

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Desarrollo de un sistema de tratamiento de agua, para la elaboración de una
bebida gaseosa con acidez y sabor aceptables por el consumidor, en una
embotelladora de aguas carbonatadas en Guatemala

Trabajo de investigación presentado por Julia Rebeca Higueros Valenzuela
para optar al grado de licenciada en Ingeniería Química

Guatemala
2006

Desarrollo de un sistema de tratamiento de agua, para la elaboración de una bebida gaseosa con acidez y sabor aceptables por el consumidor, en una embotelladora de aguas carbonatadas en Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Desarrollo de un sistema de tratamiento de agua, para la elaboración de una
bebida gaseosa con acidez y sabor aceptables por el consumidor, en una
embotelladora de aguas carbonatadas en Guatemala

Trabajo de investigación presentado por Julia Rebeca Higueros Valenzuela
para optar al grado de licenciada en Ingeniería Química

PREFACIO

Agradezco:

A Dios: Quien es el dador de toda sabiduría y entendimiento. Le agradezco porque él me ha dado las fuerzas y los medios para culminar mi carrera exitosamente.

A mis padres: Quienes me han brindado su apoyo y sus consejos en todo momento y han sido un buen ejemplo para mí.

A mi mami: Quien, junto con mis padres, ha sido de bendición en mi vida por su ayuda y apoyo incondicional.

A mis hermanos: Por su cariño y confianza.

A Suggel: Por su paciencia, cariño y compañía.

A mis amigos: Por su colaboración y compañía durante este tiempo.

Agradezco a mi asesor de trabajo de graduación, Ingeniero Luis Lemus, y a los demás miembros de la terna examinadora por su cooperación en el desarrollo del presente texto y a todas aquellas personas que me brindaron información relevante para llevar a cabo este trabajo.

Julia Rebeca Higueros Valenzuela
Guatemala, Enero de 2006

RESUMEN

Este presente trabajo consiste en el desarrollo de un sistema de tratamiento de agua para la elaboración de bebidas carbonatadas agradables al paladar del consumidor guatemalteco. El sabor de la bebida radica plenamente en la acidez de la misma y por lo tanto en los parámetros químicos que la afectan.

La alcalinidad del agua es el parámetro químico más importante que se ve reflejado en la acidez de una forma negativa, disminuyéndola y haciendo la bebida menos picante. Por ello se presentan consideraciones necesarias para el desarrollo del sistema de tratamiento de agua y selección del equipo para eliminar de una manera efectiva la alcalinidad y los demás factores químicos que afectan la acidez.

Se determinó un equipo de ósmosis inversa para el tratamiento de agua, para asegurar la reducción de los parámetros químicos en un orden mayor al 90 % en promedio, con el fin de elaborar la bebida carbonatada, que satisface las necesidades y gustos del cliente y consumidor guatemalteco.

La inversión inicial que se debe hacer para implementar el equipo es de Q 2,300,000 y sus costos mensuales de Q1,178,582. El proyecto es rentable puesto que al considerar los ingresos diarios de Q 700,000 se tiene que la tasa interna de retorno es del 15 % en los primeros diez meses y que el punto de equilibrio económico se alcanza al sexto mes de producción.

ABSTRACT

The present work consists of the design of a system of water treatment for the elaboration of carbonated drinks pleasant to palate of the Guatemalan consumer. The flavor of the drink is totally in the acidity of the same one and therefore in the chemical parameters that affect it.

The alkalinity of the water is the more important chemical parameter that it is reflected in the acidity in a negative form, reducing it and making the drink less itch. For that reason considerations necessary for the design of the system of water treatment and selection of the equipment appear to eliminate of an effective way the chemical alkalinity and the other factors that affect the acidity.

An equipment of inverse osmosis for the water treatment setted out, to assure the reduction the chemical parameters, of such form to reduce the values in a greater order to 90 % in average, with the purpose of elaborating the carbonated drink, that satisfies the necessities and tastes with the client and Guatemalan consumer.

The initial investment that it is necessary to do to implement the equipment is of Q 2,300,000 and its monthly costs of Q1,178,582. The project is profitable since on having considered the daily income of Q 700,000 there is had that the rate hospitalizes of return is of 30 % in the first ten months and that the point of economic balance is reached to the sixth month of production.

ÍNDICE

Página

PREFACIO.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	x

Capítulos

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	ANTECEDENTES.....	2
	A. Sensorial de una bebida terminada	2
	B. Acidez titulable de bebidas.....	4
	C. Agua.....	5
	D. Tipos de tratamiento de agua.....	10
	1. Sistema convencional : Tratamiento de agua con cal.....	10
	2. Sistema de tratamiento de agua por membranización.....	13
III.	JUSTIFICACIÓN.....	21

IV.	OBJETIVOS.....	22
	A. Generales.....	22
	B. Específicos.....	22
V.	PROBLEMA A RESOLVER.....	23
VI.	METODOLOGÍA.....	24
VII.	RESULTADOS.....	25
VIII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	30
IX.	CONCLUSIONES.....	34
X.	RECOMENDACIONES.....	35
XI.	BIBLIOGRAFÍA.....	36
XII.	ANEXOS.....	37

LISTA DE CUADROS

CUADRO	Página
1. Niveles máximos de constituyentes del agua.....	5
2. Diferentes fuentes de agua.....	6
3. Comparación de los procesos de membranas.....	14
4. Comparación entre membranas.....	18
5. Desarrollo de un sistema de agua tratada por membranización.....	25
6. Inversión inicial en la instalación del equipo de ósmosis inversa.....	26
7. Costo de mantenimiento del equipo de ósmosis inversa.....	26
8. Rentabilidad de la implementación del equipo de ósmosis inversa.....	26
9. Acidez titulable de una bebida cola y parámetros químicos que la afectan Sistema de tratamiento con cal.....	27
10. Acidez titulable de una bebida cola y parámetros químicos que la afectan. Sistema de tratamiento por membranización.....	28
11. Proceso de operación de la ósmosis inversa.....	47
12. Tabla de conversión, concentración TDS a conductividades.....	48
13. Factor de corrección de temperaturas para membranas de ósmosis inversa.....	49
14. Ventajas y desventajas del sistema de tratamiento de agua por coagulación.....	50
15. Ventajas y desventajas del sistema de tratamiento de agua por membranización.....	51

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN	Página
1. Parámetros	
DOD.....	3
2. Relación Alcalinidad / pH.....	7
3. La dureza y la alcalinidad del agua.....	9
4. Diagrama de tratamiento de agua por un sistema convencional.....	10
5. Tratamiento de agua con cal.....	11
6. Proceso de tratamiento de agua por membranización.....	14
7. Ósmosis.....	15
8. Ósmosis Inversa.....	16
9. Ósmosis Inversa: Resumen del proceso.....	16
10. Membranas de la ósmosis inversa.....	17
11. Membrana en espiral.....	19
12. Solubilización de una partícula de sulfato.....	19
13. Acidez titulable de colas elaboradas a partir de agua tratada con cal.....	27
14. Acidez titulable de bebidas carbonatadas elaboradas a partir de agua tratada por membranas.....	28
15. Preferencia del consumidor en colas elaboradas a partir de distintos tratamientos de agua <i>Análisis sensorial</i>	29
16. Espectro de separación y filtración.....	45
17. Equipo automatizado de ósmosis inversa.....	46
18. Housing del equipo de ósmosis inversa.....	46

I. INTRODUCCIÓN

La búsqueda de una bebida carbonatada de acidez y sabor agradables al consumidor conduce al estudio de los factores y características que los afectan, de modo que se pueda diseñar el mejor sistema de tratamiento de agua, principal componente de la bebida, en una planta productora de bebidas gaseosas.

Con el propósito de ubicar al lector dentro del marco en el cual se desarrolla este trabajo, se inicia con una descripción de cómo medir el sensorial de una bebida carbonatada y su impacto en el consumidor. Posteriormente, se describe el concepto de acidez titulable y su estrecha relación con el tratamiento que se le da al agua con que se elabora la bebida.

Dentro de la problemática se hace un estudio comparativo entre la acidez y sabor de la bebida, elaborada a partir de agua tratada con cal y agua tratada por membranización, para así determinar cuál de éstos es el sistema de tratamiento que mejor se adecua a cumplir el objetivo de estudio. Se realizará el desarrollo de dicho sistema como una propuesta para su implementación dentro de la planta.

Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones de carácter técnico susceptibles a ponerse en práctica.

II. ANTECEDENTES

A. Sensorial de una bebida terminada

El órgano sensorial del sabor está localizado principalmente en la cara superior de la lengua y en menor medida en el paladar y en la mucosa de la garganta. Los receptores del sabor se llaman papilas gustativas. Generalmente se acepta que hay únicamente cuatro sabores básicos. Las diferentes áreas de la lengua son más sensibles a sabores específicos: Lo dulce es detectado en la punta de la lengua, lo amargo que es detectado en la parte posterior de la lengua. Lo salado se detecta en la parte lateral anterior de la lengua y lo ácido/agrio se detecta en los bordes posteriores de la lengua. Sin embargo la percepción de las sensaciones se producen no solamente en la lengua y boca sino que también en las terminaciones nerviosas de la nariz. (Guyton – Hall 2004)

Se diferencia el sabor inicial del sabor residual que es la sensación que permanece después de tragar. Puede durar más de 30 segundos. El sabor residual es un aspecto importante del sabor de los alimentos y las bebidas. Los consumidores normalmente esperan un sabor fresco que no persista e interfiera con el consumo posterior. (Guyton – Hall 2004)

Frecuentemente, los sentidos humanos son capaces de detectar contaminantes a niveles tan bajos, que los instrumentos usados en una planta no son capaces de medir de una manera confiable. Por esta razón, uno de los pasos importantes en el control de calidad del producto terminado, es una evaluación rápida de su sabor. (Guyton – Hall 2004)

El procedimiento analítico para la verificación del sabor de la bebida es:

1. Verter la muestra en los vasos desechables.
2. Tomar el vaso en la palma de mano y girarlo suavemente (sin batirlo)
3. Acercar el vaso a la nariz, y oler la muestra.
4. Registrar cualquier olor percibido que esté fuera de especificaciones.
5. Probar la muestra.
6. Saborear la muestra con toda la superficie de la lengua.
7. Tragar la muestra y esperar diez segundos para permitir el desarrollo del sabor residual.
8. Registrar cualquier sabor fuera de estándar percibido.

Cualquier variante de sabor es rápidamente percibida por el consumidor que constantemente exige un producto de calidad, por lo que es vital verificar la calidad del agua con la que se elaboran las bebidas

carbonatadas ya que el agua es el principal componente de las mismas. El procedimiento para verificar si un agua carbonatada tiene o no buen sabor es por medio del valor de DOD asignado por un panel. (Pepsico 2004)

1. Explicación del Grado de Diferencia (DOD). La muestra se caracteriza por un valor general de Grado de Diferencia (DOD). El DOD se asigna en una escala de once puntos, del 0-10. Un valor de “ 0 ” indica que el panel no encontró ninguna diferencia entre la muestra y el control. Un valor de “ 10 ” significa que había una diferencia extrema entre la muestra y el control. (Un “10” es dado a todas las muestras que exhiben una diferencia extrema, pero algunos “10”s pueden ser diferentes de otros.) A todos los panelistas se les suministran referencias conocidas para establecer la escala en el mismo lugar para todos. Cada panelista es instruido para oler y degustar el Control (muestra patrón) primero, luego oler y degustar la muestra y asignarle un valor en la escala DOD. (Pepsico 2004)

Ilustración No 1: Parámetros DOD

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
No hay diferencia		Leve diferencia		Pequeña diferencia		Moderada diferencia		Gran diferencia		Extrema diferencia

(Pepsico 2004)

Para cualquier muestra con un valor DOD “ 2 ” o mayor, se solicita al panel seleccionar un descriptor a partir de una lista de descriptores. Estos descriptores no intentan indicar la causa del resultado, solo intentan describir el olor y sabor de la muestra. Los problemas precursores de sensorial pueden ser los siguientes: Sabor a algún químico, o a frutas, a metal, tierra húmeda, etc. A continuación se muestran en qué consisten estos problemas y cómo pueden originarse a partir de un mal tratamiento de agua. (Pepsico 2004)

a. Químicos. Esta es una categoría general que incluye una variedad de compuestos tales como solventes, agentes limpiadores e hidrocarburos. Puede incluir olores y sabores asociados con cloro, gasolina, plástico y azufre.

Un tratamiento de agua inadecuado no retira los residuales de los productos químicos utilizados. (Por ejemplo, el cloro es necesario para el almacenaje del agua, pero debe ser removido antes del proceso de llenado.) Las fluctuaciones bruscas de la demanda de agua pueden conducir a variaciones en la dosificación de los reactivos químicos ocasionando contaminación del agua tratada. (Pepsico 2004)

b. Frutas. El olor y sabor asociados a una mezcla de frutas no específicas tales como cerezas, manzanas / peras, frutas tropicales, melones y / o naranjas. La purificación inadecuada del agua puede producir “fruity off-notes”, algunas veces asociadas con productos metabólicos de procesos microbianos. (Pepsico 2004)

c. Metal. El olor, sabor y mouthfeel asociado con metales descrito por algunos como el sabor a clavos mohosos o sangre seca. Esto se puede originar por la falta de balance de los productos químicos utilizados en el sistema de coagulación que puede causar un sabor metálico. Por ejemplo, un arrastre de sulfato de aluminio o ferroso. También la corrosión de líneas y tuberías puede promover el contacto con superficies metálicas y, por lo tanto, ocasionar sabor metálico. Pero, sobre todo, se sabe que un tratamiento de agua inadecuado no eliminará los contaminantes metálicos tales como niveles altos de hierro, manganeso, cobre, zinc o sólidos totales disueltos. (Pepsico 2004)

d. Tierra húmeda. Es el olor y sabor asociados con vegetación húmeda, polvo y / o tierra, hongos / humedad, cartón mojado o libros viejos. Puede que el problema sea ocasionado porque el tratamiento inadecuado del agua no retire contaminantes (por ejemplo, el metil-isoborneol (MIB) el cual es derivado de productos del metabolismo microbiano relacionados con el sabor, tales como los que se encuentran en las algas); o que haya un mantenimiento deficiente de los lechos de carbón activado que facilite la contaminación en la bebida. (Pepsico 2004)

Como se observa, cada uno de los problemas de sensorial anteriormente descritos están estrechamente ligados con el tratamiento que tenga el agua previo a la elaboración de la bebida, por lo que resulta importante enfocarse en el sistema de tratamiento de agua que permita los mejores resultados sensoriales.

