

1. INTRODUCCIÓN

La planta elaboradora de cerveza, ubicada en el Bajío, en la República Mexicana, requiere mejorar su calidad de agua para diversos usos, muy particularmente el agua para elaboración e insumos. Existen varios parámetros que están fuera de la Norma Oficial Mexicana 127 (anexo) y de Normas de Calidad Internas, por lo cual este estudio pretende hacer la recomendación del proceso y los equipos principales más adecuados para cumplir con las Normas arriba indicadas. Como un objetivo también alcanzable se halla el de acondicionar agua para usar en las calderas y otros servicios, con el fin de dar cumplimiento a las recomendaciones de los fabricantes de los equipos y a lo establecido por los estándares internacionales.

El agua para la elaboración de la cerveza debe ser clara, incolora, inodora, sin sabor, libre o con muy bajo contenido de hierro y manganeso y bacteriológicamente aceptable. En ciertos tipos de bebida de moderación es deseable un contenido bajo en bicarbonato y un alto contenido de sulfatos; por lo tanto, si el agua contiene gran cantidad de bicarbonatos, debe tratarse con cal para reducir su dureza en bicarbonatos. Si contiene una baja cantidad de dureza de sulfatos se le puede añadir sulfato de calcio con cal. Esto se puede llevar hasta cerca de 200 a 250 ppm; hay otros tipos de cerveza (tipo oscura) en los cuales el contenido de bicarbonato usualmente no requiere reducción.

También se requieren tratamientos para eliminar olores y sabores del agua, ya que no solamente se deben eliminar los olores y los sabores que el agua habitualmente tenga, sino que esto es un buen seguro en contra de cualquier desarrollo accidental de sabor u olor que puede originarse desde el agua y que pueda afectar adversamente las propiedades organolépticas de la bebida. El equipo más común para eliminar cualquier tipo de sabor y olor es el filtro a presión, con lecho de carbón activado y usualmente éstos se proporcionan en baterías de dos o más unidades para asegurar una actividad ininterrumpida. Un filtro de carbón activado tiene una capacidad de adsorción extremadamente alta, de tal manera que el cambio de lecho sólo es necesario, en promedio, una vez al año.

Además de otros requerimientos, el agua usada para el lavado de botellas y para pasteurización debe ser de dureza muy baja: esto trae como consecuencia ahorro en agentes tensoactivos (jabones y detergentes), para el proceso de pasteurización y elimina los depósitos y las operaciones de limpieza y pulido, que tan frecuentemente son necesarias cuando se usa agua dura. Para ablandar esta agua se usa el proceso de intercambio iónico, pero también existen otros tratamientos, como el ablandamiento en frío, en caliente, etc.

El agua empleada para preparar la cerveza ha sido objeto de mucha atención y se llegó a decir que el éxito en la fabricación del producto depende del empleo de la adecuada clase de agua. Los fabricantes de cerveza reconocen la importancia del contenido mineral del agua en la elaboración, tomándose como ejemplo el caso muy conocido del silice (SiO_2) que puede interferir con la fermentación y puede generar un aspecto coloidal a la bebida.

En todas las etapas de la elaboración de la cerveza hay disminución del pH, pero los amortiguadores minerales del agua contrarrestan en parte este cambio. El agua dura con un contenido excesivo de bicarbonato, puede producir un sabor amargo persistente y tornar desagradable el papel saborizante que debiera producir el lúpulo sobre la cerveza.

El contenido mineral del agua sobre el pH es de suma importancia durante la fabricación; algunos componentes minerales ejercen una influencia específica, como estabilizadora de los iones calcio sobre las amilasas de la malta. Los iones calcio también reaccionan con los fosfatos orgánicos e inorgánicos de la malta y son precipitados como fosfato de calcio. El resultado de ello es la acidificación del calcio del caldo, sobre todo si el calcio se encuentra en forma de sulfato. El ion magnesio produce el mismo efecto, pero en grado menor. La mayoría de los demás iones, como los de cloruro, sulfato, sodio, potasio, etc., no tiene otro efecto sobre el producto que su influencia directa en el sabor. En algunas fábricas elaboradoras de bebida de moderación se añade cloruro de sodio a la bebida de moderación para que los caracteres de sabor se ligen más armoniosamente.

En realidad, puede considerarse que, desde muchos siglos atrás, el conocimiento de la calidad del agua es un factor de primera importancia en la calidad de la cerveza. En tiempos pasados, las fábricas elaboradoras de cerveza fueron localizadas en áreas en donde la calidad del agua fuera constante y las fuentes de abastecimiento estuviesen suficientemente alejadas de focos de contaminación. Viejos centros de producción de bebidas de moderación fueron famosos por el particular tipo de agua, como los de la antigua Checoslovaquia, el Imperio Austro-Húngaro y de Alemania.

2. ANTECEDENTES

En tiempos pasados la fábrica elaboradora de cerveza obtenía desde un lago el agua para sus procesos. Esta agua se hacía pasar por diversos equipos, entre los cuales se encontraban: un tanque clarificador, filtros, torres de suavización y finalmente el clorador, con lo que se acondicionaba el agua, de acuerdo con las necesidades de la planta. En tiempos más recientes, el serio deterioro de la calidad del agua de esta fuente de abastecimiento hizo problemático su control, poniendo incluso en severo riesgo la calidad de la cerveza, por lo que se sustituyó esta fuente de suministro, extrayendo ahora el agua del subsuelo. En la Tabla 2.1, Análisis del agua y datos de la NOM 127 SSA1-1994*, se da a conocer su composición.

Un objetivo no menos importante es el de homogenizar, en el nivel nacional, las distintas calidades de estas bebidas de moderación; el agua, materia prima muy importante en la cerveza, es uno de los objetivos en cuanto a que ésta sea de calidad homogénea, que ningún parámetro rebase las Normas Internas.

El deterioro de la calidad del agua no es sólo para este lago. Según información de la Comisión Nacional del Agua (CNA), alrededor de 93 de cada 100 litros de agua que existen en los principales ríos, lagos y presas de México, están contaminados en algún grado.^{(1)**}

De un total de 474 estaciones superficiales tomadas como muestra, el 17.6% del agua está "levemente contaminada". El 58.4% está contaminada, el 6.6% está "fuertemente contaminada" y el 10% "excesivamente contaminada"; sólo el 0.5% se considera de calidad "excelente" y el 6.9% tiene el *estatus* de "aceptable". De acuerdo con la escala de clasificación de agua para usos específicos, que hace la CNA, para el consumo humano es apto el líquido que oscila entre las calidades de "contaminado", con previo tratamiento, y "excelente" que no requiere purificación. La industria y el riego pueden utilizar agua hasta "fuertemente contaminada" con previo tratamiento, e incluso la "excesivamente contaminada", aunque sólo en forma muy restringida.⁽¹⁾

De las trece cuencas hidrológicas del país, en doce de ellas la condición más común del recurso es "contaminada" y la cuenca del Valle de México está "excesivamente contaminada".⁽¹⁾

*Durante el inicio de la elaboración de este proyecto (agosto del 2000), se tomó como referencia la NOM 127 SSA1-1994 editado en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el día 18 de enero de 1996, a la fecha, año 2002, esta Norma ya es obsoleta, la más reciente es la editada el 22 de noviembre del 2000, con el fin evitar otro tipo de interpretaciones, se cumplirá con las dos Normas.

** En lo sucesivo el número con paréntesis, página y número como exponente al final de cada párrafo significa referencia bibliográfica, si no lleva la palabra *pág.*, ni número, entonces es un artículo de revista o periódico, etc.

La Comisión Nacional del Agua indica que la mayoría de los cuerpos de agua superficial del país reciben descargas de tipo doméstico, industrial y agrícola sin tratamiento alguno, detalla que el 78% del agua municipal y el 85% de la industrial se vierten a los cuerpos de agua sin recibir tratamiento alguno. Hasta diciembre de 1999 existían mil plantas de tratamiento; 777 funcionaban con un caudal tratado de 42.3 m³/segundo, pero sólo 29 metros cúbicos cumplían la Norma vigente. ⁽¹⁾

La industria es el mayor causal de problemas para la calidad de agua en México, aunque no demanda mucha agua, sólo el 5% del total de agua, genera 6.2 millones de toneladas de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno), tres veces lo generado por toda la población urbana. El 38% de los 6.2 millones de DBO proviene de la industria azucarera.

Por todos estos antecedentes, la fábrica elaboradora cerveza ahora obtiene el agua para sus procesos y servicios de pozos profundos, siendo la calidad de esta agua mejor que la que se obtenía del lago. Sin embargo existen algunos parámetros que rebasan los límites establecidos por la "NOM 127-SSA1-1994 Salud Ambiental, Agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización". En la tabla 2.1, en la siguiente página, se observa que existen parámetros fuera de Norma, entre los que se menciona a los siguientes: arsénico, fenoles, mercurio y plomo. Por ser de primordial importancia el control de estos parámetros, se abundará en la información referente a ellos, sobre todo en lo que concierne al efecto que puede causar en la salud del hombre.

Otras variables, como los silicatos, el calcio, etc. (Tabla 3.1, página 24), no están incluidos en la NOM 127, pero se hallan incluidos en las Normas Internas de elaboración de la bebida de moderación. El parámetro de dureza, como está indicado en la tabla 3.2, página 32, forma parte de las recomendaciones de los fabricantes de calderas (Anexo Cleaver Brooks), Todas estas variables habrán de ser corregidas en el capítulo 6: Proceso propuesto y resultados esperados. Para corregir estos parámetros se dividió el proyecto en dos fases

Fase uno: remoción o eliminación de fenoles, aunque para la NOM 127 del 22 de noviembre del 2000 el agua de pozo ya no rebasa el límite, se determinó en este caso seguir usando la NOM 127 del 18 de enero de 1996, los filtros de carbón activado ya estaban operando.

Fase dos: remoción o eliminación de arsénico, mercurio, plomo, silicatos, dureza y otros.

Este estudio resuelve, en forma global, las dos fases.

Tabla 2.1 ANÁLISIS DEL AGUA Y DATOS DE LA NOM 127 SSA1-1994

Resultados del agua mezclada provenientes de pozos profundos. Las concentraciones se hallan expresadas en mg/L y los valores de la Norma 127 se incluyen, para comparación.

Fecha del estudio: 15 de octubre del 2000

Parámetro	Agua de pozos	Norma 127 D. O. F. 18-Ene-96	Norma 127 D. O. F. 22-Nov- 00
Color (UCP)	0.000	20.00	20.00
Olor (TON)	caract.	agradable	agradable
Sabor	caract.	agradable	agradable
Turbiedad (unidades nefelométricas)	0.45	5.00	5.00
Alcalinidad total	123.50		
Aluminio	0.11	0.20	0.20
Arsénico	0.07	0.05	(1) 0.040
Bario	0.01	0.70	0.70
Cadmio	0.001	0.005	0.005
Cianuros	0.06	0.070	0.070
Cloro residual libre	0.10	0.2-1.50	0.2-1.50
Cloruros	30.10	250.0	250.00
Cobre	0.014	2.0	2.0
Cromo total	0.01	0.05	0.050
Dureza total CaCO ₃	99.41	500	500
Calcio	28.10		
Magnesio 2+	7.10		
Fenoles o comp. fenólicos	0.002	0.001	0.30
Hierro	0.04	0.30	0.30
Flúor	0.55	1.50	1.50
Manganeso	0.010	0.150	0.15
Mercurio	0.002	0.001	0.001
Nitratos	0.001	10.00	10.00
Nitritos	0.009	0.05	1.00
Nitrógeno Amoniaco	0.14	0.50	0.50
pH (unidades)	6.90	6.5-8.5	6.5-8.5
Plomo	0.03	0.025	0.01
Sodio	54.00	200	200
Sólidos Dis. Totales	331.586	1000	1000
SAAM	0.170	0.50	0.50
Zinc	0.030	5.0	5.0
Silicatos	83.50		
Sulfatos	66.20	400	400
Grasas y Aceites	5.56		
Coliformes totales	0.00	2 NMP en 100 mL	Ausencia o no detectables
Trihalometanos totales	0.00	0.20	0.20

(1) Se irá ajustando anualmente, para el año 2001 será de 0.045, 2002, será de 0.040, 2003, será de 0.035, 2004, será de 0.030 y para el 2005, será de 0.025, la cantidad aquí indicada corresponde al año 2002

3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA

3.1 Introducción.

La evaluación de la calidad del agua es una valoración cualitativa y cuantitativa de la naturaleza física, química y biológica del agua, en relación con su calidad natural, con efectos humanos y con sus usos potenciales; particularmente en aquellos aspectos que pudieran afectar la salud humana.

El consumo de agua para beber y en algunas manufacturas industriales especializadas (como la industria de alimentos y bebidas), demandan las más sofisticadas medidas de calidad, pero el consumo global en esos dos renglones es relativamente moderado. No obstante, para el caso de este trabajo y para cualquier otro relacionado con el uso del agua en la industria, a los aspectos de salud de los consumidores debe agregarse el de la ventaja o conveniencia económica.

Ya ha sido mencionado antes que el éxito de una bebida de moderación se halla muy principalmente en su aceptación por los consumidores, lo cual, a su vez depende de factores como el sabor, el olor y la presentación general del producto. Esos factores se hallan íntimamente ligados a la composición del agua utilizada, a la calidad de los ingredientes y a las condiciones del proceso de elaboración. El presente trabajo está enfocado solamente al aspecto de la composición del agua utilizada en el proceso, a su influencia sobre la calidad del producto y a los tratamientos necesarios para corregir las características de esa agua, a fin de cumplir con las especificaciones de la empresa, en lo relativo al sabor, olor y aceptación de la bebida de moderación que se elabora.

3.2 Variables generales de calidad del agua potable.

En esta denominación se hallan todas aquellas variables o parámetros físicos, químicos y bacteriológicos del agua. Con fines prácticos, las variables generales se dividen en los siguientes grupos: Variables fisicoquímicas, nutrientes, materia orgánica, iones mayoritarios, variables inorgánicas adicionales (iones minoritarios), metales, contaminantes orgánicos e indicadores microbiológicos. ⁽²⁾
pág. 43

3.2.1 Variables Fisicoquímicas.

3.2.1.1 Temperatura.

La temperatura en el agua superficial depende de la latitud, altitud, estación del año, hora del día, circulación del aire, nubosidad, flujo y profundidad del cuerpo de

agua. La temperatura, a su vez afecta los procesos físicos, químicos y bacteriológicos en el agua. Con el aumento en la temperatura se incrementa la velocidad de las reacciones químicas que ocurren en el agua, se disminuye la solubilidad de los gases (y del aire, por consecuencia), se aumenta la volatilidad y la evaporación de sustancias y aumenta la rapidez de respiración de los microorganismos, consumiendo más oxígeno y provocando así un incremento en la descomposición de la materia orgánica.

El agua superficial se halla regularmente entre los 0°C y los 30°C, fluctuando estacionalmente con temperaturas mínimas en el invierno y en época de lluvias y con máximas en el verano y durante la temporada seca. ^{(2) pág. 43}

3.2.1.2 Color.

El color y la turbidez del agua determinan la profundidad hasta la cual la luz puede ser transmitida, lo que controla la *productividad primaria* que las algas requieren para su fotosíntesis. Se entiende por productividad primaria, la producción en el agua de los nutrientes vivos (*fitoplancton* y *zooplancton*).

El color se mide por comparación de las muestras de agua con una serie de diluciones de cloroplatinato de potasio y cloruro de cobalto cristalino. Las unidades son llamadas "de platino-cobalto". El agua natural muestra valores que oscilan de <5, en aguas claras, hasta 300 unidades en aguas oscuras del tipo turba. Cabe señalar que el agua subterránea es generalmente cristalina y que el problema de color puede desarrollarse en ellas sólo después de ser extraídas a la superficie. ^{(2) pág. 44}

3.2.1.3 Olor.

El olor del agua usualmente es causado por compuestos orgánicos volátiles y puede producirse por *fitoplancton* y plantas acuáticas, así como también por materia orgánica en descomposición. Los desechos industriales y humanos también generan olores, al igual que los aceites, el petróleo, los gases, etc. En general, la presencia de olor sugiere la existencia de actividad biológica en niveles superiores a los normales y es una prueba simple para calificar si el agua puede ser bebida sin riego. El olfato detecta más fácilmente la contaminación, aún en bajas concentraciones, que el mismo sentido del gusto.

El olor en el agua se mide en términos del "número del umbral del olor" (Threshold Odor Number) y también mediante el Índice de Intensidades de Olor. Ambos dependen del olfato de jueces humanos, lo que hace a esta prueba subjetiva un tanto dependiente de la sensibilidad que el juez tenga, en el momento de la determinación. ^{(2) pág. 45}

3.2.1.4 Residuos y sólidos suspendidos totales.

Esta corta sección contiene algunos interesantes términos muy en uso en los laboratorios de medición de variables de calidad del agua. El *residuo* es lo que queda después de evaporar una muestra de agua y secarla a una temperatura de

105°C. Este residuo corresponde con el contenido total de materia suspendida y disuelta. ^{(2) pág. 45}

3.2.1.5 Materia suspendida, turbidez y transparencia.

El tipo de materia suspendida, y su concentración, determinan la *turbidez y transparencia* del agua natural. La materia suspendida consiste en limo, arcillas, partículas finas de materia orgánica e inorgánica, compuestos orgánicos solubles, *plancton* y otros microorganismos. Tales partículas oscilan en tamaño de 10 nm a 0.1 mm. ^{(2) pág. 45}

3.2.1.6 Conductividad.

La conductividad o conductancia específica es una medida de la habilidad del agua para conducir la electricidad. La conductancia es muy sensible a las variaciones en sólidos disueltos.

La conductividad se expresa en microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) y fácilmente puede relacionarse con las concentraciones de sólidos disueltos totales y de iones mayoritarios. El agua dulce muestra comúnmente valores de conductividad en el intervalo de 10 a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, debiéndose sospechar en el caso de que los valores pasen de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. ^{(2) pág. 46}

3.2.1.7 pH, alcalinidad y acidez.

El pH es una importante variable en el control de la calidad del agua pues tiene influencia directa sobre muchos procesos biológicos y químicos que se desarrollan en los cuerpos de agua.

El pH es una medida del balance ácido de una solución, indicándose como neutra o neutral a aquella que exhibe un $\text{pH} = 7$, de una escala que va desde 1, (muy ácido) a 14, (muy básico). En el agua natural, el pH se halla entre 6.0 y 8.5, aunque pueden ocurrir menores en agua con alto contenido de materia orgánica o en agua en contacto con depósitos minerales, principalmente sulfuros; mientras que los valores mayores se observan en aguas eutróficas (con muchos nutrientes). ^{(2) pág. 46}

3.2.1.8 Potencial redox.

El potencial redox (Eh), caracteriza el estado oxidación-reducción del agua natural y los sedimentos. Los iones de un mismo elemento, pero en diferentes estados de oxidación, forman el sistema redox que es caracterizado por un cierto valor. Los compuestos orgánicos también pueden formar sistemas redox. La coexistencia de varios o muchos de tales sistemas lleva a un equilibrio que determina el estado redox del agua y que es caracterizado por algún valor de Eh. Los agentes que más influyen en el valor de Eh son el oxígeno, el hierro, el azufre y algunos compuestos orgánicos. ^{(2) pág. 47}

3.2.1.9 Oxígeno disuelto.

El oxígeno es esencial para todas las formas de vida acuática, incluyéndose aquellas que son las responsables de los procesos de auto-purificación en el agua natural. El contenido de oxígeno en el agua natural varía con la temperatura, la salinidad, la turbulencia, la presión atmosférica y la actividad fotosintética de algas y plantas. La solubilidad del oxígeno en agua disminuye si la temperatura y la salinidad aumentan. El agua dulce, en el nivel del mar, tiene por lo general un contenido de oxígeno disuelto (OD) en el intervalo de valores de 15 mg/L a 0°C, hasta 8 mg/L a 25°C. Las concentraciones en agua no contaminada son de cerca de 10 mg/L. (2) pág. 48

3.2.1.10 Dióxido de carbono.

El dióxido de carbono (CO_2) es muy soluble en el agua. El CO_2 que se halla en la atmósfera puede absorberse rápidamente en la interfase agua-aire, viniéndose a sumar al que se produce por la respiración de la biota acuática. El CO_2 disuelto en el agua natural forma parte de un complejo equilibrio que involucra a los iones bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}), cuyas concentraciones dependen del pH y de la temperatura. Así, el CO_2 libre es el componente gaseoso en equilibrio con la atmósfera, mientras que el CO_2 total es la suma de todas las formas inorgánicas del CO_2 ; CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- y CO_3^{2-} . (2) pág. 49

3.2.1.11 Dureza.

La dureza del agua natural depende principalmente de la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio. La dureza total mide el contenido total de estas sales, la cual se subdivide en dureza por carbonatos (determinada por las concentraciones de las sales hidrocarbonatadas de calcio y magnesio) y dureza no-carbonatada (determinada por la concentración de las sales de ácido fuerte de calcio y magnesio).

Los hidrocarbonatos pueden transformarse en carbonatos y precipitar por ebullición del agua, lo que explica que a la dureza por carbonatos se le llame también dureza temporal. La dureza no-carbonatada se conoce como dureza permanente. La dureza debida al calcio es generalmente la más importante y representa hasta un 70% del total. En algunos casos, la dureza por magnesio puede representar un 50 - 60% del total. La dureza del agua superficial varía con la estación, aumentando usualmente durante la época de seca. En el agua subterránea la dureza es poco variable. (2) pág. 50

3.2.1.12 Clorofila.

El pigmento verde de la clorofila existe naturalmente en tres formas: clorofila *a*, *b* y *c*, y se halla presente en la mayoría de los organismos que utilizan la fotosíntesis para el funcionamiento vital y el de proveerse y adecuar sus nutrientes. La clorofila provee de una medida indirecta de la biomasa relacionada con las algas y es un índice del estado trófico (de la cadena alimenticia) de un cuerpo de agua, siendo regularmente incluida en los programas de evaluación de

agua de lagos y presas que se explotan con fines de potabilización. La presencia excesiva de algas toma al agua desagradable al paladar y dificulta el tratamiento potabilizador. ^{(2) pág. 50}

3.2.2 Nutrientes.

En esta categoría entran los compuestos de nitrógeno y de fósforo contenidos en el agua. Para los primeros, las principales especies son los iones amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-), sin omitir al propio N_2 gaseoso. Los compuestos de fósforo existen en las formas ortofosfatos y polifosfatos disueltos, así como fosfatos enlazados orgánicamente. ^{(2) pág. 51}

3.2.2.1 Compuestos de nitrógeno.

El nitrógeno es esencial para los organismos vivos como un importante constituyente de las proteínas, incluyendo al material genético. Las transformaciones biológicas del nitrógeno en el agua son:

- Asimilación de sus formas inorgánicas (NH_4^+ , NO_3^-), por las plantas y microorganismos para convertirlos en las formas orgánicas del nitrógeno (aminoácidos),
- Reducción del gas nitrógeno a amoníaco y nitrógeno orgánico en el metabolismo de los microorganismos,
- Conversiones complejas de nitrógeno desde un organismo a otro,
- Oxidación del amonio a nitrito y nitrato, conocida como proceso de *nitrificación*,
- *Amonificación* del nitrógeno orgánico para producir amoníaco durante la descomposición de la materia orgánica.
- Reducción bacterial del nitrato a óxido nitroso (N_2O) y nitrógeno molecular, en condiciones anóxicas llamadas de *desnitrificación*,

Los principales procesos no biológicos en que se involucra el nitrógeno son: la volatilización, la sorción y la sedimentación. ^{(2) pág. 52}

3.2.2.1.1 Amoníaco.

El agua natural tienen el amoníaco resultante de la descomposición de la materia inorgánica y orgánica en el suelo y en el agua misma. Otras fuentes importantes de amoníaco son las excretas de la biota.

