que se tienen en stock, son sometidas a una lavadora semiautomática.

La lavadora trabaja con tres moto bombas, un motor principal que mueve casi todo el mecanismo y tres motores secundarios para mover las cadenas de la mesa de carga, los chisquetes y el filtro rotativo de sosa cáustica. (SANCHEZ TORREZ YENNY, Septiembre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.).

Para un lavado eficiente de los envases se siguen los siguientes pasos:

- **Pre-inyección y carga de las botellas:** Las botellas sucias son transportadas en pallets de madera con ayuda de un montacargas y depositadas en las inmediaciones de la mesa de carga de la lavadora, las botellas se extraen de

las cajas y pasan por una pre-inspección, para detectar objetos extraños en el interior, suciedad excesiva o roturas.

- **Pre-enjuague de las botellas:** Inmediatamente ingresadas las botellas a la lavadora, el primer tratamiento que se le proporciona es el pre-enjuague por aspersion, con agua proveniente del enjuague, para ello se utiliza una de las moto bombas que tienen función dual.
- **Lavado y saneado de las botellas:** El lavado y saneado, es la operación más importante de la lavadora, pues con estas operaciones se garantiza la limpieza y esterilización del envase. En esta operación las botellas son sometidas a un circuito de inmersión en el detergente de cada uno de los tanques de la lavadora, con un considerable tiempo de residencia de las botellas en los tanques. (SANCHEZ TORREZ YENNY, Septiembre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.)
- **Enjuague final:** Una vez cumplido el ciclo de lavado y saneado de los envases estos son sometidos a un nuevo pre-enjuague final con agua que se recircula del enjuague, con la finalidad de eliminar la sosa cáustica y enfriar las botellas.

Seguidamente de este pre-enjuague viene el enjuague final que se lo efectúa con agua limpia y a temperatura ambiente para eliminar por completo algunos arrastres de sosa cáustica y enfriar las botellas, puesto que trazas de álcalis pueden ocasionar problemas inmediatos, provocando al contacto con la bebida fría la rotura de las botellas y por otro lado puede provocar la eliminación prematura del dióxido de carbono por excesivo burbujeo de la bebida. (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.).

#### **1.3.4.2. Enjuague de envases PET OW.**

El envase PET OW es un envase no retornable, de manera que no precisa de una operación de lavado como los envases de vidrio retornable, sino solamente de un enjuague. Para esta operación de enjuague se cuenta con un enjuagador rotativo de 30

chisguetes denominado Rinser; en este enjuagador las botellas son introducidas de manera automática y reciben un chorro interior y exterior de agua blanda, luego son descargadas en las cintas de transporte y luego pasan por una inspección humana para verificar el adecuado estado de estas botellas, que son destinadas al embotellado.

### **1.3.5. Proceso de Embotellado.**

Para el embotellado de las bebidas gaseosas se sigue los siguientes pasos:

- **Sanitizado en los equipos que transportan el jarabe:** El sanitizado consiste en hacer circular agua con cloro por medio de: Cañerías, proporcionador, enfriador, saturador y llenadora. Hasta que estén limpios, luego se deja cargado el proporcionador, enfriador y saturador de agua con cloro toda la noche hasta el otro día. Antes de comenzar la producción se procede a evacuar estas aguas y realizar el enjuague con agua exenta de cloro tanto los equipos como cañerías, etc., hasta que se verifique ausencia de cloro en la línea.
- **Inspección de botellas vacías:** Una vez que las botellas limpias salen de la lavadora son puestas sobre una cinta transportadora la que recorre gran parte de la sala de embotellado, la misma que está cerrada y protegida contra el ingreso de insectos o tierra y en el traslado de las botellas pasan por dos puntos de inspección de botellas vacías.
- **Visor de botellas vacías:** Este es un punto de control en el cual un operador de línea está sentado de frente a unas lámparas de alta intensidad y frente de las cuales circulan las botellas lo que le permite revisar el buen lavado de las botellas y la presencia de materiales extraños dentro de las botellas.
- **Linatronic.-** Es un equipo dotado de varios sensores, a través del cual circulan las botellas, y el mismo verifica los siguientes parámetros:
  - Que el pico de la botella no presente daños (picaduras).
  - Que no existan materias extrañas sólidas en la botella, y los realiza en toda la base de la botella.
  - Que no existan materias extrañas líquidas en la botella, como ser soda caustica u agua de enjuague.

- **Proporcionador, enfriador y saturador.**
  - **Proporcionador:** Este equipo permite mezclar automáticamente agua y jarabe en proporciones definidas, tal como se requieren en la preparación de bebidas gaseosas. El proporcionador se corta o arranca automáticamente en respuesta al nivel de bebida en la unidad de refrigeración, y se detiene cuando algo anormal ocurre. (SANCHEZ TORREZ YENNY, Septiembre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.).
  - **Enfriador:** La unidad de enfriado recibe la mezcla enviada por el proporcionador la que fluye sobre una cubeta distribuidora con filas de orificios de drenaje. La mezcla pasa por los orificios y cae en forma laminar sobre las placas de enfriamiento, acumulándose en el depósito bajo las placas. Dentro del gabinete se introduce una pequeña cantidad de CO<sub>2</sub>, de forma que el proceso de enfriamiento se realiza en una atmósfera que desplaza gran parte del aire contenido en la mezcla, remplazándola por CO<sub>2</sub> (pre-carbonatación).
  - **Saturador:** La unidad saturadora toma la mezcla enfriada y pre-carbonatada del depósito del enfriador, completa su carbonatación hasta el valor deseado y la mantiene acumulada para alimentar el equipo llenador.
- **Llenado de la bebida a las botellas:** Se lleva a cabo en un equipo denominado llenadora el cual es un equipo giratorio que en cada giro es capaz de llenar 28, botellas, puesto que está provisto en su perímetro de 28, válvulas las cuales son accionadas cuando entra una botella, ya que al ingreso, ésta es suspendida por la parte inferior por un pistón neumático lo que empuja la botella y abre la válvula que está ubicada en la parte superior, ésta posee un tubo de venteo, el cual se introduce en la botella y mediante el cual cae la bebida, pero no cae de manera directa, sino que ha determinada ubicación en el tubo de venteo existe un deflector, (aro difusor), que no es más que un arito de gomas que lo que hace es desviar la dirección de la bebida, haciendo que ésta se deslice por las paredes de la botellas y de esta manera evitar el

espumeo excesivo que provocaría el llenado directo de la botella.

- **Coronado o capsulado de las botellas:** Una vez que la botella está lista con el producto, se procede al coronado, cuando los envases son de tapa rosca, se procede al capsulado. El coronador se halla adjunto a la llenadora, para que una vez llenada la botella inmediatamente sea tapada, con las coronas de cada sabor y tamaño. El coronado que es solo utilizado en formato 190 ml, que es el tradicional con tapas metálicas.

El capsulado, se realiza en un equipo independiente de la llenadora y está ubicado un poco más delante de ésta, es un equipo también giratorio que seis cabezales, es decir que va tapando las botellas de seis en seis, y las tapas son tapas de plástico, con ajuste mediante rosca con torque. (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.).

- **Inspección de botellas llenas con producto terminado:** Las botellas con producto son sometidas a una inspección visual rigurosa. La inspección consiste en verificar si cada una de las botellas si están bien coronadas o capsuladas según sea el caso, si la altura de llenado es el apropiado, burbujeo anormal.
- **Codificado de las botellas:** Posterior a este visor se tiene una especie de pistola de aire, la que mediante un sensor se activa cuando pasa una botella lanzando un soplo de aire a presión a la tapa de la botella, y de esta manera se seca la misma, esto para la posterior codificación de la botella el que se realiza por un codificador automático, que se activa de la misma manera que la pistola de aire. En esta codificación se imprime la fecha y hora de elaboración del producto, la fecha de vencimiento, y el lugar de elaboración. (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.).
- **Encajonado y almacenamiento:** Una vez realizado el conteo de las botellas llenas, éstas son transportadas por cadenas a una mesa donde son encajonadas y seguidamente paletizadas en forma manual. Luego son llevadas a un

almacén por medio de un montacargas, donde se las ubica de acuerdo a los sabores obtenidos en la producción, de aquí salen al mercado para el consumo de la población. (SANCHEZ TORREZ YENNY, Septiembre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.)

### **1.3.6. Control de calidad del proceso.**

Durante todo el proceso de embotellado, debe llevar varios controles de calidad; que permitan conocer, desde la calidad del lavado del envase hasta la apariencia y conservación del producto final. (SANCHEZ TORREZ YENNY, Septiembre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.)

En el proceso de embotellado de bebidas gaseosas, existen diversos controles de calidad, rendimientos y capacidad del proceso; de esta manera, se identifican las causas de los efectos negativos ocurridos en un periodo determinado; durante el proceso productivo.

## **1.4. PRODUCCIÓN DE ENVASES PLÁSTICOS.**

### **1.4.1. Soplado de botellas (PET).**

EMBOL S.A., tiene una línea para el soplado de botellas, que cuenta con una maquina sopladora para envases no retornables. La materia prima (PET) utilizada para soplar la botella se denomina preforma, la cual es introducida a través de un transportador a una serie de hornos que poseen lámparas infrarrojas reguladas a diferentes temperaturas para calentar la preforma, luego la preforma calentada es introducida a un molde donde se realiza el soplado de la botella con aire comprimido.

#### **1.4.1.1. Generación de aire comprimido.**

Para el soplado se cuenta con un compresor de tres etapas que genera aire comprimido. El aire es secado y enfriado para ser enviado a la sopladora.

#### 1.4.1.2. Agua de enfriamiento.

Al ser soplada la botella, la preforma tiene una temperatura aproximada a los 100 C. El molde cuenta con un sistema de refrigeración para enfriar la botella inmediatamente después de ser soplada.

#### 1.5. INSUMOS Y MATERIALES UTILIZADOS.

En la actividad productiva de EMBOL S.A., se utilizan diversos insumos, materiales y recursos naturales de la región e importados de otras regiones.

En el Cuadro I -1, se listan a detalle, los insumos, materiales y los recursos naturales, así como sus cantidades respectivas.

**CUADRO I - 1**  
**INSUMOS Y MATERIALES UTILIZADOS**

<b>INSUMOS Y MATERIALES</b>	<b>TIPO DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Concentrados	En botes plásticos de 20 Kg. Aprox.	Cámara de refrigeración
Azúcar	En bolsas de poliestireno de 46 Kg. sobre paletas.	Depósito de azúcar
Tierra diatoméa	En bolsas plásticas de 20 Kg. sobre paletas.	Almacén central
Sal yodada	En bolsas plásticas de 20 Kg. sobre paletas.	Almacén central
Tapas corona	En bolsas plásticas de capacidad variable	Almacén de tapas
Tapas rosca	En bolsas plásticas de capacidad variable	Almacén de tapas
Etiquetas	En cajas de cartón	Almacén central

**Fuente EMBOL S.A. 2011**

### 1.5.1. Combustibles y lubricantes utilizados.

Los combustibles y lubricantes utilizados en el proceso productivo de EMBOL S.A. se listan en el Cuadro I - 2, estas sustancias se listan a detalle, así como sus cantidades respectivas.

**CUADRO I - 2**

**COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES UTILIZADOS**

<b>COMBUSTIBLE O LUBRICANTE</b>	<b>TIPO DE ALMACENAMIENTO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Gas Natural(P.C.S/mes)	Red de distribución de EMTAGAS(Empresa Tarijeña de Gas)	El gas natural no contieneóxidos de azufre
Gasolina(Lt/mes)	En tanques metálicos de200 Lt.	Sala de máquinas
Diesel(Lt/mes)	En tanques metálicos de200 Lt.	Sala de máquinas
Aceite(Lt/mes)	En tanques metálicos y plásticos de capacidad variable	Sala de máquinas
Grasas(Kg/mes)	En tanques metálicos y de cartón de capacidad variable	Sala de máquinas

**Fuente EMBOL S.A. 2011**

## **1.6. ELIMINACIÓN DE EFLUENTES INDUSTRIALES.**

Las aguas residuales de EMBOL S.A., son originadas en los procesos de lavado de botellas, cajas, así como pérdidas de refresco, aguas de condensados, aguas residuales domésticas y otros usos menores. Estas aguas son vertidas a la red de alcantarillado sanitario de la Ciudad de Tarija, bajo la responsabilidad de la Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado COSAALT, luego de separar sólidos como: tapas corona, trozos de vidrio, etiquetas, etc.

## **1.7. SERVICIOS AUXILIARES.**

Dentro de los servicios auxiliares tenemos los siguientes:

### **1.7.1. Abastecimiento de agua para el proceso.**

La planta embotelladora se abastece de agua por medio de pozos profundos, mediante bombas sumergibles, la cual es transportada a un depósito donde es clorada y desde este lugar es distribuida a todos los lugares de uso.

También vale la pena mencionar que la planta no hace uso del agua que proporciona COSSAALT.

### **1.7.2. Abastecimiento de vapor.**

El proceso de generación de vapor se lleva a cabo mediante un caldero humo - tubular, que utiliza como fuente de energía calórica la combustión de gas natural. La transmisión de calor se realiza por tres vías distintas: conducción, convección y radiación.

El aire necesario para la combustión es suministrado por un ventilador eléctrico, para garantizar el quemado completo de combustión. Los productos de la combustión son expulsados a la atmósfera por medio de una chimenea al tiro natural.

El vapor generado se utiliza en la lavadora de botellas, sala de jarabe simple y para saneamiento en los tanques de jarabe terminado.

### **1.7.3. Abastecimiento de frío.**

En la embotelladora el aprovisionamiento de frío es exclusivamente para el carboenfriador.

El funcionamiento del frigorífico generador de frío se basa en un ciclo corriente de refrigeración, el cual consiste en proporcionar mediante un compresor gas refrigerante (NH<sub>3</sub>, etc.) a alta presión y temperatura al condensador de amoníaco, el calor es eliminado del gas por agua o aire refrigerante, ocasionando una condensación del gas a líquido a alta presión. El líquido pasa a través de estrangulación o expansión, saliendo en forma de una mezcla de líquido y vapor a temperatura más baja. En los serpentines se suministra calor, el cual convierte el líquido restante en vapor que penetra en el compresor para repetir el ciclo. (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.).

### **1.7.4. Abastecimiento de energía eléctrica a la Planta EMBOL S.A. Tarija.**

EMBOL S.A. Tarija, es dotada de energía eléctrica por medio de red industrial de distribución existente en la zona de funcionamiento de todos sus equipos eléctricos, cuenta con tableros de control de energía eléctrica y respectivos medidores. Consume básicamente dos tipos de energía: energía eléctrica y energía calórica en forma de combustible.

El combustible, gas natural, es proveído por la Empresa Tarijeña del Gas EMTAGAS, para una correcta medición se utiliza una central reguladora de presión y medición.

La energía eléctrica es provista por Servicios Eléctricos Tarija SETAR.

### **1.7.5. Abastecimiento de aire comprimido.**

El aire es comprimido en un compresor alternativo automático, que por diferencia de presión establecida se enciende y apaga. El proceso que se sigue es el siguiente:

- El compresor toma aire del ambiente.
- Previamente el aire pasa por un filtro de aire.
- El aire comprimido se envía a un tanque de almacenamiento a presión.
- Luego de pasar por una unidad de purga de líquido el aire es distribuido a la planta.

El aire comprimido se utiliza para accionar los pedestales de la llenadora, en sala de jarabe simple, para la válvula neumática de la lavadora, en la línea de llenado, etc.

### **1.7.6. Abastecimiento de gas natural.**

Es el combustible de uso en la planta, que es suministrado por la red de gas natural de Tarija, provista por EMTAGAS.

Gas natural que se utiliza principalmente por la caldera de generación de vapor.

## CAPÍTULO II

### CONCEPCIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 2.1. DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA USO EN LA ELABORACIÓN DE PRODUCTOS DE EMBOL S.A – TARIJA.

La planta con la que actualmente cuenta la empresa, tiene los siguientes equipos instalados en su sistema de tratamiento, como se muestra en el Figura II - 1:

**2.1.1. Tanque reactor:** El tanque de coagulación o de “reacción” es la primera parte del equipo en la Planta de Tratamiento de Agua. Es un tanque cilíndrico que tiene una capacidad de 3000 lt, una altura de 2,85 metros y un ancho de 3 metros. (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.).

Es en esta unidad en donde se llevan a cabo las reacciones químicas deseadas, utilizando los siguientes insumos:

**Sulfato ferroso o caparrosa:** Se emplea para coagular las sustancias en suspensión. Es el coagulante recomendado porque produce una floculación de hidróxido férrico muy fácil de controlar. Se encuentra en el comercio como sulfato ferroso heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), no debe contener exceso de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) libre.

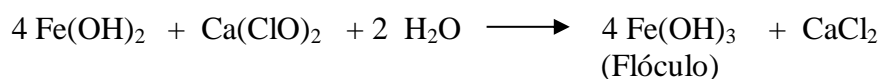
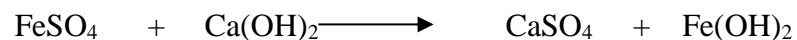
**Cal:** Se utiliza con el fin de reducir la alcalinidad, ajustar el pH para lograr una coagulación óptima y transformar las sales solubles de bicarbonato de calcio y bicarbonato de magnesio en sales insolubles de carbonato de calcio e hidróxido de magnesio, reduciendo así la alcalinidad y la dureza del agua. (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas).

La cantidad de cal a añadir debe controlarse estrictamente, porque sólo si se añade en la proporción correcta se produce la precipitación completa. La cal viva utilizada para el tratamiento del agua debe ser la cal grasa, libre de humedad, al apagarse no debe dejar residuos de materias inertes o no cocidas, debe disolverse en el agua dando una suspensión estable. La cal deberá contener aproximadamente 65% en peso de óxido de calcio (CaO).