B. Acidez titulable de bebidas

Acidez titulable o AT se define como la concentración de acidez total proveniente de iones de hidrógeno libres más hidrógeno que está químicamente unido. El propósito de la acidez titulable es la medición del contenido total de ácido de una resolución muestra. Es usado como un indicador de dilución de la bebida terminada, cuando se preparan bebidas patrón con agua desionizada. Su determinación se hace mediante la titulación de la muestra con hidróxido de sodio a 0.1 N como titulante y fenolftaleína como indicador. (Skoog 1995)

Se debe tomar 100 mL de bebida cuya acidez titulable quiere ser conocida, y debe desgasificarse correctamente ya que cualquier residuo de CO₂ infla artificialmente el resultado. La muestra tomada debe

llevarse tan cerca como sea posible a 20 ° C (68 ° F) antes del análisis ya que desviaciones respecto a 20 ° C pueden afectar significativamente los resultados de AT. En caso de “Colas”, se debe añadir pocos mililitros de un agente inhibidor de pureza. Se mezcla la muestra hasta homogenizarla y se titula con hidróxido de sodio a 0.1 N hasta alcanzar un pH = 8.75. El volumen de hidróxido de sodio consumido equivale a la acidez titulable de la bebida. (Pepsico 2004)

C. AGUA

El agua constituye la mayor parte en volumen de una bebida carbonatada. Se dice que el 90 % de las bebidas carbonatadas regulares es agua mientras que para bebidas carbonatadas dietéticas es el 99 %. Por lo que desde el punto de vista normativo, el agua debe ser el ingrediente con controles más estrictos. Debe ser potable (segura) y debe tener buen sabor al beberla (palatabilidad) ya que puede impactar directamente el perfil sensorial y la estabilidad de los productos.

El agua cruda o sin tratar, el agua tratada que se utiliza para la producción de bebidas debe cumplir con todos los lineamientos y regulaciones locales. Algunos de los niveles máximos de constituyentes que puede contener el agua para la producción de bebidas gaseosas son:

Tabla No 1: Niveles máximos de constituyentes del agua

Alcalinidad	50 mg / L
Cloruro	250mg / L
Manganeso	0.05mg / L
Hierro	0.1 mg / L
Sulfato	250mg / L
Sólidos totales disueltos	500 mg / L
Turbidez	1 NTU
Color y olor	Ninguno

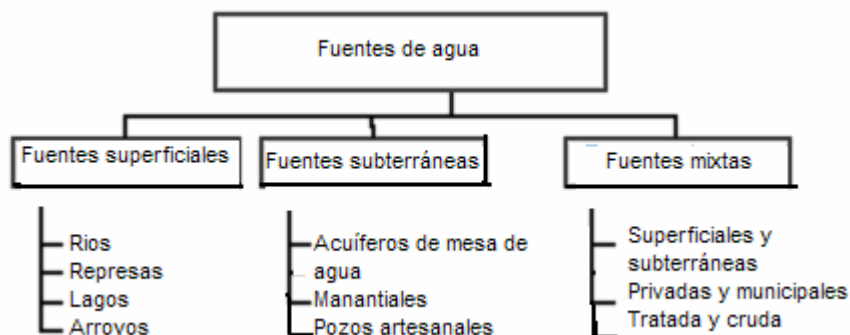
(Pepsico 2004)

NTU = Unidades nefelométricas de turbidez; una medida estándar de la turbidez de soluciones acuosas, basada en los principios de la nefelometría. Esto significa esencialmente que el detector de turbidez tiene detectores de luz dispersada colocada en ángulos de 90 grados al haz incidente. (Pepsico 2004)

El agua tratada debe ser absolutamente segura para beber, tanto química como microbiológicamente. Debe comprobarse que es sanitaria, es decir, que el análisis de bacterias coliformes totales debe ser 0 UFC / 100 mL, el de *E. coli*: 0 UFC/100 mL (UFC: unidades formadoras de colonias).

Si el agua puede disolver casi cualquier cosa hasta cierto punto, se puede pensar por un momento que la ruta que siguió el agua de lluvia antes de llegar a la fuente de agua de una planta fue que pasó a través de campos con abono, pesticidas y herbicidas, que fluyó a través de estacionamientos con fugas de aceite de autos y camiones, que pasó aeropuertos que usan combustible para jets y compuestos químicos para descongelar o que pasó por las chimeneas de las fábricas que descargan compuestos orgánicos volátiles al aire, etc. Por ello es vital un buen tratamiento del agua que se utiliza en el proceso de producción de una bebida carbonatada.

Tabla No 2: Diferentes fuentes de agua



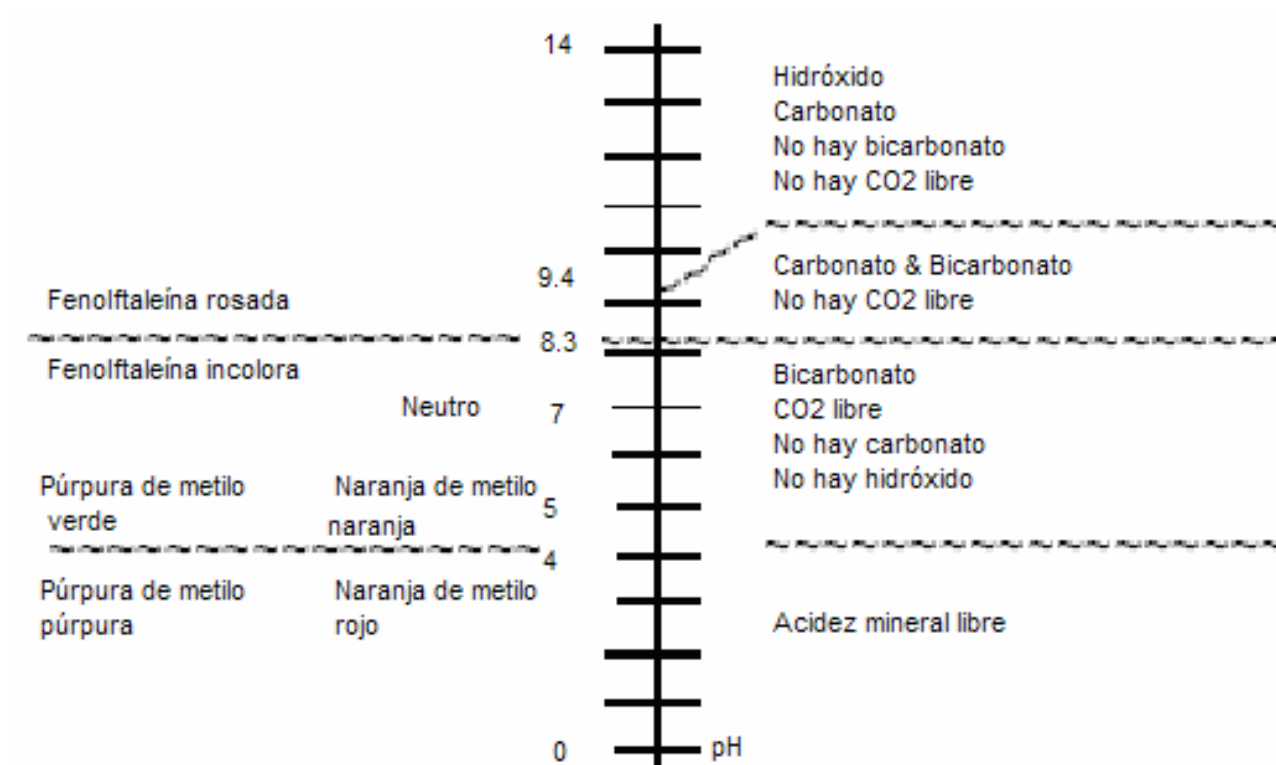
(Pesico 2004)

Puesto que las fuentes de agua son distintas entre sí se debe conocer tanto como se pueda acerca de las características químicas, físicas, microbiológicas, radiológicas del agua. Mundialmente, la calidad del agua es quizá la variable más importante al compararla con cualquier otro material asociado a las bebidas carbonatadas. A continuación se describen algunas de las impurezas que pueda contener el agua sin tratar.

1. **Alcalinidad.** Quizás el parámetro número uno y que más interesa en la industria de bebidas. La alcalinidad debe ser reducida a niveles menores a 50 mg / L porque neutraliza la acidez de las bebidas, disminuyendo su “picor” y haciéndolas más susceptibles al crecimiento microbiano. Como regla, cada 10 mg / L de alcalinidad en el agua disminuyen la acidez titulable (o AT) en 0.2 mg / L. (American Society 1994)

La alcalinidad se define como la suma de las concentraciones de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes en la muestra de agua. Su control es importante porque neutraliza la acidez de la bebida. Disminuye en 1.9 mL la Acidez titulable (AT) por cada 100 ppm de alcalinidad. (Pepsico 2004)

Ilustración No 2: Relación alcalinidad / pH



Hay tres tipos de alcalinidad: los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. Dos de estos no pueden coexistir como son: el bicarbonato y el hidróxido, razón por la que funciona un sistema de coagulación donde se fuerza un exceso de hidróxido, que no permite que exista bicarbonato. El carbonato no es muy soluble y precipita en el agua. Su determinación es muy importante porque los niveles altos pueden neutralizar la acidez de las bebidas, contribuye a los problemas microbiológicos en el mercado y el consumidor detecta características sensoriales indeseables. (American Society for testing and Materials 1994)

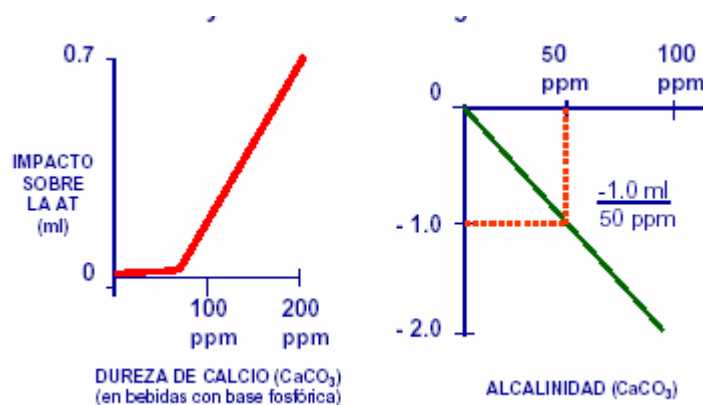
2. **Dureza.** Normalmente la dureza no preocupa tanto en el producto elaborado, sin embargo si no se disminuyen los valores de dureza la efectividad de los preservativos disminuye y el riesgo de descomposición aumenta. La dureza también puede aumentar el valor de AT, al medirlo con los productos que contienen ácido fosfórico. (American Society for testing and Materials 1994)

La definición formal de la dureza es su contenido de iones metálicos que reaccionan con jabones de sodio para producir jabones sólidos o residuos jabonosos y que reaccionan con iones negativos cuando se evapora agua en una caldera para producir incrustaciones sólidas. En términos más simples se dice que la dureza se describe por la concentración de iones calcio y magnesio expresada como carbonato de calcio. (American Society for testing and Materials 1994)

La alcalinidad y la dureza están siempre relacionadas cuando se trata del agua. Al igual que para la alcalinidad, hay varios tipos de dureza. Los cationes no pueden existir por sí solos y deben estar asociados con los aniones correspondientes. Si los aniones son bicarbonato y carbonato, la dureza es temporal. De lo contrario, la dureza no carbonática o permanente se forma de compuestos no carbonáticos y no bicarbonáticos de calcio y magnesio (cloruros, sulfatos). Si los aniones son cloruro o sulfato, la dureza es permanente porque no puede ser reducida por el tratamiento tradicional con cal hidratada (porque no hay carbonatos ni bicarbonatos para forzarlos a precipitar fuera de la solución). Las sales de cloruro y de sulfato son mucho más solubles. (American Society for testing and Materials 1994)

La dureza afecta el resultado del Análisis de Acidez Titulable (AT), pero no la acidez real de la bebida. Hay una diferencia crítica que se debe de entender, la alcalinidad reduce la acidez titulable neutralizando y disminuyendo el contenido real de ácido de la bebida lo que causa efectos sensoriales adversos muy importantes. Sin embargo la dureza aumenta el valor numérico de la Acidez Titulable pero no afecta realmente el contenido ácido de la bebida. No afecta el sensorial de las bebidas. La titulación real de la acidez titulable causa una reacción entre el titulante (hidróxido de sodio) y la dureza de calcio en el agua. Esta reacción forma un producto intermedio llamado fosfato tricálcico que puede a su vez liberar iones hidrógeno. Estos iones hidrógeno actúan como un ácido, que necesita entonces más titulante para la neutralización. (Pepsico 2004)

Ilustración No 3: La dureza y la alcalinidad del agua



(Pepsico 2004)

3. **Cloro.** El agua usada para producir las bebidas no puede tener absolutamente ningún cloro porque el cloro puede oxidar los sabores si está presente en el producto final. Esto es válido tanto para el cloro libre residual como para el cloro combinado residual (cloraminas). Los trihalometanos o THMs son un grupo de compuestos productos secundarios de la desinfección; esto significa que se forman como resultado de una reacción entre el cloro y la materia orgánica natural. (Lenntech 2005)

Existen tres tipos de cloro residual: cloro total, cloro libre o disponible y cloro combinado (cloraminas). Estos tipos de cloro se relacionan mediante la siguiente fórmula:

$$\text{“ Combinado ”} = \text{“ total ”} \text{ menos “ libre ”}$$

El cloro total es el cloro residual que puede medirse, que incluye al cloro libre o disponible y al cloro combinado. El cloro libre es responsable de las propiedades de oxidación y desinfección. El cloro combinado es la porción del cloro residual total que reacciona como cloraminas o cloraminas orgánicas (combinación de cloro y amoníaco). Tanto el cloro residual libre como las cloraminas pueden causar problemas sensoriales serios en las bebidas y debe estar ausente en el agua tratada o suavizada. (Lenntech 2005)

4. **Hierro.** La presencia no deseada de hierro en el agua tratada puede deberse a un exceso de coagulante ferroso o férrico en el agua, a un bajo pH que mantiene el hierro en solución o a una fuga de una tubería o de un equipo viejo. (Gutiérrez. M.G.Alonso; Arnaud. Viñas; Chávez.R 2004)

Para remover las impurezas de la fuente de agua, debe diseñarse un tratamiento de agua que permita tener agua de calidad. A continuación se detallará un poco más sobre los parámetros de alcalinidad, dureza, cloro y sólidos totales disueltos que son los parámetros que más afectan la acidez de una bebida carbonatada.