En el agua, el amoníaco existe en equilibrio con el ión amonio, NH_4^+ , y la suma de ambos se conoce como amoníaco total. La temperatura y el pH afectan dicho equilibrio y por ello, al aumentar el pH se favorecerá el desprendimiento del amoníaco gaseoso desde el agua, lo que explica que en ciertos niveles de pH

Debido a que es consumido por las plantas, el fósforo se encuentra muy raramente en altas concentraciones en el agua dulce, aunque sí existen marcadas variaciones estacionales. El intervalo natural de concentraciones oscila entre 0.005 y 0.020 mg/L $\text{PO}_4\text{-P}$, con un mínimo de 0.001 en aguas prístinas y valores pico de 200 mg/l en aguas salinas confinadas. En las aguas subterráneas los niveles promedios de fósforo son del orden de 0.020 mg/L $\text{PO}_4\text{-P}$. ^{(2) pág. 55}

3.2.3 Materia orgánica.

cantidad

En muchos casos, el agua dulce contiene materia orgánica que puede ser medida como carbono orgánico total COT (TOC por sus siglas en inglés). Para propósitos de comparación, puede obtenerse un indicio sobre la cantidad de materia orgánica presente mediante la medición de ciertas propiedades relacionadas con ella; como por ejemplo, la demanda bioquímica de oxígeno DBO, (BOD de sus siglas en inglés) que es la principal cantidad. La determinación de la demanda química de oxígeno DQO (QOD del inglés) es también de utilidad, pues incluye en su medición a todo o a la mayor parte del DBO, junto con otras demandas químicas. En la mayoría de las muestras, y casi como regla, $\text{DQO} > \text{DBO} > \text{COT}$. Sin embargo existen situaciones en que esta relación no se mantiene, principalmente cuando la muestra contiene sustancias tóxicas. ^{(2) pág. 56}

3.2.3.1 Carbono orgánico total (COT).

El carbono orgánico, en el agua dulce, tiene su origen en la materia viviente (organismos y microorganismos, en forma directa por la fotosíntesis de las plantas y la actividad de los animales) y como constituyente en las descargas de desechos. Como consecuencia, el contenido de materia orgánica puede ser un índice indicador útil de que existe contaminación en el agua de un cuerpo, principalmente después de comparar los análisis hechos aguas arriba y abajo de una potencial fuente de contaminación; como las descargas sanitarias o industriales de las áreas urbanas. En el agua superficial la concentración de carbono orgánico total es usualmente inferior a 10 mg/L, mientras que en el agua subterránea es menor que 2 mg/L, a menos que exista una fuente contaminante directa sobre el acuífero. ^{(2) pág. 57}

3.2.3.2 Demanda química de oxígeno (DQO).

El DQO es una medida del equivalente de oxígeno respecto a la materia orgánica contenida en una muestra de agua y que es susceptible a la oxidación mediante un oxidante químico fuerte, como el ión dicromato, en solución de ácido sulfúrico. La determinación del DQO es ampliamente utilizada como una medida de la susceptibilidad a la oxidación de los materiales orgánicos e inorgánicos presentes en el agua natural y en los efluentes del drenaje municipal y plantas industriales. La prueba del DQO no es específica, pues no identifica o distingue al material orgánico del inorgánico también presente. De la misma manera, tampoco indica el contenido de carbono orgánico total presente, pues algunos compuestos orgánicos no son oxidados por el dicromato, mientras que algunos compuestos inorgánicos sí son oxidados.

El agua superficial exhiben concentraciones de DQO en cantidades cercanas a los 20 mg/L O₂ o menores (para los menos contaminados), hasta mayores de 200 mg/L O₂ en corrientes que reciben descargas o efluentes. El agua industrial puede tener niveles de DQO entre 100 y 60 000 mg/L O₂. ^{(2) pág. 57}

3.2.3.3 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El DBO es una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica, degradable bioquímicamente, que se halla presente en el agua. El DBO se define como "la cantidad de oxígeno requerida para que los microorganismos aeróbicos, presentes en la muestra, puedan oxidar la materia orgánica y convertirla a una forma inorgánica estable".

Los valores de DBO son por lo común inferiores a los valores DQO. Valores típicos de DBO en el agua limpia son de 2 mg/L O₂ ó menos, mientras que en el agua contaminada con descargas, pueden tenerse valores de hasta 10 mg/L O₂ o más. El Agua "negras", sin tratar, de origen doméstico, exhibe valores de DBO de 350 mg/L O₂, mientras que después del tratamiento puede disminuirse el valor del DBO para quedar entre 20 a 100 mg/L O₂. Algunas descargas industriales pueden tener niveles de DBO de 2500 mg/L O₂.

Esta variable no es relevante en el agua subterránea, a menos que se sospeche de una infiltración o recarga, hacia el acuífero, desde algún cuerpo superficial altamente contaminado. ^{(2) pág. 58}

3.2.3.4 Ácidos húmicos y fúlvicos.

La materia orgánica que proviene de los organismos vivos hace una importante contribución a la calidad natural del agua. La composición de esta materia orgánica es en extremo diversa, y aunque usualmente no es tóxica, ejerce efectos controladores importantes en los procesos hidroquímicos y bioquímicos de un cuerpo de agua. Algunos de esos compuestos afectan significativamente la calidad del agua para ciertos usos, especialmente aquellos que dependen de las propiedades *organolépticas* de olor y sabor.

Los ácidos húmicos y fúlvicos actúan como sustancias precursoras en la formación de cloroformo, durante la cloración desinfectante del agua. Además, el humus acuático determina la especiación de metales pesados y otros contaminantes, a causa de su alta habilidad para formar complejos, lo que da por resultado que las sustancias húmicas afectan la movilidad y toxicidad de los complejos metálicos. Por lo anterior, las mediciones de concentración de los complejos metálicos pueden ser importantes en la determinación del impacto antropogénico sobre los cuerpos de agua.

El ácido fúlvico tiene masas moleculares en el intervalo de 300 a 5000, mientras el ácido húmico excede a 5000. El ácido fúlvico representa un 60 a 90% de las sustancias húmicas disueltas. Ellas son estables (el DBO es bajo) pero son químicamente oxidables y pueden afectar los resultados de DQO.

Las sales de potasio son altamente solubles y fácilmente se incorporan y acumulan en la biota acuática como uno de sus nutrientes esenciales. Las concentraciones en el agua natural son del orden de < 10 mg/L, pero pueden encontrarse concentraciones tan altas como 100 y 25000 mg/L, en el agua termal y salmueras, respectivamente. ^{(2) pág. 61}

3.2.4.3 Calcio.

El calcio se halla presente en toda el agua, como Ca^{2+} y fácilmente se disuelve desde las rocas y minerales ricos en calcio, como los carbonatos y sulfatos, especialmente de calizas y yesos. En el agua subterránea, el Ca^{2+} es muy abundante. Los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} son los responsables de la dureza del agua. Los procesos industriales, y los de tratamiento de agua y agua residual, también contribuyen con calcio al agua superficial. Además, la lluvia ácida puede incrementar el lixiviado del calcio desde los suelos.

El calcio es un elemento esencial para la vida en una gran diversidad de organismos. Algunos lo incorporan en sus huesos y otros en sus conchas. Las concentraciones típicas de Ca^{2+} en el agua natural son de ≈ 15 mg/L, pero para el agua asociada a rocas carbonatadas, los niveles pueden estar entre 10 - 100 mg/L. El agua salobre pueden mostrar varios cientos de mg/L o aún concentraciones mayores. ^{(2) pág. 62}

3.2.4.4 Magnesio.

El magnesio es común en el agua natural como Mg^{2+} y junto con el calcio contribuye a la dureza del agua. La fuente principal del magnesio es la temperización de rocas que contienen minerales ferromagnésicos, así como las rocas carbonatadas. El magnesio existe en la naturaleza también en compuestos organometálicos y hasta en la materia orgánica por ser un elemento esencial para la vida de los organismos. Los niveles naturales de Mg^{2+} en el agua superficial y subterránea son de 1 a > 100 mg/L, dependiendo del tipo de rocas que afloran en la cuenca de captación, y son raros los casos de excesos causados por descargas industriales, a pesar de que este elemento es común en muchos procesos. ^{(2) pág. 63}

3.2.4.5 Carbonatos y bicarbonatos.

La presencia de CO_3^{2-} y HCO_3^- influencia a la dureza y alcalinidad del agua. Las fuentes para estos iones son diversas y se dan en el siguiente orden: a) por el componente inorgánico de carbono (CO_2) que proviene de la atmósfera y de la respiración biológica y b) por la temperización de rocas calcáreas que contribuyen con sales disueltas de carbonatos y bicarbonatos. El agua de regiones desprovistas de rocas calcáreas contienen CO_3^{2-} y HCO_3^- originados enteramente del CO_2 de la atmósfera y del suelo. En cambio, en el contacto con rocas calcáreas, las rocas mismas contribuyen con un 50% de esos iones presentes en el agua.

Las cantidades relativas de CO_3^{2-} , HCO_3^- y H_2CO_3 dependen del pH en el agua superficial (~ 6 - 8.2), en donde el HCO_3^- es el ion dominante regularmente. El CO_3^{2-} es poco común en el agua superficial, pues el pH rara vez excede el valor de 9, mientras que el agua subterránea, pudiendo ser más alcalina, puede exhibir concentraciones de CO_3^{2-} de hasta 10 mg/L. Las concentraciones de HCO_3^- son usualmente de \approx 500 mg/L, pero más comúnmente menores que 25 mg/L. (2) pág. 63;

3.2.4.6 Cloruros.

El cloruro Cl^- llega al agua superficial desde diversas fuentes, entre las que se encuentran: la depositación de los aerosoles provenientes del mar, la temperización de rocas evaporíticas sedimentarias, las descargas domésticas e industriales, y los escurrimientos del campo y en las carreteras. En el agua prístina, la concentración de Cl^- es menor que 10 mg/L y algunas veces menor que 2 mg/L.

Valores de concentración mayores son comunes cerca de descargas y efluentes, en drenajes y lavados de la irrigación, por intrusiones salinas, en zonas áridas y en áreas costeras húmedas.

El uso de sal en caminos y carreteras, durante el invierno para controlar el hielo (muy común en los Estados Unidos, Canadá, norte de Rusia, países nórdicos, etc, a menudo aumenta significativamente la concentración de cloruro en el agua subterránea. Las altas concentraciones de cloruro toman desagradable el sabor del agua y pueden incluso hacerla inapropiada para darlas de beber al ganado. (2) pág. 64

3.2.4.7 Sulfato.

El ion sulfato, SO_4^{2-} , se halla en forma natural en el agua superficial y subterránea. Su origen, al igual que con el Cl^- , es la depositación atmosférica de aerosoles oceánicos y del lixiviado de compuestos de azufre, tanto de aquellos en la forma de sulfatos (yesos), como de minerales de sulfuro, por ejemplo la pirita.

Sólo los sulfatos de plomo, bario y estroncio son poco solubles en agua y por ello, en ausencia de los iones de esos metales, el SO_4^{2-} se hallará presente en el agua en forma disuelta, donde puede proveer de oxígeno a las bacterias, que lo convierten en sulfuro de hidrógeno (HS^- y H_2S), en condiciones de escasa oxigenación con aire.

Las concentraciones normales de SO_4^{2-} , en el agua natural dulces se hallan entre 2 y 80 mg/L, aunque niveles superiores a 1000 mg/L pueden presentarse cerca de descargas industriales o en zonas áridas, donde el yeso es abundante, como es el caso de Galeana, N. L. Valores de SO_4^{2-} de 400 mg/L o mayores hacen desagradable al gusto el agua para beber. (2) pág. 64

3.2.5 Variables inorgánicas adicionales (iones minoritarios)

Aparte del grupo de los iones mayoritarios, existe otro grupo de especies inorgánicas que comúnmente se hallan presentes en el agua natural, con valores bajos de concentración. Este grupo se conoce como el de los *iones minoritarios* y el número de sus integrantes es más o menos amplio, según sean los objetivos de un programa de monitoreo de calidad del agua. A continuación se revisan los más sobresalientes o importantes iones de este grupo. ^{(2) pág. 64.}

3.2.5.1 Sulfuro.

En el agua subterránea el sulfuro proviene invariablemente de la descomposición y/o disolución de minerales sulfurosos y de gases volcánicos. En el agua superficial, en cambio, el sulfuro proviene de la descomposición anaeróbica bacteriana de materia orgánica, en los sedimentos del fondo o en las capas estratificadas inferiores en presas y lagos, hasta donde no alcanza a llegar el oxígeno atmosférico, produciéndose concentraciones moderadas y bajas de sulfuro. Altas concentraciones de este ion son a menudo indicadoras de acumulación de desechos domésticos o industriales descargados en el cuerpo de agua, tomándola desagradable al olfato y hasta, en cierto grado, tóxica e inapropiada para beber.

Los sulfuros disueltos en el agua se hallan presentes como moléculas no ionizadas de H_2S , como el ion bisulfuro HS^- y raramente como ion sulfuro S^{2-} , siendo una función del pH lo que determine qué formas sean las predominantes, aunque se sabe que si el pH es menor que 10 (normal en el agua natural), la concentración de S^{2-} es despreciable. ^{(2) pág. 65}

3.2.5.2 Sílice.

El Sílice es común y siempre se halla presente, tanto en el agua superficial como en la subterránea, existiendo en los estados coloidal, suspendido y disuelto. Las formas disueltas o reactivas pueden ser el ácido silícico (H_4SiO_4) y sus iones silicatos disociados, reportados comúnmente como sílice (SiO_2). Esta especie proviene de la temperización de rocas silíceas, aunque también de las descargas de las industrias de la alfarería, cerámica, vidrio, molduras de vaciado de bronce y hierro y de abrasivos.

El silicio es un elemento esencial para ciertas formas de vida vegetal acuática, particularmente las diatomeas, las que lo toman durante el crecimiento celular y luego lo liberan durante su descomposición, lo que da lugar a variaciones estacionales en el contenido de sílice, principalmente en lagos y presas.

En el agua superficial, el contenido de sílice es de 1 a 30 mg/L. En el agua subterránea y volcánica el contenido es mayor, alcanzando hasta 1 g/L o más en manantiales termales, sin embargo, en los análisis realizados en el agua objeto de este estudio se encontraron valores superiores a 80 ppm. ^{(2) pág. 65}

3.2.5.3 Fluoruro.

El fluoruro (F^-) se origina en la temperización de rocas y minerales que lo contienen, por ejemplo la fluorita CaF_2 , llegando así al agua superficial y subterránea. La movilidad y presencia de F^- en el agua depende de la concentración de Ca^{2+} , con el cual forma una sal insoluble. Las concentraciones de F^- en el agua natural varían de 0.05 a 100 mg/L, aunque generalmente son menores que 0.1 mg/L. En el agua subterránea las concentraciones a menudo son hasta de 10 mg/L. Valores muy altos de F^- , que exceden la recomendación de la Organización Mundial de la Salud de 1.5 mg/L, se encuentran en el agua volcánica subterránea y en lagos, como son los casos de Hawai o el Rift (Falla) de África del Este. Ocurrencias bien localizadas con altas concentraciones de fluoruro en aguas subterráneas, asociadas con rocas sedimentarias y metamórficas, han sido reportadas en Ohio (USA), Sri Lanka, India, Malawi y Tanzania, entre otros lugares.

Las mediciones del contenido de F^- son muy importantes, si el agua se usa para beber, pues en altas concentraciones este ion es tóxico y causa padecimientos en los huesos. Concentraciones ligeramente superiores que los niveles naturales ayudan a prevenir las caries dentales, pero valores moderados de 1.5 - 2.0 mg/L causan la formación de manchas en los dientes. Concentraciones altas de fluoruro son en sí una fuerte restricción al uso del agua subterránea para fines de potabilización, siendo además, por regla, que una vez encontrado el F^- en el agua, difícilmente su presencia va a ser desarraigada, sabiéndose también, por experiencia, que, en general, su concentración mostrará variaciones que pueden ser desatendidas a lo largo del tiempo. ^{(2) pág. 66}

3.2.5.4 Boro.

El boro es un componente natural en el agua dulce, que proviene de la temperización de las rocas, lixiviado de suelos, acción volcánica y otros procesos naturales. Las descargas domésticas e industriales también contribuyen con boro a las aguas superficiales. El boro es también un componente en plaguicidas y ciertos tipos de fertilizantes.

Usualmente, el boro se encuentra en bajas concentraciones en el agua. En promedio, para el agua subterránea no excede de 0.1 mg/L y rara vez alcanza 1.5 a 3 mg/L en sólo algunos lugares. El agua mineralizada, utilizada con fines relacionados con la salud, exhibe hasta 48 mg/L de boro; pero no se utiliza para beber. Los límites aceptados de boro en el agua potable oscilan de 0 a 5 mg/L y para el riego no debe pasar de 0.5 mg/L para cultivos sensibles, o de 6 mg/L para irrigaciones cortas y cultivos tolerantes. ^{(2) pág. 66}

3.2.5.5 Cianuro.

La industria de la electro-depositación es una fuente importante del cianuro que llega hasta el agua dulce. Los cianuros existen en el agua como iones CN^- o en la forma poco ionizada del ácido cianhídrico (HCN), pero además pueden ocurrir

como complejos compuestos con metales. La toxicidad de los cianuros depende de su especiación; algunas formas iónicas y el HCN son altamente tóxicos. La toxicidad de los complejos débiles formados con los metales Zn, Pb y Cd son en extremo tóxicos, mientras que los de Cu son menos tóxicos, finalmente; los de Ca y Fe son sólo débilmente tóxicos.

Las concentraciones de CN^- en el agua destinada al consumo humano son estrictamente limitadas, debido a su toxicidad. La Organización Mundial de la Salud recomienda como máximo permisible, una concentración de 0.1 mg/L en el agua para beber; aunque algunos países aplican restricciones aún más severas e incluyen en ellas al agua de las granjas de producción de peces. (2) pág. 67

3.2.6 Iones metálicos.

La habilidad del agua para sostener la vida acuática depende de muchos elementos (trazas). Algunos metales, como el Mn, Zn y Cu, son útiles para las funciones fisiológicas y controlan muchos procesos bioquímicos, si se hallan presentes en pequeñas concentraciones. Ellos mismos pueden ser altamente tóxicos al hombre y otros seres vivos, si sus concentraciones se ven incrementadas por las descargas industriales, domésticas o de la actividad minera.

La toxicidad de los metales en el agua depende del estado de oxidación del metal y de las formas en que ésta se presenta. Por ejemplo, los límites comúnmente permitidos de Cr(VI), 0.001 mg/L, frente a los de Cr(III) son de 1/500. Como regla, la forma más tóxica de un metal es la forma iónica, aunque la toxicidad puede ser disminuida si el metal forma complejos con los ácidos fúlvicos y húmicos. En ciertas condiciones, los compuestos organometálicos de bajo peso molecular muestran toxicidades mayores que las formas no combinadas. Un ejemplo de lo anterior son los derivados alquílicos de mercurio (metilmercurio), compuestos altamente tóxicos que se sintetizan por los microorganismos acuáticos a partir del Hg elemental. Los metales pueden existir en el agua en las formas coloidal, disuelta y suspendida. La proporción entre ellas depende de cada metal y del cuerpo de agua.

El Sistema Global de Monitoreo Ambiental (GEMS/WATER) incluye 10 metales dignos de atención en estudios sobre contaminación. Ellos son: Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Ni, Pb, Zn, As y Se, en donde, por cierto los últimos dos no son metales estrictamente hablando. La US-EPA (Environmental Protection Agency, de U.S.A.) considera como prioritarios 8 elementos trazas: As, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, Ni y Zn. Existen otros elementos altamente tóxicos, cuyo control debe ser efectuado en cualquier ambiente donde se sospeche su presencia: Be, Tl, V, Sb y Mo. A menudo se encuentran los elementos Fe y Mn en la lista de iones mayoritarios y ello explica su ausencia de la lista dada por la US-EPA.

Acerca del hierro, su presencia en el agua depende mucho de las condiciones del ambiente. En el agua superficial bien oxigenada, sólo se encuentran unos pocos $\mu\text{g/L}$ de Fe disuelto, no-complejado, en equilibrio si el pH es $\sim 6.6 \sim 8.5$. En el agua subterránea pueden tenerse niveles mucho mayores. En el agua anóxica subterránea, con un pH de 6 a 8, el Fe^{2+} puede presentarse en concentraciones

de hasta 50 mg/L, siendo comunes aquéllas de 1 a 10 mg/L. El Fe se origina en la disolución del material que lo contiene, lo que puede ser ocasionado por, a) reducción natural del $\text{Fe}(\text{OH})_3$, o por b) oxidación de FeS con una alta influencia de la actividad microbiológica. Los altos valores de concentración de Fe disuelto en algunos casos en agua subterránea pueden ser visualizados en el cambio de color de una muestra de agua recién sacada de un pozo profundo, la que pasa de cristalina a naranja-rojiza por la oxidación del Fe que pasa a $\text{Fe}(\text{OH})_3$ por la acción del O_2 del aire.

Las concentraciones de los diferentes metales en el agua varían en un amplio intervalo de 0.1 a 0.001 $\mu\text{g}/\text{L}$, pudiendo en algunos sitios específicos alcanzar niveles peligrosos para la salud humana. La medición de las concentraciones de metales disueltos es muy difícil y se obstaculiza por diversos errores o fallas técnicas, desde el muestreo, en el pre-tratamiento y el almacenamiento, dando grandes diferencias entre los resultados obtenidos aún por diferentes laboratorios altamente sofisticados.