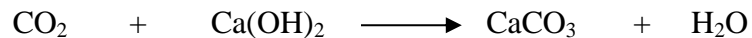
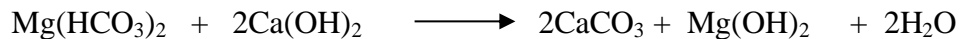
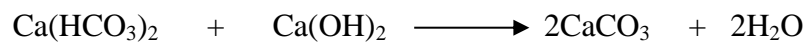
**Cloro:** Se utiliza cloro proveniente del hipoclorito de calcio, siendo éste un desinfectante que destruye bacterias, levaduras, mohos y algas, además es un fuerte agente oxidante capaz de eliminar el sabor, olor, color, hierro, manganeso y muchos otros componentes indeseables en el agua. Finalmente el cloro es esencial en la función del coagulante. La supercloración se realiza al añadir cloro al agua que entra al tanque de tratamiento. (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas).

En el reactor tienen lugar las siguientes reacciones:

- a) El sulfato ferroso, la cal y el cloro se unen al agua cruda a medida que fluyen hacia la zona de mezcla del tanque.
- b) El sulfato ferroso, con la ayuda del cloro y la cal forma un flóculo pesado que atrapa partículas en suspensión, tierra, materia orgánica y algún otro material indeseable en el agua precipitándose lentamente hacia la parte inferior del tanque. Las reacciones que ocurren durante la formación del flóculo son las siguientes:



- c) Como se observa, el cloro además de destruir bacterias y materia orgánica, tiene una segunda función, que es la de oxidar el coagulante sulfato ferroso a sales férricas, que luego forman el grumo de hidróxido férrico que es la masa gelatinosa que atrapa contaminantes. (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas).
- d) Mientras se está formando el flóculo, la cal está precipitando los componentes alcalinos (carbonato de calcio y hidróxido de magnesio), formando productos insolubles y separándolos del agua, de acuerdo a las siguientes reacciones:



- e) El flóculo debido a su propio peso, se precipita hacia abajo arrastrando a su paso otro tipo de partículas. El lodo acumulado en la parte inferior del tanque, como sedimento, es purgado como un desecho cada 30 días; dependiendo del ritmo de trabajo del sistema. Aunque es recomendable tener siempre cierta cantidad del lodo presente en el reactor. El agua del tanque fluye hacia arriba hacia un colector de salida, ubicado en la parte superior del tanque de reacción y hacia afuera del tanque (hacia el filtro de arena y al resto del sistema).

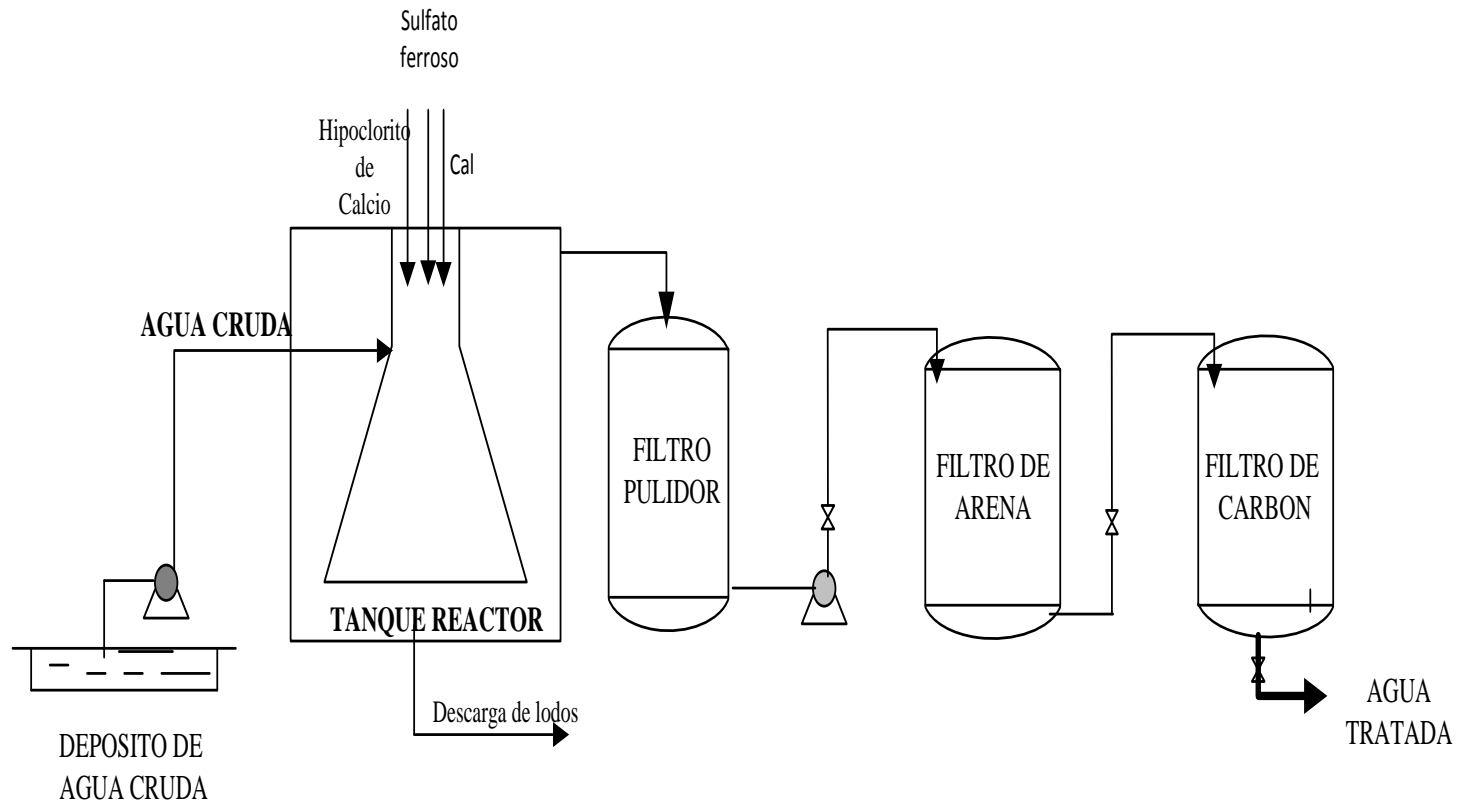
**2.1.2. Filtro de arena:** El agua tratada fluye entonces a través de un filtro de arena, su finalidad es, básicamente retener los flóculos u otras sustancias en suspensión que pudieran haber salido del tanque de reacción, tiene una capacidad de 2,5 m<sup>3</sup>, y un área de filtración de 4800 l/h. (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.).

**2.1.3. Filtro de carbón:** El agua proveniente del filtro de arena pasa a un purificador de carbón que tiene por objetivo eliminar el cloro, color, olor, sabor y compuestos orgánicos. Su capacidad es de 2,5 m<sup>3</sup>, y tiene un área de filtración de 4800 l/h. (SEGOVIA GUTIERREZ GONZALO, Octubre 2011, Informe de Prácticas Industriales en EMBOL S.A.)

**2.1.4. Filtro pulidor:** La finalidad del pulidor de agua es una filtración fina. Este produce agua cristalina al remover las partículas visibles de carbón, óxido y otras sustancias extrañas que puedan haber eludido los filtros de arena y de carbón.

**2.1.5. Retrolavado:** Una operación muy importante en los filtros es el retrolavado. Nombre que se da al procedimiento que se sigue para deshacerse de las impurezas que ha sido retenidas del agua durante la filtración normal. Consiste en hacer circular agua en el sentido contrario del trabajo normal; es decir el agua entra por la parte inferior del filtro y sale por la parte superior eliminando de esta manera las impurezas contenidas en el mismo. La velocidad de flujo de agua durante el retrolavado debe ser entre cinco y seis veces mayor que la velocidad normal de filtración. La razón de esta alta velocidad es lograr la expansión del lecho hasta que alcance el doble de su volumen compacto y permitir que las partículas floten y se froten unas con otras, quedando así libres de las impurezas adheridas a su superficie. (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas).

**FIGURA II - 1**  
**DIAGRAMA DE UTILIZACIÓN DEL AGUA**



**Fuente:** Elaboración Propia

## **2.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN EMBOL S.A. – TARIJA.**

### **2.2.1. Monitoreo y Pruebas realizadas del agua cruda extraída del pozo de la Planta EMBOL S.A. Tarija**

Para el monitoreo de agua cruda se debe establecer los requisitos de la compañía en cuanto a las pruebas de calidad del agua antes de usarla, se debe realizar conforme lo estipulado a normas de coca cola y a conformidad con las leyes locales.

Los análisis se basaron en documentos que contienen los requisitos mínimos de la compañía y requisitos de la Norma Boliviana 325001 para Bebidas Analcohólicas especificada en el ANEXO B. La reglamentación local en caso de ser más severa, predomina sobre los requisitos de las normas de Coca Cola, en nuestro caso solo se siguió según las normas de la compañía, ya que los parámetros no excedieron la Norma Boliviana establecida. La tabla comparativa de parámetros para el agua utilizada en la elaboración de bebidas se muestra en el ANEXO D.

El listado de análisis que se realizó en el laboratorio de la empresa se muestra en el CUADRO II – 1, las frecuencias con las que se ejecutaron y los equipos, reactivos y procedimientos utilizados para los análisis químicos del agua de pozo se muestran en el ANEXO A.

Los análisis de los compuestos no realizados en planta, la empresa los manda a hacer en la ciudad de Santa Cruz en el Laboratorio PROANALISIS S.A. (Investigaciones químicas, bromatológicas y ambientales). Los mismos se encuentran ANEXO C.

En el CUADRO II – 2 se muestran los resultados de los análisis más importantes de las propiedades físicas, químicas y organolépticas del agua mandados a realizar en el laboratorio de Santa Cruz, comparados con los límites permisibles según Normas EMBOL y la Norma Boliviana 325001.

**CUADRO II - 1****Caracterización del Agua en EMBOL S.A. Tarija (Agua Cruda) – Realizados en el Laboratorio****Datos Promedio Mensuales de Análisis Físico – Químicos**

PARAMETROS	UNIDAD	METODO APLICADO	DATOS					PROMEDIO
Aspecto		Visual	Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro
Olor		Sensorial	Inolora	Inolora	Inolora	Inolora	Inolora	Inolora
Sabor		Sensorial	Sin olor	Sin olor	Sin olor	Sin olor	Sin olor	Sin olor
pH		Potenciometría	7,5	7,3	7,5	7,3	7,4	7,4
Sólidos disueltos totales	ppm	Gravimetría	181,3	178,5	179,3	176,8	178,6	178,9
Dureza Total	ppm	Colorimetría	59	60	62	63	61	61
Alcalinidad	ppm	Volumetría	98,4	105,3	106,2	103,5	99,4	102,6
Turbiedad	NTU	Turbimetría	0,80	0,75	0,78	0,77	0,76	0,77

**Fuente:** Elaboración Propia

**CUADRO II – 2**  
**Caracterización del Agua en EMBOL S.A. Tarija (Agua Cruda)**  
**Realizados en el Laboratorio PROANALISIS S.A.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RESULTADOS DEL ANALISIS</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE SEGÚN NORMAS EMBOL</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE SEGÚN NORMA BOLIVIANA NB 325001</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Color	Pt-Co	Incolora	Incolora	Incolora	Si Cumple
Olor	N.U.O.	Sin Olor	Sin olor	Inodora	Si Cumple
Sabor	N.U.S.	Sin Sabores Extraños	Insípida	Insípida	Si Cumple
pH	-	8,1	8,5	9,5	Si Cumple
Turbiedad	NTU	0,75	0,5	5	No Cumple, Según Normas EMBOL
Sólidos Totales Disueltos	mg/lt	181	500	500	Si Cumple
Dureza Total (CaCO <sub>3</sub> )	mg/lt	60	400	250	Si Cumple
Alcalinidad	mg/lt	98,2	85	110	No Cumple, Según Normas EMBOL
Cloruros	mg/lt	8,17	250	250	Si Cumple
Nitratos	mg/lt	3,5	45	25	Si Cumple
Hierro	mg/lt	0,06	0,2	0,3	Si Cumple
Sulfatos	mg/lt	35	250	250	Si Cumple
Aluminio	mg/lt	0,12	0,2	0,2	Si Cumple
Cloro Libre residual	mg/lt	< 0,1	0,1	0	Si Cumple

Fuente: EMBOL S.A. 2012

Revisando los resultados de los análisis de agua de pozo, realizados en el Laboratorio de la empresa y los mandados a realizar el Laboratorio PROANALISIS S.A. , se pudo observar en la tabla comparativa de mínimos y máximos valores permisibles, que los resultados de los parámetros analizados según la Norma Boliviana 325001, se encuentran dentro de los límites permisibles y según Normas EMBOL S.A., debido a que esta es más estricta en cuanto a los valores máximos permisibles, solo sobrepasaron dos parámetros analizados de los límites permitidos que son la turbiedad y la alcalinidad. Nos basaremos por medio de estos análisis realizados al agua de pozo, buscar una mejor tecnología de tratamiento.

Como se puede apreciar el agua proveniente de pozos profundos generalmente mantienen sus características químicas y bacteriológicas constantes; sin embargo tienden a absorber sales minerales de los estratos subterráneos por donde pasan. Están libres de materia orgánica, pero pueden contener altas concentraciones de componentes alcalinos. Las aguas de pozos profundos pueden tener una alta calidad y ser una fuente constante y consistente del agua. (PROCESOS DE MANUFACTURA, U.S.A. 1998, Sección Agua, “Manual de Calidad”, Pepsi International).

### **2.1.2. Análisis fisicoquímicos del agua tratada de la Planta EMBOL S.A. Tarija.**

Los análisis físico químicos del sistema de tratamiento de aguas con el que actualmente cuenta la empresa, después de haber realizado el respectivo tratamiento, son mandados a realizar en el Laboratorio PROANALISIS S.A., y los parámetros más básicos se los realiza en el laboratorio de la empresa. Los análisis realizados del agua tratada se muestran en el Cuadro II – 3.

Como se puede apreciar en los resultados de los análisis del agua tratada, en cuanto a las pruebas de calidad, todos los parámetros se encuentran dentro de los límites establecidos, pero como los equipos que se encuentran en funcionamiento ya cumplieron con su ciclo de vida, llegar a la calidad exigida requiere mayores paradas de la producción para su respectivo mantenimiento. Por esta razón se pretende diseñar un nuevo sistema de tratamiento que pretenda satisfacer las necesidades que la empresa tiene actualmente.

## CUADRO II – 3

## Caracterización del Agua en EMBOL S.A. Tarija (Agua Tratada)

## Realizados en el Laboratorio PROANALISIS S.A.

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADOS DEL ANALISIS	LIMITE PERMISIBLE SEGÚN NORMAS EMBOL	LIMITE PERMISIBLE SEGÚN NORMA BOLIVIANA NB 325001	OBSERVACIONES
Color	Pt-Co	Incolora	Incolora	Incolora	Si Cumple
Olor	-	Sin Olor	Sin olor	Inodora	Si Cumple
Sabor	-	Sin Sabores Extraños	Insípida	Insípida	Si Cumple
pH	-	8,4	8,5	9,5	Si Cumple
Turbiedad	NTU	0,22	0,5	5	Si Cumple
Sólidos Totales Disueltos	mg/lt	128	500	500	Si Cumple
Dureza total	mg/lt	32	400	250	Si Cumple
Alcalinidad	mg/lt	38,1	85	110	Si Cumple
Cloruros	mg/lt	25,6	250	250	Si Cumple
Nitratos	mg/lt	3,6	45	25	Si Cumple
Hierro	mg/lt	0,01	0,2	0,3	Si Cumple
Sulfatos	mg/lt	41	250	250	Si Cumple
Aluminio	mg/lt	0,03	0,2	0,2	Si Cumple
Cloro libre residual	mg/lt	< 0,1	0,1	0	Si Cumple

Fuente: EMBOL S.A. 2012

### **2.1.3. Consumo de Agua en la Empresa EMBOL S.A. - Tarija**

En EMBOL la dotación de agua utilizada en la planta debe ser suficiente para satisfacer los requerimientos de consumo: Doméstico, de uso industrial y para la elaboración de refrescos.

El agua cruda es destinada al: lavado de pisos y agua doméstica.

El agua blanda se destina para: Lavadora de botellas, Rinser, Caldero, Condensador de amoniaco y Refrigeración de compuestos.

El agua tratada se destina al: Embotellado, Preparación de Jarabes y Servicios de Laboratorio.

El consumo de agua y su tipo de uso, en metros cúbicos por mes se muestra en el Cuadro II – 4.

Analizando el Cuadro II – 4, de consumos de agua, nos centraremos principalmente en el tipo de agua tratada, como se puede observar el consumo de agua es muy alto en la utilización de enjuague de los tanques, debido a que estos requieren mayor mantenimiento para eliminar las impurezas. Actualmente se utiliza una cantidad de agua tratada 153 lt/min, y para la elaboración de bebidas se utiliza una cantidad de 143 lt/min.

Para actividades como: limpieza de pisos, lavado de camiones, uso sanitario, retrolavados entre otras, se utiliza el agua cruda, sin necesidad de seguir un tratamiento estricto.