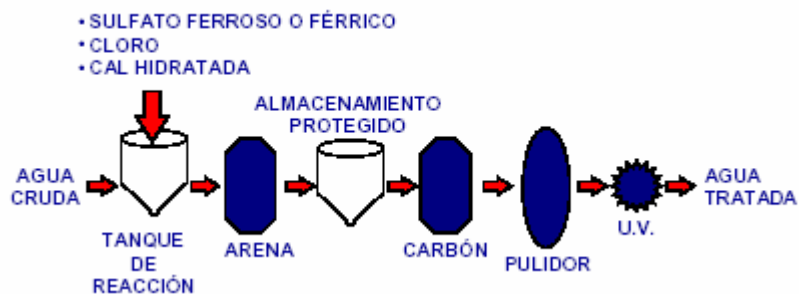
5. Sólidos Totales Disueltos (TDS). Representan todos los sólidos, principalmente sales inorgánicas disueltas en el agua. Se reconocen dos métodos de análisis El primero es el método gravimétrico, que incluye secado durante dos horas y después el pesaje del residual. El segundo es por conductividad. El análisis de TDS en el agua se ha constituido un parámetro analítico, fácil y rápido que ha sido relacionado con los atributos sensoriales del agua. (American Society for testing and Materials 1994)

D. TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUA

1. Sistema convencional: tratamiento de agua con cal. Para un tratamiento de agua con cal los reactivos se agregan al tanque de agua, se forma un flóculo, la alcalinidad se insolubiliza y permite que el flóculo y la alcalinidad se depositen en el fondo en forma de lodo. Este es el paso que marca la diferencia entre este tipo de tratamiento y un sistema de tratamiento de agua por membranización. (Pepsico 2004)

El tratamiento de agua por cal permite la remoción de alcalinidad y reduce el contenido de metales (hierro, manganeso, etc), reduce el color, muchos sabores y olores atípicos. Sin embargo, no reduce efectivamente los nitratos, cloruros, sulfatos y sodio ni los SDT. Promueve la formación de trihalometanos (THMs) y la formación de lodos.(Gutierrez. M.G.Alonso; Arnaud. Viñas; Chávez.R 2004)

Ilustración No 4: Diagrama de tratamiento de agua por un sistema convencional



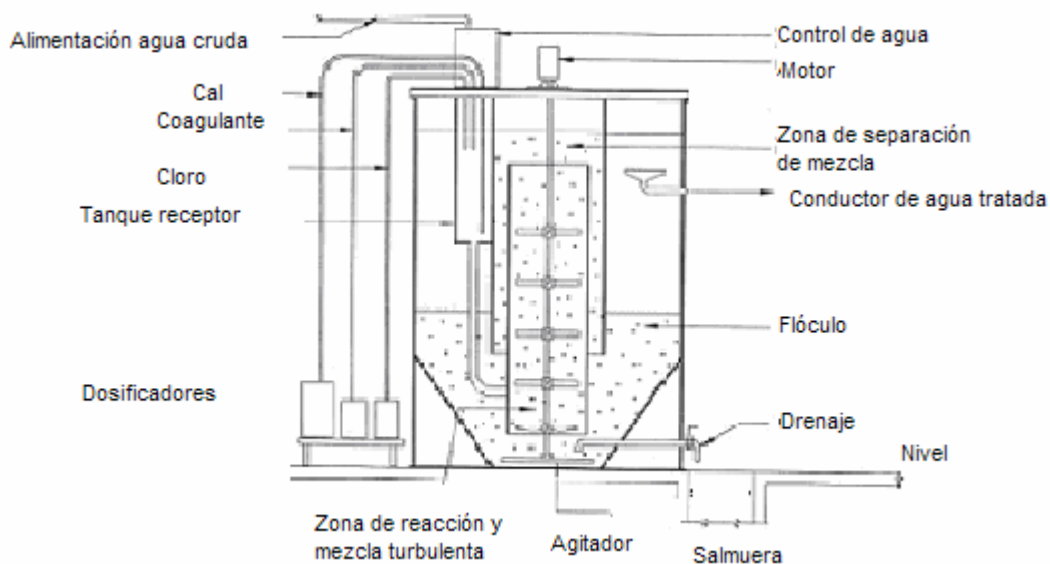
(Pepsico 2004)

El tratamiento de agua por un sistema de tratamiento convencional consta de un tanque de reacción donde se realiza la coagulación para eliminar la alcalinidad y dureza del agua y para la desinfección de la misma. Posteriormente se pasa por un filtro de arena y de carbón para eliminar los precipitados, el cloro, sabores, olores, etc. Posteriormente el agua se hace pasar por filtros pulidores para la eliminación de las partículas químicas más pequeñas y por último se hace pasar por un tratamiento de UV para desinfección microbiológica. (Pepsico 2004)

En el tanque de reacción se añaden tres compuestos: el coagulante (Sulfato ferroso), cloro para la oxidación y la desinfección (hipoclorito de sodio o de calcio) y un compuesto para aumentar el pH y mantener un exceso de alcalinidad de Hidróxido (cal hidratada) (Pepsico 2004)

Al mezclar los tres compuestos la alcalinidad de bicarbonato se insolubiliza convirtiéndose en carbonato. La alcalinidad del agua cruda, usualmente en forma de bicarbonato, se convierte en carbonato que se precipita fuera de la solución y se deposita en el fondo del reactor. Además se forma un flóculo que atrapa el carbonato de calcio, los sólidos suspendidos, el hierro y el manganeso oxidados y muchos otros contaminantes. Este flóculo aumenta de tamaño, se hace más pesado y ayuda a que las impurezas y la alcalinidad se depositen más rápidamente en el fondo del reactor (esta es la formación del “lodo” asociado con los sistemas convencionales). (Pepsico 2004)

Ilustración No 5: Tratamiento de agua con cal



(Pepsico 2004)

De ahí que se extrae el agua clara y limpia de la parte superior del tanque para pasar a otros pasos del tratamiento y se descargan los lodos del fondo del tanque para ser descartados. El agua debe alcanzar una alcalinidad entre 35 y 40 ppm, que debe estar libre de olores, colores, turbidez, metales y muchos compuestos orgánicos. (Pepsico 2004)

El reactor que constituye el primer paso en el tratamiento del agua se divide en seis partes:

- a. Tanque de mezcla / Zona de reacción
- b. Cámara de floculación
- c. Zona de asentamiento
- d. Recirculación de lodos (que con frecuencia es innecesaria)
- e. Descarga de lodos
- f. Recolección de agua tratada

La zona de mezcla o zona de reacción es la zona en donde se agregan inicialmente los compuestos químicos del tratamiento (cal, cloro y coagulantes) para promover las reacciones deseadas. Para garantizar una distribución uniforme de los reactivos se necesita una buena mezcla con el agua cruda y exposición de las partículas finas en suspensión al coagulante. Frecuentemente se recircula el lodo (entre 2 y 5 %) del lecho del reactor en el tanque de mezcla para iniciar el proceso de floculación. (Pepsico 2004)

El agua que sale del tanque de mezcla o zona de reacción entra en la cámara de floculación del tanque de reacción, en donde existe una agitación moderada para no tener un flujo turbulento, de manera de garantizar un contacto íntimo de los reactivos en esta zona para después movilizar el flóculo recién formado para que las partículas entren en contacto entre sí y con otros contaminantes en suspensión. El agua se debe mezclar por varios minutos de modo que puedan obtener flóculos grandes de mayor peso y densidad que permiten un fácil asentamiento de los mismos. (Pepsico, 2004; American Society for testing and Materials 1994)

El receptáculo de asentamiento debe estar diseñado de manera que el agua fluya hacia arriba en la sección de asentamiento, mientras las partículas floculadas precipitan hacia el fondo. La velocidad de ascenso del agua no debe ser superior a la velocidad de asentamiento de las partículas ya que la constancia en el flujo conduce a un asentamiento efectivo. (Pepsico 2004; American Society for testing and Materials 1994)

En la recirculación de lodos una porción del lodo en el fondo del receptáculo de asentamiento se recircula a la parte superior del tanque de mezcla mediante el uso de una bomba de aire para levantar el lodo. Esta recirculación de lodos mejora la floculación mediante la siembra, proceso que involucra la producción de partículas más grandes que van a precipitar más fácilmente. La recirculación de lodos es importante en el tratamiento de aguas crudas con concentraciones bajas de bicarbonatos debido a que el hidróxido férrico es ligeramente más liviano, se formará un flóculo menos denso que se asentará menos fácilmente que un flóculo

rico en carbonato de calcio. La cantidad de recirculación de lodos depende de la calidad del agua que está entrando, del desarrollo del sistema y de las prácticas de tratamiento químico. (Pepsico 2004)

Para mantener un lecho con la profundidad adecuada y la calidad del agua efluente, se utiliza periódicamente una válvula de descarga para descargar los lodos.

Finalmente, el agua que se rebosa se trata por filtración, bien sea por gravedad o en filtros presurizados. La función primaria es la remoción de partículas de flóculo que puedan haber sido arrastradas desde el tanque de reacción. En muchas ocasiones, el tanque de reacción es seguido por un filtro de arena, luego el agua es clorinada, almacenada en un tanque de agua tratada, luego pasa por carbón activado, pulida y finalmente por UV. Esto permite que todo lo anterior al tanque de almacenamiento sea más pequeño en tamaño para que la operación sea continua. En el agua final del tratamiento debe haber ausencia de flóculo arrastrado y debe ser clara e incolora. (Pepsico 2004)

Puede parecer irónico que para reducir la alcalinidad y la dureza tengamos que agregar un producto, la cal, que contiene tanto alcalinidad como dureza. La cal reacciona con el agua cruda convirtiendo las sales solubles de dureza y alcalinidad en sales insolubles que precipitan. Esto es, convierte los bicarbonatos en carbonatos. El flujo de alimentación de la cal debe ser tal que reduzca la alcalinidad a un nivel entre 35-40 mg / L, expresado como carbonato de calcio. (Pepsico 2004)

2. Sistema de tratamiento de agua por membranización. La tecnología de membranas se basa en el movimiento de un soluto o un solvente a través de una membrana con permeabilidad selectiva. Los mecanismos de separación son: exclusión por tamaño (tamizado), difusión, repulsión de cargas. Antes de abordar más a fondo el tema de tratamiento de agua por membranización cabe definir soluto y solvente. El soluto es el componente de una solución que se disuelve. El solvente es el vehículo en el cual se disuelve el soluto. Así, la solución está formada por el soluto más el solvente. (Mc Cabe 1991; Méndez 2005)

Todos los procesos de membrana pueden compararse discutiendo el movimiento de un soluto a través de una membrana de permeabilidad selectiva. Esto significa que la membrana, en función a su construcción, permite el paso de ciertos elementos y de otros no. La mayor parte de los procesos de membrana incluyen la combinación de los tres mecanismos previamente mencionados.

Para todos los procesos de membrana, el flujo de entrada a la membrana se le llama alimentación y para los procesos con membranas con poros más pequeños el agua efluente purificada se le llama perneado. El torrente de material descartado se le llama concentrado o salmuera. (Mc Cabe 1991; Méndez 2005)

A continuación se muestran las características del agua que se pueden obtener a partir del tratamiento por membranización.