Otra dificultad actual es que aún se desconoce la variabilidad natural de los metales disueltos. Como ellos existen usualmente en muy bajas concentraciones, se recomienda medirlos en la materia particulada, para la cual se tiene mayor información sobre su variabilidad y los valores de referencia de fondo. ^{(2) pág. 68}

3.2.7 Contaminantes orgánicos.

Miles de compuestos orgánicos individuales entran a los cuerpos de agua como resultado de las actividades humanas. Estos compuestos tienen diferentes propiedades físicas, químicas y toxicológicas, lo que hace prácticamente imposible el control de cada compuesto individual; aunque puede seleccionarse un grupo prioritario de contaminantes sobre la base de su mayor importancia, toxicidad, predominancia, etc. Como ejemplos de tales clases de contaminantes se tienen a los bifenilos policlorados (PCB's), los plaguicidas, los fenoles, el petróleo y sus productos, etc.

Las siguientes clases de contaminantes orgánicos deberán ser identificadas: hidrocarburos (incluyendo aromáticos y poliaromáticos), halocarbonos, hidrocarburos clorados, grupos de plaguicidas, policlorovinilos PCV's, fenoles, ésteres de ftalato, nitrosaminas, nitroaromáticos, haloéteres, derivados de bencidina y dioxinas. El análisis del agua para estos contaminantes orgánicos se hace en muestras no filtradas, excepto para el caso de los plaguicidas organoclorados que se determina en el material particulado. ^{(2) pág. 70}

3.2.7.1 El petróleo y sus productos.

El petróleo y sus derivados son los responsables de la mayor contaminación y del daño ecológico en cuerpos de agua dulce. Más de 800 compuestos individuales han sido identificados en el petróleo, entre los que se encuentran los alifáticos de alto y bajo peso molecular, los hidrocarburos aromáticos y nafténicos, los heterociclos insaturados de alto peso molecular (resinas y asfaltenos) y numerosos compuestos de oxígeno, nitrógeno y azufre.

El petróleo se distribuye en el agua en diferentes formas: disuelto, en película, por emulsión y también en la forma de fracciones adsorbidas, con interacciones entre ellas muy diversas y complicadas en naturaleza. Para complicar más las cosas, simultáneamente ocurren las transformaciones de estos compuestos por procesos bioquímicos, microbiológicos, químicos y fotoquímicos. Debido al alto riesgo ecológico de todas las actividades que acompañan al petróleo, a éste se le considera como contaminante de alta peligrosidad. Para el agua potable, la concentración máxima recomendada de este tipo de compuestos oscila de 0.01 a 0.1 mg/L. Concentraciones de 0.3 mg/L o más, de petróleo crudo, causan efectos tóxicos a los peces. Cuando se utilice el término "productos del petróleo", éste deberá aplicarse sólo a la fracción de los hidrocarburos. ^{(2) pág. 71}

3.2.7.2 Los fenoles.

Los fenoles forman un importante grupo de contaminantes que entran al agua en las descargas de desechos de las industrias, aunque los fenoles también se forman naturalmente mediante el metabolismo de los organismos acuáticos, la descomposición bioquímica y otras transformaciones de la materia orgánica en el agua y en los sedimentos. Los fenoles son compuestos aromáticos, con uno o varios grupos OH-, que pueden ser oxidados fácilmente mediante procesos químicos, fotoquímicos o bioquímicos. Por lo anterior, ellos tienen efectos dañinos en la calidad del agua y en las condiciones ecológicas de ella, afectando a los organismos vivos y alterando la presencia y concentración de gases disueltos, principalmente oxígeno.

El sabor y el olor del agua se deterioran marcadamente si existen fenoles, por lo que se recomienda un límite de 0.001 mg/L en su contenido. La concentración de fenoles en aguas no contaminadas es inferior a 0.02 mg/L, pero existen efectos tóxicos en los peces desde valores de concentración de 0.01 mg/L. ^{(2) pág. 72}

3.2.7.3 Los plaguicidas.

Los plaguicidas, a menudo referidos también como "pesticidas", son compuestos químicos tóxicos para ciertos organismos, desde bacterias y hongos, pasando por plantas superiores e incluyendo a los mamíferos. La inmensa mayoría de los plaguicidas no ocurren naturalmente en el ambiente y cualquier cantidad detectable indica contaminación. Existen cerca de 10000 diferentes plaguicidas disponibles, de los que los insecticidas, los herbicidas y los fungicidas son los más ampliamente utilizados, seguidos por los raticidas. El modo como actúa un plaguicida se determina por su estructura química, lo que permite separar en clases los plaguicidas: organoclorados, organofosforados, de carbamato, los del tipo triazina y los clorofenólicos.

El control de plaguicidas presenta considerables dificultades, particularmente para el agua subterránea, pues existe un amplio número de plaguicidas de uso agrícola común y la mayoría se descompone para dar a su vez otros productos tóxicos.

Los niveles ambientales de los plaguicidas organoclorados tienden a ser los más altos por lo amplio y prolongado de su uso, en combinación con su gran estabilidad química. En los años 50's el DDT fue usado liberalmente en el mundo

y no fue sino hasta el inicio de los 70's que se limitó su uso, prohibiéndose en algunos países. Sin embargo, las concentraciones de DDT y sus metabolitos, son todavía altas en regiones áridas. Estos plaguicidas son derivados de hidrocarburos polinucleares (DDT), ciclo parafinas (hexaclorociclohexano, HCH), compuestos de la serie dieno- (heptaclo) y ácidos carbónicos alifáticos (propanide). La mayoría son insolubles en agua pero solubles en hidrocarburos y grasas, tienen además gran habilidad para acumularse en los tejidos biológicos y así alcanzar concentraciones mucho mayores en cierta biota acuática, más que en el agua que la rodea o en los sedimentos. Las concentraciones de los plaguicidas organoclorados en el agua tienden a estar en el intervalo de 0.00001 a 0.001 mg/L. ^{(2) pág. 72}

3.2.7.4 Los Surfactantes.

Los surfactantes sintéticos son compuestos que pertenecen a diferentes clases químicas y que contienen un radical hidrofóbico débilmente polar, como el alquilo. Los surfactantes pueden ser aniónicos, catiónicos y no iónicos. Los aniónicos son los más usados como detergentes. Los surfactantes entran a los cuerpos de agua desde las descargas industriales y domésticas principalmente, existiendo, en el agua superficial, en los estados disuelto o adsorbido, así como también en una película superficial en el agua, gracias a la habilidad de concentrarse en las interfases agua-aire o agua-sedimento.

Los surfactantes (de procedencia doméstica), no son altamente tóxicos, pero pueden afectar a la biota acuática, e imparten sabor y olor al agua, aún desde concentraciones tan bajas que van de 0.4 a 3 mg/L, efecto que se incrementa con la cloración. Los surfactantes son los principales responsables de la formación de espuma en las superficies de las aguas. Otros contaminantes, incluyendo a los agentes patógenos, encuentran en la espuma un lugar donde concentrarse. Además, la presencia de espuma dificulta la aeración del agua, disminuyendo los niveles de oxígeno disuelto. La concentración mínima requerida de surfactante, para formar espuma, puede ser de 0.1 a 0.5 mg/L, lo que depende de la estructura del surfactante.

En términos de biodegradabilidad, los surfactantes se dividen en tres categorías: degradables ($k > 0.30/\text{día}$), intermedios ($k = 0.30 - 0.05/\text{día}$) y estables o no degradables ($k < 0.05/\text{día}$). En cada caso el valor de la constante k corresponde con la cinética de descomposición química de primer orden, es decir, $-dC / dt = k C$, siendo C la concentración del surfactante. La actitud generalizada de "reducir" la contaminación mediante el uso de surfactantes degradables tiene la desventaja de causar una disminución significativa en el oxígeno disuelto en el agua, lo que forzosamente va acompañado por efectos indeseables en el ambiente acuático. ^{(2) pág. 73}

3.2.8 Indicadores microbiológicos.

El riesgo asociado con el agua más común para la salud del hombre, es el relacionado con la presencia de microorganismos que causan enfermedades. Muchos de esos organismos se generan en agua que han sido contaminada con excreta humana. Las heces humanas pueden contener una amplia variedad de

agentes patógenos, capaces de causar malestares ligeros como la gastroenteritis, hasta las serias y a veces mortales como la disentería, el cólera y la tifoidea. Dependiendo de la ubicación geográfica, los hábitos higiénicos y las condiciones climáticas de la comunidad, otros parásitos y virus pueden hallarse presentes en el agua. El agua dulce contiene también microorganismos "nativos" al medio, incluyendo bacterias, hongos, protozoos, algas, etc., algunos de los cuales se sabe que producen toxinas y transmiten o causan enfermedades a la humanidad y trastornos a la biota acuática.

Los patógenos bacteriales intestinales se hallan distribuidos ampliamente en el mundo. De ellos, los más comunes, presentes en el agua, son las bacterias *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, *Campylobacter*, *Vibrio* y *Yersinia*. Otros patógenos ocasionalmente encontrados incluyen al *Mycrobacterium Pasteurella*, *Leptospira* y *Legionella*, así como los enterovirus *Poliovirus*, *Echo virus* y *Coxsackie virus*. Los adenovirus, reovirus, rotavirus y el virus de la hepatitis, todos altamente infecciosos, pueden también encontrarse en el agua. La *Salmonella*, responsable de la tifoidea, paratifoidea, gastroenteritis y envenenamiento de los alimentos, puede ser excretada por una persona aparentemente saludable que actúa como portador. También las aves y otros animales pueden ser portadores.

El drenaje y los escurrimientos urbanos y domésticos, por lo general, son descargados en los cuerpos de agua, principalmente en los ríos. Los patógenos asociados con esas descargas se distribuyen en el agua para convertirse en un riesgo para los usuarios. El agua doméstica sin tratar, típica o representativa de un municipio, puede contener entre 10 y 100 millones de bacterias coliformes (bacterias que se originan en el tracto intestinal) por cada 100 mL. y de 1 a 50 millones de *Escherichia coli* o *Streptococo fecal* por cada 100 mL. Diferentes niveles de tratamiento pueden reducir esto por un factor de 10 a 100 y luego esas concentraciones se reducen más en el proceso de dilución en el punto de la descarga al río. La práctica de riego con aguas negras escasamente tratadas (o sin tratar) puede llevar a una contaminación patógena del agua superficial y subterránea, principalmente si existe una rápida percolación a través de los suelos. Otra fuente de patógenos son los escurrimientos y los lixiviados, que provienen de los corrales de engorda, de los depósitos de basura y de los rellenos sanitarios.

La supervivencia de los patógenos es muy variable y depende de la calidad del aguas receptora, particularmente de la turbidez, los niveles de oxígeno, la concentración de nutrientes y la temperatura. Los bacilos de *Salmonella* han sido reportados a más de 80 kilómetros abajo del punto de la descarga en un río, indicando su habilidad para sobrevivir, en las condiciones correctas. Los microorganismos a menudo se adsorben en la arena, la arcilla y las partículas de sedimento, concentrándose y acumulándose en esas partes del cuerpo de agua, en donde sólo la actividad del mico zooplancton, como depredador, permite la parcial eliminación de esa acumulación.

Las bacterias de origen fecal, en ríos y lagos que sufren un escaso impacto humano, pueden variar de menos de 1 a 3 000 organismos por cada 100 mL. En áreas de alta densidad poblacional, los cuerpos de agua presentan cuentas de hasta 10 millones de organismos por cada 100 mL. El agua subterránea natural

no debería contener bacterias fecales, a menos que se hallen contaminadas.

Para evitar la infección humana, la Organización Mundial de la Salud recomendó para el agua potable una cuenta de 0 (cero) organismos coliformes por cada 100 mL. La detección de otros patógenos, virus, etc. es menos común, por la falta de métodos apropiados; de los medios físicos (laboratorio, equipo, etc.); o del personal calificado que ello requiere. En general, donde la cuenta de bacterias coliformes fecales es alta, los virus pueden también ser detectados, pero requiriendo volúmenes de 20 a 100 litros de agua. Los *enterovirus* se encuentran en el agua de desecho sin tratar en concentraciones muy inferiores a las mostradas por los patógenos bacteriales, ocurriendo raramente en más de 1000 unidades por litro. Los números para coliformes fecales son generalmente de 10 a 20 veces superiores a los que se encuentran de *Salmonella*. El monitoreo de bacterias patógenas es un componente esencial en la valoración de la calidad del agua, fundamentalmente cuando ésta puede ser ingerida. Antes de consumir agua de una fuente, ésta debe ser examinada para evaluar la presencia de bacterias fecales, permitiendo así la eliminación de localidades cuyas descargas den valores positivos y altos. ^{(2) pág. 74}

3.3 Principales variables de la calidad del agua en el proceso de elaboración de la cerveza.

Comparando la NOM 127, con la calidad del agua que se usaría para la elaboración de la cerveza, aparecen varios parámetros que no cumplen con dicha Norma, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 3.1.- Tabla comparativa de la calidad del agua para elaboración.

	Agua de pozos "sin tratar" mg/L ion	NOM 127 22-Nov-00 mg/L ion	Norma Interna elaboración mg/L ion
Bicarbonatos	123.50		50.00
Silicatos	83.50		50.00
Sulfatos	66.20	400.00	100.00
Cloruros	30.10	250.00	35.00
Calcio	28.10		50.00
Magnesio	7.10		20.00
Sodio	54.00	200.00	75.00
Zinc	0.03	5.00	0.20
Cobre	0.014	2.00	0.10
Fenoles	0.002	0.001*	
Arsénico	0.07	0.040	
Cianuros	0.06	0.070	
Fierro	0.040	0.300	0.10
Mercurio	0.002	0.001	
Plomo	0.030	0.010	
SDT	331.656	1000.00	400.00
pH	6.90	6.5-8.5	6.5-8.5
Trihalometanos	0.00	0.20	0.10

* El límite de fenoles se tomó de la NOM 127 del 18 de enero de 1996

Se observa en la tabla 3.1; que algunos contaminantes como los bicarbonatos y el sílice no aparecen en la NOM 127 pero sí en la Norma Interna. Otros parámetros como Fenoles, Arsénico, Mercurio y Plomo, aparecen como parámetros en la NOM 127 y las cantidades encontradas de estos contaminantes en el agua de pozos rebasan los límites, por lo que los esfuerzos estarán encaminados a reducir o eliminar la presencia de estos contaminantes en el agua, principal objetivo de este estudio.

3.3.1 Bicarbonatos.

Una alta alcalinidad no beneficia a la bebida de moderación y debe ser controlada adicionando ácido o por algún otro proceso; se deberá evitar la alta alcalinidad por el peligro que existe de extraer polifenoles de los granos. La alcalinidad (bicarbonatos) en el suministro de agua debe ser 50 ppm o menos, con esta alcalinidad el pH no es importante y sus valores pueden estar desde 4 hasta 9. ^{(5) pág. 19}

3.3.2 Silicatos.

El sílice se encuentra tanto en el agua como en los mismos granos que dan origen a la malta, por lo que se debe evitar su exceso en el agua. Está limitada la presencia de sílice en el agua sin tratar hasta 50 mg/L. Hay indicios de que un exceso de sílice provoca que la fermentación no se lleve a cabo a satisfacción, dando también una presencia coloidal en el producto final, es decir, la bebida de moderación tendrá una apariencia "opaca". ^{(5) pág. 19}

3.3.3 Fenoles

3.3.3.1 Efectos del fenol en el hombre.

Los fenoles son compuestos que causan irritación ocular y cutánea, además de dermatitis y daños hepáticos y renales.

Además de su desagradable olor, los fenoles, por simple absorción a través de la piel, causan convulsiones, afectan el hígado y los riñones. La absorción por la piel de estos compuestos puede, en algunos casos, conducir a la muerte. ⁽⁷⁾

3.3.3.2 El Fenol en el agua natural.

Entre los compuestos con mayor toxicidad presentes en las corrientes de agua se encuentran los fenoles, al reaccionar con el cloro que se utiliza en la mayoría de los países para el tratamiento del agua potable, forma compuestos fenil-policlorados que son más tóxicos y más resistentes a la biodegradación que los mismos fenoles.

Los fenoles no se encuentran en cantidades apreciables en el agua subterránea, ni en el agua residual urbana.

Los derivados clorados de los fenoles, cuya formación ocurre principalmente por la reacción de los fenoles con el cloro presente en aguas potables, confieren al agua unas características de olor y sabor muy desagradables, afectando de una manera importante la calidad de la bebida de moderación, por lo cual se buscó

otra alternativa como la del dióxido de cloro, éste no reacciona con los fenoles y además, sirve como bactericida.

El fenol es más denso que el agua y se hunde. Se disuelve lentamente y forma soluciones tóxicas. La descomposición de los fenoles en los cuerpos de agua superficiales se completa en aproximadamente 7 días; al 90% (agua estancada) y en el suelo alcanza la misma proporción en aproximadamente un día según la microflora y su concentración; la degradación total en las suspensiones de lodo requiere más de diez días.

La presencia de fenol en el agua subterránea también la contamina y ésta la que ya no podrá ser consumida, debido a su sabor desagradable.⁽⁷⁾

3.3.4 El Arsénico

3.3.4.1 Efectos del arsénico en el hombre.

El arsénico es cancerígeno y mutágeno humano confirmado, también es tóxico y se absorbe por vía gastrointestinal y por inhalación. El arsénico es causa de preocupación por ser inductor de cáncer de piel, vejiga, hígado y pulmón, además de causar la patología conocida como pie negro, que implica la inducción de gangrena y la subsecuente amputación de la extremidad; por otro lado, existen reportes que lo señalan como causante de un incremento en enfermedades cardiovasculares, en grupos expuestos.

Se conoce que las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son al beberlo o por inhalación. Es acumulable en el organismo por exposición crónica y en ciertas concentraciones ocasiona afecciones tales como: alteraciones de la piel (relajamiento de los capilares cutáneos y la dilatación de los mismos) con efectos secundarios en el sistema nervioso, irritación de los órganos de los aparatos respiratorios, gastro-intestinal, además de acumulación en los huesos, músculos, piel y, en menor grado, en el hígado y los riñones.

La evidencia epidemiológica en personas con ingestión prolongada de arsénico inorgánico ingerido en el agua potable es la hiperqueratosis palmo-plantar, cuya manifestación principal es la pigmentación de la piel y callosidades localizadas en las palmas de las manos y pies.

Resultados con animales de laboratorio indican que el arsénico inorgánico trivalente es más tóxico que el pentavalente, debido a que los compuestos pentavalentes tienen menor efecto en actividades enzimáticas. La toxicidad del arsénico depende de su estado de oxidación, su estructura química y su solubilidad en el medio biológico. La toxicidad del As^{3+} es 10 veces mayor que la del As^{5+} . Algunos estudios de toxicidad del arsénico indican que muchas de las normas actuales basadas en las guías de la OMS, son muy altas y plantean la necesidad de reevaluar los valores límite, basándose en estudios epidemiológicos.

La agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica (USEPA), clasifica al arsénico como un cancerígeno en el grupo A, debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud. La exposición de 0.05 mg/L,

puede causar 31.33 casos de cáncer de la piel por cada mil habitantes y ha considerado bajar el límite máximo de aceptación de 0.50 mg/L al de 0.010-0.020 mg/L.

México en su NOM 127-SSA1-1994, Salud Ambiental para uso y consumo humano: Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización, Diario Oficial de la Federación, miércoles 22 de noviembre de 2000, está actualizando sus límites de arsénico de tal manera que para el año 2001, el límite máximo es de 0.045 mg/L, para el año 2002, el límite máximo será de 0.040, para el año 2003, el límite máximo será de 0.035 y para el año 2005, el límite máximo será de 0.025 mg/L.

El Centro Internacional de Investigaciones sobre el cáncer lo ha clasificado en el grupo 1, porque tiene pruebas suficientes de la cancerígenocidad para los seres humanos. Su eliminación natural del organismo humano es por la vía urinaria, las heces, sudor y el epitelio de la piel (descamación).⁽⁸⁾

3.3.4.2. El arsénico en el agua natural.

El arsénico es un elemento no metálico presente en la naturaleza, al participar con un 0.00005% de la corteza terrestre, el cual se presenta en sus formas orgánica o inorgánica.

La principal vía de dispersión del arsénico en el ambiente es el agua. Aún si se considera la sedimentación, la solubilidad de los arsenatos y arsenitos es suficiente para que este elemento se transporte en los sistemas acuáticos. La concentración del arsénico en el agua natural fresca es muy variable y probablemente depende de las formas de arsénico en el suelo local.

En los sistemas acuáticos el arsénico se puede presentar en cuatro estados de oxidación bajo condiciones normales, siendo las más comunes sus estados trivalentes (arsenitos) y pentavalentes (arsenatos). En aguas naturales con un pH de 5 a 9 predominan las especies: H_2AsO_4^- , HAsO_4^{2-} , H_3AsO_3 , H_2AsO_3^- . Las condiciones que favorecen la oxidación química y biológica inducen el cambio a especies pentavalentes y a la inversa, aquellas que favorecen la reducción cambiarán el equilibrio al estado trivalente.

Los arsenatos tienen mayor capacidad de ionización debido a la presencia del doble enlace. La molécula, al perder el ion hidrógeno por la disociación, queda con carga negativa formando varios aniones.

En agua con altos niveles de oxígeno, el As^{5+} (como H_3AsO_4) es estable, existiendo las especies antes mencionadas, en un pH de entre 2 a 13. En condiciones anóxicas, con un pH mayor que 7, el arsénico es estable. En especies dominantes no iónicas, los arsenatos y arsenitos se disocian a un pH muy diferente.

Además de la información de la disociación de los iones arsenito y arsenato a un pH diferentes también es importante la información termodinámica del arsénico, que ayuda a entender su distribución (formas presentes) y movilidad en el agua subterránea y su posterior tratamiento.⁽⁹⁾

En México, hay fuentes de abastecimiento muy contaminadas: La Comarca Lagunera, en varios lugares de Guanajuato, Estado de San Luis Potosí, Estado de Zacatecas, Estado de Durango, Estado de Chihuahua y otros lugares en la República Mexicana.

3.3.5 Mercurio.

3.3.5.1 Efectos del mercurio en el hombre.

Los niveles de mercurio en la cadena alimenticia son muy bajos, debido fundamentalmente a la pequeña proporción de mercurio que pasa del suelo a las plantas, una excepción importante son las setas, cuya capacidad para acumular mercurio es muy elevada; sin embargo, esta fuente de mercurio no es importante en una dieta normal.

Entre los alimentos de origen animal, con mayor contenido de mercurio, destacan los huevos, puesto que el metilmercurio eventualmente consumido por las gallinas se transfiere en una alta proporción a los huevos; Esto tuvo gran importancia durante muchos años, cuando el metilmercurio se utilizaba como fungicida para las semillas que ocasionalmente pasaban a formar parte del alimento de las gallinas.