**CUADRO II - 4**  
**TIPO DE AGUA Y SU USO**

<b>Tipo de agua y uso</b>	<b>Consumo de agua m<sup>3</sup>/mes</b>
<b>Agua Cruda</b>	
Limpieza de pisos	30
Lavado de camiones	171
Uso sanitario	294
Retrolavados	1716
Laboratorio	8
<b>Total agua cruda</b>	<b>2219</b>
<b>Agua Blanda</b>	
Lavadora de botellas, línea 1 (28 válvulas)	5100
Compresora de los enfriadores	75
Calderos	263
<b>Total agua blanda</b>	<b>5438</b>
<b>Agua Tratada</b>	
Enjuague de los filtros de arena carbón y tanque de reacción	364
Tanques de jarabe	48
Producción de refrescos	6170
Laboratorio	18
<b>Total agua tratada</b>	<b>6600</b>
<b>Total consumo de agua</b>	<b>11654</b>

Fuente: EMBOL S.A. 2012

### 2.1.3.1. Consumo de Agua para la Elaboración de Bebidas Gaseosas por Año

Para la elaboración de bebidas gaseosas el consumo de agua hasta el año 2012 fue de 147 lt/min, como se puede observar en el Cuadro II – 5, los valores de consumo de agua aumentan cada vez más, debido a que la demanda de la población es mayor.

El 70 %, del consumo fue en gaseosas de 200 ml, y el 30 %, en bebidas de 600 ml, los tipos de bebida que son más comercializados son Coca Cola, Fanta y Sprite, como se puede observar en el Cuadro II – 6.

**CUADRO II - 5**  
**CONSUMO DE AGUA POR AÑO**

<b>Año</b>	<b>Consumo de agua lt/año</b>	<b>30 % consumo 600 ml</b>	<b>70 % consumo 200 ml</b>
2002	53820749	16146225	37674524
2003	55812117	16743635	39068482
2004	57877165	17363150	40514016
2005	60018620	18005586	42013034
2006	62239309	18671793	43567516
2007	64542164	19362649	45179515
2008	66930224	20079067	46851157
2009	69406642	20821993	48584649
2010	71974688	21592406	50382282
2011	74637751	22391325	52246426
2012	77399348	23219804	54179544

**Fuente:** EMBOL S.A. 2012

**CUADRO II – 6**  
**PRODUCCIÓN DE GASEOSA POR MES**

<b>Tipo de bebida</b>	<b>Promedio</b>
Coca cola (l/mes)	226.011,10
Fanta (l/mes)	42.624,72
Sprite (l/mes)	36.251,78
Simba manzana (l/mes)	12.476,99
Simba durazno (l/mes)	13.525,89
Simba papaya (l/mes)	11.302,35
Simba guaraná (l/mes)	6.418,40

**Fuente:** EMBOL S.A. 2012

**2.1.3.2. Caudal que será utilizado para el diseño de la planta de tratamiento de agua de EMBOL S.A.**

La planta actualmente está tratando 147 lt/min, cantidad suficiente y necesaria para elaborar sus bebidas gaseosas.

El caudal con el cual se trabajará será mayor al que actualmente se está utilizando, para el diseño de nuestro proyecto se utilizará un caudal de 230 lt/min, cantidad que será necesaria para satisfacer los próximos 10, años aproximadamente, posteriormente se realizará el respectivo cambio de los equipos para evitar posibles complicaciones. Se sacó esta estimación en base al Cuadro II – 5, debido a que el consumo de agua en los últimos 10, años no presentó mucha variación en sus datos.

**2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.**

**2.2.1. Deficiencias de la Planta de Tratamiento de Aguas en EMBOL S.A. Tarija.**

Luego de haber analizado el proceso de tratamiento de aguas, se tiene como problema principal en esta empresa, el tratamiento de aguas antiguo que posee. Como se puede apreciar el proceso de producción de bebidas requiere una cantidad

enorme de agua. Los niveles de producción y consumo de la bebida cada año aumenta notablemente y la planta que actualmente se encuentra en funcionamiento ya no abastece los volúmenes de agua requeridos. Por lo tanto es de vital importancia asegurar la consistencia del agua tratada usada en el proceso de manufactura.

El problema que se presenta actualmente en COCA COLA, específicamente en el sistema de tratamiento de aguas, es que los equipos tienen bastantes años de funcionamiento cumpliendo ya con su ciclo de vida estimado, si bien siguen cumpliendo con proveer agua de calidad, las paradas en la producción para su respectivo mantenimiento son contantes, por lo cual se procede a su respectivo reemplazo, provocaría complicaciones en el proceso de producción como:

- La saturación de los filtros por los volúmenes que se manejan, en este momento en la planta se utilizan cuatro equipos en tratamiento de aguas: Un tanque reactor, un filtro de arena, un filtro de carbón y un tanque pulmón, además de la utilización de un ablandador de agua, que se encuentran en funcionamiento, debido a que la capacidad de los equipos no abastece la producción; se tiene la necesidad de aumentar aparte dos equipos más como son un filtro de arena y un filtro de carbón pequeños, para permitir una mejor filtración del agua y alcanzar los niveles óptimos de requerimientos.
- Existencia de presencia de cloro en algunas ocasiones, lo que provocaría retrolavar constantemente.
- Los equipos se encuentran gastados, lo que puede ocasionar problemas como:
  - Canalización.
  - Corrosión.
  - Daño en el recubrimiento del epóxico en los tanques de filtración.
  - Formación de grumos.
  - Agujeros, grietas.
  - Formación de bolas de lodo, endurecimiento y otras.

Con la implementación de un nuevo sistema de tratamiento, se pretende:

- Mejorar el tipo de cobertura existente en el sistema de abastecimiento de agua tratada tanto para jarabes como para la preparación de producto final.
- Desarrollar la estandarización del sistema de agua tratada y saneamiento mediante la elaboración de diseños, que permitan reducir los costos de mantenimiento, a través del ahorro de agua y energía en la planta.
- Utilizar menos espacio, lo que le confiere una versatilidad excepcional en cuanto al tamaño de la planta y la disminución del tamaño de los equipos actuales, y la reducción apreciable de los costos operativos, fundamentalmente por la disminución de regenerantes químicos.

Lo que se busca con este proyecto es proponer un plan de mejoramiento continuo que contribuya a identificar y corregir estos problemas que causan el mantenimiento continuo de los equipos y así contribuir de forma efectiva a impactar positivamente en el resultado general de la planta.

Haciendo un nuevo diseño de una nueva planta de tratamiento de aguas para la elaboración de bebidas, que maneje volúmenes más altos de producción se permitirá satisfacer la demanda de la empresa.

La tecnología que se ha ido introduciendo al paso de los años, ha obligado a replantear muchos aspectos dentro del proceso y aumentar las exigencias en cuanto a indicadores claves y procesos. Las plantas antiguas que se han ido modificando según la necesidad del mercado, han sufrido modificaciones significativas respecto a su actual diseño; así mismo las frecuencias y rutinas de mantenimiento preventivo han cambiado, las causas de paradas de equipos tienen que ser analizadas para identificar sus fallas y así poder mejorar y mantener un estándar productivo.

El objetivo básico de la planta de tratamiento de agua es el de integrar, de la manera más económica, los procesos y operaciones de tratamiento que, cuando sea operada adecuadamente, pueda proveer sin interrupción el caudal de diseño y satisfacer los requerimientos de calidad de agua potable. Por lo tanto, la planta de purificación debe

tener máxima confiabilidad, mínima operación y mantenimiento y solamente los controles e instrumentación indispensable.

### **2.3. NECESIDAD DEL TRATAMIENTO DE AGUA PARA LA ELABORACIÓN DE BEBIDAS GASEOSAS.**

#### **2.3.1. Calidad del producto y protección de la marca.**

Al tratar el agua usada en la producción de elaboración de bebidas, obtendremos un agua calificada dentro de especificaciones. El tratamiento hace al agua aceptable para la preparación de jarabes y del producto final. Obtendríamos así los siguientes beneficios:

- Garantía de la consistencia.
- Protección de los aspectos sensoriales de la bebida.
- Garantía de la vida de anaquel en el mercado.
- Protección contra los problemas que pueda tener el agua en la fuente de origen o en el sistema de distribución.

Al tratar el agua y realizar los análisis necesarios para controlar el sistema, el embotellador está realizando un gran esfuerzo para vender un producto de calidad y para garantizar que mantenga esa calidad mientras esté en el mercado. De esta manera, la planta está protegiendo la marca continuamente y creando confianza en el consumidor. (PROCESOS DE MANUFACTURA, U.S.A. 1998, Sección Agua, “Manual de Calidad”, Pepsi International).

#### **2.3.2. Protección de la inversión en el negocio.**

Un buen sistema de tratamiento de agua puede evitar el problema fácilmente sin que el personal de la planta sepa siquiera que hubo un problema en el suministro de agua.

Un problema de calidad del agua serio puede evidenciarse de manera inmediata al producir un producto inaceptable, o días o semanas después de que el producto haya sido empacado. Todos estos problemas pueden dar como resultado quejas del consumidor, rechazo del producto y resultados sensoriales indeseables. Mientras esto

no ocurra, el equipo de tratamiento del agua habrá protegido la reputación de la planta, la marca de la bebida y la inversión del propietario. (BUENOS HABITOS DE MANUFACTURA, Tarija 1999, Sección Agua, “Manual de Calidad”, EMBOL S.A. Tarija).

### **2.3.3. Efectos Sensoriales sobre la Vida de Anaquel.**

Los contaminantes en el suministro de agua representan una amenaza al sabor, aroma y apariencia de la bebida. Por esta razón, toda el agua a usar para la preparación de jarabe o del producto terminado debe ser tratada. (PROCESOS DE MANUFACTURA, U.S.A. 1998, Sección Agua, “Manual de Calidad”, Pepsi International).

Los problemas físicos del agua tales como turbidez, color, olor o sabor pueden tener un efecto casi inmediato en el sabor o apariencia de la bebida. Aún presentes en muy pequeñas cantidades, representan una amenaza para la vida de anaquel del producto.

La turbidez y pequeñas cantidades de material coloidal pueden causar problemas de espuma, bien sea en la llenadora o mucho después, cuando el consumidor destape la botella.

Los compuestos químicos y minerales en la fuente de agua pueden ejercer un efecto adverso en la bebida. Cuando se presentan en cantidades que exceden los estándares del agua, su remoción se hace imprescindible. Por ejemplo, un valor de alcalinidad alto puede neutralizar rápidamente el delicado equilibrio ácido de la bebida, disminuyendo su “chispa” y haciéndola susceptible a la descomposición. Un contenido alto de sales puede cambiar el sabor de la bebida, haciéndola inaceptable al consumidor. (BUENOS HABITOS DE MANUFACTURA, Tarija 1999, Sección Agua, “Manual de Calidad”, EMBOL S.A. Tarija).

Estos problemas, además del aumento en la detección de compuestos orgánicos en el suministro de agua que ha sido considerada como segura a través de los años, hacen que el análisis y el tratamiento de los suministros de agua sean sumamente importantes.

#### **2.3.4. Cumplimiento con las Regulaciones para la Elaboración de Bebidas Gaseosas.**

Las regulaciones para el agua potable están siendo sometidas a cambios y refinamiento. Las principales razones para ello son:

- A nivel mundial, nuestro conocimiento acerca de los efectos de los contaminantes en el agua está aumentando.
- Los instrumentos analíticos son cada día más sensibles y sofisticados; hoy en día se pueden medir materiales traza a niveles anteriormente imposibles de detectar.
- Las agencias regulatorias, conscientes de la importancia de la calidad del agua para la salud de la población, cuentan actualmente con herramientas de apoyo y están haciendo esfuerzos para hacer los suministros de agua tan seguros como sea posible.

Es muy importante que las plantas embotelladoras cumplan con todas las regulaciones del suministro, manejo y tratamiento del agua cruda y la descarga de los desechos y de las aguas residuales a los drenajes. (BUENOS HABITOS DE MANUFACTURA, Tarija 1999, Sección Agua, “Manual de Calidad”, EMBOL S.A. Tarija).

##### **2.3.4.1. Políticas Generales Relacionadas con el Agua para la utilización en la Elaboración de Bebidas Gaseosas.**

El agua cruda y el agua tratada deben cumplir sus respectivas especificaciones para el uso en productos de EMBOL S.A.

- Deben realizar monitoreo en la planta, análisis externos y procedimientos de mantenimiento y operativos con sus frecuencias indicadas, documentar:
  - Puntos de muestreo.
  - Frecuencias de prueba.
  - Procedimientos analíticos.

- Registros analíticos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), establece unas directrices para la calidad del agua potable que son el punto de referencia internacional para el establecimiento de estándares y seguridad del agua potable en cada país; en el caso de Bolivia, estos requerimientos están establecidas por Ley, con el objetivo de disponer de un instrumento normativo para el control de la calidad del agua para consumo humano, mediante la Norma: “Agua para Bebidas analcohólicas – Requisitos” NB 325001. (NORMA TÉCNICA BOLIVIANA NB 325001, Noviembre 2004 “Bebidas Analcohólicas – Requisitos” Tercera Revisión).

Esta Norma tiene por objeto establecer los valores máximos aceptables de los diferentes parámetros que determina la calidad de agua abastecida con destino al uso y consumo humano y las modalidades de aplicación y control.

#### **2.4. MÉTODOS DE TRATAMIENTO PARA LA ELABORACIÓN DE BEBIDAS GASEOSAS.**

Los procesos del tratamiento del agua tienen como finalidad producir en ella cambios físicos, químicos y biológicos necesarios para acondicionarla al consumo del hombre.

La calidad de los productos elaborados de una industria embotelladora de refrescos, depende básicamente de la calidad del agua utilizada en la producción, por lo tanto debe adecuarse la misma a Normas y especificaciones determinadas, que de ningún modo pueden ser variadas o reemplazadas. Se debe entonces, acondicionar el agua de tal forma que sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas sean aceptables, para este importante proceso en el cual va a ser utilizada como materia prima. (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas).

Los objetivos del tratamiento para mejorar la calidad del agua de abastecimiento son de los siguientes tipos:

**Higiénico:** Remover bacterias y elementos venenosos o nocivos, así como resolver la mineralización excesiva y las concentraciones elevadas de compuestos orgánicos,

protozoarios y otros microorganismos.

**Estético:** Corregir el color, la turbidez, el olor y el sabor.

**Económico:** Reducir la corrosividad, la dureza, el color, la turbidez; reducir las concentraciones de hierro y manganeso; resolver problemas de olor y sabor, etcétera.

El primer paso para potabilizar agua es determinar la calidad inicial del agua en la fuente de abastecimiento, lo que permitirá diseñar el tratamiento necesario. Es posible que el agua contenga metales, materia orgánica disuelta o particulada, color, sabor y olor desagradables, bacterias, virus, parásitos y otros microorganismos, grandes cantidades de calcio y magnesio, hierro y manganeso, carbonatos, bicarbonatos, cloruros o sulfatos en exceso, sustancias orgánicas de toxicidad elevada, etc. La lista puede ser muy larga y sin embargo, son pocas las sustancias cuya presencia se verifica en el agua para consumo. (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas).

Existen tratamientos físicos, químicos, biológicos y combinaciones de ellos para la potabilización. Todos los tratamientos tienen limitaciones y tanto sus ventajas como sus limitaciones son los que definen sus campos de aplicación.

El tratamiento de agua puede subdividirse en cuatro etapas:

- Proceso de clarificación.
- Proceso de desinfección.
- Acondicionamiento químico.
- Acondicionamiento organoléptico.

#### **2.4.1.- Procesos de clarificación.**

La clarificación del agua tiene por objeto retirar los sólidos suspendidos, sólidos finamente divididos y materiales coloidales, convirtiéndolos en partículas más grandes que se pueden remover con mayor facilidad. Es un proceso utilizado tanto en sistemas de tratamiento de aguas municipales con el fin de obtener agua potable para consumo humano, como en sistemas de tratamiento de aguas industriales que comprenden el tratamiento individual del agua de acuerdo con su uso final, ya sea

agua para elaboración de bebidas o alimentos, generación de vapor o circuitos de refrigeración, lavado de envases, etc. (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas).

La etapa de clarificación se subdivide en:

- Coagulación.
- Floculación.
- Sedimentación.
- Filtración.

#### **2.4.1.1. Coagulación.**

El agua, puede contener una variedad de impurezas, solubles e insolubles; entre estas últimas destacan las partículas coloidales, las sustancias húmicas y los microorganismos en general. Tales impurezas coloidales presentan una carga superficial negativa, que impide que las partículas se aproximen unas a otras y que las lleva a permanecer en un medio que favorece su estabilidad. Para que estas impurezas puedan ser removidas, es preciso alterar algunas características del agua, a través de los procesos de coagulación. (EFRAÍN HUERGA PÉREZ, Abril 2011 *“Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas industriales mediante el uso de tecnologías limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes”*. [www.tesisred.net/bitstream/handle/10803/9490/huerta.pdf](http://www.tesisred.net/bitstream/handle/10803/9490/huerta.pdf)).

Por tanto la coagulación consiste en la desestabilización de las partículas suspendidas mediante la adición de un producto químico, lo que provoca la neutralización de la carga de los coloides presentes en el agua y por lo tanto, la disminución de las fuerzas que mantienen separadas las partículas. Este fenómeno ocurre debido a una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de la partícula, la alcalinidad del agua y el agua misma. (CEPIS, 2004, Tratamiento de aguas de consumo humano). Este proceso es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de las

sustancias químicas y la aplicación de la energía de mezclado. La coagulación no solo elimina la turbiedad sino también la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos.

**a) Coagulantes utilizados en el tratamiento de aguas.**

Son productos químicos, específicamente sales metálicas o polielectrolitos orgánicos que al adicionarlos al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos de esta, para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando.

Los productos químicos comúnmente empleados como coagulantes en el tratamiento de aguas son el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, y el sulfato ferroso y férrico.