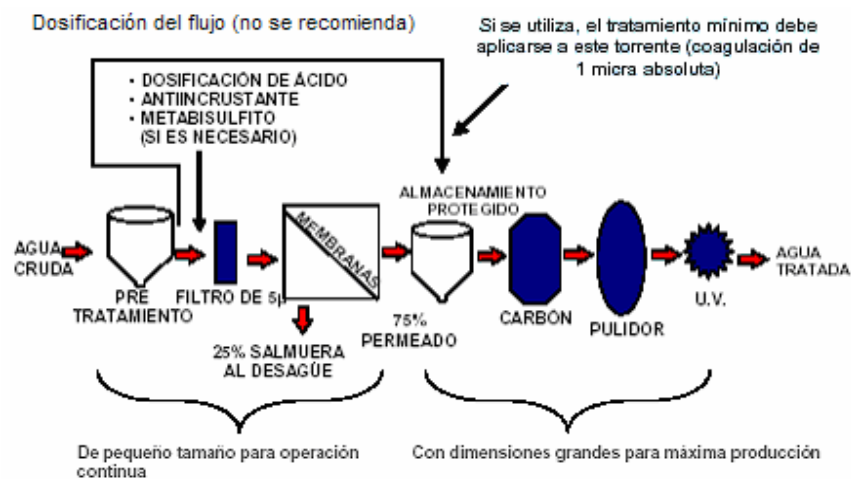
Tabla No 3: Comparación de los procesos de membranas

Componente	Osmosis inversa	Nanofiltración
Alcalinidad	95 a 98%	50 a 70%
SDT	95 a 98%	50 a 70%
Partículas	Cerca de 100%	Cerca de 100%
Materia orgánica	mayoría >100 PM	mayoría >200 PM
Precusores de THM	90+%	90+%
Sodio	90 a 99%	35 a 75%
Cloruro	90 a 99%	35 a 60%
Dureza	90 a 99%	50 a 95+%
Sulfato	90 a 99%	70 a 95+%
Nitrato	90 a 95%	20 a 35%
Protozoarios	Cerca de 100%	Cerca de 100%
Bacterias	Cerca de 100%	Cerca de 100%
Virus	Cerca de 100%	Cerca de 100%
Presión operativa	200 a 450 psi	100 a 200 psi

(Osmonics 2005)

El proceso más cercano al tratamiento de coagulación convencional con cal es la nanofiltración y proporciona el beneficio agregado de reducir los iones monovalentes (como el sodio), aunque de manera limitada.

Ilustración No 6: Proceso de tratamiento de agua por membranización



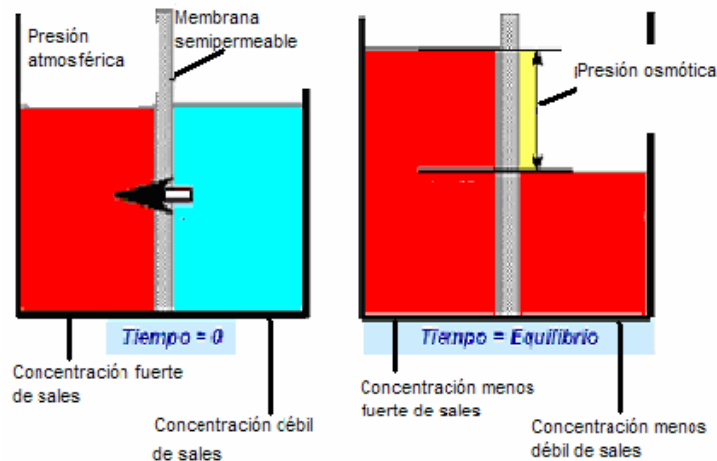
(Pepsico 2004)

El agua que se descarta del equipo de membranas se puede utilizar para los servicios de la empresa. Los puntos críticos a considerar son la calidad del agua cruda y el desarrollo del pretratamiento. El pretratamiento es crítico para la protección de las membranas.

a. Ósmosis inversa. Antes de abordar el tema de tratamiento de agua por ósmosis inversa se debe entender el concepto de ósmosis, que se describe por el flujo espontáneo del agua desde una solución menos concentrada hacia una solución más concentrada a través de una membrana semipermeable hasta lograr el equilibrio energético. (Pepsico 2004; Méndez 2005)

La ósmosis es un fenómeno natural por medio del cual el agua se difunde desde el lado de baja concentración de la membrana hacia el lado con alta concentración en un proceso para igualar las concentraciones en ambos lados. Y la presión osmótica es la presión ejercida sobre una solución como resultado de la ósmosis.

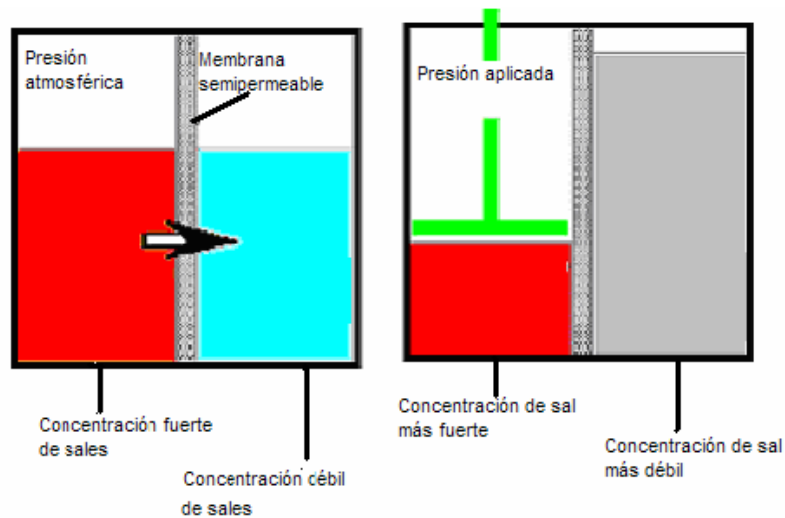
Ilustración No 7: Ósmosis



(Osmonics 2005)

En la ósmosis inversa se aplica una presión mayor que la presión osmótica al lado con mayor concentración de sales; de esta manera se invierte el flujo osmótico. El agua fluye a través de la membrana en sentido opuesto al descrito en la ósmosis. El agua es empujada desde las áreas de baja concentración de soluto hacia el lado con alta concentración, dejando un torrente de agua descartada muy concentrada.

Ilustración No 8: Ósmosis inversa



(Osmonics 2005)

La ósmosis inversa y los procesos asociados involucran la aplicación de presión a una membrana con permeabilidad selectiva. Esto obliga al agua purificada a pasar a través de la membrana y a separarse de las impurezas. A partir de este tipo de tratamiento se puede eliminar entre el 95-99+% de la mayor parte de inorgánicos, orgánicos de tamaño mediano a grande, turbidez, color, algunos compuestos activos sensorialmente, partículas en suspensión, coloidales y microorganismos. (Pepsico 2004)

Ilustración No 9: Ósmosis inversa: resumen del proceso



La ósmosis inversa usa filtración de flujo cruzado, en donde el agua de entrada fluye en ángulo recto respecto a la membrana evitando que se depositen partículas sobre la superficie de la membrana. Cuando se aplica la presión, el agua pasa a través de la membrana semipermeable mientras la mayor parte de las impurezas del agua es rechazada por la membrana. Se obtiene así el permeado de muy alta calidad casi totalmente libre de orgánicos y minerales. (Pepsico 2004)

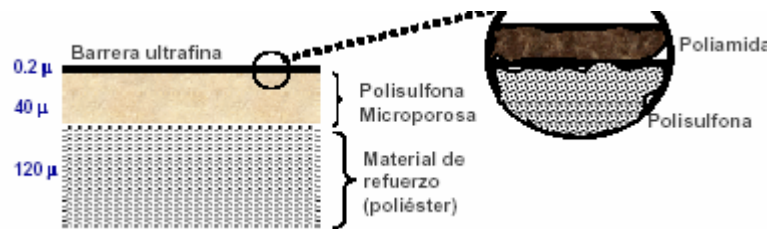
Entre las ventajas de la ósmosis inversa respecto al tratamiento de agua por cal es que reduce en mayor cantidad los sólidos totales disueltos, no genera lodos, la salmuera puede ser utilizada para otra aplicación, menor uso de reactivos a largo plazo. Sin embargo la ósmosis inversa tiene como desventajas que el 25% del agua que entra se rechaza y no es útil para la producción de bebidas, que los costos operativos son mayores que los del tratamiento con cal y que el agua debe ser pretratada. (Pepsico 2004)

Los pretratamientos de ósmosis inversa (OI) normales se enfocan a la filtración, eliminación de cloro y estabilización química. El cloro residual degrada las membranas, por lo que la adición de metabisulfito de sodio previo al tratamiento de la ósmosis inversa es necesario. Aunque en el caso particular de las membranas de acetato de celulosa, se requiere el uso de niveles bajos de cloro para evitar la degradación microbiológica de las mismas. También el filtro pulidor representa una protección adicional para el sistema de OI contra partículas de contaminantes. Las unidades de UV son normalmente parte del pretratamiento para reducir la contaminación microbiológica de las membranas de ósmosis inversa. (Pepsico 2004)

La membrana de un sistema de separación de impurezas no detectables al ojo humano se describe por el material con permeabilidad selectiva, de origen natural o sintético sofisticado con distribución controlada de poros. Existen membranas de acetato de celulosa, de poliamidas, poliamidas aromáticas, de electrodiálisis. La selección de dichas membranas se hace de acuerdo a los rangos de temperaturas y pH de operación. (Pepsico 2004)

La permeabilidad selectiva de la membrana, indica que la membrana debido a una variedad de factores químicos y físicos permite el paso de ciertos compuestos y no de otros, razón por la que la mayor parte de los contaminantes no puede atravesar la membrana y son rechazados. Por ejemplo, las membranas de electrodiálisis selectivamente permeables a los iones. (Pepsico 2004)

Ilustración No 10: Membranas de la ósmosis inversa



(Pepsico 2004)

La película fina consiste en una barrera de material de rechazo de una composición apoyada por un refuerzo microporoso y capas de soporte de diferentes composiciones.

Tabla No 4: Comparación entre membranas

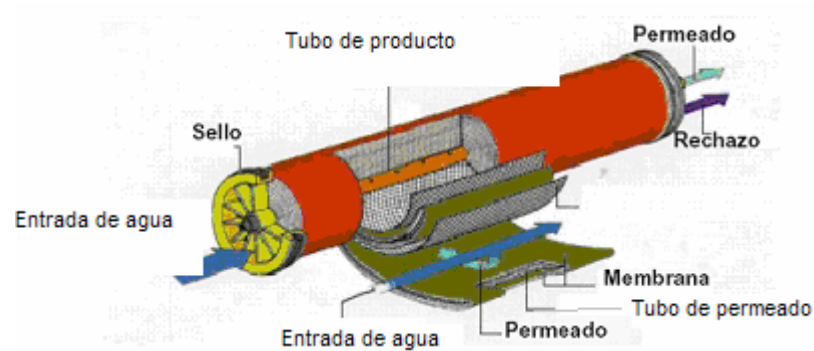
Parámetro	Acetato de celulosa	Poliamida	Compuesto de película fina
Rango de pH de operación	4 – 8	1 - 11	1 -12
Tolerancia al cloro libre, mg / L	0.2 a 1.0	0	0.0 o ligeramente mayor
Resistencia a las bacterias	Muy baja	Muy alta	Muy alta
Rechazo total %	90 – 99	95 – 99	95 a 99 +
Turbidez, NTU	<1	<1	<1
Temperatura de operación, °C	4 – 30	4 – 30	4 – 30
Expectativa de vida en años	3	5	5
Costo de la membrana	Medio	Alto	El más alto

(Pepsico 2004)

En esta tabla se comparan los materiales que forman las membranas en lo que respecta a sus características operativas: Acetato de celulosa, poliamida y compuesto de película fina. Quizás el hecho más notable es que las membranas de acetato de celulosa son biodegradables y consecuentemente tienen muy poca resistencia al ataque bacteriano. Como resultado necesitan niveles bajos de cloro para protegerlas. Esto es justamente lo opuesto para el caso de las de compuesto de película fina y las de poliamida, que son muy sensibles al ataque del cloro y otros oxidantes y que requieren la eliminación de cloro.

Además, las membranas de acetato de celulosa están sujetas a la descomposición hidrolítica, de manera que tienen un rango operativo de pH mucho más estrecho que los otros tipos de membrana. Finalmente, las membranas de acetato de celulosa tienen normalmente rechazos menores que las de compuesto de película fina y las de poliamidas; esto puede verse como una desventaja (cuando se necesita agua muy pura) o una ventaja (cuando se desea un nivel de sólidos disueltos totales algo más elevado). (Pepsico 2004)

Ilustración No 11: Membrana en espiral



(Osmonics 2005)

La entrada de agua es alrededor del tubo interno de producto. Esta agua de alimentación pasa a través de los elementos arrollados en espiral y el agua purificada es empujada a través de las membranas y recogida en el tubo central de producto; entonces, se libera como producto. (Osmonics 2005)

La siguiente ilustración muestra la “esfera o radio de hidratación” del sulfato. Una unidad de sulfato se orienta con seis unidades de agua para hidratarse completamente. Esta esfera de hidratación aumenta efectivamente el tamaño físico del ión disuelto (sulfato), facilitando su rechazo por parte de la membrana. Se debe diferenciar entre el rechazo de la “membrana” y del sistema. Es un error suponer que, por ejemplo una membrana con rechazo de 99%, va a eliminar el 99%, de los sólidos disueltos del agua de entrada ya que se debe considerar el factor de concentración como se observa en la ilustración y mostrar que el rechazo del sistema está basado en la remoción del promedio de concentración del sistema, que es mucho mayor que el flujo de entrada.