La absorción de mercurio por los intestinos depende de la edad de la persona y de la forma química en la que haya sido ingerido. Tanto en el hombre como en los animales adultos sólo una pequeña parte del mercurio inorgánico se absorbe por vía intestinal, aproximadamente un 7%, mientras que prácticamente puede ser absorbido el 100% de las especies orgánicas del mercurio (Organización Mundial de la Salud 1978). Por otra parte; en los lactantes, el mercurio inorgánico se absorbe de una forma más eficaz que en los adultos.

En comparación con el metal líquido, los polvos y vapores de mercurio son sumamente tóxicos y se absorben casi completamente por vía pulmonar. Los síntomas iniciales de la intoxicación aguda son: Sabor dulce y metálico en la boca junto con náusea y vómitos. Luego se inflaman las mucosas de las vías respiratorias y finalmente el mercurio se acumula en el hígado y en los riñones y solamente es excretado en diarreas. En Alemania, las enfermedades laborales provocadas por el mercurio son de denuncia obligatoria. La intoxicación crónica conduce a trastornos del sistema nervioso central y los síntomas son: apatía, falta de memoria, extrema irritabilidad y temblor generalizado. La intoxicación con mercurio puede resultar fatal.

El mercurio inhibe la actividad metabólica de los microorganismos y suprime de este modo la capacidad de autodepuración del agua, inclusive con concentraciones tan bajas como 18µg/L, el mercurio se adsorbe en sedimentos y en partículas en suspensión. ⁽¹⁴⁾

3.3.5.1.1 Compuestos inorgánicos del mercurio.

Las sales de mercurio producen lesiones en la piel y en las mucosas. Por lo común se ingieren o se absorben por piel debido a su baja volatilidad. La ingesta de sales produce inflamación de la garganta, dificultades para deglutir, mareos,

vómitos, dolor de estómago, diarrea sanguinolenta, colapso circulatorio y shock. También se produce tumefacción de las glándulas salivales, aflojamiento dental e inflamación hepática y renal. ⁽¹⁴⁾

3.3.5.1.2 Compuestos orgánicos del mercurio.

Los compuestos orgánicos del mercurio (especialmente el alquil mercurio) suelen ser mucho más tóxicos que los inorgánicos. Por otra parte, la intoxicación aguda por compuestos orgánicos produce síntomas completamente diferentes. En especial, la intoxicación producida por alquiloderivados de cadena corta, tales como el metil mercurio o el etil mercurio, solamente se reconoce después de algún tiempo (exceptuando el temblor patológico); Los síntomas típicos incluyen: campo visual restringido, pronunciación y escritura poco claras, hipersensibilidad anormal, irritación dérmica, hemorragia nasal y depresión. La exposición a compuestos orgánicos afecta al sistema nervioso (epidemia más conocida: enfermedad de Minamata, en Japón).

El metil mercurio se disuelve fácilmente en la grasa y pasa la barrera sangre-cerebro y la placenta. Este compuesto posee potencial mutágeno y teratógeno (como sustancia probadamente nociva para los fetos, el metil mercurio ha sido incluido en Alemania en la lista de sustancias que afectan el embarazo).

El consumo de algunos gramos de compuestos del mercurio puede provocar la muerte por paro renal, es tóxico al inhalarlo, corrosivo en la piel, ojos y membranas mucosas. En dosis menores, provoca insomnio, debilidad muscular, dolor de cabeza, hiperactividad, diarrea, alteraciones del hígado, problemas de la piel y fiebre. ⁽¹⁴⁾

3.3.5.2 El mercurio en el agua natural.

El mercurio inhibe la actividad metabólica de los microorganismos y suprime de este modo la capacidad de autodepuración del agua, incluso en concentraciones tan bajas como 18µg/L. El mercurio se adsorbe en sedimentos y en partículas en suspensión.

El mayor riesgo del mercurio es que, cuando está presente en la corriente de agua, hay un cierto tipo de bacterias que pueden transformarlo en metilato de mercurio, un compuesto orgánico que se concentra en los seres vivos y que provoca una serie de efectos extremadamente tóxicos. Por este medio, los mariscos llegan a veces a tener altas concentraciones de este metal.

El metilato de mercurio también es absorbido fácilmente por personas que ingieren pescado contaminado. Si la ingestión se hace durante el embarazo, el metilato de mercurio pasa de inmediato a la placenta, llegando al cerebro del feto y puede provocar retardos en el desarrollo y anomalías neurológicas. Los niños son muy sensibles a la intoxicación por este compuesto.

Las exposiciones graves producen efectos drásticos en el desarrollo, con notorias limitaciones en el desarrollo motor y mental (incluyendo parálisis cerebral avanzada, espasmos generalizados, incontinencia, ceguera y poco o ningún desarrollo del habla); estos efectos son irreversibles. ⁽¹⁴⁾

el metal se ingiere, y de las interacciones con otros componentes de la dieta. Se ha observado que una dieta rica en calcio puede disminuir la absorción y acumulación de plomo, tanto en el hombre como en los animales. Por otra parte, en estados de deficiencia de calcio, la absorción de plomo está incrementada, habiéndose observado un efecto similar con el fosfato. La absorción de plomo también está relacionada con el metabolismo del hierro, y así, en estudios realizados en animales, se ha observado que en estados de deficiencia de hierro aumenta la absorción y retención de plomo.

Los estudios realizados en el hombre son contradictorios, y mientras que para unos autores los estados de deficiencia de hierro favorecen la absorción de plomo, para otros esta relación no existe y opinan además que el suplemento de hierro en la dieta disminuye sólo ligeramente la retención de plomo. Se ha descrito que el zinc inhibe la absorción intestinal de plomo en las ratas, pero dicho efecto es mucho menor que el encontrado en el caso del hierro. ⁽¹⁵⁾

3.3.6.2 El plomo en el agua natural.

Los cuerpos de agua superficiales constituyen trampas de acumulación para los compuestos de plomo. Los compuestos insolubles se hunden y se adsorben en los sedimentos o se adhieren a partículas en suspensión (especialmente a partículas de arcilla). Las plantas acuáticas también acumulan plomo. La oxidación bioquímica de las sustancias orgánicas se ve inhibida por concentraciones de plomo superiores a 0.1 mL/L; a partir de los 0.2 mL/L de plomo asimismo, se reduce la fauna. El umbral de la toxicidad para los peces es 0.3 mg/L de plomo (truchas y peces blancos).

El agua subterránea se ve afectada por los compuestos de plomo solubles, como por ejemplo el cloruro de plomo y el nitrato de plomo. El plomo no se ve químicamente afectado por la baja cantidad de oxígeno disuelto en el agua. ⁽¹⁵⁾

3.4. Principales variables de calidad del agua en equipos de servicio.

Una parte complementaria de este proyecto es la de optimizar el uso del agua. Para el caso de agua para calderas, se toma como referencia la norma del fabricante, cuyos parámetros se indican en la tabla 3.2.

El agua filtrada y con sólo suavizarla ya cumple, para el caso de agua para lavado de botella, pasteurizado, etc., es necesario mezclar agua de osmosis con agua suave, cumpliendo de esta manera los parámetros internos de calidad. En el capítulo 6 se ilustran las calidades del agua requerida para el pasteurizado, los lavados, etc. Ahí se observa que se cumplen las Normas Internas.

Esencialmente, el parámetro que más afecta la calidad de agua, en usos que no sean como materia prima en la industria de la bebida de moderación, es la dureza. El agua tiene múltiples usos; ya sea para vapor, sistemas de lavado; circuitos de enfriamiento, etc. y en estos usos se requiere que la dureza sea muy baja o inexistente.

Tabla 3.2. Calidad de agua para calderas

	Agua filtrada	Valores para Calderas Cleaver Brooks 300 psi
	ppm _e	ppm _n
Bicarbonatos (123.50 como ión) CaCO ₃	101.14	150-700
Bióxido de carbono	48.88	10-70
Aceite, materia orgánica	0.01	2-7
Dureza total	CaCO₃ 99.41	0.0
Sílice	83.50	80-325
SDT	331.656	800-2000

Esta tabla muestra que el parámetro que no cumple la Norma para agua de calderas, es la dureza.

3.4.1 Dureza.

El proceso de suavización del agua por intercambio iónico involucra la sustitución de la dureza mineral, principalmente calcio y magnesio, por minerales de sodio. El intercambio es posible debido a que los minerales son iónicos en forma natural, lo que significa que tienen carga eléctrica. El intercambio iónico se basa en el principio de "cargas iguales se repelen, cargas diferentes se atraen". El agua es el disolvente universal y en su paso de la superficie a los mantos freáticos se integran sales de calcio y magnesio presentes en las rocas. Cuando esta agua es bombeada a la superficie tiene una alta concentración de sales de magnesio y calcio y es llamada agua dura. Mediante un intercambio iónico (suavización), la dureza producida por los iones de magnesio y calcio disueltos en el agua disminuye al substituirlos por las sales de sodio contenidas en la resina. Este proceso se conoce como ablandamiento o suavización del agua: el sodio toma el lugar del calcio y el magnesio, en la solución. La práctica de ablandar el agua sirve para evitar la sedimentación de las sales de calcio y de magnesio en las tuberías y superficies en contacto con esta agua, lo que ocurre en forma de incrustación.

Los iones metálicos involucrados son positivos y el intercambio iónico se lleva a cabo sobre una resina sintética contenida en un recipiente a presión. La resina está hecha de divinil-poliestireno-benceno y su presentación es en pequeñas microesferas cargadas negativamente. Cuando la resina se regenera, la carga negativa está dada por los cationes de sodio. Cuando los iones de calcio y magnesio son puestos en contacto con la cama de resina, entonces sucede un reemplazo de las sales de sodio. Durante este proceso también son removidos otros cationes de fuerte carga, como el fierro y el manganeso.

Cuando todos los sitios activos de la resina son ocupados con Ca²⁺ y Mg²⁺ y la reacción de intercambio iónico no se lleva a cabo, se dice que la resina está agotada y es necesario regenerarla. La resina de los suavizadores se regenera con una solución de cloruro de sodio y agua. Durante la regeneración se detiene, el flujo de servicio y un enjuague de solución salina pasa a través de la resina y se pone en contacto con los iones de calcio y magnesio. Los iones de calcio y

magnesio están más fuertemente cargados que el sodio; sin embargo, en la solución salina existen billones de iones de sodio y esta concentración proporciona mayor fuerza para desplazar las pequeñas cantidades de iones de calcio y magnesio. Cuando estos iones son intercambiados, ocurre que los iones de sodio positivos atacan los sitios activos de intercambio que son negativos. Cuando todos los sitios activos toman un ion de sodio, se puede decir que la resina ha sido regenerada y se halla lista para un siguiente ciclo de suavización.

(18) pág. 181-234

4. OPERACIONES UNITARIAS PARA LA REMOCIÓN O REDUCCIÓN DE LOS CONTAMINANTES

4.1 Introducción.

Por disposiciones internas, se debe clorar toda agua que sea extraída de los pozos, a una parte de ésta le será aplicado dióxido de cloro en vez de gas cloro que se aplicaba con anterioridad. El clorar asegura la eliminación de alguna contaminación, pues en los análisis que sirvieron como base para realizar este proyecto no se detectó contaminación biológica, (Tabla 2.1, página 5), además, a toda el agua que se le aplique dióxido se deberá pasar por filtros de arena y carbón activado.

En capítulos anteriores se detectó la presencia de parámetros que rebasaban la NOM 127, Normas Internas de la Planta (Tabla 3.1, página 24) y Normas de Calidad de agua para calderas (Tabla 3.2, página 32); toca ahora en este capítulo describir los efectos que causa cada uno de los parámetros que rebasan dichas Normas, así como describir la forma de eliminarlos o reducirlos.

La NOM 127-SSA1-1994, Salud Ambiental, Agua para uso y Consumo Humano, Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, Diario Oficial de la Federación editado el 22 de noviembre de 2000, es una magnífica guía de tratamientos para aplicar a los contaminantes del agua y es ahí donde se encuentra qué para eliminar...

Fenoles y compuestos fenólicos: Existen dos opciones que son: adsorción en carbón activado u oxidación con ozono. Se optó por adsorción con carbón activado. Este contaminante no rebasa el límite establecido en la NOM 127 editada el día 22 de noviembre del año 2000, con anterioridad a esta fecha ya se habían instalado los filtros de carbón activado, por lo que dejó vigente la NOM 127 del 18 de enero de 1996.

Arsénico: existen las siguientes opciones; coagulación-floculación-precipitación-filtración, intercambio iónico y ósmosis inversa. Se optó por la última.

Plomo: mediante intercambio iónico u ósmosis inversa. Se optó por esta última.

Mercurio: coagulación-floculación, precipitación, cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/L. Procesos especiales: en carbón activado granular y osmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/L, con carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga mas de 10 microgramos/L. Se optó por ósmosis inversa.

4.2 Descripción de las operaciones unitarias.

4.2.1 Eliminación de contaminación biológica:

Como ya se mencionó en el inicio de este capítulo, no se detectó contaminación biológica; sin embargo se aplicará dióxido de cloro en lugar del tradicional gas cloro; esto se debe a que el agua contiene fenoles que al combinarse con el gas cloro se forman clorofenoles, que dan mal sabor al agua en la bebida de moderación. Por considerar que no es común en México el uso del dióxido de cloro, se ampliará su información.

La aceptación del dióxido de cloro como oxidante y desinfectante del agua potable en los Estados Unidos ha crecido significativamente durante los 20 últimos años y varios cientos de plantas potabilizadoras usan actualmente dióxido de cloro. En Europa el uso del dióxido de cloro está muy generalizado; en Italia, más del 30% de las plantas de tratamiento de agua utilizan dióxido de cloro y en Alemania, más del 10%. La ventaja principal del dióxido de cloro es que mejora el gusto y el olor del agua y reduce la formación de subproductos orgánicos, como los trihalometanos (THM). Además, el dióxido de cloro resulta efectivo en un amplio intervalo de valores de pH. Se espera que el uso de dióxido de cloro para desinfectar agua potable siga aumentando en los Estados Unidos. A continuación, se describen las propiedades y características del dióxido de cloro con respecto a su eficacia, su cinética, su pH, sus reacciones con metales y subproductos. Se describen los parámetros incluidos en la generación del dióxido de cloro y se analiza el estado de la reglamentación de uso del dióxido de cloro y los subproductos de la desinfección que él genera. ⁽¹⁹⁾

4.2.1.1 Desinfección primaria y secundaria.

En los Estados Unidos, el dióxido de cloro (ClO_2) se usó por primera vez como un desinfectante de agua potable hace más de 50 años. El primer uso reportado fue en 1944 en una planta de tratamiento de agua en Niagara Falls, Nueva York. Desde entonces, el uso del dióxido de cloro se ha ampliado a otras aplicaciones, incluido el tratamiento del agua del procesamiento industrial y de alimentos. El dióxido de cloro, junto con el cloro libre, las cloraminas y el ozono son actualmente los desinfectantes más ampliamente usados en los sistemas municipales de agua potable. Según una encuesta reciente de la "American Water Works Association", el dióxido de cloro ocupa el tercer lugar en los Estados Unidos. Las tablas 4.1 y 4.2 permiten examinar el papel del dióxido de cloro como un desinfectante primario y secundario. Los datos demuestran que el dióxido de cloro se usa principalmente como desinfectante y oxidante primario. ⁽¹⁹⁾

Tabla 4.1 Uso del dióxido de cloro como desinfectante primario en los Estados Unidos de Norteamérica

Desinfectante	Número de sistemas	(%) Población
Dióxido de cloro	760 a 978	10 a 12

Tabla 4.2 Uso del dióxido de cloro como desinfectante secundario en los Estados Unidos de Norteamérica

Desinfectante	Número de sistemas	Porcentaje (%)
Cloro	592	64
Monocloramina	174	19
Dióxido de cloro	9	1
Ningún desinfectante	150	16

En Europa, el ClO_2 se usa ampliamente como desinfectante secundario. Una encuesta en las plantas de tratamiento de agua de Alemania refleja que la mayoría de plantas desinfectan con hipoclorito de sodio, seguido del cloro y luego del dióxido de cloro, tabla 4.3. ⁽¹⁹⁾

Tabla 4.3 Uso de desinfectantes en Alemania

Desinfectante	Número de plantas	Porcentaje
Hipoclorito de sodio	754	53
Cloro	368	26
Dióxido de cloro	133	9
Otros (ozono, plata, cloraminas, combinaciones)	179	12
Total	1 434	100

Las concentraciones típicas de THM estuvieron entre 1 y 4 mg/L y en menos de 10% de las plantas se excedió el valor guía de 10 mg/L. ⁽¹⁹⁾

En la tabla 4.4, se muestra una diferencia sorprendente en los niveles de THM entre Alemania y los Estados Unidos. ⁽¹⁹⁾

Tabla 4.4 Concentraciones medias de THM en Alemania y los Estados Unidos

País	Desinfectante	Año	Número de análisis	THM medio (mg/L)
Alemania	Todos los productos de cloro	1991	700	1.5
	Cloro libre	1991	239	3.0
	Hipoclorito de sodio	1991	351	1.0
	Dióxido de cloro	1991	75	0.5
Estados Unidos	NORS ¹	1975	80	41
	NOMS ²	1977	113	45
	AWWARF ³	1987	727	55
	USEPA ⁴ //CDHS ⁵	1988	35	40

¹ NORS = National Organics Reconnaissance Survey

2 NOMS = National Organic Monitoring Survey

3 AWWARF = AWWA Research Foundation

4 USEPA = US Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los ESTADOS UNIDOS)

5 CDHS = State of California Department of Health Services (Estado de California, Departamento de Servicios de Salud).

Es interesante señalar que a lo largo del río Rhin en Alemania, 13 de las 16 principales plantas de tratamiento del agua usan dióxido de cloro. La preferencia por el dióxido de cloro se relaciona con la baja formación de cloroformo en presencia de precursores orgánicos. Esto es comprensible si se consideran los estándares actuales para trihalometanos (THM) en Europa, mostrados en la tabla 4.5. ⁽¹⁹⁾

Tabla 4.5 Reglamentos actuales para THM

País	THM (mg/L)	Cloroformo (mg/L)	Diclorobromometano (mg/L)
	MCA	MCA	MCA
Austria	30		
Bélgica	100		
Canadá	350		
Finlandia		200	60
Francia		30	
Alemania	10		
Gran Bretaña	100		
Irlanda	100		
Luxemburgo	50		
Noruega	100		
Suecia	50		
Suiza	25		
Estados Unidos	100		

* MCA: Máxima concentración admisible

Los servicios de agua en los Estados Unidos siguen mejorando sus prácticas de desinfección y brindan una protección microbiana adecuada, a la vez que minimizan los subproductos de la desinfección. Las enmiendas de la "Ley para el agua potable segura" incluyen la promulgación de la Norma del Desinfectante/Subproducto del Desinfectante (D/SPD).

Éstas se dividen en dos fases. la primera fase entró en vigor en noviembre de 1998 para sistemas de agua superficial que sirve a más de 10000 personas. La segunda se promulgará en mayo de 2002 y considerará datos adicionales científicos, de aplicaciones y de investigación. En la tabla 4.6 refleja los niveles propuestos para los desinfectantes y sus subproductos. ⁽¹⁹⁾

Tabla 4.6 Niveles máximos propuestos para los contaminantes en los Estados Unidos en el futuro

		Fase I	Fase II
Desinfectante	Cloro	4 ppm	
	Cloramina	4 ppm	
	Dióxido de cloro	0.8 ppm	
Subproductos	Trihalometanos totales	80 ppb	40 ppb
	Ácidos haloacéticos (HAAs)	60 ppb	
	Bromato	10 ppb	
	Clorito	1 ppm	

(19)

4.2.1.2. Propiedades del dióxido de cloro.

El dióxido de cloro es un gas de color verde amarillento, cuyo peso molecular es de 67.46. Es estable y sumamente soluble en soluciones acuosas en hasta 20 g/L. Además de sus propiedades biocidas, el dióxido de cloro mejora la calidad del agua potable, es decir, neutraliza olores, remueve el color y oxida hierro y manganeso. Una de las propiedades más interesantes del dióxido de cloro es su eficacia biocida en un amplio intervalo de valores de pH (3 a 9). El dióxido de cloro es sensible a la luz ultravioleta y presenta mayor capacidad de oxidación cuando hay mayor acidez, conforme a la reacción:



Debido a que el dióxido de cloro existe como un gas inestable, el producto no puede comprimirse ni distribuirse en cilindros como el cloro gaseoso. El dióxido de cloro debe producirse *in situ*, mediante el uso de un generador mecánico. Comúnmente se genera por reacción del clorito de sodio, con cloro gaseoso (sistema de 2 compuestos químicos) o por reacción del clorito de sodio con hipoclorito de sodio y ácido clorhídrico (sistema de 3 compuestos químicos).⁽¹⁹⁾

El dióxido de cloro tiene varios efectos fisicoquímicos sobre los elementos constitutivos que generalmente se encuentran en el agua. Estos efectos se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 4.7 Efectos del ClO₂ en el tratamiento del agua potable

Sustancia	Reacción
Sustancias orgánicas naturales y sintéticas seleccionadas	Puede reaccionar para formar clorito
Hierro y manganeso	Oxidación
Color	Remoción
Sustancias orgánicas	Oxidación
Fenoles	Oxidación a quinonas

4.2.1.3 Uso de ClO₂ en el tratamiento del agua.

El dióxido de cloro es muy útil para el tratamiento del agua potable. Si bien los desinfectantes de cloro reaccionan con diversas sustancias a través de la oxidación y sustitución electrofílica, el dióxido de cloro sólo reacciona por oxidación. Como resultado, el uso de dióxido de cloro puede disminuir la formación de THM en el agua tratada. Los niveles más altos de THM en el agua tratada con dióxido de cloro, a menudo se atribuyen al bajo rendimiento de generadores de dióxido de cloro, es decir, debido a un exceso de cloro. ⁽¹⁹⁾

Además de que el ClO₂ reduce la presencia de color y remueve las algas, controla el *cryptosporidium* y la *giardia*, controla el musgo de Zebra, controla o remueve la biocapa, esporas, virus, hongos, etc., en un amplio intervalo de temperaturas y pH. ⁽¹⁹⁾

El dióxido de cloro produce subproductos en forma de cloritos y cloratos. Los cloritos y cloratos oxidan la hemoglobina y el clorito es un agente hemolítico. El máximo nivel propuesto de contaminante (MNPC) en los Estados Unidos para el clorito es 1.0 mg/L, mientras que el ion clorato no está reglamentado. Los datos de las plantas de tratamiento de agua de Alemania indican que la concentración promedio de clorito está por debajo de 200 mg/L, en Alemania. ⁽¹⁹⁾

La tabla 4.8 presenta ejemplos de valores límites de contaminantes en Europa, para el dióxido de cloro e hipoclorito de sodio.