- *Sulfato de aluminio*: El sulfato de aluminio es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas. Por esta razón, su almacenamiento debe hacerse en un lugar seco, libre de humedad. Es efectivo en intervalos de pH 6 a 8. (PROCESOS DE MANUFACTURA, U.S.A. 1998, Sección Agua, “Manual de Calidad”, Pepsi International).
- *Sulfato ferroso*: El sulfato ferroso usado en el tratamiento de agua es un polvo de color verde muy soluble. Funciona de forma estable en un intervalo de pH de 4 a 11, uno de los más amplios conocidos.
- *Cloruro férrico*: Se presenta en forma sólida o líquida; esta última es la más utilizada en el tratamiento del agua. Su aplicación es similar al anterior aunque de aplicación muy limitada por tener un intervalo de pH más corto. Es enérgico aunque puede presentar problemas de coloración en las aguas. (MIGUEL RIGOLA LAPEÑA, Marcobo, S.A. 1989 Barcelona, “Tratamiento de aguas industriales”).
- *Sulfato férrico*: El sulfato férrico, es un polvo blanco verdoso, muy soluble en el agua, su masa volumétrica aparente es 1.000 kg/m<sup>3</sup>. Debido a que en solución acuosa se hidroliza y forma ácido sulfúrico, es necesario prevenir los

efectos de su acidez.

Algunos polímeros orgánicos son alternativos de los coagulantes metálicos. Los polímeros son largas cadenas de alto peso molecular de polielectrolitos orgánicos. Se encuentran disponible en tres tipos: Catiónicos o cargados positivamente; aniónicos o negativamente cargados y niniónicos o con carga neutral.

Los polímeros catiónicos son generalmente los más adecuados para uso como coagulantes primarios. Los polímeros aniónicos, por otra parte, generalmente se usan como complementos de floculación en conjunto con sales de hierro o aluminio para producir flóculos más grandes, por lo que se necesitan menores cantidades de sales metálicas para tener buena coagulación. (METCALF & EDDY, (1995).“Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización”. Volúmenes 1 y 2. Tercera edición. Editorial McGraw – Hill, España).

#### **b) Factores que influyen en la coagulación del tratamiento.**

Es necesario tener en cuenta los siguientes factores con la finalidad de optimizar el proceso de coagulación:

- pH.
- Turbiedad.
- Sales disueltas.
- Temperatura del agua.
- *Influencia del pH en el agua.*

El Ph., es la variable más importante a tener en cuenta al momento de la coagulación, para cada agua existe un rango de pH., óptimo para la cual la coagulación tiene lugar rápidamente, ello depende de la naturaleza de los iones y de la alcalinidad del agua. El rango de pH., es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar.

- *Turbiedad del agua.*

La turbiedad del agua, influye inversamente en la coagulación, es decir,

a mayores niveles de turbiedad existen mayor número de partículas en suspensión lo que facilita la acción del coagulante sobre ellas por estar más próximas unas a otras y la desestabilización se da rápidamente. (MIGUEL RIGOLA LAPEÑA, Marcobo, S.A. 1989 Barcelona, “Tratamiento de aguas industriales”).

- *Influencia de las sales disueltas en el agua.*

Las sales contenidas dentro del agua ejercen las influencias siguientes sobre la coagulación y floculación:

- Modificación del rango de pH óptimo.
- Modificación del tiempo requerido para la floculación.
- Modificación de la cantidad de coagulantes requeridos.
- Modificación de la cantidad residual del coagulante dentro del efluente.

- *Influencia de la temperatura del agua.*

La variación de la temperatura del agua conduce a la formación de corrientes de densidad de diferentes grados que afectan a la energía cinética de las partículas en suspensión, por lo que la coagulación se hace más lenta; temperaturas muy elevadas desfavorecen igualmente a la coagulación. Una disminución de la temperatura del agua en una unidad de decantación conlleva a un aumento de su viscosidad; esto explica las dificultades de la sedimentación de un flóculo. (METCALF & EDDY, (1995). “Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización”. Volúmenes 1 y 2. Tercera edición. Editorial McGraw – Hill, España).

#### **2.4.1.2. Floculación.**

Consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados, con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesario para que sedimenten. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar.

La floculación usualmente ocurre por una agitación mecánica, la cual genera un movimiento lento del agua que promueve el contacto y las colisiones de las partículas coloidales desestabilizadas para generar otras de mayor tamaño llamadas flóculos. (PROCESOS DE MANUFACTURA, U.S.A. 1998, Sección Agua, “Manual de Calidad”, Pepsi International). La floculación es producida fundamentalmente por dos mecanismos:

- a) Floculación Peri-cinética: Resulta de las colisiones al azar de las partículas como consecuencia del movimiento térmico de las moléculas del fluido
- b) Floculación Orto-cinética: Inducida por el gradiente de velocidad del fluido; Es así como la generación de fluctuaciones de la velocidad del agua favorece el contacto y por ende la agregación de las partículas.

#### **2.4.1.3 Mezclado.**

El mezclado, es una operación unitaria de gran importancia en muchas fases del tratamiento de aguas residuales, entre las que podemos citar: Mezcla completa de una sustancia con otra, mezcla de suspensiones líquidas, mezcla de líquidos miscibles, floculación y transferencia de calor.

En los procesos de coagulación floculación se diferencian dos tipos de mezclado según su intensidad: mezcla rápida y mezcla lenta. (METCALF & EDDY, (1995). “Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización”. Volúmenes 1 y 2. Tercera edición. Editorial McGraw – Hill, España).

##### **a) Mezcla rápida para tratamiento de aguas.**

Se denomina mezcla rápida a las condiciones de intensidad de agitación y tiempo de retención que debe reunir la masa de agua en el momento en que se dosifica el coagulante, con la finalidad de que las reacciones de coagulación se den en condiciones óptimas correspondientes al mecanismo de coagulación predominante. (CEPIS, 2004, Tratamiento de aguas de consumo humano).

- *Tipos de mezcladores.*

Existen muchos dispositivos para proporcionar una mezcla rápida para la dispersión de sustancias químicas en el agua. . (MIGUEL RIGOLA LAPEÑA, Marcobo, S.A. 1989 Barcelona, “Tratamiento de aguas industriales”). Pero en general se pueden dividir en dos clases principales: mecánicos e hidráulicos, como se describe a continuación:

- *Retromezcladores o mezcladores mecánicos.*

Son equipos mecánicos de agitación en los que la turbulencia necesaria para la mezcla proviene de una fuente externa, generalmente un motor eléctrico y, de este modo, puede ser fácilmente controlable.

- *Mezcladores hidráulicos.*

La mezcla rápida, se produce cuando el flujo de un líquido pasa de un régimen rápido a un régimen lento, acompañado de agitación y grandes pérdidas de energía cinética. La potencia disipada en los mezcladores hidráulicos tiene origen en el trabajo interno del fluido y, por lo tanto, es función de la forma geométrica del mezclador y de las características del flujo. (METCALF & EDDY, (1995).“Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización”. Volúmenes 1 y 2. Tercera edición. Editorial McGraw – Hill, España). Un mezclador hidráulico bien diseñado puede resultar tan efectivo como un mezclador mecánico.

- *Resalto hidráulico.*

El resalto hidráulico, es un fenómeno que ocurre cuando la corriente líquida pasa de un régimen rápido a uno tranquilo, a través de una profundidad crítica, y discurre de una profundidad menor a una mayor, mientras que la velocidad cambia de mayor a menor que la crítica. Los resaltos pueden producirse en canales horizontales o de fondo inclinado. (MIGUEL RIGOLA LAPEÑA, Marcobo, S.A. 1989 Barcelona, “Tratamiento de aguas industriales”). Otro tipo de dispositivo muy utilizado en las plantas de

tratamiento con la doble finalidad de medir el caudal y efectuar la mezcla rápida es la canaleta Parshall. También es posible utilizar un vertedero rectangular sin contracciones, instalado dentro de un canal de sección rectangular.

- Mezcladores en línea.

Este tipo de unidades consisten en un dispositivo insertado en la tubería o canal de llegada de agua cruda a la planta de tratamiento. Con este tipo de unidades es posible conseguir tiempos de mezcla muy cortos, menores de un segundo, y elevadas intensidades de mezcla. (CEPIS, 2004, Tratamiento de aguas de consumo humano). La principal ventaja reside en que se reducen los costos al omitir la instalación de una unidad de mezcla rápida convencional. Según sus características se pueden clasificar en difusores, inyectoros, y estáticos.

*Difusores:* En estas unidades se trata de conseguir la mayor dispersión y mezcla del coagulante mediante el uso de múltiples puntos de descarga distribuidos en toda la sección de la unidad.

*Inyectoros:* Con este tipo de unidades la energía necesaria para la mezcla rápida se consigue sobre la base de la energía disipada por una multitud de chorros que producen un flujo turbulento en la tubería de conducción de agua.

*Estáticos:* Estas unidades están constituidas por barras, perfiles o láminas corrugadas, instaladas dentro de una tubería, que forman una rejilla alargada y continua, las cuales producen una gran intensidad de turbulencia en una longitud deseada y originan una mezcla de alta eficiencia, con poca pérdida de energía y sin el uso de partes móviles. (MIGUEL RIGOLA LAPEÑA, Marcobo, S.A. 1989 Barcelona, “Tratamiento de aguas industriales”).

#### **2.4.1.4. Sedimentación.**

Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. (METCALF & EDDY, (1995).“Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización”. Volúmenes 1 y 2. Tercera edición. Editorial McGraw – Hill, España). Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido.

La sedimentación es, en esencia, un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos utilizados en el tratamiento del agua para conseguir su clarificación. Está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua.

Cuando se produce sedimentación de una suspensión de partículas, el resultado final es siempre un fluido clarificado y una suspensión más concentrada. A menudo se utilizan para designar la sedimentación los términos de clarificación y espesamiento. Se habla de clarificación cuando hay un especial interés en el fluido clarificado, y de espesamiento cuando el interés está puesto en la suspensión concentrada o lodos. (MIGUEL RIGOLA LAPEÑA, Marcobo, S.A. 1989 Barcelona, “Tratamiento de aguas industriales”).

La sedimentación, se usa para la remoción de arenas en unidades de pretratamiento, de sólidos suspendidos en sedimentadores primarios, de flóculos biológicos en sedimentadores de lodo activado y de flóculos químicos formados en los procesos de coagulación con agentes químicos. Asimismo se usa para la concentración de sólidos en espesamiento de lodos.

Las partículas en suspensión sedimentan en diferente forma, dependiendo de las características de las partículas, así como de su concentración. Por consiguiente existen la sedimentación de partículas discretas tipo 1, sedimentación de partículas floculentas tipo 2, y sedimentación de partículas retardada o zonal tipo 3, y sedimentación por compresión tipo 4. (MIGUEL RIGOLA LAPEÑA, Marcobo, S.A. 1989 Barcelona, “Tratamiento de aguas industriales”).

#### **2.4.1.5 Filtración del agua.**

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que pasa a través de un medio poroso (generalmente arena). La filtración, es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares exigidos por las regulaciones ambientales.

La filtración, usualmente es considerada como el resultado de dos mecanismos distintos, pero complementarios: Transporte y adherencia. (MIGUEL RIGOLA LAPENÑA, Marcobo, S.A. 1989 Barcelona, “Tratamiento de aguas industriales”). El transporte de partículas es un fenómeno físico e hidráulico, afectado principalmente por los parámetros que gobiernan la transferencia de masas. La adherencia entre partículas y granos es básicamente un fenómeno de acción superficial, que es influenciado por parámetros físicos y químicos.

##### **a) Clasificación de los sistemas de filtración para el agua**

Hay muchas clasificaciones de los sistemas de filtración ya sea según la velocidad de filtración, el medio filtrante, el sentido del flujo o la carga sobre el lecho, la primera clasificación es la más empleada, y por ello se especifica a continuación:

- *Lentos*: También llamados filtros biológicos, en ellos se produce una serie de reacciones orgánicas que eliminan hasta un 99 % de bacterias patógenas, protozoarios, estos filtros ofrecen una buena remoción de sólidos suspendidos y sedimentables, además son efectivos en la eliminación de olores y sabores, sin embargo ocupan aproximadamente un área de 20 a 40 veces mayor que los filtros rápidos.
- *Rápidos*: Son similares a los lentos en cuanto a remoción de turbiedad y color presentes en el agua, pero sin embargo ofrecen una mayor efectividad debido a la alta velocidad de la filtración a través de los lechos y por una granulometría más gruesa. La eficiencia de los filtros rápidos depende en

primer lugar de la preparación adecuada del agua del afluente y también depende del régimen de operación, del tamaño de los granos de arena, del espesor de la capa, el carácter de la materia orgánica y el material en suspensión. Las características de diseño más comunes de este tipo de filtros se muestran en la TABLA II - 1.

**b) Medios filtrantes.**

- *Filtros de lecho simple:* en los medios de arena convencionales, la permeabilidad aumenta con la profundidad del filtro. En estas condiciones, los granos más pequeños quedan arriba y los más grandes abajo. Esto significa que a medida que el flóculo penetra dentro del lecho, encuentra poros más y más grandes por donde puede pasar con más facilidad. Es obvio que debido a esta estratificación inconveniente, el mayor porcentaje de partículas queda retenido en la superficie y, por lo tanto, la capacidad de almacenamiento de flóculos es limitada. (CEPIS, 2004, Tratamiento de aguas de consumo humano).
- *Filtros de lecho múltiple:* la solución lógica al problema de los filtros de lecho simple consiste en conseguir que la permeabilidad del lecho disminuya con la profundidad, de forma que los flóculos puedan penetrar y encontrar el medio más fino en las capas inferiores del filtro y el más grueso en las capas superiores.

**2.4.1.5.1. Flujo de filtración.**

El flujo de agua a través del filtro con medio granular es crítico para su desempeño efectivo. El flujo demasiado rápido causa una filtración pobre y alta turbidez, que resulta en agua tratada de baja calidad.

Cada tipo de filtro debe tener una tasa de flujo apropiada, como se muestra en la Tabla II – 1.

**TABLA II – 1**  
**TASA DE FLUJO APROPIADA PARA**  
**CADA TIPO DE FILTRO**

<b>TIPO DE FILTRO</b>	<b>TASA DE FLUJO</b>
Filtro de gravedad	No más de $8.5 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$ (4 galones/min/ft <sup>2</sup> )
Filtro de presión con coagulación y floculación químicas convencionales	No más de $4.8 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$ (2 galones/min/ft <sup>2</sup> )
Filtro de presión con floculación en línea.	Entre $4.8 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$ (2 galones/min/ft <sup>2</sup> ) y $8.5 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$ (4 galones/min/ft <sup>2</sup> )

**Fuente:** (BUENOS HABITOS DE MANUFACTURA, Tarija 1999, Sección Agua, “Manual de Calidad”, EMBOL S.A. Tarija).

La altura de cada capa esta estandarizada de acuerdo al material filtrante, como se puede observar en la siguiente tabla:

**TABLA II – 2**  
**MATERIAL FILTRANTE PARA**  
**UN FILTRO DE ARENA RÁPIDO**

<b>MATERIAL FILTRANTE</b>	<b>ALTURA [cm]</b>
Grava gruesa (12-18 mm)	Hasta cubrir colectores.
Grava fina (6-9 mm)	10
Arena gruesa (2-4 mm)	10
Arena fina (1-1.5 mm)	50
Expansión del lecho en contralavado	50

**Fuente:** (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas).

#### **2.4.1.5.2. Filtros de tierras diatomáceas para agua.**

Los filtros de tierras diatomáceas o filtros de diatomitas forman una capa de medio centímetro de altura en un filtro puesto a presión o al vacío. Este filtro es muy adecuado cuando el agua presenta conteos bajos de bacterias y poca turbiedad, lo que representa sus principales limitantes, así como que es potencialmente difícil mantener el grosor de la capa de tierra diatomácea en el interior de los filtros. (MIGUEL RIGOLA LAPEÑA, Marcobo, S.A. 1989 Barcelona, “Tratamiento de aguas industriales”).

Cuando se cuenta con filtros directos, el agua es procesada directamente de la fuente con coagulantes para aumentar la retención de material, pero no incluye una etapa de sedimentación.

#### **2.4.1.5.3. Filtros empacados para agua.**

Los filtros empacados, contienen todas las etapas de la filtración montadas en una unidad: Adición de reactivos, floculación, sedimentación y filtración. Se utiliza mucho para tratar agua superficial para la remoción de turbiedad, color y organismos coliformes. (METCALF & EDDY, (1995). “Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización”. Volúmenes 1 y 2. Tercera edición. Editorial McGraw – Hill, España). Sus ventajas residen en el tamaño compacto de las plantas, efectividad de costo / beneficio, relativa facilidad de uso y operación. Su principal desventaja es que si la turbiedad del influente varía mucho con respecto al tiempo, es necesario que el operador esté atento a ello y tenga la suficiente capacitación para responder a los cambios de calidad del agua entrante.

#### **2.4.1.5.4. Filtros de carbón activado para el tratamiento de aguas.**

Los filtros de carbón activado, son utilizados cuando se desean remover malos olores, sabores o color desagradable del agua, compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas e incluso radón.

El carbón activado, tiene una gran área superficial y por lo tanto alta capacidad de adsorción de compuestos, que quedan adheridos a la superficie del mismo.

(ARBOLEDA, J. (2001), “Teoría y práctica de la purificación del agua”, Tercera edición, editorial McGraw – Hill, España).

Estos filtros son económicos, fáciles de mantener y operar, por lo que su uso es muy común. Entre las limitaciones que presentan es que deben recibir mantenimiento frecuente y periódico para evitar obstrucción de tuberías. Es difícil percibir cuándo un filtro ha dejado de funcionar adecuadamente, por lo que una de sus limitaciones es que pueden haber dejado de funcionar y que el usuario no se haya percatado de ello. (MIGUEL RIGOLA LAPEÑA, Marcobo, S.A. 1989 Barcelona, “Tratamiento de aguas industriales”). Otras limitaciones están relacionadas a que no remueven bacterias, metales, nitratos, pero principalmente que generan un residuo, el carbón ya saturado que no es de fácil disposición, especialmente si el agua contiene compuestos orgánicos tóxicos que son retenidos en el filtro de carbón activado.