Ilustración No 12: Solubilización de una partícula de sulfato



(Pepsico 2004)

El rechazo de la membrana es constante; la concentración promedio aumenta como se muestra en la ilustración y esto trae como resultado un menor rechazo del sistema al aumentar la recuperación. (Pepsico 2004)

Uno de los problemas más importante que presenta la ósmosis inversa es la incrustación de la membrana causada por el aumento en la concentración de sales por encima de su nivel de saturación.

b. Nanofiltración. Proceso impulsado por la presión a través de una membrana semipermeable. La nanofiltración es conocida también como el tratamiento de suavizamiento por membrana u ósmosis inversa de baja presión. La nanofiltración permite la remoción de orgánicos de tamaño mediano a grande, la reducción de la alcalinidad. Es un método utilizado cuando se necesita una reducción limitada de la alcalinidad pero se requiere pasar todo el flujo a través de una membrana. Permite también la reducción de la dureza (membranas suavizadoras), el rechazo de inorgánicos. (Pepsico 2004)

III. JUSTIFICACIÓN

Satisfacer las demandas de los clientes es una necesidad cada vez mayor, por lo que proporcionar una bebida carbonatada de sabor agradable es vital e indispensable para una fábrica productora de bebidas gaseosas. Por ello es necesario enfocarse en el principal precursor de sensorial, la acidez titulable que se ve directamente afectada por el agua con la que se prepara la bebida. Es importante entonces la determinación del sistema más apropiado para tratar el agua, principal componente de la bebida, y su desarrollo, y los demás factores que afecten la acidez del producto elaborado de modo que se pueda elaborar una bebida de acidez y sabor agradables.

IV. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar un sistema de tratamiento de agua para la elaboración de bebidas carbonatadas a partir de un estudio de la variabilidad de acidez en bebidas gaseosas con agua tratada con cal y agua tratada por membranización y su impacto sensorial, de modo que se obtenga una bebida carbonatada de acidez y sabor agradables al consumidor.

B. Objetivos específicos

1. Determinar los componentes que afectan la acidez de una bebida carbonatada elaborada a partir de agua tratada con cal.
2. Determinar los componentes que afectan la acidez de una bebida carbonatada elaborada a partir de agua tratada por membranización.
3. Hacer un análisis comparativo del impacto en la preferencia del consumidor en función de la acidez de las bebidas carbonatadas colas elaboradas a partir de diferentes sistemas de tratamiento de agua.
4. Diseñar un sistema de tratamiento de agua para la obtención de agua tratada por membranización como método sustitutivo del tratamiento de agua con cal.
5. Determinar el costo de inversión y de mantenimiento del equipo de membranas en el tratamiento de agua para la elaboración de bebidas carbonatadas.

V. PROBLEMA A RESOLVER

La elaboración de una bebida carbonatada puede llevarse a cabo a partir de agua tratada que cumpla con las especificaciones y rangos establecidos de los parámetros fisicoquímicos. Sin embargo, por la variabilidad de procesos de tratamiento de agua que existen, se encuentra una leve diferencia en el sabor de las bebidas preparadas a partir de dichos sistemas de tratamiento.

El consumidor percibe la diferencia en el sabor de las bebidas y se inclina a consumir las bebidas elaboradas a partir de agua tratada por sistema de membranización. Puesto que el corazón de una empresa es el cliente, se diseña entonces el sistema de tratamiento de agua que permita elaborar una bebida gaseosa que satisfaga en su totalidad las demandas del cliente.

VI. METODOLOGÍA

La base de este estudio radica en la observación del consumo y preferencias del consumidor quien decide qué bebida comprar.

Junto con la observación figuran los análisis técnicos y estadísticos de la acidez titulable de la bebida que es el precursor del sensorial.

De los análisis técnicos se llevan a cabo titulaciones ácido – básicas, determinación de dureza, alcalinidad, sólidos totales disueltos, y demás parámetros fisicoquímicos que afecten la calidad del agua.

De los análisis estadísticos se hacen comparaciones y correlaciones de los valores obtenidos de acidez titulable y resultados de sensorial con el fin de determinar cuál método es el que proporciona mejores resultados del punto de vista del consumidor.

Tomando como base una misma presentación de la bebida , vidrio, y un mismo sabor, cola, y los valores de acidez de las bebidas se determina el grado en que cada uno de los sistemas de tratamientos de agua impacta en el sensorial de la bebida. Los resultados de acidez se obtienen a partir de titulaciones de un volumen conocido de bebida (100 mL) con hidróxido de sodio a 0.1 N utilizando fenolftaleína como indicador, y llevando la muestra hasta un pH igual a 8.5. El volumen consumido de base equivale a la acidez de la bebida muestra.

En congruencia con las acciones previamente tomadas, se diseña un sistema de tratamiento de agua a partir de cuestionamiento dirigido y recopilación de información para determinar los parámetros de desarrollo.

VII. RESULTADOS

Los siguientes resultados se presentan para el estudio de la elaboración de bebidas colas estándar que contiene: Agua carbonatada, azúcar, color caramelo, ácido fosfórico (como acidulante), cafeína (como acentuador del sabor) y sabores naturales.

Tabla No 5: Desarrollo de un sistema de agua tratada por membranización

Equipo a utilizar		Ósmosis Inversa
Membranas	Material	Poliamida
	Cantidad	72 membranas
	Disposición	6 membranas / housing
	Porosidad	$10 \times 10^{-10} \text{ m}$ y 1.0×10^{-10}
	Alto	$40 \times 10^{-2} \text{ m}$
	Diámetro	0.20 m
Housing	Largo de housing	2.60 m
	Número de housing	12 housings
Tubería de alimentación		Policloruro de Vinil (PVC)
Tubería de producto permeado		Acero Inoxidable
Equipo de medición		Manómetros, Termómetros, Flujómetros, pH
Bomba centrífuga		75 HP
Desincrustante		Ácido Cítrico y Bifluoruro de amonio
Flujo volumétrico de alimentación		30 L / s
Flujo volumétrico de agua permeada		22 L / s
Flujo volumétrico de agua concentrada		8 L / s
Porcentaje de recuperación		73.33 %
Porcentaje de rechazo de sales		95.7 %

Tabla No 6: Inversión inicial en la instalación del equipo de ósmosis inversa

Equipo		Precio	
Equipo de ósmosis inversa (Incluye bomba de KW)		Q 2,079,660.00	
Instrumentación del equipo	Manómetros	Entrada de agua	Q 210.00
		Después de desairear	Q 210.00
		Agua permeada	Q 210.00
		Agua concentrada	Q 210.00
		Entrada de la bomba	Q 210.00
		Salida de la bomba	Q 210.00
	Válvulas	Agua permeada	Q 145.00
		Agua concentrada	Q 145.00
		Hidráulica	Q 645.00
	Membranas	Poliamidas	Q 1180.00 / membrana
	72 membranas en total		Q 84,960.00
	Sensores	pH	Q 571.00
		Cloro	Q 410.00
		Flujo volumétrico	Q 660.00
		Temperatura	Q 140.00
	Costo total		Q 2,300,000.00

Tabla No 7: Costo de mantenimiento del equipo de ósmosis inversa

Sanitización	AK 400	Q 145.00 / L
Desincrustación	Ácido cítrico	Q 44.00 / L
PTP		Q 69.00 / L
Precio por mantenimiento		Q 3,217.00

Por mantenimiento se utilizan 4 L de AK 400 para sanitizar el equipo, 27 L de ácido cítrico para desincrustarlo y 21 L de PTP para eliminar el Sílice.

Tabla No 8: Rentabilidad de la implementación del equipo de ósmosis inversa

Tasa interna de retorno al décimo mes de producción	30 %
Punto de equilibrio	sexto mes de producción

Ilustración No 13: Acidez titulable de colas elaboradas a partir de agua tratada con cal

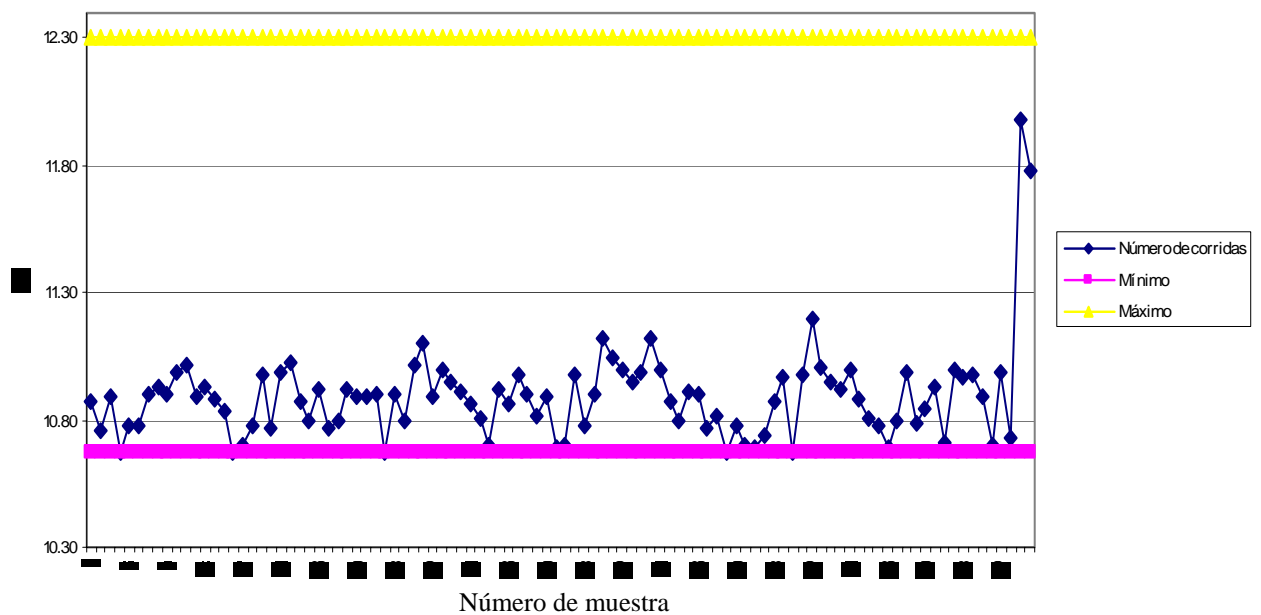


Tabla No 9: Acidez titulable de una bebida cola y parámetros químicos que la afectan, sistema de tratamiento con cal.

	Tratamiento de agua con cal		
	Valor mínimo	Valor máximo	Media
Acidez titulable de la bebida	10.5	11.98	10.89
Alcalinidad del agua	35	36	35.33
pH del agua	8.85	8.94	8.895
Dureza total del agua	19	21	20.26
Sólidos totales disueltos del agua	10	12	11.51

Acidez titulable o AT se define como la concentración de acidez total proveniente de iones de hidrógeno libres más hidrógeno que está químicamente unido

Ilustración No 14: Acidez titulable de bebidas colas elaboradas a partir de agua tratada por membranas

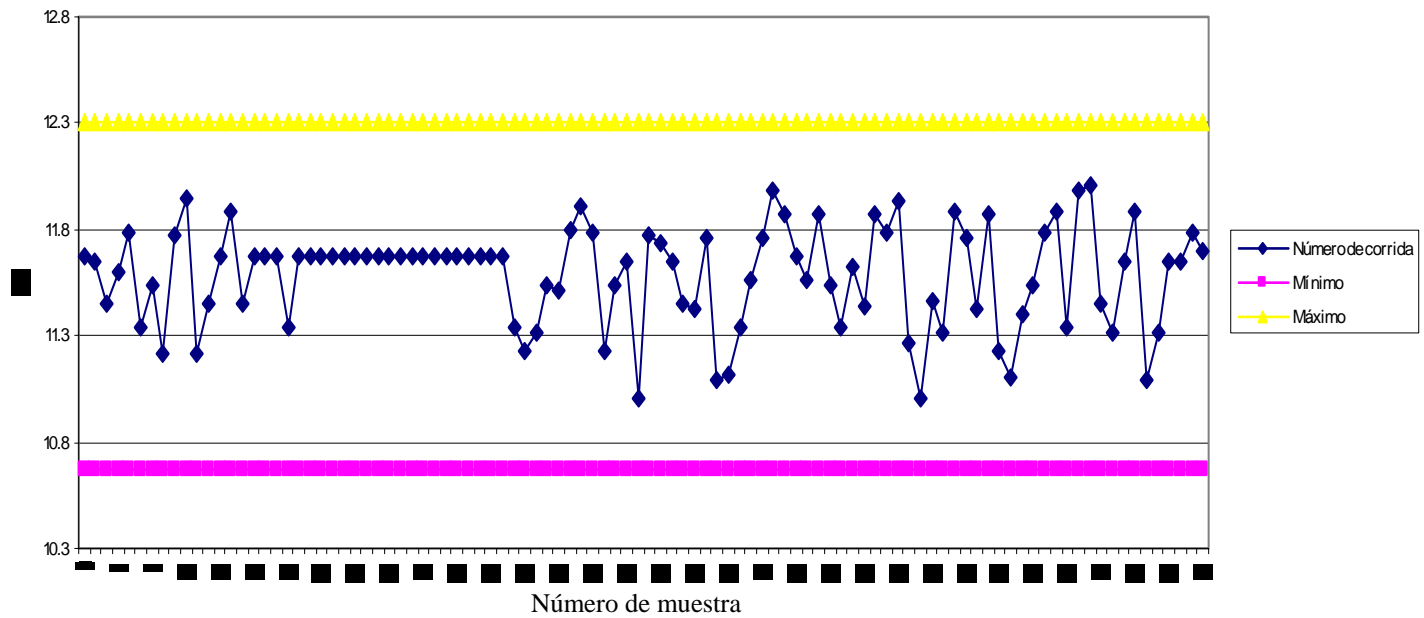
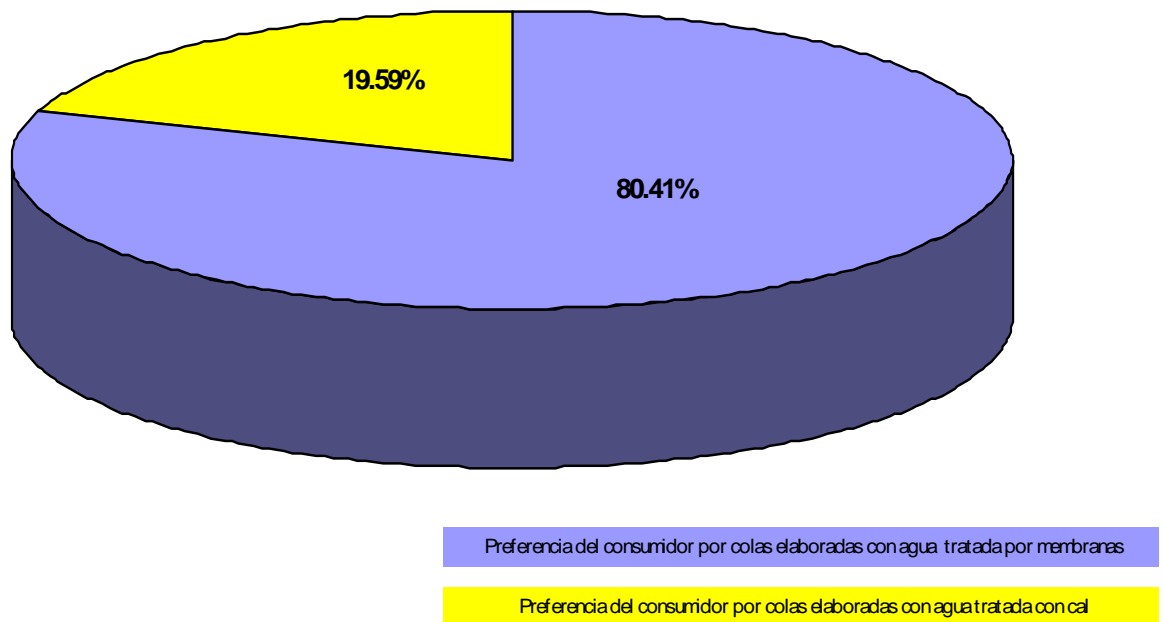