Tabla 4.8 Ejemplos de reglamentación europea para NaClO₂ y ClO₂

País.	NaClO ₂	ClO ₂	Cantidad máxima admisible (mg/L)	Concentración residual al final del tratamiento
Bélgica	X		5	
Alemania		X	0.4	mínimo = 0.05 mg/L máximo = 0.2 mg/L
Gran Bretaña				Máximo = 0.5 mg/L como suma de ClO ₂ + NaClO ₂ + NaClO ₃
España	X		30	
Suecia		X	0.7	

4.2.1.4 Modo de acción del ClO₂

Acción microbicida.

El dióxido de cloro es un desinfectante más potente que el cloro y la cloramina. El ozono tiene mayores efectos microbicidas, pero una capacidad de desinfección residual limitada. La investigación reciente en los Estados Unidos y Canadá demuestra que el dióxido de cloro destruye enterovirus, *E. coli* y *amebas* y es efectivo contra los quistes de *criptosporidio*. ⁽¹⁹⁾

El dióxido de cloro existe en el agua como ClO_2 (poca o ninguna disociación) y, por lo tanto, puede penetrar en las membranas de las células bacterianas y destruirlas. Su acción en los virus incluye la adsorción y penetración en la capa protéica, dando como resultado que se dañe la capacidad genética del virus. En comparación con el cloro, el dióxido de cloro puede ser más efectivo como desinfectante, porque en el agua existe cloro como HOCl u OCl^- . Como resultado, las paredes de las células bacterianas se cargan negativamente y repelen estos compuestos, lo cual conduce a una menor penetración y absorción del desinfectante en las membranas. ⁽¹⁹⁾

La tabla 4.9 muestra la eficacia biocida, estabilidad y efecto del pH para los cuatro desinfectantes más comunes.

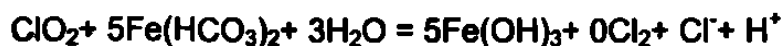
Tabla 4.9 Eficacia biocida, estabilidad y efecto de pH

Desinfectante	Eficacia biocida	Estabilidad	Efecto de la eficacia del pH (pH=6-9)
Ozono	1	4	Poca influencia
Dióxido de cloro	2	2	Se incrementa ligeramente con un aumento del pH
Cloro	3	3	Disminuye considerablemente con una reducción del pH
Cloraminas	4	1	Poca influencia

⁽¹⁹⁾

Acción oxidante.

La acción oxidante del dióxido de cloro a menudo mejora el gusto, olor y color del agua. El dióxido de cloro reacciona en el agua con compuestos fenólicos, sustancias húmicas, sustancias orgánicas y iones metálicos. Por ejemplo, el hierro es oxidado por el dióxido de cloro y se precipita como hidróxido de hierro. El precipitado luego se remueve fácilmente por filtración. La reacción de oxidación del hierro es;



Por otro lado el dióxido de cloro reacciona con sustancias orgánicas generalmente oxidándolas y forma pocos compuestos orgánicos clorados. El cloro libre, en presencia de precursores orgánicos puede formar trihalometanos (THM) y otros compuestos halogenados. ⁽¹⁹⁾

Los compuestos fenólicos presentes en el agua potable se deben principalmente a la contaminación por fuentes industriales. Estas moléculas, aun cuando están en concentraciones de microgramos por litro, dan un olor y gusto desagradables. El dióxido de cloro reacciona rápidamente con los fenoles. Esta reacción puede variar en diferentes sistemas: El ácido húmico, un precursor de THM, es oxidado por el dióxido de cloro y minimiza la formación de compuestos halogenados en el tratamiento secundario. ⁽¹⁹⁾

4.2.2 Remoción o reducción de sólidos suspendidos (con filtros de arena).

Parte del proceso de acondicionamiento de agua es la filtración y ésta tiene como fin principal eliminar o reducir la presencia de sólidos suspendidos que puedan afectar la eficiencia de las membranas de la ósmosis inversa.

La remoción de sólidos suspendidos, al pasar el agua a través de un medio poroso, es principalmente una acción mecánica. Muchas partículas a causa de su tamaño no pasan por los intersticios del filtro. Esta acción sola, sin embargo, puede no dar una clarificación completa. Los sólidos finamente divididos son sólo eliminados por la acción de películas gelatinosas alrededor de los granos del medio filtrante. En algunos filtros, este recubrimiento se forma por una acción biológica, la cual es más acentuada en filtros lentos de arena, en los cuales se forma una película limosa, técnicamente llamada "Schmutzdecke".

La resistencia de la capa a la ruptura se debe usualmente a su relación con organismos microscópicos. La masa reticular que estos forman ayuda a la clarificación. También pueden formarse flóculos, mediante varios productos químicos para crear un Schmutzdecke artificial.

Existen esencialmente dos tipos de filtros: los de gravedad y los de presión. Los primeros son muy usados en instalaciones municipales y los segundos, en instalaciones industriales.

Para fines de este proyecto se usarán filtros de presión. Los filtros más utilizados para superficies pequeñas, en los sistemas de tratamiento de agua, son los típicos de presión. El filtro mediano más frecuentemente usado es el de arena sílica, con un espesor de 18 a 30 pulgadas, un tamaño efectivo de 0.4 a 0.6 mm y un coeficiente de uniformidad de 1.3 a 1.7. Algunas veces la mitad de la cama filtrante (380 mm), es ocupada por antracita o por carbón activado, teniendo un coeficiente de uniformidad de 1.8 o menos y un tamaño de efectividad de 0.6 a 0.8 mm. (18) pág. 75-84

4.2.3 (Adsorción) Remoción o reducción de olores, sabores y fenoles (filtro de carbón activado)

En el agua dulce típicas, la mayoría de los constituyentes, en una muestra filtrada, la forman los minerales disueltos; sin embargo hay cantidades apreciables de materiales no iónicos en forma de coloides. Entre ellos se encuentran: sílice, óxidos metálicos insolubles y compuestos orgánicos como son las sustancias que producen el color, sabor y el olor. La adsorción es la adhesión física de moléculas o coloides a las superficies de un sólido, un adsorbente, sin que se lleve a cabo una reacción química. Los adsorbentes pueden ser materiales en forma de polvo fino, el adsorbente más comúnmente usado es el carbón activado, que se utiliza tanto en forma de polvo como en gránulos. Otros adsorbentes incluyen diversas arcillas, óxido de magnesio, carbón de hueso, alúmina activada, etc.

Puesto que la adsorción es una reacción de superficie, una medida de la

efectividad del adsorbente es el área de superficie. Para el carbón, el área total de superficie es de 600 a 1000 m² por gramo. Esta superficie está cargada negativamente, y a pesar de esto, la carga negativa de la mayor parte de los coloides en agua no inhibe la adsorción de materiales de peso molecular elevado. Algunos sabores y olores son producidos por los constituyentes minerales del agua. Como por ejemplo puede mencionarse el sabor salado que se manifiesta cuando los cloruros se hallan presentes por lo menos a 500 mg/l, y el olor a huevo podrido producido por el sulfuro de hidrógeno en alguna agua de pozo. Sin embargo, los sabores y olores que más se rechazan en el agua potable son causados por la actividad biológica. Hay dos maneras de agregar el carbón activado, una de ellas es dosificándolo a la corriente de agua cuya calidad se pretende mejorar su calidad y la otra a través de filtros en cuyo interior hay carbón activado.

El carbón granular típico es alrededor de 8 a 30 mallas y tiene un tamaño efectivo de 0.9 mm., y un coeficiente de uniformidad de 1.8, no sólo los contaminantes orgánicos son removidos del agua, sino también el cloro residual y otros, cuya eliminación se efectúa mediante la siguiente reacción química:



En esta reacción química 1 mg/L Cl₂ reduce la alcalinidad del agua alrededor de 1.5 mg/L (como CaCO₃) por la producción de HCl.

Con frecuencia se aplican altas dosis de cloro para asegurar una esterilización completa. En este caso, se eliminarán los fenoles del agua sin tratar.

De no removerse el cloro residual, éste destruirá alguno de los materiales orgánicos empleados. En la industria de las bebidas de moderación el cloro libre es indeseable para el proceso de la fermentación. Así para estas operaciones el filtro de carbón activado es ideal para remover sabores y olores y para el decolorado, ya que el agua ha sido tratada previamente y la carga orgánica es por lo general muy baja. El carbón puede operar por meses o años antes de que se agote y a menudo es más práctico reemplazar el lecho de carbón con material nuevo que regenerarlo. ^{(18) pág. 86-90}

4.2.4 Esterilización con luz ultravioleta.

La desinfección, en su sentido literal, consiste en aplicar medios que liberen de la infección. La Agencia de Protección Ambiental de U.S.A. (EPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) definen la desinfección del agua como: "Conseguir una ausencia de bacterias *coliformes*". La esterilización implica la destrucción completa de toda forma de vida.

El término ultravioleta o luz UV, como usualmente se llama, es uno de los medios probados para tratar agua contaminada biológicamente. El ultravioleta es una región de energía del espectro electromagnético que yace entre la región de radiografía y la región visible. La UV, por sí misma, se encuentra intervalo de longitud de onda de 200 a 390 nanómetros.

El espectro UV-A u onda larga ultravioleta, ocurre entre 325 y 390 nm, representado por la luz solar. Este intervalo tiene poco valor germicida. UV-B u onda media ultravioleta ocurre entre 295 y 325 nm y es mejor conocido para su uso en lámparas. Estas ondas medias también se encuentran en la luz solar y proveen de algún efecto germicida si la exposición es suficiente. La UV-C u onda corta ultravioleta ocurre entre los 200 y 295 nm y es donde más ocurre el efecto germicida. La óptima acción UV germicida ocurre en 265 nm.

La producción de radiaciones de energía UV debe, por lo tanto, lograr la conversión de energía eléctrica. Esta conversión se realiza con una lámpara de vapor de mercurio de baja presión. La luz UV se produce como resultado de la corriente de electrones a través del vapor ionizado de mercurio, entre los electrodos de la lámpara. Estas lámparas UV son similares, en el diseño, a las lámparas fluorescentes estándar, con unas pocas diferencias notables. Las lámparas UV típicamente se fabrican con cristal duro de cuarzo, a diferencia del cristal suave utilizado en las lámparas fluorescentes. Este cuarzo permite una transmisión de energía radiada UV de 90%. Las lámparas fluorescentes también contienen un revestimiento delgado de fósforo, que convierte el UV en luz visible.

Los microorganismos comprenden una variedad amplia de estructuras únicas y pueden agruparse en cinco grupos básicos: bacterias, virus, hongos, protozoarios y algas. En términos simplistas, un microorganismo se constituye de la pared de célula, membrana citoplásmica y el material genético de célula, el ácido nucleico. Es el material genético o DNA (ácido desoxirribonucleico) blanco para la luz UV. Como la luz UV penetra la pared de la célula y membrana citoplásmica, ocasiona una reestructuración molecular del DNA del microorganismo, que así lo previene de reproducirse. Si una célula no puede reproducirse, se considera muerta.

Debido a la construcción individual de las células, se requieren niveles diferentes de energía UV para su destrucción. Las lámparas UV emiten sobre el 90% de su energía radiante en 253.7 nm, que es muy cerca del pico de eficiencia germicida de 265 nm.

El grado de destrucción microbiológica es un producto de dos factores: la residencia real, o tiempo de contacto del agua dentro de la cámara de esterilización; y la intensidad, que es la cantidad de energía por unidad de área (calculada por dividir la producción en vatios por el área de superficie de la lámpara). Este producto de intensidad y el tiempo se conoce como "la dosis" y se expresa en micro vatios, segundos por centímetro cuadrado ($\mu\text{vseg}/\text{cm}^2$).⁽²⁰⁾

4.2.4.1 Factores que afectan la eficiencia del UV

La eficiencia de un sistema UV para eliminar la contaminación biológica es directamente dependiente de las calidades físicas del agua a tratar.

Sólidos suspendidos.

Los sólidos un problema de blindaje en que un microbio puede pasar a través del esterilizador sin realmente tener la penetración de luz UV directa. Este blindaje

puede reducirse, por la filtración mecánica, a por lo menos cinco micras en el tamaño. ⁽²⁰⁾

Fierro y Manganeso:

Los niveles 0.03 ppm de fierro y 0.05 ppm de manganeso ocasionarán manchado sobre el cartucho de cuarzo o lámpara. Se requiere un apropiado pretratamiento para eliminar este problema de manchado. ⁽²⁰⁾

Calcio y Magnesio:

La dureza temporal permitirá la formación de incrustaciones sobre el cartucho de cuarzo o lámpara. Este problema especialmente se magnificará cuando el flujo es bajo (o nulo) y los iones de magnesio y calcio se unen con carbonatos y sulfatos para formar la acumulación progresiva de incrustaciones, dentro de la cámara de esterilizador y sobre la lámpara o cartucho. ⁽²⁰⁾

Otros compuestos absorbentes:

Otros absorbentes como los ácidos húmico y fúmico, o como los taninos reducirán la cantidad de energía UV disponible, para penetrar el agua y afectar el material genético DNA, de la célula. ⁽²⁰⁾

La temperatura.

La temperatura óptima de la lámpara UV debe estar cerca de los 40° C (104°F). Los niveles de UV fluctuarán entre niveles de temperatura excesivamente bajos o altos.

Un cartucho de cuarzo se utiliza para mediar el contacto agua/lámpara, reduciendo la fluctuación de la temperatura. Un método típico empleado en un sistema sin cartucho de cuarzo, es restringirlo, considerando estas fluctuaciones.

Ventajas al usar la luz UV como desinfectante.

- El bajo costo de la inversión inicial, así como también la reducción de los gastos de operación, cuando se compara con tecnologías similares, tales como la de ozono, de cloro, etc.
- El proceso es de tratamiento inmediato, sin ninguna necesidad que tanques de retención.
- Es sumamente económico; pues centenares de litros pueden tratarse por unos centavos de costo de operación.
- No se requiere ningún químico para agregar al abastecimiento de agua, ni ningún subproducto.
- No implica cambio alguno en el gusto, olor, pH o conductividad ni en la química general del agua.
- La operación es automática, no requiere mediciones o atención especial.
- Son muy rentables: la simplicidad y facilidad de mantenimiento, el periodo de

limpieza y el reemplazo anual de lámpara, sin partes móviles, ninguna manipulación de químicos tóxicos, y ninguna necesidad de requerimientos especializados de almacenaje. La instalación es fácil: dos conexiones de agua y una conexión de energía.

- Es compatible con cualquier proceso de tratamiento de agua; por ejemplo: ósmosis inversa, destilación, intercambio iónico, etcétera.
- La tecnología UV se usa en un conjunto extenso de aplicaciones; desde la protección básica de agua potable doméstica, debida a un pozo contaminado, hasta un tratamiento final para enjuagues de limpieza de partes electrónicas libre de gérmenes.

La lista siguiente muestra unas áreas donde la tecnología ultravioleta esta actualmente en uso: agua superficial, cervecera, farmacéutica, agua subterránea, vinícola, electrónica, sistemas, enlatado, acuacultura, escuelas, alimenticia, impresión, hospitales, destilería, petroquímica, marina, cosméticos, fotografía, granjas, repostería, restaurantes, embotelladora, etc..⁽²⁰⁾

4.2.5. Remoción o reducción de: arsénico, mercurio, plomo y silicatos.

Para la reducción del: arsénico, cianuros, mercurio, plomo y silicatos, se considera un "Sistema de Ósmosis Inversa"; no obstante, como ya se indicó en párrafos anteriores, existe más de una forma para eliminar o reducir estos contaminantes, según lo indica la Norma 127.

¿Que es "Ósmosis Inversa"?

El proceso de osmosis inversa (OI) fue desarrollado hace unos 40 años, como proceso industrial y en grandes plantas de desalación de agua de mar. En los procesos industriales se emplean presiones muy elevadas para separar los sólidos disueltos desde 200 hasta mas de 1000 psi, como en el caso de agua de mar para separar los sólidos disueltos.^{(23) pág. 1}

El fenómeno de la ósmosis lo descubrió originalmente un científico francés, en 1748, al observar que el agua se difundía espontáneamente a través de una membrana de vejiga de cerdo, hacia una cámara paralela de alcohol.

Durante los 200 años siguientes, este interesante concepto y su contrapartida, la osmosis inversa, no pasó de ser una simple curiosidad de laboratorio. A mediados de la década de 1950, los trabajos del Dr. Sourirajan y otros de la Universidad de los Ángeles, adelantaron la tecnología de OI, hasta el punto que pudieron fabricarse membranas artificiales.

En la ósmosis inversa, una fuerza impulsora, la presión diferencial a través de la membrana, hace que el agua fluya de la solución más fuerte a la más débil. En consecuencia, la presión requerida puede ser mayor que la presión osmótica. La presión diferencial es a menudo mayor que 300 psi (21 Kg/cm²), y depende de las diferencias en concentración; en promedio, alrededor de 10 psi por cada 1000 mg/L de diferencia en los Sólidos Disueltos Totales. Las diferencias están influidas por el tipo de membranas que se emplean.

En la ósmosis inversa, el transporte de agua a través de la membrana no es el resultado de flujo a través de los poros definidos, por lo menos no a través de poros como se les concibe a ordinario. Es el resultado de la difusión, una molécula a la vez, a través de vacantes en la estructura molecular del material de la membrana. Las vacantes en polímeros amorfos se encuentran en un estado de flujo, o sea que, no se hallan fijas; mientras que, en materiales cristalinos, las vacantes son vacíos en la estructura de la red y esencialmente su número, posición y tamaño se encuentran fijos.

Las membranas para ósmosis inversa están hechas de polímeros amorfos, aunque, por lo común, contienen algunas regiones cristalinas o menos amorfas.

Las aplicaciones de la osmosis inversa son muy variadas, destacan:

- Agua de alta pureza en la producción de artículos electrónicos.
- Agua potable
- Agua residual
- Reciclado de químicos
- Recuperación de metales preciosos
- Procesos farmacéuticos.
- Desmineralización
- Medicina, etc.

La tecnología del proceso de ósmosis inversa es bien conocida por su efectividad para reducir el total de sólidos disueltos y también contaminantes iónicos específicos. En recientes pruebas, la Agencia de Protección Ambiental (EPA/USA), ha demostrado que el proceso es muy efectivo en la reducción de contaminantes orgánicos; como los trihalometanos, los productos químicos volátiles (VOC's) y los productos químicos sintéticos (SOC's). Las concentraciones de estos contaminantes se reducen por ósmosis inversa.

Una bomba de alta presión provee la energía para que el agua pase a través de la membrana que retiene la mayoría de las sales y otros contaminantes, la cual sale del sistema como "concentrado". Un restrictor de flujo o una válvula de concentrado, puesta en la línea, hace que la presión fuerce el permeado a través de la membrana. Al porcentaje de agua purificada sobre el total del agua alimentada se le da el nombre de "recuperación".

La ósmosis inversa ha recibido también el nombre de hiperfiltración, lo cuál indica su relación con un proceso de filtración a presión elevada. La ósmosis inversa puede remover aún las especies iónicas de peso molecular bajo.

Para la remoción de pequeñas partículas y sales disueltas los sistemas de separación de membranas que son utilizados trabajan en forma diferente a la filtración de partículas convencionales.

El agua fluye en forma cruzada y se filtra, este método usa una presión de alimentación que fluye en forma paralela a la superficie de la membrana, una porción de esta agua pasa a través de la membrana, dejando las partículas

rechazadas en un concentrado; por lo tanto, hay una alimentación y dos salidas separadas; pues la solución pasa a través de la membrana y el rechazo sigue su curso hacia el drenaje. (22) pág. 4

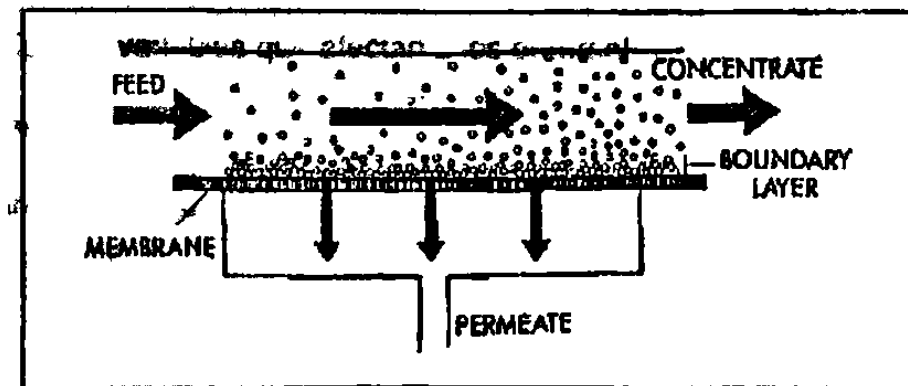


Figura 4.1 Principio básico de operación de Ósmosis Inversa

Adicionalmente hay tres categorías de filtración por membrana con el flujo cruzado: Microfiltración (MF), Ultrafiltración (UF), Nanofiltración (NF). (23) pág. 9

Microfiltración:

La microfiltración remueve partículas en un intervalo de 0.1 a 1 micrón, en general, son rechazadas las partículas suspendidas y los coloides, mientras que las macromoléculas y sólidos disueltos pasan a través de la membrana, esta aplicación remueve las bacterias y material floculado. La presión de operación en la membrana es alrededor de 10 PSI. (23) pág. 9

Ultrafiltración:

La ultrafiltración proporciona separación macromolecular para partículas de 20 a 1000 Angstrom. Todas las sales disueltas y pequeñas moléculas pasan a través de la membrana rechazos de esta membrana incluye coloides, proteínas, contaminantes microbiológicos y moléculas orgánicas. La presión de operación en la membrana es alrededor de 15 a 100 PSI. (23) pág. 9

Nanofiltración:

La nanofiltración se refiere a partículas con un nivel de 1 nanómetro (10 Angstroms), su intervalo está entre la Ultrafiltración y la osmosis inversa, las moléculas orgánicas con un peso molecular entre 200 y 400 son rechazados; pero también son rechazadas ciertas sales, en un intervalo del 98%. Las sales que tienen aniones monovalentes como cloruro de sodio o cloruro de calcio, tienen rechazos entre un 20-80%, y las sales con aniones divalentes, como el sulfato de magnesio tienen rechazos entre el 90 al 98%.

Entre las aplicaciones típicas incluye el color y el carbón orgánico total (TOC), y remueve la dureza del agua de pozo. La presión de operación típica está entre 50 a 225 psi.

Factores que afectan al rendimiento del Osmosis Inversa.

El flujo del permeado (L/m^2h) y el rechazo de las sales son los parámetros que se afectan en un proceso de osmosis inversa.

Las principales variables que afectan a los parámetros son las siguientes.

- La presión:

Con un incremento de presión en la alimentación, los Sólidos Disueltos Totales (TDS) del permeado decrecerán, mientras el flujo permeado se incrementará.