En la figura II - 3 se tiene la siguiente distribución del lecho de filtración:

**TABLA II – 3**  
**MATERIAL FILTRANTE PARA**  
**UN FILTRO DE CARBÓN**

<b>MATERIAL FILTRANTE</b>	<b>ALTURA [cm]</b>
Grava gruesa (12-18 mm).	Hasta cubrir colectores.
Grava fina (6-9 mm).	10
Arena gruesa (2-4 mm).	10
Carbón activado (1-1.5 mm).	70
Expansión del lecho en contralavado.	80

**Fuente:** (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas).

### **2.4.2. Desinfección del agua.**

Debido a que la presencia de microorganismos patógenos en agua genera, las más de las veces, problemas agudos de salud, se da mucho énfasis en la desinfección del agua, una vez que ésta es químicamente apta para el consumo humano. (MIGUEL RIGOLA LAPENÑA, Marcobo, S.A. 1989 Barcelona, “Tratamiento de aguas industriales”).

La desinfección mata o inactiva organismos causantes de enfermedades, más la efectividad de la desinfección se juzga por la capacidad de controlar a los organismos indicadores que son las bacterias coliformes totales y fecales. Estos organismos son inocuos al ser humano, pero su presencia indica que organismos patógenos pueden estar presentes o haber sobrevivido la desinfección.

Como sustancias viables para la desinfección existen el cloro por medio de cloro gas, hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio, cloramina y ozono; también se usa la irradiación con luz ultravioleta de baja longitud de onda.

#### **2.4.2.1 Cloro para el tratamiento de aguas.**

##### **2.4.2.1.1. Cloro gas.**

La cloración se efectúa con cloro gas o una sustancia que libere este gas, una vez que se encuentra en el agua. En el primer caso el cloro gas a presión normal es verde-amarillento y sumamente tóxico. Es muy efectivo para remover casi todos los patógenos microbianos y apropiados para desinfección en plantas de tratamiento, tanto como para la desinfección secundaria, en la red de distribución. (METCALF & EDDY, (1995). “Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización”. Volúmenes 1 y 2. Tercera edición. Editorial McGraw – Hill, España).

El manejo del cloro gas es complicado y merece mucha atención y medidas de seguridad adicionales, como equipos autónomos de respiración que deben estar disponibles en la cercanía de la instalación.

#### **2.4.2.1.2. Cloración con hipoclorito de sodio o de calcio.**

Otra forma de clorar es a través de hipoclorito de sodio o de calcio que están en forma líquida o sólida, respectivamente. Ambas son muy corrosivas y con un fuerte olor a cloro, por lo que el almacenamiento debe ser adecuado para evitar daños por corrosión. En el caso del hipoclorito de sodio reacciona en forma espontánea con el aire y no debería ser almacenado por más de un mes pues pierde su efectividad. El hipoclorito de calcio, por el contrario, es muy estable y puede ser almacenado hasta un año. (METCALF & EDDY, (1995).“Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización”. Volúmenes 1 y 2. Tercera edición. Editorial McGraw – Hill, España).

Otra limitante adicional del cloro es la generación de subproductos halogenados que se producen cuando el cloro reacciona con la materia orgánica contenida en el agua, proveniente aquélla de las sustancias húmicas o fúlvicas del suelo. La formación de estas sustancias halogenadas dependen del tipo y concentración de la materia orgánica presente cuando se añade el cloro, la dosis de cloro, la temperatura y Ph., del agua, así como el tiempo de reacción.

#### **2.4.2.1.3. Cloramina.**

La cloramina, se forma cuando se añade cloro al agua que contiene amoníaco o cuando se añade amoníaco a agua que contiene cloro. Esta sustancia es un bactericida efectivo y genera menos subproductos que el uso de cloro. (ARBOLEDA, J. (2001), “Teoría y práctica de la purificación del agua”, Tercera edición, editorial McGraw – Hill, España). Sus limitaciones provienen de que tiene un poder desinfectante menor que el del cloro y de que dentro de las reacciones posteriores puede generarse tricloruro de nitrógeno que tiene sabor y olor desagradables. (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas).

### **2.4.2.3. Ozono.**

El ozono, es una forma alótropa del oxígeno que tiene tres átomos en cada molécula, en lugar de la forma usual de dos átomos. Es un oxidante poderoso y agente desinfectante. Se forma a partir del oxígeno del aire, que pasa a través de un sistema de electrodos de alto voltaje. (JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS, 2000, “Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño”).

Las ventajas principales del ozono se deben a que requiere de tiempos de contacto y dosis menores que el cloro, por lo que ha sustituido al cloro en plantas altamente tecnificadas. (CEPIS, 2004, Tratamiento de aguas de consumo humano). Por regla general, el ozono no produce subproductos halogenados, a menos que el agua contenga bromuros.

Debido a la inestabilidad de la molécula de ozono, el gas debe ser generado in situ y ser utilizado de inmediato. Los voltajes elevados que se manejan en los equipos los hacen técnicamente complejos en su mantenimiento y operación y caros en su costo de operación. Adicionalmente, tiene la desventaja de que el ozono no mantiene un poder desinfectante residual en el agua, una vez terminada la aplicación.

Una variedad de la aplicación anterior, es la generación de ozono a partir de oxígeno puro, no de aire. Esta variedad es ventajosa desde el punto de vista de los costos, pues el costo de energía, que es el más importante, disminuye. Asimismo, el ozono generado tiene una mayor densidad, tanto que puede verse duplicada la cantidad de ozono generado por unidad de volumen. Al tener el ozono una mayor concentración, se desinfectan iguales volúmenes de agua con menores volúmenes de ozono. (JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS, 2000, “Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño”).

### **2.4.2.4. Luz ultravioleta.**

La radiación ultravioleta, se genera con una lámpara especial. Cuando la radiación penetra la pared celular de un organismo, el material genético es modificado y la

célula es incapaz de reproducirse.

La luz ultravioleta, destruye virus y bacterias, sin embargo, como en el caso del ozono, es necesario del uso posterior de cloro, para prevenir el recrecimiento de bacterias. La luz ultravioleta provee un método de operación y mantenimiento sencillo, es útil con tiempos cortos de contacto y no genera residuos tóxicos o subproductos.

Entre sus principales limitaciones de luz ultravioleta se encuentran su incapacidad de inactivar protozoarios, y su ineficiencia para tratar aguas turbias con sólidos suspendidos, color o materia orgánica soluble. En estos casos la radiación será absorbida por estas sustancias y la desinfección se verá seriamente limitada. (CEPIS, 2004, Tratamiento de aguas de consumo humano). (METCALF & EDDY, (1995).“Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización”. Volúmenes 1 y 2. Tercera edición. Editorial McGraw – Hill, España).

La efectividad de la radiación ultravioleta con vías a desinfectar agua depende de la dosis absorbida por los organismos, en función de la intensidad de la lámpara utilizada y el tiempo de exposición. Si la dosis no es suficiente, el material genético puede verse dañado pero no destruido, lo que permitirá el recrecimiento bacteriano una vez que cese el tratamiento.

#### **2.4.3. Acondicionamiento químico del agua.**

Este proceso trata de corregir la falta ó exceso de los componentes químicos del agua tratada o cruda y, la acción y efecto del acondicionamiento se realiza provocando reacciones químicas con la adición de otros productos químicos. En algunos casos el acondicionamiento se lo puede conseguir con procesos físico-químicos. (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas).

Los tratamientos pueden ser: Reducción de la alcalinidad del agua, ablandamiento, floración, remoción de hierro y manganeso, etc.

#### **2.4.4. Acondicionamiento organoléptico del agua.**

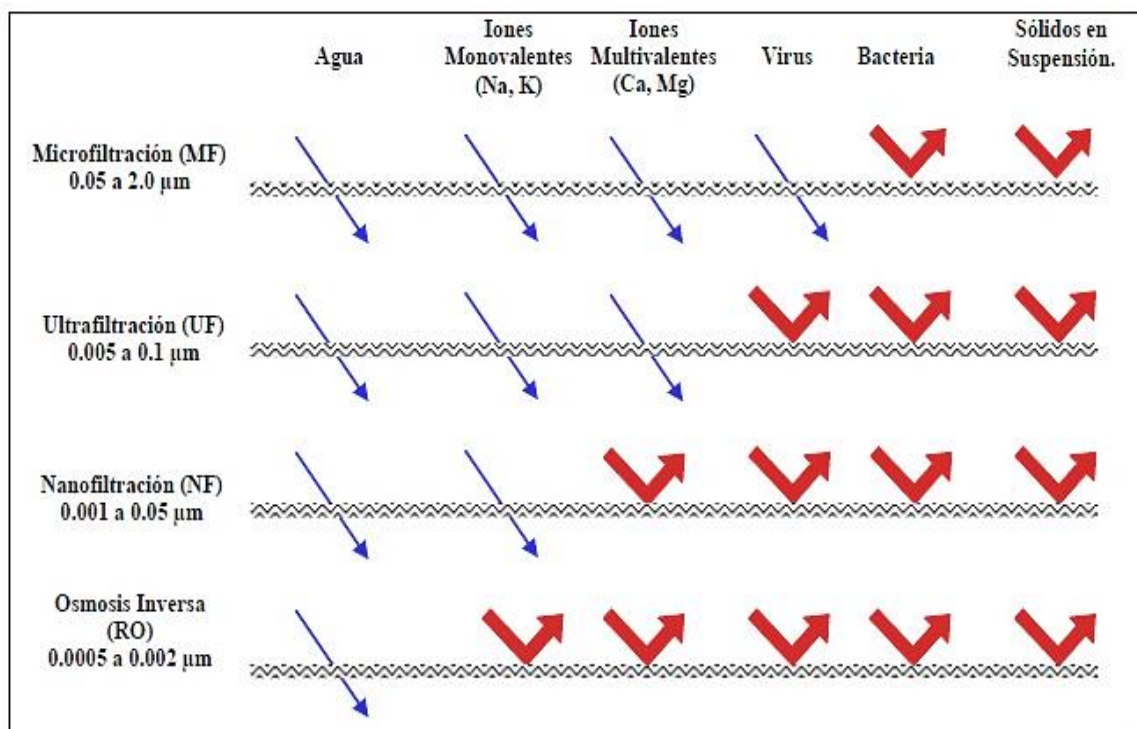
Mediante este tratamiento se eliminan los compuestos orgánicos natural o sintético que dan mal olor o sabor al agua; normalmente se utilizan en éste fin: carbón activado, dióxido de cloro, aireación, etc. (JUAN CARLOS VEGA KNEZ, Junio 1999. Tratamiento de agua para una planta embotelladora de bebidas gaseosas).

#### **2.4.5. Tecnología de membrana.**

La producción del agua potable usando tecnologías de membranas es una excelente alternativa frente a las técnicas convencionales de tratamiento. (ARBOLEDA, J. (2001), “Teoría y práctica de la purificación del agua”, Tercera edición, editorial McGraw – Hill, España). Los procesos de membrana que más han interesado en el tratamiento de aguas son: la ósmosis inversa (OI), la nanofiltración (NF), la ultrafiltración (UF) y la microfiltración (MF). Estos procesos son capaces de eliminar diferentes materiales dependiendo de factores tales con el tamaño de partícula, el tamaño medio de poro de la membrana, la naturaleza química de los materiales a eliminar, materiales de la membrana, entre otros.

Como puede apreciarse en la FIGURA II – 2, la microfiltración es efectiva en la separación de materias en suspensión y bacterias, la ultrafiltración permite además la separación de virus y algunas macromoléculas, la nanofiltración actúa frente a macromoléculas y un rango de componentes iónicos mientras que la ósmosis inversa es efectiva para la separación de los componentes iónicos. En esta característica de eliminar materiales por cribado sólo se tiene en cuenta el tamaño medio de poro en comparación con el tamaño de la partícula a eliminar, dado que es importante aclarar que no todas las membranas están facultadas para la eliminación de ciertos contaminantes y agentes químicos del agua.

**FIGURA II - 2**  
**RANGOS DE ELIMINACIÓN DE TAMAÑOS RELATIVOS DE**  
**PARTÍCULAS A TRAVÉS DE LA FILTRACIÓN**



**Fuente:** (BUENOS HABITOS DE MANUFACTURA, Tarija 1999, Sección Agua, “Manual de Calidad”, EMBOL S.A. Tarija).

#### 2.4.5.1. Microfiltración.

La separación por membrana micrométrica contiene poros de aproximadamente 0,03 a 10  $\mu\text{m}$ , retiene partículas con pesos moleculares mayores a 100.000, daltons y usa presiones de influente relativamente bajas, como 100 a 400 kPa. Generalmente es capaz de remover material particulado como arena, arcilla, Giardia, Cryptosporidium, algas y algunas especies bacterianas. No retiene virus pero tiene cierta capacidad de remoción de compuestos orgánicos lo que reduce el potencial de descomposición de la membrana, problema común con esta tecnología. (METCALF & EDDY,

(1995).“Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización”. Volúmenes 1 y 2. Tercera edición. Editorial McGraw – Hill, España).

Los filtros son pequeños, pueden ser operados en forma automática y son efectivos para remoción de material particulado, bacterias y materia orgánica natural, que llegan a impartir color, sabor y olor desagradable al agua. Existen varios tipos de membrana como la espiral, tubular y de fibra capilar hueca, siendo más usadas las dos últimas porque permiten un lavado automático de la membrana.

Para aumentar la vida media de las membranas se pueden incluir pre-filtros o usar carbón activado o coagulantes como pretratamientos. Estos filtros son fáciles de operar y mantener cuando se tienen índices bajos de turbiedad. En caso de que la turbiedad sea elevada, los filtros se descomponen rápidamente y será necesario el reemplazo en el corto plazo, por lo que con frecuencia se hace uso de desinfectantes químicos para prevenir la descomposición y el lavado periódico de la membrana. (JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS, 2000, “Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño).

El lavado de la membrana se realiza a contra flujo haciendo pasar agua o aire a presión a través de la membrana para remover los sólidos acumulados en la superficie de la membrana misma.

#### **2.4.5.2. Ultrafiltración.**

La ultrafiltración se realiza por medio de membrana de tamaño de poro aproximado entre 0,002 y 0,1  $\mu\text{m}$ , y ejercicio de presión para que el agua atraviese la membrana. Con este tamaño de poro pueden retenerse moléculas con pesos moleculares mayores a 10.000, daltons y se opera a presiones que oscilan entre 200 y 700 kPa. La ultra filtración impide el paso de bacterias y la mayoría de los virus, pero es permeable a algunos tipos de virus y de materia disuelta, como sustancias húmicas. Se recomienda la desinfección con cloro después de la ultra filtración.

Este tipo de procesos puede ser completamente automatizado, no requiere el uso de compuestos químicos, produce un agua de calidad buena y constante y es de manejo

sencillo. (METCALF & EDDY, (1995).“Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización”. Volúmenes 1 y 2. Tercera edición. Editorial McGraw – Hill, España). El costo de inversión y operación no es bajo pues se renueva continuamente la membrana.

La mayor parte del material coloidal, especies de alto peso molecular, material particulado, especies orgánicas e inorgánicas son retenidos en estas membranas. De las especies biológicas se retienen protozoarios, bacterias y la mayoría de los virus conocidos. En cuanto a especies metálicas como quelatos de hierro y manganeso requieren un proceso previo de separación para evitar la descomposición de la membrana.

Las membranas para ultrafiltración se fabrican en forma tubular o de hojas planas con las que se elaboran los filtros.

La ultrafiltración, está limitada por el proceso de descomposición de la membrana, ya mencionado en relación a la micro filtración, y por el costo relativamente elevado. (JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS, 2000, “Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño).

#### **2.4.5.3. Nanofiltración.**

Las membranas de nanofiltración poseen un tamaño de poro aún menor a las anteriores, de 0,001  $\mu\text{m}$ . En ellas se retienen moléculas de peso molecular mayor a 1.000, daltons. Las presiones a las que deben trabajar estas membranas son sensiblemente mayores que las anteriores y usualmente pueden estar entre 600 kPa y 1.000 kPa. Pueden remover virtualmente todo tipo de bacterias, virus, quistes y material disuelto húmico. (ARBOLEDA, J. (2001), “Teoría y práctica de la purificación del agua”, Tercera edición, editorial McGraw – Hill, España). Dado el bajo contenido de materia orgánica presente después de la nanofiltración, no se generan subproductos de la cloración, si se añade esta sustancia para impartirle un efecto desinfectante residual al agua.

Dado que se remueve una gran cantidad de sustancias disueltas en el agua, incluso

alcalinidad (carbonatos y bicarbonatos), el agua adquiere características corrosivas una vez tratada por este proceso por lo que generalmente se requiere la adición de algún álcali para reducir este problema. (PROCESOS DE MANUFACTURA, U.S.A. 1998, Sección Agua, “Manual de Calidad”, Pepsi International).

La presión elevada a la que se maneja el agua genera altos costos de energía y esto ha provocado un uso muy limitado de esta tecnología.

#### **2.4.5.4. Ósmosis inversa.**

Este proceso, también conocido como hiperfiltración, se basa en el uso de una membrana semipermeable que permite el paso de agua, más no de iones disueltos. La membrana, tiene poros menores a  $10 \text{ \AA}$  (1 nm). El agua es sujeta a una alta presión que la obliga a pasar a través de la membrana; todas las sales disueltas permanecen en una solución que se concentra de sales, motivo por el cual se le conoce como salmuera o agua de rechazo o retrolavado. (CEPIS, 2004, Tratamiento de aguas de consumo humano).