Tabla No 10: Acidez titulable de una bebida cola y parámetros químicos que la afectan, sistema de tratamiento por membranización.

	Tratamiento de agua por membranización		
	Valor mínimo	Valor máximo	Media
Acidez titulable de la bebida	10.98	12.1	11.58
Alcalinidad del agua	4	6	5.29
pH del agua	6.8	6.92	6.9
Dureza total del agua	13	17	15.31
Sólidos totales disueltos del agua	6	9	7.86

Acidez titulable o AT se define como la concentración de acidez total proveniente de iones de hidrógeno libres más hidrógeno que está químicamente unido

Ilustración No 15: Preferencia del consumidor en colas elaboradas a partir de distintos tratamiento de agua. Análisis sensorial.



VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El estudio sensorial de bebidas carbonatadas, en este caso el estudio limitado a colas, elaboradas a partir de distintos tratamientos de agua refleja la preferencia del consumidor. El 81 % de las personas que hicieron el análisis sensorial optaron por que la bebida de mejor sabor estaba elaborada a partir de agua tratada por un sistema de membranización, mientras que el 19 % votó a favor de la bebida elaborada a partir de un sistema de tratamiento de agua convencional, ver ilustración No 15 página 29.

Al analizar el agua tratada obtenida a partir de membranización y de coagulación se establecen claramente los parámetros químicos que podrían marcar la diferencia en el sabor de una bebida y la otra. Estas variables químicas, la alcalinidad, la dureza total, los sólidos totales disueltos (TDS) y el pH, se correlacionan todas por la misma tendencia a la acidez. La dureza total se excluye de este análisis de datos ya que, en efecto modifica la acidez de una bebida; sin embargo no afecta realmente el contenido ácido de la bebida, por lo que no afecta entonces el sensorial de la misma. Hacer referencia en la sección de Antecedentes, página 8

En el caso del agua tratada por membranización todas las variables químicas son numéricamente menores que las mismas para el agua tratada con cal, lo que repercute en que la acidez de la bebida elaborada a partir del primer sistema citado es mayor que la del segundo, tablas No 9 y No 10, páginas 27 y 28. Se dice entonces que la relación entre cada uno de los parámetros químicos es inversamente proporcional a la acidez titulable de una bebida. El agua de menor alcalinidad, de menor número de TDS, y de menor pH hace que la acidez de la bebida sea mayor. Una bebida carbonatada con mayor acidez produce mayor satisfacción en el consumidor por lo que el sistema de tratamiento de agua que satisface mejor las necesidades del consumidor es el de membranización.

El sistema de membranización conformado por un equipo de ósmosis inversa permite que la alcalinidad disminuya en 94.90 %, según los datos experimentales, y refleja que el sistema es altamente efectivo para eliminar la mayoría de los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos que influyen negativamente en el sensorial de una bebida. La alcalinidad es eliminada casi en su totalidad, por lo que al medir el grado de acidez de la bebida se mide realmente la acidez de la bebida, de los compuestos ácidos que la componen. El picor de la bebida percibido por el consumidor es lo que realmente se refleja en la medición de la acidez titulable. Al comparar este método con el de tratamiento por cal se ve claramente la diferencia abismal existente entre los métodos en cuanto a la efectividad en remover la alcalinidad del agua. El tratamiento de agua con cal logra reducir únicamente el 63.19 % de la alcalinidad. Cabe mencionar que la diferencia entre las alcalinidades del agua de alimentación de los métodos es despreciable, 2 ppm, y que el análisis se basa en la efectividad de mover los componentes químicos que afectan el sensorial de una bebida, por lo que el método porcentual se

constituye como el factor de análisis.

La alcalinidad del agua tratada con cal es alta respecto a los límites superiores permisivos para la elaboración de una bebida carbonatada. Si bien es cierto que los valores de alcalinidad se encuentran dentro del rango de aceptación, tabla No 1, página 5, la bebida no cumple con la mejor calidad de manera que el sensorial de la bebida se ve afectado. De acuerdo con la teoría una bebida con mayor alcalinidad tiende a disminuir la acidez de la misma, ya que ésta neutraliza la acidez de las bebidas, disminuyendo su picor.

El pH y la alcalinidad del agua están estrechamente ligadas, a mayor alcalinidad mayor es el pH. La relación entre las variables es directamente proporcional por lo que la propiedad de pH es también inversamente proporcional a la acidez de la bebida. Al disminuir entonces la alcalinidad se disminuye el pH del agua. A pesar que la alcalinidad del agua disminuye en ambos sistemas de tratamiento, el pH disminuyó para el agua tratada por ósmosis inversa, pero aumentó para el agua tratada con cal. Este hecho contradictorio se puede explicar porque el tratamiento convencional no redujo efectivamente los nitratos, bicarbonatos, carbonatos, cloruros y sodio. El uso de la cal hace que el pH aumente de modo que el agua efluente del tanque reactor es más básica que el agua de alimentación. Este aumento en el pH hace que la bebida se neutralice y disminuya la acidez titulable de la bebida que se refleja negativamente en el sensorial de la misma. Se puede entonces concluir que el sistema de membranización permite un mejor control del pH en la bebida que el sistema convencional.

Ambos sistemas de tratamiento de agua permiten una reducción efectiva del número de sólidos totales disueltos, como se muestran en las tablas No 9 y No 10 anteriormente mencionadas. La diferencia entre ambos sistemas es mínima, 2.14 % por lo que se descarta este parámetro del análisis, ya que su impacto en el sensorial de la bebida es similar.

La ilustración No 13 en la página No 27 ilustra los valores de acidez titulable obtenidos de las bebidas elaboradas a partir de agua tratada con cal. Se puede apreciar que los valores de acidez están cercanos al valor inferior del valor mínimo establecido, lo que hace que la acidez de las bebidas sea menor. En el extremo derecho de la ilustración se observa un pico, que revela un valor fuera del rango de donde se encuentran los demás valores, no obstante el pico no sale de los rangos de acidez establecidos. El pico sin duda fue ocasionado por una irregularidad en el proceso de medición de la acidez titulable.

La ilustración 14 de la página No 28 muestra como, su nombre lo indican, los valores de acidez titulable obtenidos de las bebidas elaboradas a partir de agua tratada por membranas. Tal y como se aprecia los valores quedan dentro del rango de acidez 10.5 y 12.3 , tomando valores muy cercanos a la media de este intervalo. Rápidamente se puede concluir que las bebidas, de este estudio, deberían de ser de preferencia al consumidor por el rango de acidez obtenido.

La ilustración No 15, página 29, muestra la preferencia del consumidor en beber una gaseosa elaborada con agua tratada a partir de un sistema de tratamiento por membranas que una elaborada a partir de un sistema de tratamiento con cal. Es marcada la preferencia en el consumo de la bebida por lo que es de vital importancia considerar el tratamiento del agua mediante un equipo de membranas, para así acceder a la elección del consumidor.

El estudio entonces recae en la importancia de la alcalinidad en la bebida, que se constituye como el factor de decisión para el desarrollo del sistema de tratamiento de agua que mejor satisfaga las necesidades del consumidor. Como se mencionó anteriormente este sistema es el de membranización, utilizando un equipo de alta tecnología como lo es el de ósmosis inversa. Además de su alta efectividad para reducir la alcalinidad del agua, la ósmosis inversa permite también la reducción de casi el 100 % de materia orgánica, de sodio, cloruro, sulfatos, nitratos, protozoarios, etc.

Considerando la ilustración No 6, página 14 del sistema de tratamiento por membranización el agua debe ser pre tratada para cuidar la integridad de las membranas. Los principales factores que afectan directamente las membranas son los elementos incrustantes y los microorganismos, por lo que el pre tratamiento debe garantizar la eliminación de éstos. Por ser Guatemala un país con alta actividad volcánica, los suelos son ricos en sílice, elemento incrustante. Por lo que es indispensable considerar que el sílice debe ser eliminado previamente a la entrada del agua a la ósmosis inversa. El PTP reacciona con el sílice removiéndolo del agua que posteriormente pasa al equipo de ósmosis inversa. Para asegurarse que los microorganismos no van a dañar las membranas se recomienda la adición de cloro al agua cruda para erradicar cualquier forma de vida. La eliminación del cloro se hace por la adición de metabisulfito de sodio. Estas medidas de acción permiten que el agua pueda ser tratada adecuadamente con el fin de obtener una bebida que sea agradable al paladar del consumidor.

Se debe entonces sustituir el sistema de tratamiento de agua con cal, es decir eliminar del proceso el tanque reactor y el filtro de arena, referirse a la ilustración No 4, página 10. Sin embargo no necesariamente se deben eliminar físicamente ya que el tanque reactor puede convertirse en un tanque pulmón, ya sea de agua cruda u otro tanque de almacenamiento de agua tratada. Esto concuerda bien con el hecho que la implementación de la ósmosis inversa implica un rechazo constante del 25 % de agua que es alimentada. Esta agua puede ser entonces recuperada en el tanque reactor y ser procesada de nuevo con el agua que viene de las fuentes de alimentación. En ausencia de un sistema de alimentación de metabisulfito de sodio, se puede seguir utilizando el filtro de arena para eliminar el cloro. Esto conlleva a que el sistema solamente debería de complementarse con el equipo de ósmosis inversa.

A partir de la teoría se elige el tipo de membrana que debe llevar el equipo de ósmosis inversa, referirse a la tabla No 4, ver página 18. La membrana de poliamida se acopla muy bien a las variables fisicoquímicas del proceso. El proceso necesita una alimentación de agua de entre 20 L / s y 35 L / s, a 25 ° C, libre de cloro, libre de incrustantes, de alcalinidad relativamente baja y pH de entre 6.2 y 7.6. La membrana de poliamida no tolera cloro, ni incrustantes, condiciones que se obtienen del pre tratamiento del agua. el rango de operación de la membrana abarca ampliamente al rango de pH demandado en la elaboración de bebidas carbonatadas por lo que no habría ningún daño a la membrana en caso de una variante de pH en el proceso. No se toma como alternativa las membranas de acetato de celulosa dado que son biodegradables, que están sujetas a la descomposición hidrolítica y que tienen un rango operativo de pH mucho más estrecho. El tiempo de vida de estas últimas membranas es en promedio de tres años mientras que para las primeras es de cinco años. Las membranas de compuesto de película fina pueden ser también elegidas, ya que su funcionamiento es muy similar a las de poliamida, a diferencia que éstas si pueden tolerar niveles bajos de cloro.

Como se indica en la tabla No 8 de la página No 26 el proyecto es muy rentable, puesto que dado el volumen de agua que debe ser procesada mensualmente la tasa interna de retorno crece rápidamente y se alcanza el punto de equilibrio en pocos días de operación.

IX. CONCLUSIONES

1. El sistema de tratamiento por cal reduce solamente la alcalinidad en 63.19 %
2. El sistema de membranización permite reducir la alcalinidad en un 94.90 %
3. La acidez titulable de la bebida elaborada a partir de agua tratada con cal es menor que la acidez titulable del agua tratada por membranas.
4. La alcalinidad es el parámetro químico que más impacta en la acidez titulable de una bebida reduciéndola y haciendo la bebida menos agradable al cliente.
5. Los sistemas de tratamiento de agua por membranización y por cal son igualmente efectivos en la reducción de los sólidos totales disueltos, la acidez titulable no se ve afectada en las bebidas elaboradas a partir del agua tratada por ambos métodos.
6. El tratamiento por membranas reduce el pH del agua mientras que el tratamiento con cal lo aumenta.
7. El agua de alimentación en el equipo de ósmosis inversa debe ser previamente tratada con PTP , cloro y metabisulfito de sodio para proteger la membrana de poliamida del equipo que es la que mejor se adecua a las necesidades del proceso.
8. El 81 % de los consumidores prefieren la bebida carbonatada elaborada a partir de un sistema de tratamiento de agua por membranización mientras que el 19 % prefiere las bebidas elaboradas a partir de agua tratada con cal.
9. El desarrollo del sistema de tratamiento de agua por membranización consta de un equipo de ósmosis inversa de doce housing y setenta y dos membranas que permite tener la calidad de agua necesaria para la elaboración de la bebida cola agradable al paladar del consumidor.
10. La inversión inicial que se debe hacer para implementar el equipo de membranas, ósmosis inversa, es de Q 2,300,000.00 y sus costos mensuales de Q1,178,582.00

X. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que el agua concentrada de rechazo se recircule y se utilice para los diferentes servicios de la empresa.
2. Se recomienda utilizar membranas de poliamida en el equipo de ósmosis inversa.
3. Se recomienda disponer parte del equipo utilizado en el sistema de tratamiento con cal como equipo complementario de ayuda al nuevo sistema propuesto.