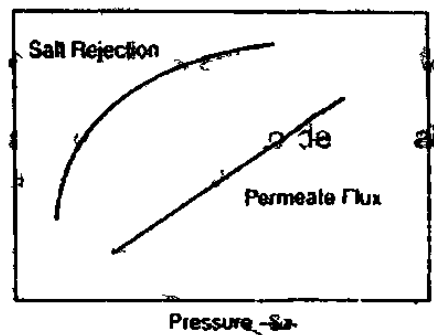


Figura 4.2 Efecto de la presión en agua de alimentación en flux y rechazo de sal.

- La temperatura.

Si se incrementa la temperatura y los otros parámetros permanecen constantes, el flujo del permeado y el paso de sales se incrementarán.

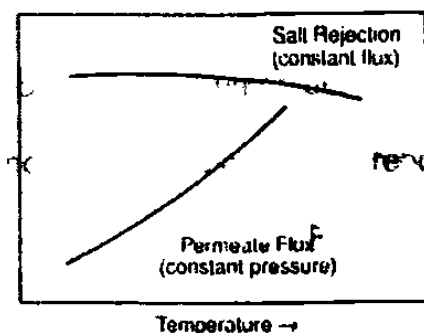


Figura 4.3 Efecto de la temperatura en agua de alimentación en flux y rechazo de sal.

- La recuperación

La recuperación es la relación del flujo de permeado contra el flujo de alimentación. En el caso de incremento de recuperación, el flujo de permeado decrecerá, si la concentración de las sales alcanza un valor donde la presión osmótica del concentrado es tan alto como la presión de alimentación. El rechazo de la sal bajará con un incremento en la recuperación.

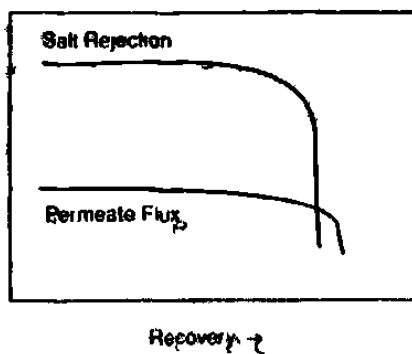


Figura 4.4 Efecto del incremento de recuperación en flux y rechazo de sal

- La concentración de sales en el agua de alimentación.

En la siguiente figura aparece el impacto de las sales en el agua de alimentación con el agua del permeado y el rechazo de las sales.

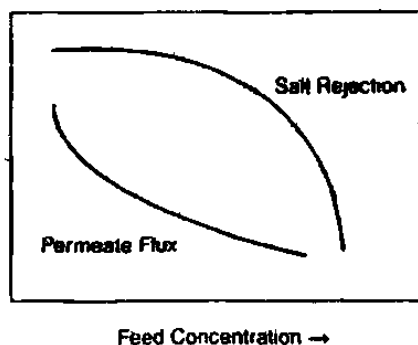


Figura 4.5 Efecto del incremento de concentración de sales, en flux y rechazo de sal.

En la siguiente tabla aparece un resumen del impacto de todos estos parámetros.

Tabla 4.10 Influencia de los factores en el rendimiento de ósmosis inversa.

Incremento	Flujo	Paso de sales
Presión efectiva	↑	↓
Temperatura	↑	↑
Recuperación	↓	↑
Concentración de sales en la alimentación	↓	↑
Incremento ↑		Decremento ↓

Para incrementar la eficiencia y vida de un sistema de osmosis inversa se

requiere un pretratamiento efectivo en el agua de alimentación. La selección del pretratamiento adecuado maximizará la eficiencia y vida de la membrana, minimizando: el "Fouling" (ensuciamiento), la Incrustación, la degradación de la membrana y optimizando el flujo de producto, el rechazo de sales, la recuperación y los costos de operación.

El factor "Fouling" se refiere al entrapamiento de partículas como el floc de hierro o sedimento.

La incrustación se refiere al depósito o precipitación en las membranas como el Sulfato de Calcio (CaSO_4), y el Sulfato de Bario (BaSO_4).

El pretratamiento del agua de alimentación podrá incluir todos los equipos como filtros de arena, de carbón activado, suavizador, etc, un mal funcionamiento de estos puede acarrear problemas en la Ósmosis Inversa.

El tratamiento adecuado del agua de alimentación dependerá de: la composición del agua de alimentación y las aplicaciones.

Existen programas de computadora que sirven para realizar cálculos de cantidad de productos químicos para pre y postratamiento, según la concentración del contaminante, y en la Tabla 4.11 Opciones de pretratamiento en Ósmosis inversa se ilustra una guía preliminar de pretratamiento dependiendo del contaminante, lo cual se ilustra en la siguiente página. ⁽²³⁾ pág. 9

Tabla 4.11 OPCIONES DE PRETRATAMIENTO EN ÓSMOSIS INVERSA

CONTAMINANTE

Pretratamiento	CaCO ₃	CaSO ₄	BaSO ₄	SrSO ₄	CaF ₂	SiO ₂	SDI	Fe	Al	Bacterias	Agentes oxidantes	Materia orgánica
Adición de ácido	Me							P				
Inhibidor de corrosión	P	Me	Me	Me	Me	P						
Suavización	Me	Me	Me	Me	Me							
Dealcalinización	P	P	P	P	P							
Ablandamiento en frío	P	P	P	P	P							P
Limpieza preventiva	P											P
Ajuste de parámetro		P	P	P	P	Me						
Filtración						P		P				
Oxidación-filtración						P		P				
Coagulación in line								Me				
Coag-floculación								P				P
Coag-floculación								P				P
Micro-ultrafiltración								P				Me
Filtros cartucho								P				
Clorinación												
Decoloración												Me
GAC Filtración												Me

P Muy posible

Me Muy efectivo

4.2.6 Remoción o reducción de dureza:

La suavización con zeolita (algunos autores la llaman resina), como ya se describió con anterioridad consiste en pasar a través de un lecho de material que posee la propiedad de remover el calcio y el magnesio y de reemplazar estos iones con sodio, independientemente de las variaciones de dureza.

El calcio y magnesio serán removidos de cualquiera de sus sales en solución como bicarbonatos, sulfatos, cloruros, etc., considerando solamente los cloruros como ejemplo, a fin de simplificar las reacciones de suavización son:



Z = Zeolita

En un lecho de zeolita, conforme progresa el ablandamiento, los cloruros de calcio y de magnesio pasan a través de la superficie de un lecho fresco de zeolita de sodio e inmediatamente se convierten en cloruro de sodio, cambiando la capa superficial del lecho a zeolita de calcio y magnesio.

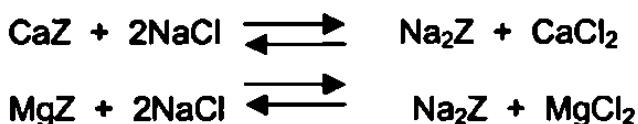
El material de zeolita seguirá ablandando agua en esta forma, hasta que un alto porcentaje de los iones de sodio haya sido intercambiado; sin embargo la capa de zeolita de sodio llegará a ser tan delgada, que parte de las sales de calcio y de magnesio pasarán a través de ella sin haber intercambio, apareciendo entonces dureza en el efluente. Después de este punto de fuga, la dureza aumenta rápidamente. La etapa de ablandamiento se termina con una cierta dureza en el efluente, que se determina mediante pruebas de las muestras.

En muchos casos, es permisible continuar más allá del punto de fuga, hasta que el efluente contenga mas de 10 ppm de dureza. En esta forma se obtiene economía de sal.

Cuando se ha agotado el valor de intercambio en operación, el suavizador debe regenerarse, esto es, deben ser reemplazados los iones de sodio removidos durante el proceso de ablandamiento. La regeneración se efectúa tratando el lecho con una solución saturada de cloruro de sodio. Entonces tiene lugar la reacción química inversa y el calcio y el magnesio, extraídos del agua y fijados en los granos de material cambiador de iones, son liberados y pasan a la solución de salmuera. En esta forma son removidos de la zeolita y arrastrados al drenaje.

Los iones de sodio son captados por la zeolita y la unidad nuevamente está lista para ablandar más agua.

Las reacciones químicas que ocurren durante la regeneración son las siguientes.



En el proceso de regeneración, la zeolita no se regenera en un 100%; pues se quedan atrapadas trazas de calcio y de magnesio. Similarmente, en la práctica comercial del ablandamiento, no es posible extraer todas las trazas de sodio. Esto no interfiere con la utilidad práctica del proceso.

Al efectuar el ablandamiento, los iones divalentes; Como calcio, magnesio, manganeso y hierro, son removidos del agua y reemplazados por cantidades equivalentes de iones monovalentes de sodio. Este intercambio ocurre a causa de los poderes preferenciales de absorción de la zeolita por los cationes divalentes, en contraste con los cationes monovalentes.

El poder de absorción, tanto para cationes divalentes como monovalentes en soluciones acuosas, aumenta al crecer los pesos atómicos; de manera que para los alcalinoterreos: $Ba^{++} > Sr^{++} > Ca^{++} > Mg^{++}$, y para los metales alcalinos y el amoníaco, $Cs^+ > Rb^+ > K^+ > NH_4^+ > Na^+ > Li^+$.

El poder de absorción para cationes trivalentes es mayor que para cationes divalentes, pero no hay cationes trivalentes relacionados con el ablandamiento de agua por el proceso de zeolita.

El hierro o manganeso, solubles siempre, se encuentran presentes en forma divalente en el agua que contiene alcalinidad de bicarbonatos.

Como el ablandamiento por zeolitas depende de reemplazar iones de sodio o potasio por calcio y magnesio, el cloruro de sodio; sin embargo, es el más comúnmente usado, porque es de bajo costo.

La cantidad de sal requerida dependerá obviamente de la cantidad de iones de sodio que reemplacen al calcio y al magnesio removidos del agua que se ha tratado.

La cantidad real de sal para regenerar el material cambiador de iones, excede grandemente al requisito teórico de 0.167 libras por 1000 granos de dureza removida, calculada como carbonato de calcio. Este exceso es necesario, a causa de la mayor afinidad de la zeolita por el calcio y el magnesio que por el sodio, lo que, al regenerar la zeolita, requiere acción de masa para sobreponer este factor.

La eficiencia de regeneración de la zeolita y otras resinas cambiadoras de iones se define como las libras de regenerante por kilogramos de iones removidos.

(18) pág 183-190

5. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

5.1 Necesidades de flujo de agua (ver diagrama de flujo en anexo).

Con la presente descripción se establecen las bases para el acondicionamiento de agua para diversos usos de esta planta ubicada en el Bajío.

El suministro de agua actual se realiza por medio de un sistema formado por bombas que extraen el agua del subsuelo, dando un total 95.66 lps (1516.42 gpm). La capacidad de bombeo es de 1600 gpm.

El departamento de Ingeniería de Planta, consideró, para propósitos de diseño una demanda de agua para servicios y elaboración de 70.64 lps. (1120 gpm), desglosando las necesidades de agua así:

Riego y otros servicios	0.40 lps.
Contraincendio	0.06
Sala de máquinas	0.89
Envasados A	2.05
Envasados B	4.12
Lavado de Tanques y pisos	4.54
Lavadoras (1 ^{os} . Lavados)	10.65
Enjuague botella	4.01
Pasteurizados	8.215
Elaboración.	35.59
Calderas	0.12
	<hr/>
	70.64 lps (1120 gpm) a elaboración y servicios

5.2 Bases de diseño.

La siguiente información servirá para establecer las bases; datos que serán necesarios para una especificación; para diseñar o calcular equipos, objeto de este estudio.

Flujo de agua durante las 24 horas del día	70.64 lps	(1120 gpm)
Temperatura promedio anual del agua	20 ^o Celsius	(68 ^o F)
Densidad del agua a 20 ^o C	62.2 libra/pie ³	
Gravedad específica	0.996	
Viscosidad a 20 ^o C _{ad}	1.00 cp	
Altura sobre el nivel del mar	1589 metros	
Presión atmosférica local	12.1 psia	(27.9 pies)
Presión de vapor a 20 ^o C	0.341 psia	(0.772 pies)

6. PROCESO PROPUESTO Y RESULTADOS ESPERADOS

6.1 Introducción.

Se ha considerado, para el acondicionamiento del agua un sistema de ósmosis inversa, como pudo también haber sido un sistema de intercambio iónico. Se decidió por un O.I. como producto de un análisis de costo operativo en el cual se determinó que la ósmosis inversa es más económica.⁽²⁴⁾

6.2 Proceso Propuesto.

Como un primer paso para la optimización de los recursos, el agua de los retrolavados de los filtros de arena y carbón activado se hace pasar por un filtro de cartucho y se suaviza en ablandadores existentes.

El agua proveniente de los pozos tendrá dos destinos (ver diagrama de flujo en anexos): en uno, será enviada a las cisternas, ahí se clora con gas para ser enviada solamente a los siguientes usuarios: riego, ACI (agua de contraincendio), casa de máquinas, envasados A y B.

El otro destino del agua será: enviarla a una cloración con dióxido de cloro y de ahí a los tanques de almacenamiento de agua T-01, 02, y 03 cuya capacidad es de 80 m³ cada uno, con unas bombas B-01, 02 y 03 con capacidad de 698.61 gpm, cada una. Después el agua será enviada a dos destinos: uno al T-04 (39.63 gpm), agua para retrolavados de filtros y otra parte de agua a seis filtros multimedia F-01, 02, 03, 04, 05, 06, cada uno con capacidad de 226.26 gpm, después a otros cuatro filtros de carbón activado FCA-01, 02, 03, y 04, con una capacidad cada uno de 339.40 gpm., saliendo el agua de los filtros de carbón hacia los UV-01 con un flujo de (1357.60 gpm).

El agua (1357.60 gpm) pasará a un sistema de rayos ultravioleta UV-01, con una capacidad de 1357.60 gpm, en el que se eliminará todo microorganismo que pudiera dañar a las membranas del Sistema de Ósmosis Inversa, el agua antes de entrar al O. I. Se dividirá en dos flujos, el flujo uno (1076.80 gpm) pasará a los RO-01 y 02, con una capacidad total de producto permeado de 646.00 gpm, esta agua será enviada a un desgasificador, en la salida se dividirá en dos corrientes (290.60 gpm hacia los mezcladores ME-01 y ME-03), en donde con agua de suavizador (72.04 gpm), será mezclada para dar una calidad que cumpla con las condiciones que solicita el departamento de Control de Calidad.

El agua desgasificada y el agua suavizada que se mezclaron en el ME-01, tendrá también dos destinos: hacia enjuague de botellas (83.56 gpm) y hacia las pasteurizadoras (130.26 gpm).

El agua desgasificada y el agua suavizada que se mezclaron en el ME-03, tendrán como destino final las lavadoras (168.82 gpm).

Una parte del agua que salió del T V (280.80 gpm), se dividió en dos flujos: 72.03 gpm a lavado de tanques y pisos, y 208.77 para el mezclador ME-02 que junto con el agua del desgasificador (335.40 gpm), estará lista para ser utilizada en la elaboración de la bebida de moderación. Por último, parte del agua suavizada cuyo flujo es de 1.90 gpm, será enviada con las bombas B-07 y B-08 a las calderas.

En las Tablas 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6 se ilustran las calidades y los flujos de agua que entran y salen de cada proceso. La tabla 6.2 es sólo un resumen, en los anexos está el proceso completo de la ósmosis inversa, realizada con programa de computadora. En estas tablas el agua como producto final ya satisface con las necesidades del usuario y cumple las especificaciones del fabricante de equipo.

**Tabla 6.1 AGUA "SIN TRATAR" A PROCESARSE EN FILTROS DE CARBÓN ACTIVADO
(Calidades y flujo)**

Agua Filtrada que entra al Filtro Carbón activado		85.64 lps (1)	Agua Filtrada que sale del Filtro Carbón activado	
	mg/L como ion	↓		
HCO ₃	123.500	FILTRACIÓN Y CARB. ACTIVADO	HCO ₃	123.500
Arsénico	0.070	→	Arsénico (2)	0.070
Cianuros	0.060		Cianuros	0.060
Cloruros	30.100		Cloruros	30.100
Calcio	28.100		Calcio	28.100
Mercurio	0.002		Mercurio (2)	0.002
Silicatos	83.500		Silicatos	83.500
Bario	0.010		Bario	0.010
Plomo	0.030		Plomo	0.030
Sulfatos	66.200		Sulfatos	66.200
Sodio	54.000		Sodio	54.000
Zinc	0.030		Zinc	0.030
Cobre	0.014		Cobre	0.014
Fierro	0.040		Fierro	0.040
Fluor	0.550		Fluor	0.550
Magnesio	7.100		Magnesio	7.100
SDT	331.556		SDT	331.556
pH	6.900		pH	6.900
Gras. y Acei.	5.560		Gras. y Acei.	0.001
Fenoles	0.002		Fenoles	0.000
CO ₂	27.110		CO ₂	27.110

Se cumple la condición (cero fenoles), y además se reduce la presencia de grasas y aceites que dañarían las membranas de la ósmosis inversa

(1) El flujo de agua es solamente el que se va a proceso de rayos ultravioleta.

(2) Patterson J. W. "Industrial Wastewater Treatment Technology", 2a Edición, Butterworth Publishers, Boston, London, Sydney (1985), indica que a un pH neutro, el arsénico (As) puede bajar de un 50 al 70% y el mercurio (Hg), puede bajar hasta un 80% de sus concentraciones iniciales, en este estudio se considera que el arsénico y el mercurio no sufren cambios.

Una vez agotado el carbón, éste será confinado

**Tabla 6.2 AGUA A PROCESARSE EN ÓSMOSIS INVERSA
(Calidades y flujos)**

**Agua Filtrada que entra a la ósmosis
mg/L como ion**

HCO3	123.500
CO3	0.000
Arsénico	0.070
Cianuros	0.060
Cloruros	30.100
Calcio	28.100
Mercurio	0.002
Silicatos	83.500
Bario	0.010
Plomo	0.030
Sulfatos	66.200
Sodio	54.000
Zinc	0.030
Cobre	0.014
Fierro	0.040
Fluor	0.550
Magnesio	7.100
SDT	331.556
pH	6.900
Gras. y Acei.	0.001
CO2	27.110

0.056 g/s de NaOH al 50% para ajustar el pH a 6.3, si no se adicionara, el pH sería de 5.82 que al mezclarse con el agua filtrada con pH de 6.9 no se podría cumplir con un pH final requerido de 6.5 a 8.5

Nota 1



	mg/L como ion
HCO3	306.530
CO3	0.200
Arsénico	0.160
Cianuros	0.060
Cloruros	74.900
Calcio	70.020
Mercurio	0.004
Silicatos	207.630
Bario	0.020
Plomo	0.068
Sulfatos	165.020
Sodio	134.120
Zinc	0.071
Cobre	0.033
Fierro	0.099
Fluor	1.370
Magnesio	17.690
SDT	824.730
pH	7.290
Gras. y Acei.	0.002
CO2	27.090

	mg/L como ion
HCO3	3.980
CO3	0.000
Arsénico	0.012
Cianuros	0.060
Cloruros	0.230
Calcio	0.150
Mercurio	0.001
Silicatos	0.750
Bario	0.000
Plomo	0.005
Sulfatos	0.320
Sodio	1.380
Zinc	0.003
Cobre	0.001
Fierro	0.001
Fluor	0.000
Magnesio	0.040
SDT	4.943
pH	6.300
Gras. y Acei.	0.000
CO2	3.480

Nota1.- El cálculo de adición de NaOH se realizó con el programa de computadora para ósmosis inversa

Nota 2.- En los anexos van las hojas de cálculo de computadora para la ósmosis inversa y en otro anexo van los contaminantes no incluidos en el programa según constancia del proveedor en la que indica el porcentaje de remoción.

Nota 3.- Para mayor información, en anexos hay una simulación hecha en computadora, en la cual se obtuvieron los datos ilustrados en esta hoja

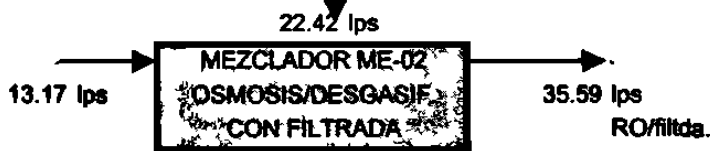
En la "corrida " que está en el anexo, se observa que el agua tiene una tendencia a incrustarse. Hay varias maneras de evitarlo; una de ellas con productos químicos desincrustantes, ya sea con nombre comercial o con algunos nombres particulares, según cada fabricante de estos productos.