La proporción de volumen entre el agua de rechazo y el agua producida da una idea de la eficiencia del sistema. Si bien la ósmosis inversa puede remover prácticamente cualquier contaminante orgánico o inorgánico del agua, tiene como desventaja los altos costos de capital y de operación necesarios, el manejo del agua de rechazo puede convertirse en un problema pues los contaminantes se concentran en ésta, los pretratamientos son indispensables, las membranas tienen la tendencia a descomponerse y el agua de rechazo puede llegar a ser 25 a 50%, del caudal de alimentación, lo que significa un gran desperdicio de agua. (PROCESOS DE MANUFACTURA, U.S.A. 1998, Sección Agua, “Manual de Calidad”, Pepsi International).

#### **2.4.6. Electrodiálisis.**

No es una filtración real ni un proceso osmótico. Utiliza membranas distintas a las de la Ósmosis Inversa y la Nanofiltración. Usa electricidad para separar los cationes y los aniones del agua tratada a través de una membrana semipermeable. (PROCESOS DE MANUFACTURA, U.S.A. 1998, Sección Agua, “Manual de Calidad”, Pepsi International). El procedimiento es capaz de remover más de un 80%, de la alcalinidad del agua tratada y SDT. Si se utiliza para este tipo de aplicación, es muy competitivo al compararlo con la Ósmosis Inversa. De manera similar a la Ósmosis inversa y a la nanofiltración, la electrodiálisis remueve iones inorgánicos que la coagulación no puede remover. La electrodiálisis NO puede remover orgánicos y organismos.

#### **2.4.7. Intercambio Iónico.**

Desde el punto de vista químico, el intercambio iónico se define como “el intercambio reversible de iones entre una fase sólida y una líquida, en donde no hay un cambio permanente de la estructura del sólido”. Los iones son partículas en solución con carga eléctrica. Los cationes (por ejemplo los iones de calcio y magnesio) son iones cargados positivamente (viajan hacia el cátodo, o electrodo negativo en un campo eléctrico). Los aniones (por ejemplo el sulfato y el cloruro) son iones cargados negativamente (viajan hacia el ánodo o electrodo positivo en un campo eléctrico). (PROCESOS DE MANUFACTURA, U.S.A. 1998, Sección Agua, “Manual de Calidad”, Pepsi International). La fase sólida es la resina propiamente dicha. Para nuestras aplicaciones, el agua durante su proceso de tratamiento es la fase líquida. El proceso es “reversible”; esto significa que la resina no tiene que ser desechada después de cada uso—puede ser regenerada para ser utilizada nuevamente.

Muchos de los materiales que existen naturalmente tienen algún grado de capacidad para el intercambio iónico. Los suelos por ejemplo, pueden ser efectivos para el intercambio de iones. Las “zeolitas” sintéticas o naturales (arcillas o mezclas de sales de aluminio y silicatos) han sido muy utilizadas por sus propiedades de intercambio

iónico para suavizar el agua. Hoy en día se siguen utilizando estos materiales, aunque existen muchas resinas sintéticas en el mercado.

Los fabricantes de resinas de intercambio iónico preparan las resinas de una manera particular, dependiendo del uso que se les vaya a dar. Por ejemplo, se pueden conseguir resinas catiónicas (+) ya sea en forma hidrogenada ( $H^+$ ) o en forma sódica ( $Na^+$ ). Las resinas aniónicas (-) pueden comprarse ya sea en forma hidroxílica (-) o en forma de cloruro ( $Cl^-$ ). Los iones enlazados con la resina (en este ejemplo, e hidrógeno, el sodio, hidroxilo o cloruro) forman un enlace débil. Debido a esto, otros iones presentes en el agua, con mayor afinidad por la resina, competirán con los iones del enlace original y los desplazarán. Los iones enlazados con la resina de partida son los que terminan en el agua tratada. (PROCESOS DE MANUFACTURA, U.S.A. 1998, Sección Agua, “Manual de Calidad”, Pepsi International).

## **2.5. SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA.**

La selección de la tecnología adecuada para el tratamiento del agua en una planta específica depende en gran parte de la fuente de origen del agua y del agua que se desea obtener.

La metodología a emplear para la selección es analizar los métodos de tratamiento recomendados para la reducción de cada contaminante y seleccionar cual es la opción que mejor se ajusta a las necesidades del proyecto.

Dependiendo de la calidad de agua cruda, el grado de complejidad del tratamiento es diferente, es decir, que la selección del conjunto de procesos de tratamiento viene procedida de un detallado análisis de control de calidad del agua bruta.

Para seleccionar el método de tratamiento de agua, se realiza un análisis comparativo de los diferentes tratamientos mencionados, con el tratamiento actual que se tiene en la empresa.

Se puede observar que el proceso de purificación del agua se centra en la aplicación de los siguientes tres procesos: filtración, suavización y desinfección, con distintos niveles de acuerdo a las necesidades de calidad del agua. De estos tres pasos, la filtración y la desinfección están siempre presentes, mientras que la aplicación de procesos de suavización depende de la dureza del agua. (PROCESOS DE MANUFACTURA, U.S.A. 1998, Sección Agua, “Manual de Calidad”, Pepsi International).

Todas estas tecnologías compiten de cierta manera con la fotocatalisis, cuya efectividad se centra en dos áreas principales: La desinfección y la remoción de compuestos orgánicos. En la tabla siguiente se presenta una descripción de las capacidades y limitaciones de las tecnologías mencionadas. Como se observa, los métodos convencionales de filtración son de manejo sencillo, costos moderados y eficiencias medias. Por otro lado, los métodos de filtración por membranas son de manejo más complicado, con costos elevados y eficiencias altas. Las limitaciones se indican en cada rubro pero en general puede decirse que se agrupan en la generación de residuos que pueden llegar a considerarse residuos peligrosos, descomposición de las membranas por presencia de bacterias, desperdicio de agua por la generación de salmuera o agua de rechazo y recrecimiento de bacterias. (BUENOS HABITOS DE MANUFACTURA, Tarija 1999, Sección Agua, “Manual de Calidad”, EMBOL S.A. Tarija).

**TABLA II – 4 TECNOLOGÍA SELECCIONADA PARA EL TRATAMIENTO**

<b>Filtración convencional</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Manejo</b>	<b>Costo</b>	<b>Limitantes</b>
	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado.	Remoción de Características físicas y organolépticas (Color, olor, sabor y turbiedad). Sedimentos suspendidos, remoción media de bacterias y materia orgánica	Sencillo	Costo bajo de inversión en infraestructura y de manejo, costo elevado de terreno, costo medio de mantenimiento	- Remoción de 80-90% de bacterias y 60% de materia orgánica, requiere gran superficie  -Útiles en caso de poca turbiedad y bajos conteos bacterianos
<b>Desinfección</b>	Cloro, cloramina, ozono, luz ultravioleta	Contaminación microbiológica (Bacterias, helmintos, protozoarios y virus).	Sencillo con medidas adicionales de seguridad. Operación y mantenimiento sencillo	Costo medio de inversión, y medio de mantenimiento y de operación	- Generación de subproductos  -Poder desinfectante limitado  - Escaso poder residual
<b>Filtros de membrana</b>	Microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, Ósmosis inversa	Remoción de sólidos disueltos, virus, bacterias y materia orgánica	Manejo sencillo, posible automatización	Costo muy elevado de inversión y operación. La membrana puede representar hasta un 50 por ciento de la inversión y la vida útil garantizada es de tres a cinco años.	-Desperdicio de agua, descomposición de la membrana.  - Es necesario pre-tratar el agua para proteger la membrana de la contaminación debido a la presencia de hierro o de silicatos.

Fuente: Elaboración propia, 2013

## **2.6. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS NECESARIOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS DE LA PLANTA DE BEBIDAS GASEOSAS EMBOL S.A.**

La selección de los equipos para el tratamiento de aguas se realizó en función de la carga contaminante, específicamente de aquellos parámetros que se encuentren sobre de los límites establecidos por Ley, con el objetivo de disponer de un instrumento normativo para el control de la calidad del agua para bebidas gaseosas, mediante la Norma Boliviana 325001 para Bebidas Analcohólicas y los límites implantados que establece la Norma EMBOL.

En el Cuadro II – 2, se puede observar que los valores que exceden los valores máximos permitidos, son los correspondientes: la turbiedad y alcalinidad, es en esos parámetros que se debe enfocar el proceso de tratamiento a diseñar. Como el agua es extraída de un pozo que se encuentra en la empresa, el agua mantiene sus características químicas y bacteriológicas constantes, por lo tanto el tratamiento a elegir debe ser un tratamiento simple que cumpla con las expectativas de la empresa.

### **Metodología.**

En base de los resultados del análisis de calidad del agua por utilizar (presentados en la tabla) se deduce lo siguiente:

- Se omitirá el proceso de suavización, porque EMBOL S.A., cuenta con dos unidades de ablandamiento las cuales funcionan alternadamente, interiormente tiene una carga de resina iónica, la cual intercambia iones de sodio con iones de calcio presente en el agua, de esta manera baja la concentración de iones de calcio en el agua.
- Para reducir el valor de turbiedad, se usarán los procesos de filtración con arenas y grabas y de carbón activado.

Se propone un tratamiento de floculación en línea, o filtración directa que es similar a los sistemas convencionales pero no incluye el proceso de sedimentación, es una

alternativa a la coagulación/floculación química convencional bajo condiciones correctas de la fuente de agua. Los sistemas de filtración directa se aplican mejor en sistemas pequeños que disponen de fuentes de agua cruda sin mayor variación de calidad debido a los cambios estacionales y que sean de buena calidad.

El proceso consiste de adición del coagulante, mezcla rápida, floculación y filtración. No hay ningún tanque de reacción; la floculación ocurre en el filtro mismo.

Un sistema de floculación en línea:

- Agrega el floculante al agua.
- Rápidamente mezcla el floculante y el agua utilizando un mezclador estático en línea.
- Rápidamente flocula y filtra el agua a través de un medio granular de cama profunda.

Los principales componentes de una planta de tratamiento con un proceso de coagulación química son sistemas de dosificación de productos químicos, una unidad de mezclado rápido en el que se lleva a cabo la coagulación, una unidad de floculación, filtros generalmente de lechos granulares y la recuperación del agua de retrolavado.

### **Mezcla rápida.**

Para la mezcla rápida, luego de consulta bibliográfica y recomendaciones especializadas, se seleccionó un sistema de mezclador estático en línea, además de resultar mucho más económico que otras opciones por instalarse directamente en la tubería que alimenta la estación depuradora y aprovechando la misma potencia de bombeo para conseguir la mezcla de los aditivos químicos.

**TABLA II - 5**  
**EQUIPOS SELECCIONADOS PARA EL TRATAMIENTO**

<b>Equipo seleccionado</b>	<b>Descripción y función en planta</b>
Mezclador estático	Es un dispositivo instalado en la tubería que conecta el tanque cisterna con la planta de tratamiento, y logra la dispersión de los aditivos coagulantes con la generación de una alta turbulencia empleando la fuerza de bombeo dentro de la tubería dispersándola por medio de elementos colocados en el interior del equipo.
Floculador hidráulico	Provee al fluido la intensidad de mezcla suficiente para la formación de flóculos de tamaño y peso suficiente para ser fácilmente separados.
Filtro vertical de arena	Tiene la función de dar el afinado final a las aguas en tratamiento eliminando flóculos que hayan pasado el proceso de floculación, así como partículas coloidales o microorganismos patógenos.
Filtro de carbón activado	Son utilizados para remover malos olores, sabores o color desagradable del agua, compuestos orgánicos volátiles, plaguicidas e incluso radón.

**Fuente:** Elaboración propia, 2013

## CAPÍTULO III

### ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DEL EQUIPO

#### 3.1. DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS

Para el dimensionamiento de los equipos de la planta de tratamiento de aguas se debe primeramente establecer el caudal con el que trabajará dicha planta y a partir de allí definir el resto de los parámetros necesarios para el diseño de cada equipo. (BUENOS HABITOS DE MANUFACTURA, Tarija 1999, Sección Agua, “Manual de Calidad”, EMBOL S.A. Tarija).

Como se mencionó en el Capítulo II, la planta actualmente está tratando 147 lt/min de agua, cantidad suficiente y necesaria para elaborar sus bebidas gaseosas, pero como es necesario el respectivo cambio de sus equipos, se rediseñara una planta que utilice un mayor caudal, para así satisfacer la demanda futura.

El caudal con el cual se trabajará será mayor al que actualmente se está utilizando, para el diseño de nuestro proyecto se utilizará un caudal de 233 lt/min, de agua a tratar, cantidad que será necesaria para satisfacer los próximos 10, años aproximadamente, posteriormente se realizará el respectivo cambio de los equipos para evitar posibles complicaciones. Se sacó esta estimación en base al Cuadro II – 5, mostrado en el Capítulo II, debido a que el consumo de agua en los últimos 10, años no presentó mucha variación en sus datos.

Se trabajará entonces para el diseño de nuestro proyecto con un caudal de 14 m<sup>3</sup>/hr.

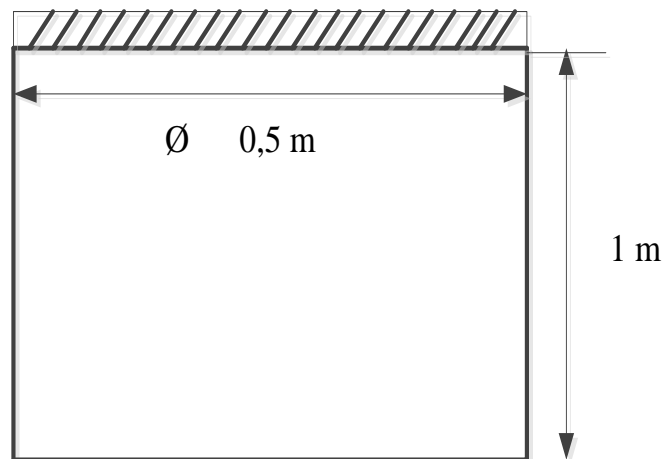
##### 3.1.1 Dosificación de coagulante.

Como reactivo coagulante se utilizará cloruro férrico (FeCl<sub>3</sub>), dosificándose desde un depósito comercial de dimensiones de 0,5 m, de diámetro y un 1m, de altura y con una capacidad de almacenamiento de 1 metro cubico. Como se muestra en la Figura III -1.

El equipo de dosificación estará formado por:

- Depósito de almacenamiento de 1000, litros de capacidad con agitador de hélice para mantener homogénea la solución.
- Una bomba dosificadora, con capacidad máxima unitaria de 44, lt/min.
- Conducción de dosificación mediante tubería de PVC hasta los filtros de arena.
- Válvula de seguridad en caso de sobrepresión en el sistema de dosificación

**FIGURA III -1**  
**DIMENSIONES DEL DEPÓSITO DE**  
**ALMACENAMIENTO DEL COAGULANTE**



**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.1.1.1 Selección de la dosis óptima de coagulante.

El coagulante elegido para el tratamiento fue el cloruro férrico, este posee un alto poder de formación de flóculos, es un eficiente coagulante que sirve para reducir la turbiedad, sólidos suspendidos, remoción de color, alcalinidad entre otros.

El cloruro férrico, en su forma comercial tiene una concentración de aproximadamente un 40,58 %, en peso y una densidad de aproximadamente 1,44 g/ml, la masa y el volumen de coagulante necesario en su forma comercial están dados por las ecuaciones 3.1 y 3.2, donde  $FeCl_3com$  es el cloruro férrico en su forma comercial,  $V_{FeCl_3}$  es el volumen de cloruro férrico.

La cantidad de cloruro férrico a utilizar  $FeCl_3$  es la dada por la ecuación 3.1, donde  $d_{FeCl_3}$  es la dosis de cloruro férrico y  $D_{FeCl_3}$  es la densidad de la solución.

$$V_{FeCl_3} (ml) = \frac{d_{FeCl_3} \left( \frac{mg}{lt} \right)}{D_{FeCl_3} \left( \frac{g}{ml} \right)} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

$$FeCl_3 \text{ com} (ml) = \frac{V_{FeCl_3} (ml)}{FeCl_3 \text{ com}} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

La dosificación adecuada del coagulante a emplear (cloruro férrico) se realizó empleando el método de prueba de jarra. La prueba consiste en tomar varias muestras de 1 litro del agua a tratar, adicionar cantidades distintas del aditivo químico a cada envase de muestra mientras es mezclado intensamente en un equipo agitador a una velocidad aproximada de 120 rpm, por un período de 60, segundos representando esto el proceso de mezcla rápida para la coagulación, luego se cambia la velocidad de agitación a 15 rpm, por un periodo de 10, minutos para caracterizar el proceso de floculación, durante esta etapa se observa la calidad del flóculo así como el tiempo de formación del mismo. Finalmente se detiene la agitación y se deja sedimentar por un lapso de 30, minutos para luego sacar el sobrenadante clarificado para determinar la turbidez, ph y alcalinidad.