XI. BIBLIOGRAFÍA

1. American Society for testing and Materials.1994. *Annual book of Standards* Determinación de Alcalinidad del agua. <http://members.tripod.com/Arturobola/carbo.htm>
2. Gutierrez. M.G.Alonso, Arnaud. Viñas, Chavez.R. 2004. *Tratamiento alternativo para la remoción de hierro en agua de abastecimiento principal*.
[http://www.ugr.es/~dpto_prev/Hig.Sanid.Ambient.4.98-105%20\(2004\).pdf](http://www.ugr.es/~dpto_prev/Hig.Sanid.Ambient.4.98-105%20(2004).pdf)
3. Guyton. Hall. 2004. *Tratado de Fisiología Médica*. 10^a ed. McGraw Hill Interamericana.México D.F. pp1251
4. Lenntech.2005 *Agua residual & purificación del aire Holding B.V.Rotterdamseweg*
<http://www.lenntech.com/espanol/glosario-agua.htm>
5. Mc Cabe.Smith.Harriot.1991. *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química*.4^aed.Mc Graw Hill Interamericana. España.pp1112
6. Osmonics. 2005
7. Oswaldo Gastón Ramírez Méndez.2005. <http://www.bonatura.com/terminos.htm>
8. Pepsico. 2004. Manual de Básicos de Calidad
9. Skoog. West. Holler.1995. *Química Analítica*.6^aed. Mc Graw Hill Interamericana. México. pp611

XII. ANEXOS

A. Cálculos en el desarrollo del sistema de tratamiento de agua por membranización

En el desarrollo se toman en cuenta principalmente la calidad y el flujo volumétrico de agua tratada que se debe tener para llevar a cabo el proceso.

El flujo volumétrico promedio de agua tratada requerido para el proceso es de 22 L / s (F_{permeado}) a 25 °C. La calidad del agua que se pretende obtener del tratamiento se describe por que la alcalinidad sea menor del 50 ppm, la dureza total sea menor a 250 ppm , que la concentración de sólidos totales disueltos sea menor a 500 ppm y el pH menor a 7.1

Teniendo conocimiento que la implementación del sistema de tratamiento por ósmosis inversa implica un 25 % de rechazo, se tiene que el agua de alimentación al equipo debe ser de: 30 L / s (F_{entrada}).

Se sabe que:

$$F_{\text{entrada}} = F_{\text{permeado}} + F_{\text{concentrado}}$$

De igual manera se sabe que:

$$F_{\text{permeado}} = 75\% F_{\text{entrada}}$$

se tiene entonces:

$$F_{\text{permeado}} = 22 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 0.75 \times F_{\text{entrada}}$$

$$F_{\text{entrada}} = \frac{22 \frac{\text{L}}{\text{s}}}{0.75} = 29.33 \frac{\text{L}}{\text{s}} \approx 30 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

por lo que el flujo volumétrico de agua concentrada que se obtiene es:

$$F_{\text{concentrado}} = F_{\text{entrada}} - F_{\text{permeado}}$$

$$F_{\text{concentrado}} = 30 \frac{\text{L}}{\text{s}} - 22 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 8 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

El porcentaje de recuperación que se tiene se define por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{F_{\text{permeado}}}{F_{\text{entrada}}} \times 100$$

$$\% \text{ Recuperación} = \frac{22 \text{ L/s}}{30 \text{ L/s}} \times 100 = 73.33\%$$

Se recupera en realidad únicamente el 73.33 % del agua alimentada al equipo de ósmosis. No se recupera la totalidad del agua alimentada puesto que eso implicaría que las sales que son retenidas por las membranas del equipo saturan a las mismas, de modo que se reduzca el flujo volumétrico de agua permeada hasta incluso ya no tener. El flujo volumétrico entonces de agua concentrada es el flujo volumétrico que va a llevar todas las sales que estén sobre las membranas de manera a limpiarlas. El agua concentrada es separada por la membrana del agua permeada y es descartada del proceso productivo.

La presencia de sílice calcio, magnesio en agua que contiene iones carbonato y sulfato reducen el porcentaje de recuperación de la ósmosis inversa puesta que son pocos solubles en agua. Por ejemplo la presencia de sílica es causa de precipitación si se encuentra concentrada de 100 a 120ppm. Por lo que un flujo volumétrico de agua de alimentación que con una alta concentración de sílica hace que el porcentaje de recuperación sea menor. De ahí es importante el mantenimiento del equipo, desincrustando las membranas y tratando el agua previo a su proceso por la ósmosis inversa.

Considerando que la capacidad de cada membrana de la ósmosis inversa procesa un flujo volumétrico de 19 L / min y que el flujo necesario para la producción es de 1360 L / min se tiene que el número de membranas (n) a utilizar es de:

$$n = \frac{\text{Flujonecesario}}{\text{Flujo / membrana}}$$

$$n = \frac{1360 \text{ L / min}}{19 \text{ L / min membrana}} = 71.62 \approx 72$$

Son 72 membranas las necesarias para obtener el flujo volumétrico de agua permeada requerida, sin embargo por desarrollo cada housing se compone de 6 membranas de 40×10^{-2} m cada una. Por lo que se necesitan 12 housings (h) en el equipo. Cada housing tiene un largo de 2.60 m.

$$h = \frac{n}{\text{membranas} / \text{hou sin g}}$$

$$h = \frac{72\text{membranas}}{6\text{membranas} / \text{hou sin g}} = 12\text{hou sin gs}$$

La disposición de los housings se hace en módulos, para poder producir mayor cantidad de agua permeada en menos tiempo que lo que lo haría un solo módulo. Este tipo de disposición permite un flujo volumétrico con suficiente velocidad para evitar la acumulación de los sólidos suspendidos en la superficie de las membranas. El arreglo de módulos que mejor se aplica a tener agua de calidad como la especificada anteriormente es el de colocar dos módulos, de cinco housings cada uno, que trabajen en paralelo, y un último módulo, de dos housings, que esté en serie. Este arreglo permite que el flujo volumétrico de alimentación sea procesado por los dos primeros módulos, obteniendo ahí una gran parte del flujo de agua permeada, mientras que el agua concentrada obtenida pasa al tercer módulo para poder obtener todavía agua permeada. El agua concentrada resultante de los tres módulos debe ser drenada, mientras que el agua permeada se utiliza para el proceso de elaboración de las bebidas.

El porcentaje de rechazo de sales con que debe trabajar el equipo se define por la siguiente ecuación:

$$\% \text{Re chazo} _ \text{sales} = 1 - \frac{\text{Conductividad} _ \text{Permeado}}{(\text{conductividad} _ \text{entrada} - \text{conductividad} _ \text{concentrado}) / 2} \times 100$$

$$\% \text{Re chazo} _ \text{sales} = 1 - \frac{30\text{micromhos} / \text{cm}}{(400\text{micromhos} / \text{cm} - 1000\text{micromhos} / \text{cm}) / 2} \times 100$$

$$\% \text{Re chazo} _ \text{sales} = (1 - 0.0428) \times 100 = 95.71\%$$

El equipo a utilizar debe rechazar por lo menos el 95.71 % de sales, ya que de no cumplir con este requisito no se tendría el agua con la calidad deseada par la elaboración de las bebidas carbonatadas. Considerando un valor arbitrario máximo de concentración de sales en el agua después del tratamiento de ósmosis, 15 ppm, para un flujo volumétrico de entrada de agua con 200 ppm y un flujo de agua concentrada con 500 ppm, se determinaron las conductividades correspondientes a cada flujo volumétrico utilizando la tabla No 12, página No 48. De acuerdo al porcentaje estimado se puede utilizar cualquier tipo de membrana de ósmosis inversa, ya sea las de poliamida, acetato de celulosa o de poliamida, porque todas pueden operar

con un rechazo de sales mínimo del 95 % al 99 %. El rechazo de sales debe ser mayor para obtener agua con menor alcalinidad.

El flujo volumétrico de agua permeado por el equipo depende de la temperatura del agua a la que ésta se procesa. La relación de flujos en función de la temperatura es la siguiente:

“X” litros de producto permeado a la temperatura 1, “T1”, equivalen a “Y” litros de producto permeado a la temperatura 2, “T2” de modo que:

$$\frac{X(L/s) \times TFC(T1)}{TFC(T2)} = Y(L/s)$$

donde TFC es el factor de corrección por temperatura en función de las temperaturas T1 y T2. Referirse a la Tabla No 13, página No 49. La operación del tratamiento de agua se realiza a temperatura ambiente, la cual varía poco, por lo que el flujo volumétrico de agua permeada no diferiría mucho.

De acuerdo a los aspectos mencionados anteriormente el equipo que más se acopla a las necesidades de calidad de agua, es el de ósmosis inversa básica 300 que consta de una bomba de 75 HP, 72 membranas y 3módulos. La bomba debe suministrar una presión superior a 5 psi, la presión osmótica puesto que la regla es que la presión osmótica para soluciones salinas es de 1 psi por cada 100 mg/L de SDT. Considerando que 500 mg / L es la concentración máxima permisiva, se tiene que la presión osmótica es aproximadamente de 5 psi.

Los dos primeros módulos deben contener 5 housings con membranas de 10×10^{-10} m de porosidad por 40×10^{-2} m de alto. El tercer módulo debe contener 2 housings con membranas de 1.0×10^{-10} m x 40×10^{-2} m. El motivo de tener distintos tipos de micraje de membranas es asegurarse de que todo aquello que no sea retenido en los primeros módulos pueda serlo en el tercero, de manera a tener el agua con la calidad anteriormente descrita. El diámetro de cada membrana debe ser de 0.2 m para poder garantizar el flujo volumétrico de agua deseado en el proceso. La razón por la que se escogen membranas de este tipo, es, como lo muestra la ilustración No 16, página No 45, que los diámetros de las partículas de las sales acuosas son mayores que los diámetros de las membranas de la ósmosis inversa. El rango dentro del espectro de filtración para las sales acuosas es de 0.5×10^{-6} a 1.2×10^{-3} micrómetros mientras que el de las membranas utilizadas en la ósmosis inversa son de 1×10^{-6} micras a 1×10^{-3} micrómetros. Esto deja ver que las sales son, casi en su totalidad, retenidas por las membranas semipermeables de la ósmosis inversa.

B. Consideraciones en el diseño del tratamiento de agua por membranización

La tubería del agua de alimentación al equipo puede colocarse de PVC puesto que es el agua que va a ser tratada, sin embargo el agua permeada debe conducirse en una tubería de acero inoxidable para así asegurar su integridad y calidad. El agua de rechazo de la ósmosis inversa, el agua concentrada, puede ser también conducida en una tubería de PVC, ya sea para su drenaje o recirculación.

1. **Instrumentación.** El equipo debe constar de los medidores de presión, temperatura y flujo. La presión debe controlarse en la entrada de agua al sistema, y después de desairear el agua antes de que pase a los housings del equipo. Además se debe conocer la presión de salida del agua permeada y del agua concentrada. El equipo debe tener un medidor de temperatura como medida de prevención, para que el equipo se mantenga con líquidos fríos o templados.

Se debe colocar un flujómetro en la entrada del agua de alimentación y en las salidas de agua permeada y concentrada para así conocer los flujos volumétricos de agua y saber cuál es la cantidad que puede ser suministrada al proceso.

2. **Mantenimiento.** La ósmosis inversa, por ser un equipo de tecnología de punta, es un equipo de una inversión económicamente fuerte, por lo que necesita tener cuidados y acciones de mantenimiento preventivo para poder alargar el tiempo de vida de las membranas. Por ello es necesario darle servicios de limpieza y desincrustación a base de ácido cítrico y bifluoruro de amonio haciéndolo recircular por veinte minutos en el equipo, dejándolo posteriormente cuarenta minutos en contacto, recirculando de nuevo diez minutos y dejando en contacto otros cuarenta minutos. Se debe enjuagar bien al finalizar el procedimiento, para así asegurar la durabilidad y funcionabilidad del equipo.

3. **Costos.** La inversión que se debe hacer para tratar agua con un sistema de ósmosis inversa, requiere una inversión económica elevada que sin lugar a dudas se ve justificada por la calidad del agua que se obtiene para elaborar una bebida carbonatada. Operar con el equipo de ósmosis inversa presenta grandes ventajas como obtener una permeabilidad selectiva de la membrana, tener una exclusión por tamaño (tamizado), eliminar entre el 95 – 99 % de la mayor parte de inorgánicos, orgánicos de tamaño mediano a grande, turbidez, color, algunos compuestos activos sensorialmente, partículas en suspensión, coloidales y microorganismos. Además que permite tener un agua de calidad en un intervalo mínimo de tiempo, al contrario del sistema de coagulación.