Tabla 6.3 MEZCLADO DE AGUA DE ÓSMOSIS CON AGUA FILTRADA
(Calidades y flujos)

10

Agua de osmosis mg/L como ion

HCO3	3.980
CO3	0.000
Arsénico	0.012
Cianuros	0.060
Cloruros	0.230
Calcio	0.150
Mercurio	0.001
Silicatos	0.750
Bario	0.000
Plomo	0.005
Sulfatos	0.320
Sodio	1.380
Zinc	0.003
Cobre	0.001
Fierro	0.001
Fluor	0.000
Magnesio	0.040
SDT	4.943
pH	6.300
Gras. y Acei.	0.000
CO2	3.480

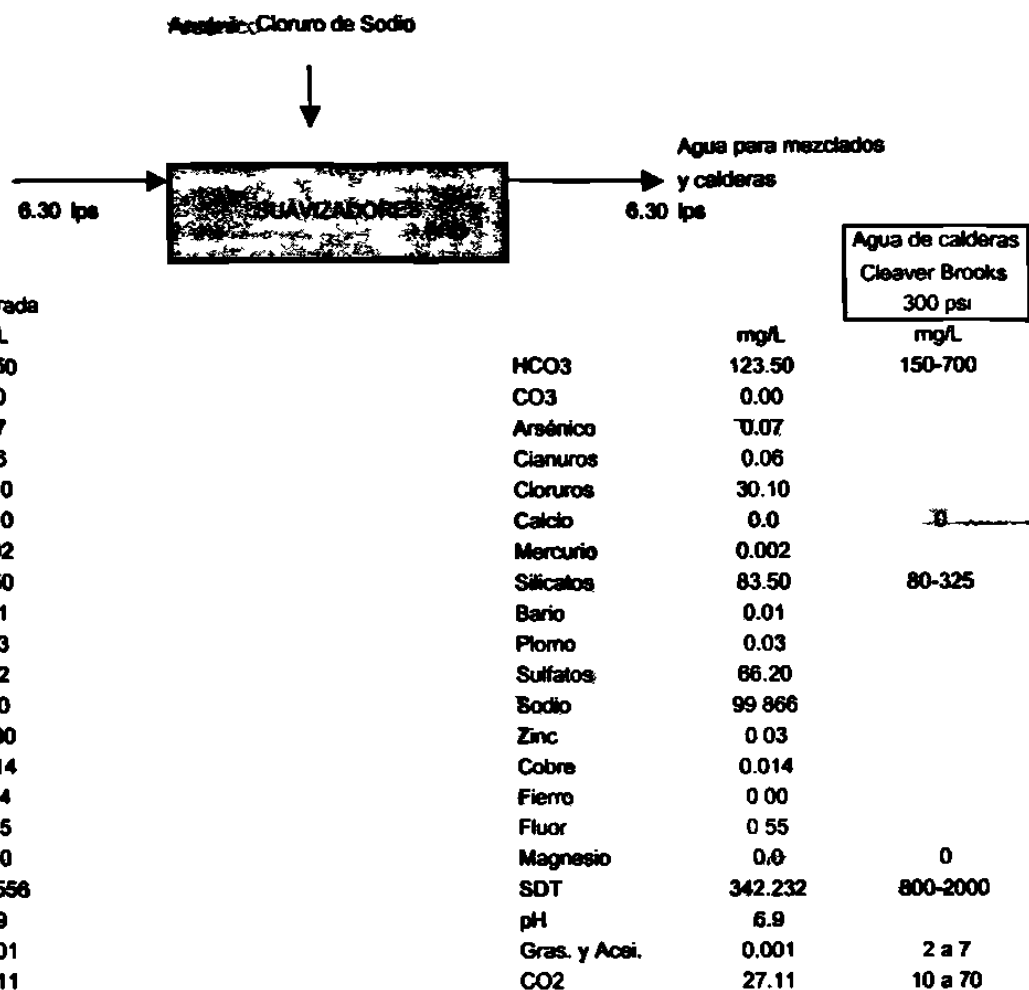


Norm. 127 22-II-00	Norma Interna
	Elaboración

Ag. filtrada		RO/filtada.		Norm. 127	Norma
mg/L como ion		mg/L ion		22-II-00	Interna
				mg/L	mg/L
HCO3	123.500	HCO3	48.202		50
CO3	0.000	CO3	0.000		
Arsénico	0.070	Arsénico	0.033	0.400	
Cianuros	0.060	Cianuros	0.060	0.070	
Cloruros	30.100	Cloruros	11.282	250.00	35
Calcio	28.100	Calcio	10.492		50
Mercurio	0.002	Mercurio	0.001	0.001	
Silicatos	83.500	Silicatos	31.368		50
Bario	0.010	Bario	0.004	0.700	
Plomo	0.030	Plomo	0.010	0.010	
Sulfatos	66.200	Sulfatos	24.696	400	100
Sodio	54.000	Sodio	20.849	200	75
Zinc	0.030	Zinc	0.013	5.00	0.20
Cobre	0.014	Cobre	0.006	2.00	0.10
Fierro	0.040	Fierro	0.015	0.300	0.10
Fluor	0.550	Fluor	0.204	1.500	
Magnesio	7.100	Magnesio	2.652		20
SDT	331.556	SDT	125.785	1000	400
pH	6.900	pH	6.522	6.5 -8.5	6.5 a 8
Gras. y Acei.	0.001	Gras/Acei.	0.000		
CO2	27.11	CO2	12.223		

El agua en la salida cumple la Norma 127 editada el 22-XI-00 y la Norma interna para elaboración.

**Tabla 6.4 AGUA A PROCESARSE EN SUAVIZADOR
(Cantidades y flujos)**



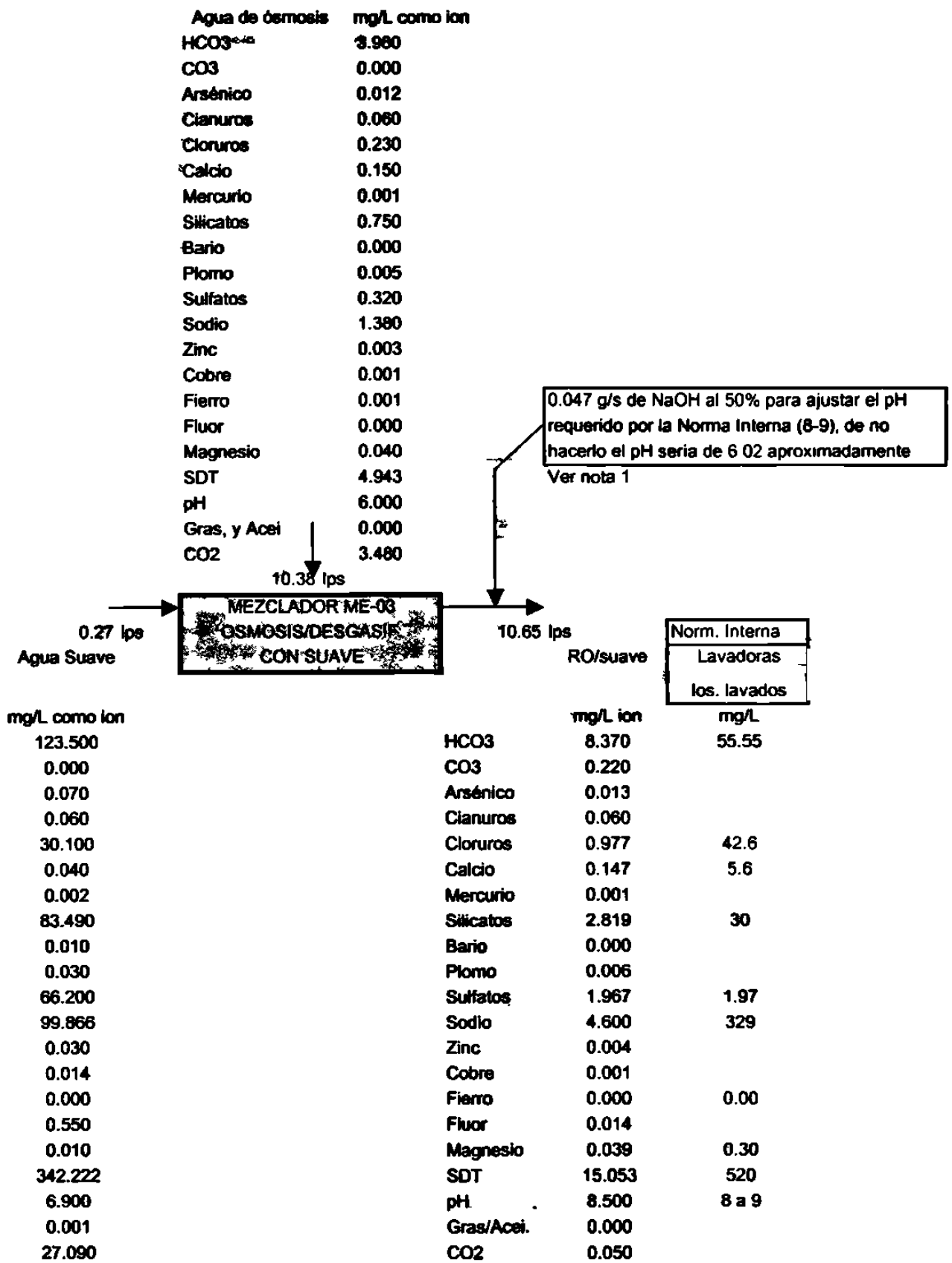
Cálculo del efluente

Se toman los cationes mas importantes

	ppm	E. Q.	e.p.m.	e. p.m.	ppm	aprox.
Silice	83.50	30	2.783	2.783	83.49	83.5
Calcio	28.10	20	1.405	0.002	0.04	0
Magnesio	7.10	12	0.592	0.001	0.012	0
Fierro	0.04	18.6	0.002	0.000	0.00	0
Sodio	54.00	23	2.348	4.342	99.866	~
			7.130	7.128		

Esta agua suavizada cumple las recomendaciones del fabricante de calderas, cero calcio y magnesio, además va a servir para realizar mezclas con agua de ósmosis para otros usos.

**Tabla 6.5 MEZCLADO DE AGUA DE ÓSMOSIS CON AGUA SUAVE PARA LAVADORAS
(Calidades y flujos)**



Nota 1.- El cálculo de adición de NaOH, se realizó con el programa de computadora para ósmosis inversa

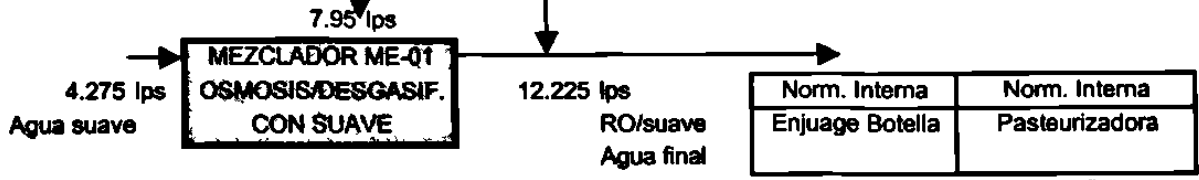
Tabla 6.6

MEZCLADO DE AGUA DE ÓSMOSIS, CON AGUA SUAVE, PARA ENJUAGUE DE BOTELLAS Y PASTEURIZADOR (Calidades y flujos)

Agua de ósmosis mg/L como ion

HCO3	3.980
CO3	0.000
Arsénico	0.012
Cianuros	0.060
Cloruros	0.230
Calcio	0.150
Mercurio	0.001
Silicatos	0.750
Bario	0.000
Plomo	0.005
Sulfatos	0.320
Sodio	1.380
Zinc	0.003
Cobre	0.001
Hierro	0.001
Fluor	0.000
Magnesio	0.040
SDT	4.943
pH	6.300
Gras. y Acel.	0.000
CO2	3.480

0.738 g/s de NaOH al 50% para ajustar pH (7-9), si no se adicionara, el pH seria 6.21
Ver nota 1



	mg/L como ion
HCO3	123.500
CO3	0.000
Arsénico	0.070
Cianuros	0.060
Cloruros	30.100
Calcio	0.040
Mercurio	0.002
Silicatos	83.500
Bario	0.010
Plomo	0.030
Sulfatos	66.200
Sodio	99.866
Zinc	0.030
Cobre	0.014
Hierro	0.000
Fluor	0.550
Magnesio	0.000
SDT	342.222
pH	6.600
Gras. y Acel.	0.001
CO2	48.880

	mg/L ion
HCO3	91.710
CO3	0.000
Arsénico	0.032
Cianuros	0.060
Cloruros	10.675
Calcio	0.111
Mercurio	0.001
Silicatos	29.687
Bario	0.003
Plomo	0.014
Sulfatos	23.358
Sodio	53.190
Zinc	0.012
Cobre	0.006
Hierro	0.000
Fluor	0.192
Magnesio	0.026
SDT	163.223
pH	7.000
Gras/Acel.	0.000
CO2	15.990

Norm. Interna	Norm. Interna
Enjuage Botella	Pasteurizadora

mg/L	mg/L
111	95
42.6	50
1.4	28
30	30
49	50
54	150
0.00	0.00
200	200
7 a 9	7 a 9

Nota 1.- El cálculo de adición de NaOH se realizó con el programa de computadora para ósmosis inversa

Las calidades de agua "final" cumplen las Normas Internas

6.3 Optimización de usos del agua.

Observando el diagrama de flujo y otros antecedentes propios de la planta, se encuentran detalles muy importantes.

1.- El consumo total de agua (1516.42 gpm), está cerca de la capacidad de bombeo de extracción de los pozos profundos (1600 gpm).

2.- La cantidad de agua de rechazo de la ósmosis (430.80 gpm) está cerca de la capacidad remanente de la planta de agua residual diseñada para rechazos de ósmosis, aprox. 500 gpm. por lo que, según el momento el diagrama, no sufrirá modificaciones; pero a mediano plazo se requerirá optimizar aún más los usos del agua, se menciona a continuación, una solución preliminar; la definitiva se realizará hasta tener los datos reales de operación de campo de este proyecto.

La solución preliminar se presenta a continuación.

Como primer objetivo, el tratamiento que se dará al agua de rechazo debe cumplir mínimamente los parámetros establecidos en la Norma 127 y, de ser posible, que cumpla algunas de las Normas Internas y/o de fabricantes de equipo, por lo cual se propone lo siguiente:

1.- Tratamiento de Cal-Carbonato en frío.

2.- Floculación

3.- Sedimentación.

4.- Filtración.

5.- Ósmosis inversa.

Se considera otro sistema de ósmosis porque éste nos asegura que se va a reducir la presencia de contaminantes, como metales pesados, cuya presencia se evitará en aquella agua que tenga contacto directo o indirecto en la elaboración de la bebida de moderación, lavados de botellas, etc.

Con esta serie de tratamientos al agua de rechazo de la ósmosis (430.80 gpm), se estima tener una recuperación de agua para uso en la planta de 250 a 300 gpm, (1362 a 1635 m³/24 horas), cantidad muy importante que va a traer como consecuencia asegurar el suministro de agua de calidad y lograr un fuerte ahorro económico, ya que el precio de extracción de agua y tratamiento, está aproximadamente en USD\$1.00/m³, y el costo por tratamiento de esta agua de rechazo, se estima en USD \$ 0.35, por lo que el ahorro preliminar por día es de USD \$ (1.00-0.35) x 1,362 m³/24 horas = USD \$885.00/24 horas.

Juárez y Rochín en sus páginas 236-259 y 276, y otros autores ^(17 y 25), dan a conocer la información, que se reproduce en la Tabla 6.7, tiempo de tratamiento para eliminar la sílice con diferentes reactivos, así como el tratamiento químico,

cada uno con características particulares en cuanto a relación reactivo/silice, temperatura, etc.

Tabla 6.7.- Tiempo de tratamiento para eliminar la sílice con diferentes reactivos

Reactivo	Relación- epm reactivo ----- epm SiO ₂	temperatura °C	tiempo mínimo minutos	pH óptimo
MgO	0.45	95	15	10.4
MgO	0.33	40	120	10.1
Fe ₂ (SO ₄) ₃	0.27	20	60	9.0
Al ₂ (SO ₄) ₃	0.16	20	60	5.7-7.5
NaAlO ₂	0.16	20	60	7-8.5
Fe ₂ (SO ₄) ₃	0.50	95	20	9.0

Contando con la calidad de agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa, se tratará de recuperarla con un tratamiento en frío, con la adición de productos químicos, por lo cual se presenta a continuación un estudio preliminar sobre la factibilidad de tratar esta agua para aprovecharla en alguna otra necesidad de la planta.

Seleccionando los iones más representativos del agua procedente del rechazo de los sistemas de ósmosis inversa (tabla 6.2, pág. 58)*, se tiene:

Agua de rechazo de ósmosis	ppm
Bicarbonatos	306.53
Sulfatos	165.02
Cloruros	74.90
Calcio	70.02
Magnesio	17.69
Sodio	134.12
Total de iones	768.28
Silice	207.63
CO ₂	27.09
pH	7.29 Unidades

Analizando este tipo de calidad de agua, puede tener un tratamiento en frío con CaO y Na₂CO₃, el cual elimina o reduce la presencia de bicarbonatos, calcio, magnesio, subiendo el sodio.

* Para los metales pesados, Patterson J W "Industrial Wastewater Treatment" 2ª edición, Butterwort Publishers Boston, London, Sydney (1985), menciona que ciertos coagulantes y a un pH alto, se puede reducir la presencia de arsénico en un 70-80% y el mercurio hasta un 70", etc. Con la prueba de jarras se podría confirmar

En cuanto al tipo de coagulante; entre otras características, está la de reducir el sílice, adsorbiéndolo. Algunos coagulantes como: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, éste es adecuado cuando la concentración de sílice está entre 10-20 ppm, en estos casos se reduce el sílice a una tercera parte de la cantidad original.

El $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ se emplea cuando el pH del agua a tratar está entre 5.7 a 7.5, pues se ha observado que el hidróxido de aluminio formado se disuelve cuando existen valores superiores a 7.5.

Cuando el sílice es mayor que 40 ppm, se recomienda usar el $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$ o el (NaAlO_2) en una proporción de 4 a 10 veces los epm de sílice, y ésta se reducirá a la décima parte. Para fines de cálculo, se tomará el aluminato de sodio (NaAlO_2) como coagulante, Juárez y Rochín ⁽¹⁷⁾, lo recomiendan en un pH de 7 a 8.5. Este coagulante es alcalino y al combinarse con el CaO y el Na_2CO_3 , se hidrolizan y por lo tanto, se deben restar los epm (Columnas de reactivos CaO y Na_2CO_3 /Renglón Coagulante NaAlO_2 , de la tabla 6.8 en la siguiente página.

Para la aplicación del criterio de la proporción del coagulante, se tomará como apoyo la Tabla 6.7, pág. 65 En la relación epm reactivo/epm SiO_2 para el aluminato de sodio se tiene 0.16 y en la Tabla 6.8, columna epm/renglón sílice es de 6.92, por lo tanto, el epm del reactivo será:

$\text{Epm reactivo} = 0.16 \times 6.92 = 1.1$, este valor se colocará en la columna epm/renglón coagulante NaAlO_2 . Ahora bien, si se dividen los epm del sílice que es 6.92 entre los epm del coagulante 1.1, da el valor de 6.92. Esta cantidad está dentro del nivel sugerido por Juárez y Rochín y que es de 4 a 10 veces.

En la tabla 6.8, que aparece mas adelante, se indica la calidad de agua de rechazo y la calidad de agua tratada con CaO y Na_2CO_3 misma que se indica en la penúltima columna. Como se podrá observar el agua tratada es de muy buena calidad, lo cual se podría confirmar con experimentos de "Prueba de Jarras".

Los lodos que se formen como producto de este tratamiento en frío, serán secados y dispuestos en un confinamiento.

Los equipos necesarios para llevar a efecto este tratamiento químico serán: sistemas de dosificación con bombas de diafragma, mezcladores, tanques para dilución de reactivo, clarificador, etc, El dimensionamiento de equipo será parte de otro proyecto, hasta hacer un rebalanceo de agua; y de acuerdo con las nuevas necesidades de producción de la cerveza.

	Agua de rechazo de ósmosis		Reactivos		Agua tratada		Observaciones
	ppm	Equiv. Quim.	CaO epm	Na2CO3 epm	epm	ppm	
Hidróxido		17					
Carbonatos	0.20	30	0.40	0.40	0.40	6.80	(1)
Bicarbonatos	306.53	61	5.03	0.70	0.70	21.00	(1)
Sulfatos	165.02	48	3.44	-5.03			
Cloruros	74.90	35.5	2.11		3.44	165.02	
Suma de iones negativos			10.56		2.11	74.90	
Calcio	70.02	20	3.50	3.50	0.28	5.60	
Magnesio	17.69	12.1	1.46	1.46	0.12	1.46	
Sodio	134.12	23	5.83		6.25	143.75	(2)
Suma de iones positivos			10.79		6.65	267.72	
Silíce	207.63	30	6.92		0.7	21	
CO2	27.09	22	1.23				
pH = 7.29							
Coagulante NaAlO2 en un pH de 7-8.5	82	82	-1.1	-1.1			
Total de reactivos			7.02	0.07			€

\$20.00

Dureza Total CaCO3	247.79						
Dureza Calcio CaCO3	175.05						
Dureza Magnesio CaCO3	72.74						
Peso molecular del CaCO3	100						
Peso molecular del Calcio	40						
Peso molecular del Magnesio	24.32						
Dureza inicial de Ca como CaCO3	(100/40)(70.02)	175.05					
Dureza inicial de Mg como CaCO3	(100/24.32)(17.69)	72.74					
Dureza inicial total como CaCO3		247.79					
Dureza total final considerada 20 ppm como CaCO3, de esta cantidad el 30% será por magnesio e sea 6 ppm y el resto por calcio o sea 14 ppm estas cantidades expresadas como iones serán.							
Ion Calcio ppm	14	(40/100)(14)	5.60				
Ion Magnesio ppm	6	(24.32/100)(6)	1.46				
Calculo de reactivos y coagulante	equiv., quim.	epm	kilogramos/1000 toneladas de agua tratada				
CaO	28	7.02	196.56				
Na2CO3	53	0.07	3.71				
NaAlO2	82	1.1	90.2				

(1) Cantidades consideradas como excedentes en el agua tratada

(2) El sodio (143.75) ó (6.25), se calcula por medio de diferencia de iones

**7. EQUIPO PRINCIPAL REQUERIDO, CÁLCULOS, DIMENSIONAMIENTO,
ESPECIFICACIONES Y ARREGLO DE EQUIPO.**
(en los anexos está el plano de arreglo de equipo)

7.1 Dimensionamiento de los tanques del agua procedente de los pozos:

Los tanques T-01, 02 y 03, son tanques existentes, con capacidad de 80 m³, eran cilíndrico-horizontales; pero serán acondicionados como tanques de paso. Ahora son cilíndrico verticales y se les debe construir un faldón que será usado como soporte para anclar dicho tanque al piso.

Especificación general.

Tag de cada uno de los tanques	T-01, T-02 y T-03
Tanque de agua con dióxido de cloro	Cilíndrico verticales
Material de construcción del tanque	Acero inoxidable 304
Material de construcción del faldón	Acero al carbón
Material del empaque	Garlock
Capacidad a 100%	86 m ³
Presión de diseño	Atmosférico
Temperatura de diseño	60 °C
Temperatura de operación	20 °C
Diámetro interior	3161 mm.
Altura parte recta	10765 mm
Tapas superior e inferior	Toriesféricas
Entrada de agua en la parte superior	10" de diámetro
Salida inferior del agua	10" de diámetro
Venteo	10" de diámetro
Derrame	10" de diámetro
Entrada hombre	Lateral 16"x20"
Indicadores de nivel (abajo y arriba)	1"

7.2 Dimensionamiento de los tanques del agua para retrolavado y agua recuperada de retrolavado:

Los tanques T-04 y T-06, serán dimensionados de acuerdo con el siguiente criterio: los filtros desde F-01 al 06 requieren un flujo de retrolavado de 754 gpm cada uno; serán retrolavados cada 24 horas, cada uno, los filtros de carbón activado FCA-01 al 04, con un flujo de 905 gpm., también serán retrolavados cada 24 horas, cada uno. Todos los retrolavados se consideran que tendrán un tiempo de 10 minutos por lo tanto el consumo de agua será de:

Capacidad del tanque:

$$754\text{gpm} \times 10\text{min} \times 6\text{filtros} + 905\text{gpm} \times 10\text{min} \times 4\text{filtros} = 81440 \text{ galones } (308 \text{ m}^3)$$

Factor de diseño para el volumen 1.1

$$\text{Capacidad de diseño } 308 \times 1.1 = 339 \text{ igual a } 340 \text{ m}^3$$

Para el dimensionamiento del tanque se aplicará el siguiente criterio, que el diámetro sea similar a la altura, pero que esta altura sea múltiplo de ancho comercial de las láminas, cuyo ancho más conocido es el de 4 pies.

Por lo tanto las dimensiones que se proponen son las siguientes:

Diámetro 7.70 metros, altura parte recta 7.32 metros (24 pies).

Otra forma de dimensionar los tanques es por medio de Norma API (American Petroleum Institute).

Especificación general Tanque T-04 y T-06.