**CUADRO III - 1**  
**ANÁLISIS DE LA PRUEBA DE JARRAS CON CLORURO FERRICO**

Jarra	Densidad de FeCl <sub>3</sub> (kg/lt)	Concentración de FeCl <sub>3</sub> %	Dosis de FeCl <sub>3</sub> (mg/lt)	Volumen de FeCl <sub>3</sub> (ml)	Volumen de FeCl <sub>3</sub> com (ml)	Turbiedad Final	pH Final	Alcalinidad Final
1	1,44	40,58	20	0,013	0,034	0,48	7,41	94
2	1,44	40,58	30	0,021	0,051	0,36	7,22	87
3	1,44	40,58	40	0,028	0,068	0,63	6,76	72
4	1,44	40,58	50	0,035	0,085	0,75	6,35	68
5	1,44	40,58	20	0,013	0,034	0,49	7,57	97
6	1,44	40,58	20	0,013	0,034	0,47	7,54	103
7	1,44	40,58	30	0,021	0,051	0,32	7,27	86
8	1,44	40,58	30	0,021	0,051	0,38	7,23	84
9	1,44	40,58	30	0,021	0,051	0,33	7,24	82
10	1,44	40,58	30	0,021	0,051	0,34	7,26	81

Fuente: Elaboración Propia

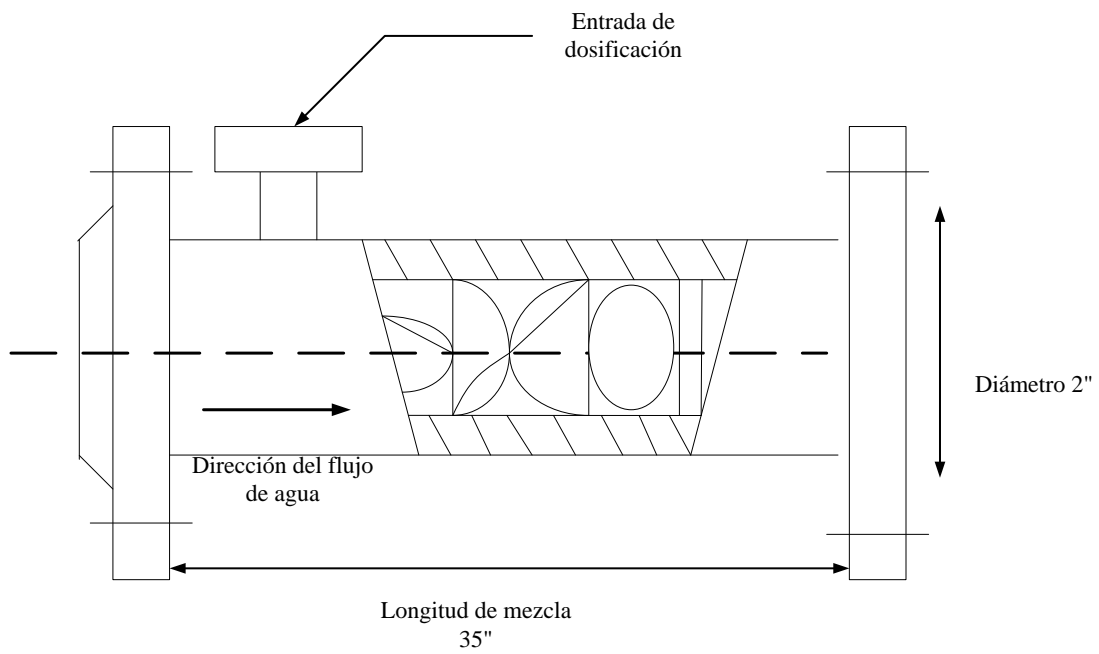
### 3.1.2 Selección del mezclador estático.

El mezclador estático, es un dispositivo patentado por un fabricante que mantiene sus consideraciones y esquemas de diseño bajo resguardo, por tanto se realizó una revisión de los distintos fabricantes, siendo seleccionado el mezclador estático que tenga mayor información acerca de sus características, además de ofrecer la mejor relación de eficiencia y economía. De acuerdo a la tabla mostrada en el anexo C, el modelo recomendado para el caudal de planta manejado de 233 lt/min es el 2-40C-4-12-2 de la serie 308.

El mezclador seleccionado tiene 2" (5,08 cm) de diámetro nominal y 35" (88,9 cm) de longitud y está fabricado en material de PVC transparente que permite la inspección continua del flujo que circula, incluye elementos internos de acero inoxidable que generan la turbulencia necesaria para el mezclado. Su instalación se realiza en el curso de la tubería de alimentación a la planta por medio de sus extremos de rosca para facilitar tanto montaje como el mantenimiento.

Conexión en línea	2"
Max. Presión de trabajo (PSI a 75 °F)	140
Longitud de mezcla	35"
Caudal máximo GPM	9 - 60

**FIGURA III - 2**  
**DIMENSIONES DEL MEZCLADOR ESTÁTICO**



**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.1.3 Diseño del Floculador.

Una vez que el agua pasa a través del mezclador estático donde se inyecta el coagulante, se dirige hacia la cámara de floculación hidráulica como se muestra en la Figura III - 3. La floculación hidráulica se realizará variando la presión dentro de la cámara. Esta acción será realizada por medio de tres válvulas de bola de activación manual y para cuyo control se contará con un medidor de presión diferencial. A medida que se vaya requiriendo aumentar la presión diferencial en el floculador, cada una de las tres válvulas se irá cerrando poco a poco y de forma proporcional para así asegurar una disipación uniforme de la energía en los tres ramales del floculador para una mejor y más rápida agregación de las partículas coloidales.

La eliminación de materia orgánica será evidente con la adición de coagulante al agua, pero ésta mejoraría con la incrementación de las variaciones hechas en la floculación hidráulica. Este hecho puede explicarse por la disipación de la energía conseguida, gracias al aumento en la presión diferencial dentro de la cámara de floculación, y su influencia sobre las partículas desestabilizadas previamente por el coagulante. Cuando las partículas coloidales desestabilizadas entran en el floculador hidráulico, lo que se persigue es favorecer los choques y las interacciones partícula-partícula con el objetivo de que se atraigan unas a las otras y se aglomeren, creando partículas de mayor tamaño.

Lo que se conseguirá con el aumento de presión en el floculador es favorecer la agitación y por lo tanto la velocidad de las partículas y de esta manera aumentar la probabilidad de interacciones entre ellas en un tiempo determinado, favoreciendo por tanto la eliminación de la materia orgánica.

El proceso de floculación, se realizará mediante floculación hidráulica, inducida por el gradiente de velocidad del fluido, donde la velocidad del agua favorece el contacto y por ende la agregación de partículas, empleando para ello una cámara con un tiempo de retención hidráulica. Para el diseño utilizaremos una velocidad promedio de  $1.8 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  y un tiempo de retención de 2 horas.

Si se considera que el caudal de agua a tratar es de 13980 lt/hr, y que el tiempo de residencia es de 2 horas, la altura del floculador será.

$$H = v * t$$

Donde:  $v$  = velocidad de ascenso

$t$  = tiempo de retención

$$H = 1.8 \text{ m}^3/\text{hm}^2 * 2 \text{ hr}$$

$$H = 3,6 \text{ m}$$

De acuerdo a la fórmula para el volumen de un cilindro, el diámetro del tanque es:

$$V = \frac{\pi * D^2 * H}{4}$$

$$D^2 = \frac{4 * V}{\pi * H}$$

Donde:  $V$  = Volumen del tanque ( $\text{m}^3$ )

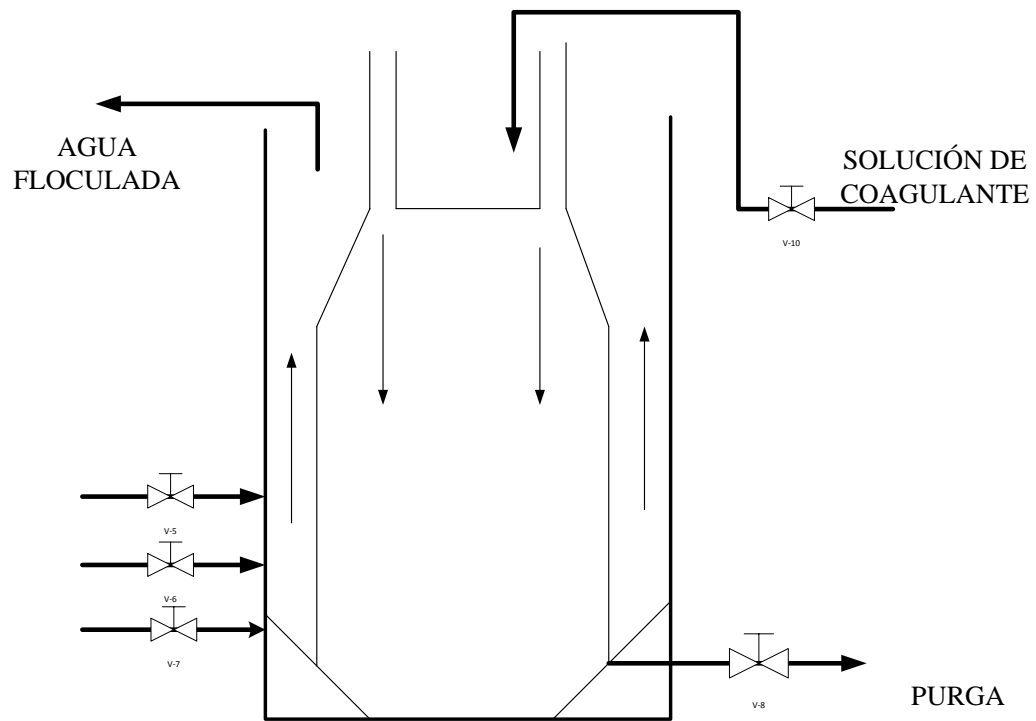
$D$  = Diámetro del tanque ( $\text{m}^2$ )

$H$  = Altura del tanque (m)

$$D^2 = \frac{4 * 28}{\pi * 3,6}$$

$$D = 3 \text{ m}$$

**FIGURA III - 3**  
**DIMENSIONES DEL FLOCULADOR**



**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.1.4 Dimensionamiento del filtro de arena seleccionado.

El filtro seleccionado es el filtro de arena vertical de gravedad como se muestra en la Figura III - 4, fabricado de acero al carbono con revestimiento interno en resinas epóxicas para evitar la corrosión del metal, presenta un medio filtrante simple de arena sílice, con una capa de grava fina como soporte.

La entrada del agua se da por la parte superior del filtro en tanto que el agua filtrada es recolectada en la parte inferior, a través de un fondo falso. En estos fondos falsos son montados una serie de distribuidores, los cuales retienen la carga del material filtrante, dejando pasar solamente el agua.

Primero se elige el tipo de medio a utilizar según las recomendaciones, la cual se decidió un filtro de lecho simple de arena. De la tabla II - 1 se tiene que la velocidad de filtración para éste tipo de medio es de no más  $8,5 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$ , normalmente una industria de refrescos, debido al volumen de agua que debe tratar, se utiliza una velocidad promedio del agua por unidad de área igual a  $5 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ . por lo que el área del filtro viene dada por:

$$A = \frac{Q}{v}$$

donde:  $A = \text{Area del filtro } [\text{m}^2]$

$Q = \text{Caudal requerido de agua filtrada } (\text{m}^3/\text{h})$

$v = \text{Velocidad de filtración } \text{m}^3/\text{h m}^2$

$$\text{Área del filtro} = \frac{14 \text{ m}^3/\text{h}}{5 \text{ m}^3/\text{h m}^2} = 2,8 \text{ m}^2$$

A partir de la expresión del área de una circunferencia se tiene el diámetro requerido para el filtro:

$$\sqrt{\text{Diámetro de filtro}} = \frac{4 \times A}{\pi}$$

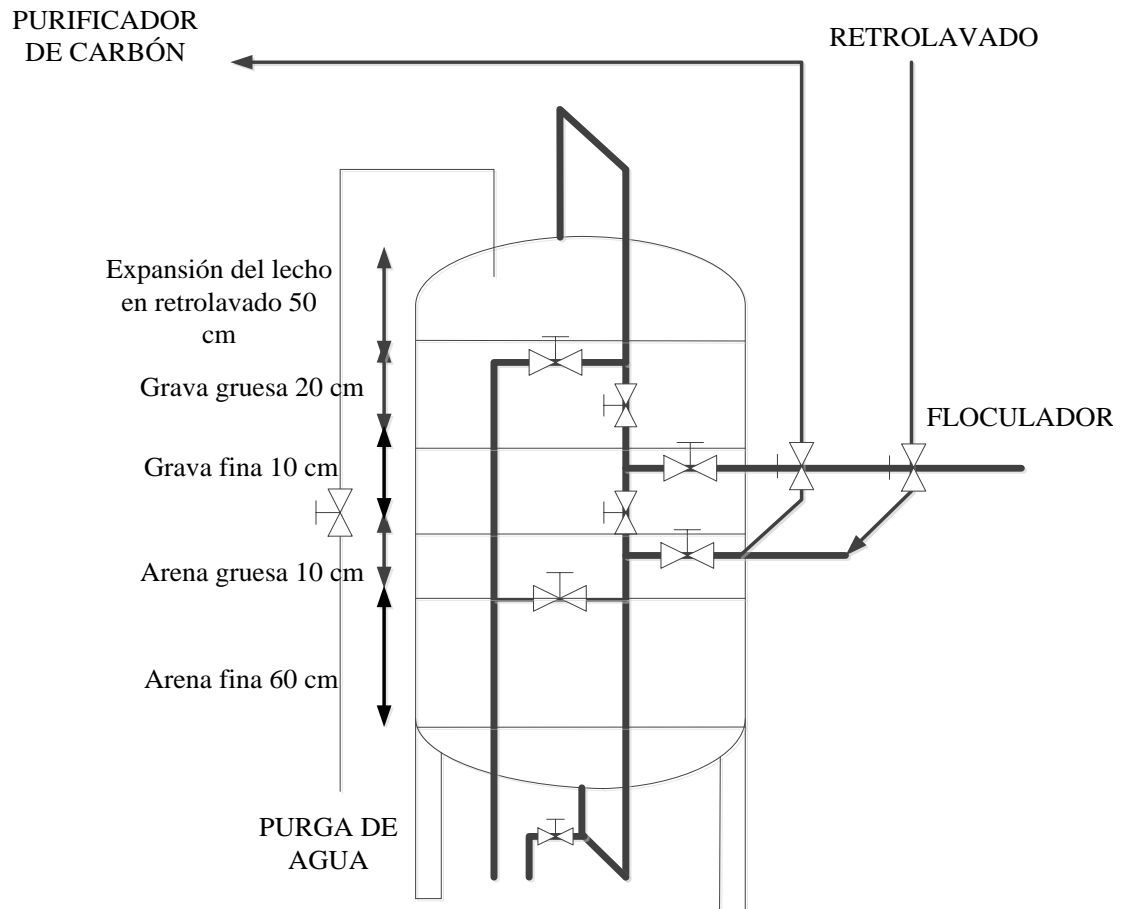
$$\sqrt{D} = \sqrt{\frac{4 \times 2,8 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D = 1,89 \text{ m}^2$$

Para determinar la altura necesaria del filtro de arena tomamos la altura de lecho de arena y grava recomendada en la Tabla II – 2, se utilizará arena fina en la base con una altura de 60 cm, y una arena gruesa de 10 cm., de altura, de acuerdo a las recomendaciones se colocará una capa de grava fina de 10 cm., de altura y una capa de grava gruesa de 20 cm de altura, dejando un espacio de 50., cm en el tope para la expansión del lecho en el retrolavado, se tomara también en cuenta la altura de las bases o soportes del filtro que serán 30., cm y una altura de 20., cm en la base para la instalación de los colectores.

Dando como resultado la altura del filtro la sumatoria de altura de lecho de arena + altura de grava + altura capa de agua en tope + altura de agua en fondo + base de soporte, teniéndose un total de 2 m de altura.

**FIGURA III - 4**  
**DIMENSIONES DEL FILTRO DE ARENA**



**Fuente:** Elaboración Propia

### 3.1.5. Dimensionamiento del filtro de carbón seleccionado

El filtro de carbón activado es idéntico en su diseño al filtro de arena, como se muestra en la Figura III - 5, fabricado de acero al carbono con revestimiento interno en resinas epóxicas para evitar la corrosión del metal.

A diferencia del filtro de arena en el filtro de carbón varía únicamente la velocidad de filtración, ya que se recomienda una velocidad de  $6.76 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ , para una altura mínima de lecho de carbón activado de 70 cm, como se observa en la Tabla II - 2 que muestra la distribución del lecho de filtración.