La ósmosis logra remover cloruros, sulfatos, nitratos, sodios, moléculas orgánicas de mediano y gran tamaño, etc. que el sistema por tratamiento con cal no logra hacer.

Pensando siempre en expansión, en innovación tecnológica y automatización a la que la empresa debe ser sometida, la ósmosis inversa resulta ser el equipo que mejor se acomoda a las necesidades. El uso del equipo de ósmosis inversa permite la estandarización del proceso porque el proceso se convierte en proceso continuo, automatizado, sin llevar mayor control de los parámetros fisicoquímicos. El proceso de tratamiento de agua es más estable, no hay variantes en el sistema.

Aunque la inversión económica inicial es fuerte, se aprecia que la preferencia del consumidor por consumir una bebida carbonatada tratada por membranización pagará el costo inicial y permitirá tener grandes utilidades a la empresa. El uso de reactivos disminuye, el control operativo también.

El costo de mantenimiento del equipo es Q 3,217 ya que por cada vez que se hace se utilizan 4 L de AK 400 para sanitizar el equipo, 27 L de Ácido Cítrico para desincrustarlo y 21 L de PTP para eliminar el Sílice contenida en el agua. Es necesario dar un buen mantenimiento al equipo para asegurar una larga vida útil, y asegurar a la vez la calidad del agua procesada por él.

C. Rentabilidad de la propuesta

Para calcular la rentabilidad del proyecto es necesario conocer el flujo de caja. Se consideró primeramente la inversión inicial que es de Q 2,300,000 y los costos de mantenimiento y operación que suman Q 39, 286 diariamente. Conociendo que los costos totales se traducen por la suma de los costos fijos y los costos variables se tiene que el costo total, que resultó del cálculo del volumen de agua procesado diariamente, es de 1,609,644 L porque cada litro de agua procesado tiene un costo de Q 0.009.

Los ingresos se consideraron de las ventas diarias de cajas de bebidas, que en promedio corresponde a un monto de Q 420,000.

Al calcular la tasa interna de retorno, utilizando la herramienta de Microsoft Excel 2005, se obtuvo que: La tasa interna de retorno (TIR) en un período de 10 meses corresponde a un 30 %. El punto de equilibrio se alcanzó al sexto mes de producción. La fórmula para calcular el punto de equilibrio se muestra a continuación:

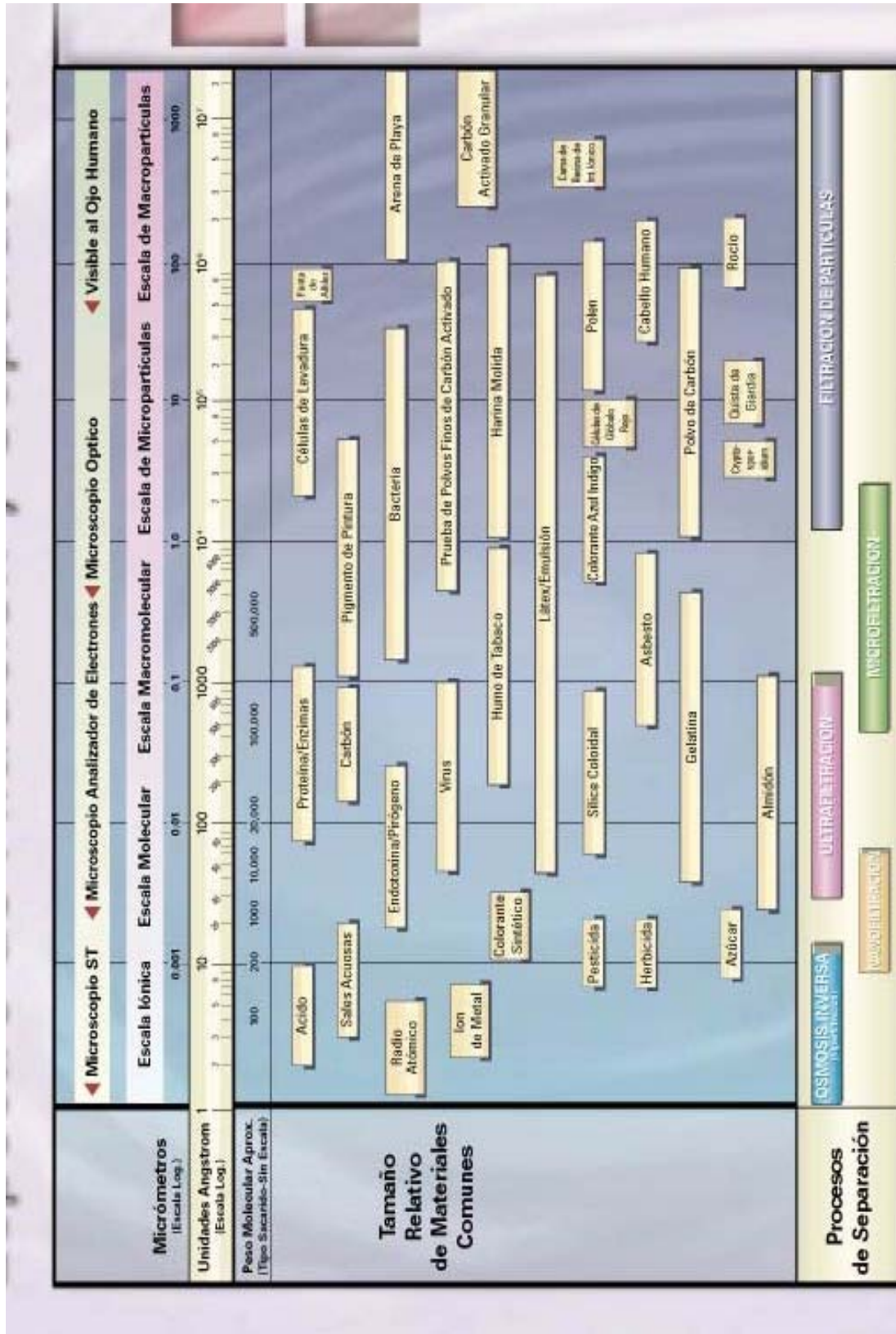
$$\text{Punto_equilibrio} \equiv \text{ingresos} - \text{egresos} \equiv 0$$

El período en el que se obtuvo la igualdad fue al principio del sexto mes.

Se consideró un mínimo aumento del costo de operación por día (CO) correspondiente al 0.25 % del costo inicial de operación (CO_i), de modo que este iba creciendo según la siguiente fórmula:

$$CO = CO_i \times 1.0025$$

Ilustración No 16: Espectro de separación y filtración



(Osmonics 2005)

Ilustración No 17: Equipo automatizado de ósmosis inversa



(Osmonics 2005)

Ilustración No 18: Housing de la ósmosis inversa



(Osmonics 2005)

Tabla No 11: Proceso de operación de la ósmosis inversa

CONVERSIÓN – PRODUCCIÓN		
<p>Es la relación porcentual del caudal de agua tratada, respecto del caudal alimentado. El aumento de ésta representa un mayor aprovechamiento del agua a costa de una mayor concentración de sales de rechazo.</p> <p>Sin embargo, hay alimentaciones impuestas por las sales presentes en el agua de alimentación y su tendencia a precipitar sobre la superficie de membranas. Las sales que normalmente presentan estos inconvenientes son:</p>		
$\text{CaSO}_4 - \text{CaCO}_3$ Carbonato de sulfato - Carbonato de calcio	SiO_2 Sílice	Hierro (férrico) Aluminio, Bario, Estroncio, Manganeso
<p>La precipitación es dependiente del pH del medio y su efecto se controla por acidificación del agua de alimentación en la etapa de pre tratamiento y / o un adecuado antiescalante.</p>	<p>Puede ser coloidal y/o reactiva.</p> <p>La primera no presenta problema para las membranas en espiral respetando los flujos turbulentos de desarrollo es barrida en el rechazo.</p> <p>La sílice reactiva permanece disuelta hasta alcanzar su punto de saturación, a partir del cual empieza a precipitar.</p>	<p>El aluminio aparece normalmente en agua potables superficiales. Algunos de estos no solo precipitan en la membrana sino que colaboran a la formación de otro tipo de lodo, tal como el aluminio y hierro que actúan como catalizadores de polimerización de la sílice.</p>

Tabla No 12: Tabla de conversión, concentración TDS a conductividades

Conductividad específica (micro mhos/cm)	Sólidos totales disueltos (ppm)
0.1	0.05
0.2	0.1
0.4	0.2
0.7	0.35
1.0	0.5
2.0	1.0
4.0	2.0
7.0	3.5
10.0	5.0
20.0	10.0
40.0	20.0
70.0	35.0
100	50.0
200	100
400	200
700	350
1000	500
2000	1000
4000	2000
7000	3500
10000	5000
20000	10000

(Osmonics 2005)

Tabla No13: Factor de corrección de temperaturas para membranas de ósmosis inversa

°C	TCF	°C	TCF	°C	TCF
0.5	2.6711	15.0	1.4280	29.4	0.9168
1.1	2.6043	15.5	1.3958	30.0	0.9071
1.7	2.5395	16.1	1.3644	30.5	0.8975
2.2	2.4765	16.7	1.3338	31.1	0.8880
2.8	2.4154	17.2	1.3041	31.7	0.8787
3.3	2.3560	17.8	1.2751	32.2	0.8695
3.9	2.2982	18.3	1.2468	32.8	0.8604
4.4	2.2422	18.9	1.2139	33.3	0.8515
5.0	2.1877	19.4	1.1925	33.9	0.8427
5.5	2.1347	20.0	1.1664	34.4	0.8340
6.1	2.0833	20.5	1.1410	35.0	0.8254
6.7	2.0332	21.1	1.1162	35.5	0.8170
7.2	1.9846	21.7	1.0915	36.1	0.8086
7.8	1.9373	22.2	1.0702	36.7	0.8004
8.3	1.8913	22.8	1.0517	37.2	0.7923
8.9	1.8466	23.3	1.0367	37.8	0.7843
9.4	1.8031	23.9	1.0224	38.3	0.7784
10.0	1.7608	24.4	1.0111	38.9	0.7686
10.5	1.7197	25.0	1.000	39.4	0.7534
11.1	1.6796	25.5	0.9891	40.0	0.7459
11.7	1.6407	26.1	0.9783	40.5	0.7459
12.2	1.6028	26.7	0.9677	41.1	0.7385
12.8	1.5659	27.2	0.9572	41.7	0.7313
13.3	1.5300	27.8	0.9469	42.2	0.7241
13.9	1.4951	28.3	0.9367	42.8	0.7170
14.4	1.4611	28.9	0.9267	43.3	0.7100

TFC: factor de corrección de temperatura que sirve para predecir la cantidad de producto de una membrana semipermeable a diferentes temperaturas.

Tabla No 14: Ventajas y desventajas del sistema de tratamiento de agua por coagulación.

Sistema de tratamiento de agua por coagulación	
Ventajas	Desventajas
Remoción de alcalinidad , reduce contenido de metales (hierro, manganeso, etc), colores, olores y sabores	No reduce efectivamente los nitratos, cloruros, sulfatos y sodio ni los TDS
Se forma un flóculo que atrapa el carbonato de calcio, los sólidos suspendidos, el hierro y el manganeso oxidados y muchos otros contaminantes.	Promueve la formación de trihalometanos (THMs)
El agua alcanza una alcalinidad entre 35 y 40 ppm y está libre de olores, colores, turbidez, metales y muchos compuestos orgánicos	La presencia no deseada de hierro en el agua tratada puede deberse a un exceso de coagulante ferroso o férrico en el agua
Un flóculo menos denso que se asenta menos fácilmente que un flóculo rico en carbonato de calcio.	Puede haber arrastre de flóculos . La velocidad de floculación relativa.
	Arrastre de químicos, sabor a metal (por falta de balance de los productos químicos, arrastre sulfato de aluminio, o ferroso). El tratamiento inadecuado no elimina los niveles altos de hierro, manganeso, cobre, zinc, TDS.
	Solo reduce dureza temporal no reduce dureza permanente.
	Se diseñan generalmente para dos horas de retención para que <ul style="list-style-type: none"> - Los sedimentos asienten. - Máximo potencial oxidante. - Acción germicida lenta para pH mayor a 9.5

Tabla No 15: Ventajas y desventajas del sistema de tratamiento de agua por membranización

Sistema de tratamiento de agua por membranización	
Ventajas	Desventajas
Membrana con permeabilidad selectiva	Pre tratamiento para evitar incrustación de las membranas
Exclusión por tamaño (tamizado), difusión, repulsión de cargas	El 25% del agua que entra se rechaza y no es útil para la producción de bebidas.
La aplicación de presión a una membrana con permeabilidad selectiva	No remueve cloro y algunas de las membranas se dañan con el cloro.
Se puede eliminar entre el 95-99+% de la mayor parte de inorgánicos, orgánicos de tamaño mediano a grande, turbidez, color, algunos compuestos activos sensorialmente, partículas en suspensión, coloidales y microorganismos	La vida depende de la membrana es de 3 a 5 años.
Reduce en mayor cantidad los sólidos totales disueltos, no genera lodos, la salmuera puede ser utilizada para otra aplicación, menor uso de reactivos a largo plazo	El flujo de permeado depende de la temperatura.
Existen una variedad de membranas: acetato de celulosa, de poliamidas, poliamidas aromáticas, de electrodiálisis	
Método más efectivo que la nanofiltración	
Permite una medición estandarizada	
Permite la automatización y la tecnología de punta	
Permite un proceso continuo, mayor eficiencia y mejor calidad del agua	
Remueve los cloros, los sulfatos, nitratos, sodio etc. que no remueve el tratamiento por cal.	
Requerimiento mínimo de espacio	
Puede ser utilizada para un amplio espectro de contaminantes.	