El área de filtración necesaria, será entonces igual a:

$$A = \frac{Q}{V}$$

donde:  $A = \text{Area del filtro } [\text{m}^2]$

$Q = \text{Caudal requerido de agua filtrada } (\text{m}^3/\text{h})$

$v = \text{Velocidad de filtración } \text{m}^3/\text{h m}^2$

$$\text{Área del filtro} = \frac{14 \text{ m}^3/\text{h}}{6,76 \text{ m}^3/\text{h m}^2}$$

$$\text{Área del filtro} = 2,07 \text{ m}^2$$

A partir de la expresión del área de una circunferencia se tiene el diámetro requerido para el filtro:

$$\sqrt{\text{Diámetro de filtro}} = \frac{4 \times A}{\pi}$$

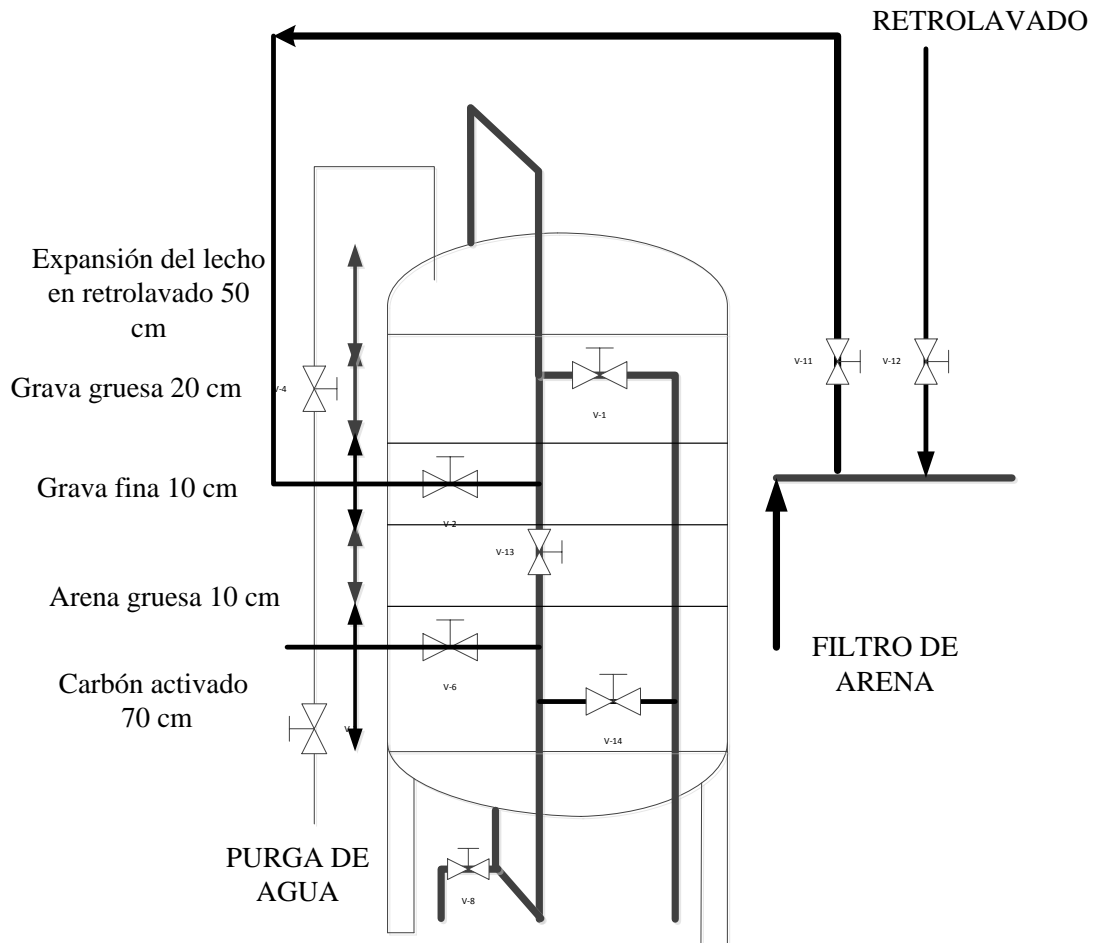
$$\sqrt{D} = \sqrt{\frac{4 \times 2,07 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D = 1,62 \text{ m}^2$$

Para determinar la altura al igual que en el filtro de arena tomamos la altura de lecho de arena, grava y carbón activado recomendado en la Tabla II – 3, se utilizará carbón activado en la base con una altura de 70 cm., y una arena gruesa de 10 cm de altura, de acuerdo a las recomendaciones se colocará una capa de grava fina de 10 cm de altura y una capa de grava gruesa de 20 cm de altura, dejando un espacio de 50 cm en el tope para la expansión del lecho en el retrolavado, se tomara también en cuenta la altura de las bases o soportes del filtro que serán 30 cm., y una altura de 20., cm en la base para la instalación de los colectores.

Dando como resultado la altura del filtro la sumatoria de altura de lecho de arena + altura de grava + altura capa de agua en tope + altura de agua en fondo + base de soporte, teniéndose un total de 2,10 m de altura.

**FIGURA III - 5**  
**DIMENSIONES DEL FILTRO DE CARBÓN**



**Fuente:** Elaboración Propia

### **3.2. TAMAÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PROPUESTA**

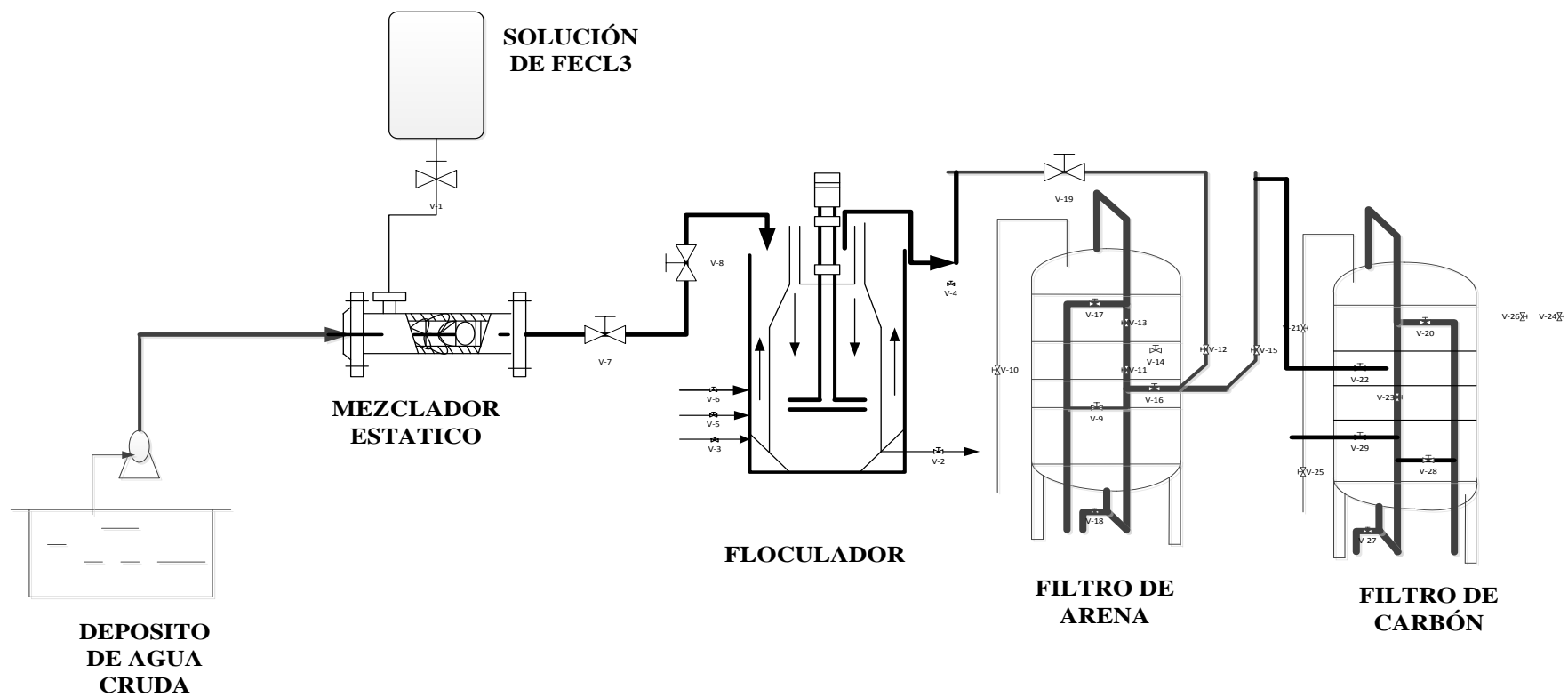
La infraestructura actual de los equipos con la cual cuenta la Planta de Tratamiento de Agua está instalada en una superficie de 110 m<sup>2</sup>, sin contar el tanque cisterna.

En cuanto a la superficie de la planta de tratamiento de agua EMBOL S.A., del proyecto propuesto, sumando las áreas de los equipos y lo que ocuparían las cañerías y accesorios para los mismos, será aproximadamente un total de 50 m<sup>2</sup>. Se utilizará el espacio que tiene actualmente la planta de tratamiento antigua, espacio suficiente para realizar todas las actividades de mantenimiento y operación, además que permitirá un mejor desplazamiento por la misma.

En la Figura III – 6 se muestra el diagrama de flujo del tratamiento propuesto.

En la Figura III – 7 se muestra el estado actual de los equipos instalados en la empresa comparados con el proyecto propuesto.

**FIGURA III - 6**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS PROPUESTO**

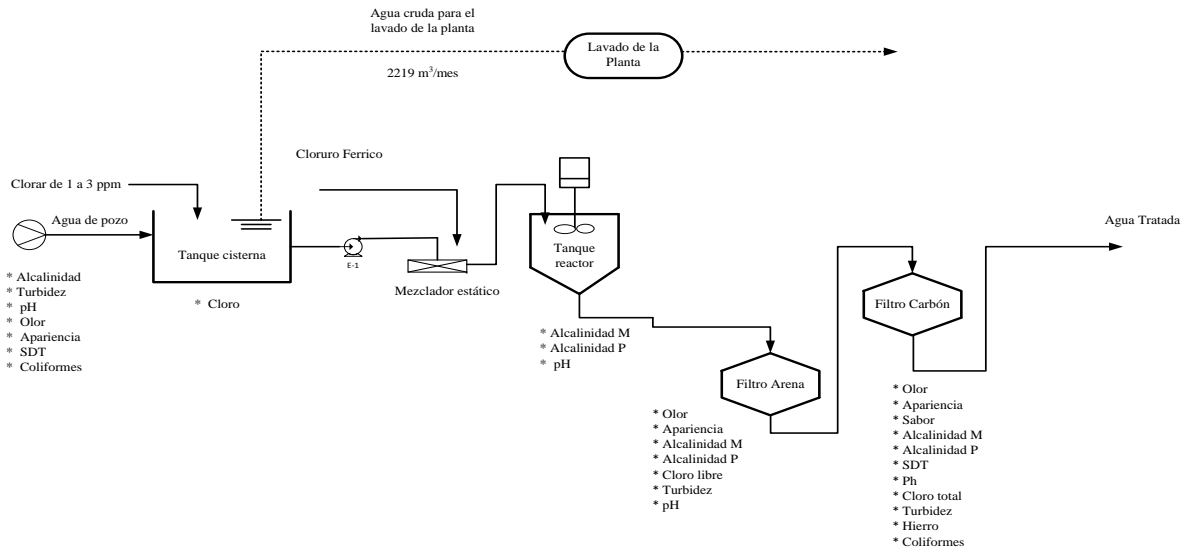


Fuente: Elaboración Propia

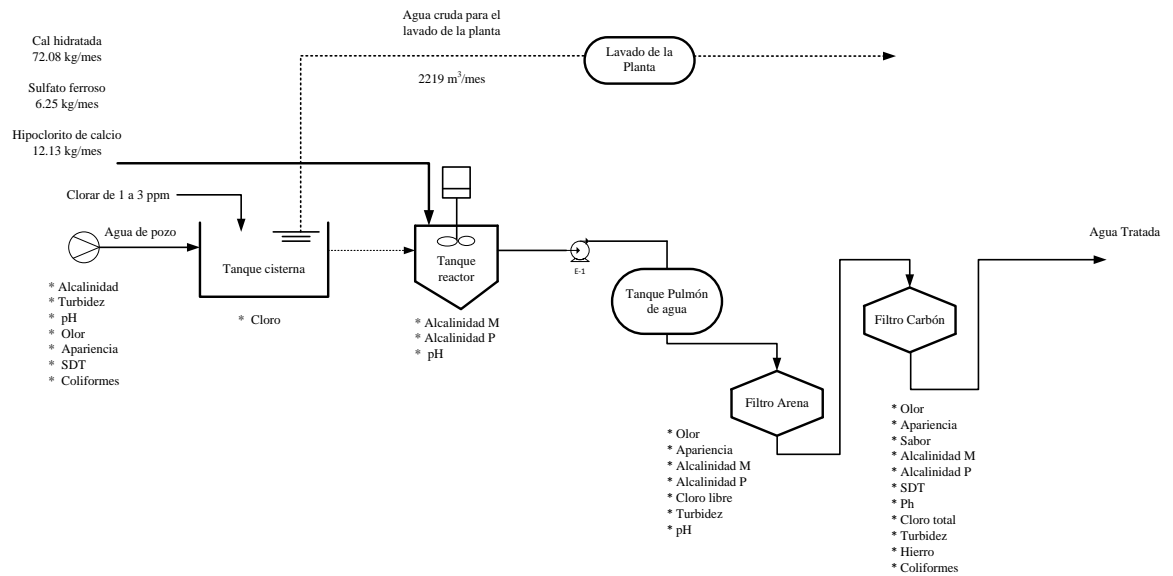
### FIGURA III - 7

## COMPARACIÓN DEL ESTADO ACTUAL Y LA PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE EMBOL S.A.

#### \* Tratamiento Actual



#### \* Tratamiento Antiguo



Fuente: Elaboración Propia



## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO**

#### **4.1 REALIZACIÓN DEL ESTUDIO DE COSTOS PARA LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA SELECCIONADA.**

El estudio de costos de la propuesta de la planta de tratamiento de aguas, estuvo basado principalmente en la estimación de los costos de construcción e instalación de los equipos principales, a partir de los cuales se estima el costo total de la inversión empleando el método de porcentaje de costo del equipo entregado.

##### **4.1.1 Depósito de almacenamiento.**

El depósito de almacenamiento del coagulante tiene un costo de 253,1 \$.

##### **4.1.2. Costo del coagulante.**

El cloruro férrico está cada kilogramo a 2.4 \$/kg.

##### **4.1.3 Mezclador estático.**

El costo del mezclador estático en línea para el modelo seleccionado es de 189 dólares.

##### **4.1.4 Unidad de floculación.**

La estimación de costos para la unidad de floculación es de 2149 \$.

##### **4.1.5 Filtro de arena.**

El costo de los equipos de filtración en arena depende de múltiples factores y requiere de un alto nivel de detalles para estimarlos con exactitud, por lo que se consideró para este estudio un precio promedio determinado a partir de la información obtenida de distintos fabricantes en cuanto a filtros de características similares a las requeridas por el proceso. Dicho costo resultó 2418,6 \$, que equivalente a 16833,5 Bs. por cada unidad de filtración incluyendo el medio filtrante.

##### **4.1.6 Filtro de carbón.**

El filtro de carbón tiene un costo más o menos de 2000 \$.

#### 4.2 COSTO DEL EQUIPO ENTREGADO.

El costo del equipo entregado es la sumatoria de los costos de cada una de los equipos, esto se muestra en la tabla IV - 1.

**TABLA IV -1**  
**COSTO TOTAL DEL EQUIPO ENTREGADO**

<b>Equipo</b>	<b>Costo \$ (Dolares)</b>
Depósito de almacenamiento	253,1
Mezclador estático en línea	189
Unidad de floculación	2149
Filtro de arena	2418,6
Filtro de carbón	2000
<b>Total</b>	<b>7009,70 dólares</b>

### 4.3 ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL PARA LA INSTALACIÓN DE LA PLANTA.

Para el costo total de la planta se tomaran en cuenta los costos directos y costos indirectos.

**TABLA VI – 2**  
**COSTO TOTAL DE INVERSIÓN PARA LA INSTALACIÓN**  
**DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PROPUESTA**

<b>Rubros</b>	<b>Costos \$ (Dólares)</b>
<b>Costos directos</b>	
Equipo adquirido y entregado	7009,70
Instalación del equipo adquirido	12946,78
Instrumentación y controles	620,06
Cañerías y tuberías	915,16
Instalación eléctrica	676,00
<i>Total de costos directos</i>	<i>22167,70</i>
<b>Costos indirectos</b>	
Ingeniería y supervisión	4000
Gastos de construcción	6000
<i>Total de costos indirectos</i>	<i>10000</i>
<b><i>Inversiones total de capital</i></b>	<b><i>32167,70</i></b>

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- En base al análisis físico – químico y microbiológico de caracterización del agua de pozo de la empresa EMBOL S.A. Tarija, los datos de los análisis se encuentran dentro de la Norma Boliviana 325001 y Normas de EMBOL S.A., con excepción del valor de la turbiedad de 0,75 NTU y la alcalinidad de 98,2 mg/lit.
- El diseño de la planta se efectúa con base a la remoción de turbidez y alcalinidad para un caudal de 230 lt/min. (336 m<sup>3</sup>/día). Se propone un proceso filtración rápida que es una alternativa eficaz a la filtración convencional. Para la mezcla rápida se seleccionó un sistema de mezclador estático en línea, que es un excelente sistema de sustitución para el tanque de reacción, por ser un equipo más pequeño y económico y que ofrece las mismas ventajas de un tanque reactor. El mezclador seleccionado tiene 2” (5,08 cm) de diámetro nominal y 35” (88,9 cm) de longitud. La floculación se lo realizará en un floculador hidráulico, el cual provee al fluido la intensidad de mezcla suficiente para la formación de flóculos de tamaño y peso suficiente para ser fácilmente separados. El floculador tiene un volumen de 28 m<sup>3</sup>. Para la eliminación de la turbiedad, color, olor, sabor y para dar el afinado final se propone filtración por medio de filtros de arena y grava, con un área de 2,8 m<sup>2</sup> y de carbón activado con un área de 2,07 m<sup>2</sup>.
- La dosificación óptima de coagulante – floculante es de 30 ppm, realizadas por medio de las pruebas de Jarras. El valor promedio de turbidez del agua es de 0,34 y de la alcalinidad es de 83,2.
- La dosificación correcta de reactivos es un paso de vital importancia en el tratamiento de agua de bebidas gaseosas por el método de coagulación, el uso de cloruro férrico en ves del sulfato ferroso, se puede decir que es una mejor opción ya que realizando la prueba de jarras dio resultados positivos.

- El costo de los equipos es de 7009,70 dólares. El costo Total de la planta de tratamiento para la producción de agua, incluyendo materias primas, mano de obra y costos indirectos es de 32167,70 dólares.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Realizar el sistema de filtración directa bajo el control de equipos de medición de sólidos y pH en la línea de entrada al sistema de filtración, para que en los cambios generados por las variaciones en las características físico químicas del agua a tratar, las bombas dosificadoras puedan dosificar menor ó mayor cantidad de solución química al ingreso de la planta.
- Seguir estrictamente el manual de operación y mantenimiento de la planta para evitar fallas como por ejemplo la colmatación en el sistema de filtración, mala dosificación de coagulantes químicos, etc.
- El operario a cargo de la unidad de potabilización debe estar atento a los cambios de las condiciones del agua cruda, pues la dosificación de soluciones químicas cambian dependiendo el aumento o reducción de las características del agua y por tanto se puede generar un agua con contenido de producto químico y sedimentos.
- Realizar análisis periódicos en laboratorio de Coca Cola para determinar la eficiencia del sistema de filtración.
- El presente proyecto, se encuentra disponible para posibles estudios futuros que permitan la ampliación de la planta de tratamiento.