Tanque para agua para retrolavados	Cilíndrico verticales
Material de construcción del tanque	Acero inoxidable 304
Material de construcción de escalera	Acero al carbón
Material del empaque	Garlock
Capacidad a diseño	340 m ³
Presión de diseño	Atmosférico
Temperatura de diseño	60 °C
Temperatura de operación	20 °C
Diámetro interior	6650 mm.
Altura parte recta	7320 mm
Tapas inferior	Plana
Tapas superior	Cónica
Entrada de agua en la parte superior	3" de diámetro
Salida lateral del agua	8" de diámetro
Venteo	8" de diámetro
Derrame	8" de diámetro
Entrada hombre lateral y en techo	16"x20"
Drenaje	6" Diámetro
Indicadores de nivel (abajo y arriba)	1"
Accesorios	Escalera marina con descanso intermedio

7.3 Dimensionamiento del tanque del agua suave:

El tanque de agua suave T-07, será dimensionado para un tiempo de almacenamiento de 6 horas de agua suave, considerando un consumo de agua de 73.94 gpm., y el criterio de dimensionamiento será similar al de los tanques anteriores.

Capacidad del tanque = 73.94 gpm x 6 horas = 100.75 m³.

Factor de diseño para el volumen 1.1

Capacidad de diseño 100.75 x 1.1 = 110 m³

Por lo tanto las dimensiones que se propusieron fueron las siguientes:

Diámetro 4.80 metros, altura parte recta 6.09 metros (20 pies).

Otra forma de dimensionar los tanques es por medio de Norma API (American Petroleum Institute).

Especificación general Tanque T-07.

Tanque para agua para agua suave	Cilíndrico vertical
Material de construcción del tanque	Acero inoxidable 304
Material del empaque	Garlock
Capacidad a diseño	110 m ³
Capacidad de operación	100 m ³
Presión de diseño	Atmosférico
Temperatura de diseño	60 °C
Temperatura de operación	20 °C
Diámetro interior	4800 mm.
Altura parte recta	6090 mm
Tapas inferior	Plana
Tapas superior	Cónica
Entrada de agua en la parte superior	3" de diámetro
Salida lateral del agua	3" de diámetro
Venteo	3" de diámetro
Derrame	3" de diámetro
Entrada hombre en lateral	16"x20"
Drenaje	3" Diámetro
Indicadores de nivel (abajo y arriba)	1"
Accesorios	Escalera marina

7.4 Dimensionamiento del tanque del agua para elaboración:

El tanque de agua T-07, fue dimensionado para un tiempo de almacenamiento de 6 horas, considerando un consumo de agua de 564.17 gpm., y el criterio de dimensionamiento fue similar al de los tanques anteriores.

Capacidad del tanque = 564.17 gpm x 6 horas = 768.738 m³

Factor de diseño para el volumen 1.1

Capacidad de diseño 768.738 x 1.1 = 845 m³

Por lo tanto, las dimensiones que se propusieron son las siguientes:

Diámetro 10.50 metros, altura parte recta 9.76 metros (32 pies).

Otra forma de dimensionar los tanques es por medio de Norma API (American Petroleum Institute).

Especificación general Tanque de agua para elaboración T-05.

Tanque para agua para agua suave	Cilíndrico vertical
Material de construcción del tanque	Acero inoxidable 304
Material de la escalera	Acero al carbón.
Material del empaque	Garlock
Capacidad a diseño	845 m ³
Capacidad de operación	768.7 m ³
Presión de diseño	Atmosférico
Temperatura de diseño	60 °C
Temperatura de operación	20 °C
Diámetro interior	10500 mm
Altura parte recta	9760 mm
Tapas inferior	Plana
Tapas superior	Cónica
Entrada de agua en la lateral superior	6" de diámetro
Salida lateral del agua	6" de diámetro
Venteo	6" de diámetro
Derrame	6" de diámetro
Entrada hombre en lateral y en techo	16"x20"
Drenaje	6" Diámetro
Indicadores de nivel (abajo y arriba)	1"
Accesorios	Escalera marina Con descanso

7.5 Generador de Dióxido de cloro:

El generador de dióxido de cloro, esencialmente, estará formado por dos partes:

1.- Generador de Dióxido de cloro.

2.- Control residual de cloro, Este se llevará a efecto en dos partes, a la salida de los pozos profundos y en un tanque de 800 m³

3.-Preparación de la solución de Dióxido, *in situ*.

4.- Flujo de agua a clorar en el primer punto 1397.22 gpm, en el segundo punto 564.17 gpm

Componentes principales Cl₂ y 2NaClO₂ en forma gaseosa.

Fluido para realizar el vacío en el eductor: agua.

Aplicación: Por medio de eductores aplicando el ClO₂ en forma de solución en agua en la línea principal de agua antes de los tanques T-01, 02, 03 y en el tanque T-05

Material de las tuberías y conexiones: PVC cédula 80.

Tanque para mantener la solución: PVC de 100 litros.

Controles: Alto y bajo nivel de solución de dióxido en el tanque de 100 litros
Detector de alta o baja concentración de dióxido en las tuberías.
Detector de baja existencia de Cl₂ y NaClO₂
Totalizador y registro de consumo de ClO₂
Detector de flujos de agua a clorar y para dilución.
Mantener un cloro residual en los dos puntos de aplicación 0.5 mg/L

7.6 Filtro multimedia
(F-01, 02, 03, 04, 05 y 06).

Cálculo:

Bases de diseño:

Flujo normal de operación en cada filtro	226.26 gpm (30.24 pie ³ /min.)
Flujo superficial propuesto ⁽²⁵⁾	5 gpm/pie ²
Algunos autores ⁽²⁷⁾ , proponen	10 gpm/pie ²
Flujo de retrolavado	15 gpm/pie ²
Altura del medio filtrante	3.0 pies

Por lo tanto el área requerida será de $\approx \frac{226.26 \text{ gpm}}{5 \text{ gpm/pie}^2} = 45.25 \text{ pie}^2$

El diámetro será = $(4 \times 45.25 / 3.1416)^{0.5} = 7.59 \text{ pies} = 8 \text{ pies.}$

Area para un diámetro de 8 pies = 50.26 pie^2

Velocidad del agua dentro del tanque = $\frac{30.24 \text{ pie}^3/\text{min.}}{50.26 \text{ pie}^2} = 0.60 \text{ pie/min.}$

Tiempo de contacto $\approx \frac{3.0 \text{ pies}}{0.60 \text{ pie/min}} = 5 \text{ min.}$

Flujo de retrolavado $\approx 15 \text{ gpm/pie}^2 \times 50.26 \text{ pies}^2 \approx 754 \text{ gpm}$

Especificación:

Cantidad de filtros multimedia	6
Fluido a filtrar	Agua
Flujo de servicio	226.26 gpm.c/u
Control para el retrolavado	Por tiempo
Rango de temperatura de operación	10 a 40 °C
Flujo de retrolavado	754 gpm
Presión de operación	45-95 psi
Diámetro nominal de tanque	96 pulgadas
Altura parte recta del tanque	60 pulgadas
Material de recipiente	Acero al Carbón
Material de internos	PVC
Recubrimiento interior	Epóxico sanitario
Recubrimiento exterior	Epóxico fenólico
Soporte del medio filtrante	Cuarzo graduado
Medio filtrante: Altura 1.5 pies.	Antracita, arena, granate
Válvulas principales	Mariposa con actuador neumático, bridadas
Accesorios:	Válvula de alivio, de muestreo, manómetros

**7.7 Filtro de carbón activado
(FCA-01, 02, 03, 04)**

Cálculo:

Bases de diseño:

Flujo normal de operación en cada filtro 339.40 gpm (45.36 pie³/min)

Flujo superficial, hay dos opciones: para remover cloro 3-5 gpm/pie²,

para remover orgánicos 1-3 gpm/pie², se selecciona 3 gpm, ⁽²⁶⁾

Flujo de retrolavado⁽²⁶⁾

3 gpm/pie²
8-10.0 gpm/pie²

Altura propuesta de cama de carbón activado

3.0 pies

$$\text{Por lo tanto el área requerida será de} = \frac{339.40 \text{ gpm}}{3 \text{ gpm/pie}^2} = 113.13 \text{ pie}^2$$

$$\text{El diámetro será} = (4 \times 113.13/3.1416)^{0.5} = 12 \text{ pies.}$$

$$\text{Velocidad del agua dentro del tanque} = \frac{45.36 \text{ pie}^3/\text{min}}{113.13 \text{ pie}^2} = 0.40 \text{ pie}/\text{min.}$$

$$\text{Tiempo de contacto} = \frac{3.0 \text{ pies}}{0.40 \text{ pie}/\text{min.}} = 7.5 \text{ minutos}$$

$$\text{Flujo de retrolavado} = 8 \text{ gpm/pie}^2 \times 113.13 \text{ pies}^2 = 905 \text{ gpm}$$

Especificación

Cantidad de filtros de carbón activado	4
Fluido a filtrar	Agua
Flujo de servicio	339.40 gpm.c/u
Control para el retrolavado	Por tiempo
Rango de temperatura de operación	10 a 40 °C.
Flujo de retrolavado	905 gpm
Presión de operación	45-95 psi
Diámetro nominal de tanque	144 pulgadas
Altura parte recta del tanque	60 pulgadas
Material de recipiente	Acero al Carbón
Material de internos	Acero inoxidable
Recubrimiento interior	Epóxico sanitario
Recubrimiento exterior	Epóxico fenólico
Soporte del medio filtrante	Cuarzo graduado
Medio filtrante	Carbón activado
Válvulas principales	Mariposa con actuador neumático, bridadas
Accesorios:	Válvula de alivio, de muestreo, manómetros

7.8 Verificación de capacidad de suavizadores existentes:

Existen dos suavizadores (SUA-1 y 2), en un lugar distante, serán reubicados con el fin de concentrar en un solo lugar todos los equipos de tratamiento de agua.

Los datos de placa en el suavizador	flujo 120 gpm
Cantidad de resina	48 pies ³
Diámetro	66 pulgadas (5.5 pies)

Cálculo:

Dureza total del Agua de pozo	99.41 ppm CaCO ₃ z 99.41 g/m ³
-------------------------------	--

Flujo máximo de agua a ablandar	100 gpm
---------------------------------	---------

Considerando un flujo de agua de	2 gpm/pie ³ de resina
----------------------------------	----------------------------------

Considerando 10 libras de NaCl de regenerante/pie³ de resina, la capacidad de intercambio será de 24.4 Kilogramo /pie³ de resina.⁽²⁷⁾

$$\frac{24.4 \text{ Kilogramos} \times 1000 \text{ granos}}{\text{Kilogramos}} \times \frac{0.0648 \text{ gramos}}{\text{gramos}} = 1581 \text{ gramos CaCO}_3/\text{pie}^3 \text{ de resina}$$

$$\text{Area del suavizador} \quad 5.5^2 \times 3.1416/4 = 23.75 \text{ pies}^2$$

$$\text{Altura de la resina} \quad 48 \text{ pie}^3/23.75 \text{ pie}^2 = 2.0 \text{ pies}$$

$$1581 \text{ gramos CaCO}_3/\text{pie}^3 \text{ de resina} \times 48 \text{ pies}^3 \text{ de resina} = 75,888 \text{ gramos CaCO}_3$$

Volumen de agua suavizada por regeneración.

$$75888 \text{ gramos CaCO}_3/99.41 \text{ gramos CaCO}_3/\text{m}^3 = 763 \text{ m}^3 (201,686 \text{ galones}), \text{ de agua suavizada/regeneración.}$$

El flujo de agua es de 100 gpm.

$$201,686 \text{ galones}/100 \text{ galones/minuto} = 2,016 \text{ minutos} = 33.6 \text{ horas}$$

Lo que quiere decir que cada 33.6 horas será regenerado cada suavizador, por lo tanto con uno solo podría ser suficiente.

7.9 Luz ultravioleta

Especificación.

Flujo de agua a tratar	1357.60 gpm
Tipo	In Line
Diseño	Cámara de acero inoxidable 316 L
Tipo de Emisores	Emisores de luz ultravioleta de alta intensidad y presión media multionda de 2 vatios, cada uno
Conexiones	Bridada
Mecanismo de limpieza	Automático
Presión de operación máxima	100 PSI
Dosis mínima de luz UV	25,000 $\mu\text{vs}/\text{cm}^2$ al final de la vida útil del emisor

7.10 Ósmosis inversa. (dos sistemas)

Especificación y límites de operación

Flujo de agua de alimentación	538.40 gpm c/u
Flujo de permeado	323.00 gpm c/u
Configuración	multietapa, paso simple
Requerimiento de presión de entrada	25-60 PSI
Temperatura de agua de alimentación	Ambiente
Requerimiento de filtración	5 micras nominal
Índice de ensuciamiento	SDI <3
Presión disponible del producto	25 PSI
Temperatura máxima de alimentación	113 °F
Máximo SDI de alimentación	3
Máximo PH de alimentación	11
Mínimo PH de alimentación	2
Máximo cloro libre de alimentación	<0.1 mg/l
Máxima turbidez de alimentación	1 NTU
Accesorios	Sistema dosificador de Hidróxido de Sodio 10.7 libras/día al 50% se alimentará en la descarga del desgasificador

Desgasificador

Especificación generales

Diámetro de recipiente	Por proveedor
Marco	Acero estructural cubierto de poliuretano
Bomba de presión	3600 rpm, internos de acero inoxidable
Tubería de alimentación	PVC cédula 80
Tubería de alta presión	Acero inoxidable 316
Tubería de producto	Acero inoxidable 316
Válvula de entrada	Mariposa con actuador
Válvula de ajuste de bomba	Bola, acero inoxidable
Indicadores de presión	Acero inoxidable
Accesorios	Monitor y sensor de conductividad, Monitor y sensor de flujo

7.11 Dimensionamiento de la tubería.

Criterio general:

Se parte de los principios de la buena ingeniería en la cual se considera como base una velocidad en la descarga de las bombas, de 7 pies/segundo y en la succión, 4 pies/segundo⁽²⁸⁾; sin embargo, por así convenir para futuras ampliaciones, varios diámetros serán ligeramente mayores que los requeridos

Otra condición para la selección de la tubería es que la pérdida de presión por cada 100 pies sea de más o menos 1 psi.⁽²⁸⁾

Para calcular los diversos diámetros de las tuberías se elaboró un programa de computadora, en el cual se consideró como temperatura 20°C, una densidad del líquido 62.2 lb/pie³, con una viscosidad de 1.00 cp.

Solamente a manera de ejemplo se realizará un cálculo en forma manual, escogiendo un diámetro al azar. Se seleccionó para un flujo de 430.80 gpm. (Cabezal de agua de rechazo)

Aplicando la fórmula de Darcy, para una longitud de 100 pies, que es el cálculo según programa de computadora, se tomaron como referencia los siguientes autores: Westayay y Lomis y otros.^(29,30)

Primero se calcula la velocidad dentro de la tubería.

$$430.80 \text{ gal/minuto} = 0.9596 \text{ pie}^3/\text{s}$$

Diámetro interior de tubería de 6 pulgadas C.40, acero al carbón 6.065 pulgadas

$$\text{Area interna del tubo de 6 pulgadas C. 40} = 0.2006 \text{ pie}^2$$

$$\text{Velocidad del agua} = \frac{0.959 \text{ pie}^3/\text{s}}{0.2006 \text{ pie}^2} = 4.78 \text{ pie/s}$$

Número de Reynolds.

$$\text{Re} = 123.9 \frac{d v \rho_e}{u}$$

Re = Número de Reynolds sin unidades

123.9 = Constante

d = diámetro interno en pulgadas 6.065

v = velocidad 4.78 pie/s

pe = densidad o peso específico del agua a 20 °C igual a 62.2 libra/pie³

u = viscosidad del agua a 20 °C 1.00 cp.

$$Re = 123.9 \frac{6.065 \times 4.78 \times 62.2}{1.00} = 223419 \text{ (Flujo turbulento)}$$

Apoyándose en la gráfica "Relative Roughness of Pipe Materials and Friction Factors For Complete Turbulence" (anexo) y con el diámetro de 6 pulgadas del tubo para comercial tube $e/D = 0.0003$ y en esa misma gráfica se obtiene $f = 0.015$

$$h_{L100} = \frac{0.1863 f L v^2}{d}$$

- h_L = pérdida de presión en 100 pies en columna de líquido
- 0.1863 = Constante
- f = factor de fricción 0.015
- L = Longitud de la tubería 100 pies
- v = velocidad 4.78 pie/s
- d = diámetro interno de la tubería en pulgadas 6.065

$$h_{L100} = \frac{0.1863 \times 0.015 \times 100 \times 4.78^2}{6.065} = 1.054 \text{ pies, igual a } 0.457 \text{ psi}$$

En tuberías cuyo diámetro coincida con: 1¼, 2½, 3½ y 5 pulgadas (estos no son comerciales en México), se considerarán diámetros superiores.

Se considerará tubería de acero al carbón de cédula 40. Toda la tubería de agua de permeado, a partir de la ósmosis inversa, será de acero inoxidable, calibre 10.

Para los cálculos de tubería en programa de computadora, ver las tablas 7.1 Cálculo de pérdida de presión en tuberías con la fórmula de Darcy, para tubería en acero al carbón y 7.2 Cálculo de pérdida de presión en tuberías con la fórmula de Darcy, para tubería en acero inoxidable.

Tabla 7.1 CÁLCULO DE PÉRDIDA DE PRESIÓN EN TUBERÍAS CON LA FÓRMULA DE DARCY

Para tubería en acero al carbón

Material: Acero al carbón, cédula 40
 Longitud de la tubería: 100 pies
 Rugosidad absoluta de la tubería: 0.00015
 Temperatura: Ambiente
 Viscosidad del agua a temperatura ambiente: $\mu = 1.000 \text{ cp}$
 Densidad o peso específico del líquido 62.2 libras/pie³

$$hL = 0.1863 \frac{L v^2}{d}$$

hL = pérdida de presión por cada 100 pies

0.1863 = constante

f = Factor de fricción

v = Velocidad pie/segundo

d = Diámetro interior de la tubería en pulgadas

L = 100 pies

$$\text{Reynolds} = 123.9 \frac{v}{\mu}$$

123.9 = Constante

d = diámetro interior en pulgadas

v = velocidad en pies/s

μ = peso específico o densidad 62.2 libras/pie³

Tramo	Flujo gpm	Flujo pie ³ /s	Tub. C40 Diámetro Norm. pulg.	Diámetro interior pulgadas	Área interior pie ²	vel. pie/s	Reynolds	e/D rugos. relativa	f factor de fricción	hL pérdida de presión cada 100 pies pies líquido	hL pérdida de presión cada 100 pies libras/pie ²
Agua a calderas	1.90	0.0042	0.75	0.824	0.0037	1.14	7257	0.00250	0.036	1.063'	0.407 psf
Agua suave a ME-03	4.28	0.0095	1.00	1.049	0.0060	1.59	12842	0.00188	0.031	0.664'	0.802 psf
Línea a tq. agua retrolevs.	39.63	0.0883	3.00	3.068	0.0513	1.72	40656	0.00060	0.023	0.413'	0.178 psf
Agua suave a ME-01	67.76	0.1509	3.00	3.068	0.0513	2.94	69514	0.00060	0.021	1.102'	0.478 psf
Agua a lav. de toq. y pisos	72.03	0.1604	3.00	3.068	0.0513	3.13	73695	0.00060	0.021	1.248'	0.548 psf
A. suave a ME-01 y ME-03	72.04	0.1605	3.00	3.068	0.0513	3.13	73905	0.00060	0.021	1.248'	0.548 psf
Succ. y desc. bombas B-07 y B-08	73.94	0.1647	3.00	3.068	0.0513	3.21	75854	0.00060	0.021	1.313'	0.568 psf
Succión bombas B-05 y B-06	100.00	0.2228	4.00	4.026	0.0884	2.52	76177	0.00045	0.020	0.588'	0.255 psf
Descarga bombas B-05 y B-06	100.00	0.2228	3.00	3.068	0.0513	4.34	102589	0.0006	0.020	2.288'	0.901 psf
Agua U. V. a mezclador ME-02	208.77	0.4650	4.00	4.026	0.0884	9.26	163211	0.00045	0.019	2.433'	1.055 psf
Llegada y salida a c/fitro multimedia	232.90	0.5188	4.00	4.026	0.0884	5.87	182075	0.00045	0.019	3.028'	1.312 psf
Agua U. V. a lav. toq. y ME-02	280.80	0.6255	6.00	6.065	0.2006	3.12	145721	0.00030	0.018	0.537'	0.233 psf
Llegada y salida a c/fitro c. Activ.	349.30	0.7781	6.00	6.065	0.2006	3.88	181269	0.00030	0.018	0.832'	0.360 psf
Cabezal Agua de rechazo	430.80	0.9596	6.00	6.065	0.2006	4.78	223448	0.00030	0.015	1.054'	0.457 psf
Succión a cada B-01, 02 y 03	698.61	1.5562	8.00	7.981	0.3474	4.48	275507	0.00022	0.016	0.749'	0.325 psf
Desc. de cada B-01, B-02, B-03	698.61	1.5562	6.00	6.065	0.2006	7.76	362542	0.00030	0.017	3.142'	1.362 psf
Agua retrolavados (flujo máximo)	905.00	2.0159	8.00	7.981	0.3474	5.80	356899	0.00022	0.014	1.100'	0.477 psf
Línea de agua filtrada	1357.60	3.0241	10.00	10.020	0.5476	5.52	426441	0.00017	0.015	0.851'	0.369 psf
Línea de agua cruda	1397.22	3.1123	10.00	10.020	0.5476	5.68	438886	0.00017	0.015	0.901'	0.391 psf

Tabla 7.2 CÁLCULO DE PÉRDIDA DE PRESIÓN EN TUBERÍAS CON LA FÓRMULA DE DARCY
Para tubería en acero inoxidable

Material: Acero inoxidable, cédula 10
 Longitud de la tubería: 100 pies-
 Rugosidad absoluta de la tubería: 0.00015
 Temperatura: Ambiente
 Viscosidad del agua a temperatura ambiente: $\mu = 1.000 \text{ cp}$
 Densidad o peso específico del líquido 62.2 libras/pie³

$$hL = 0.1863 \frac{L v^3}{d^5}$$

Reynolds = 123.9dvp/e
 $123.9 = \text{Constante}$
 $d = \text{diámetro interior en pulgadas}$
 $v = \text{velocidad en pies/s}$
 $\rho = \text{peso específico o densidad } 62.2 \text{ libras/pie}^3$
 $e = \text{rugosidad absoluta}$
 $L = 100 \text{ pies}$

Tramo	Flujo gpm.	Flujo pie ³ /s	Tub. C10 Diámetro Nom. pulg.	Diámetro Interior pulgadas	Área Interior pie ²	vel. pie/s	Reynolds	e/D rugos. relativa	f factor de fricción	hL pérdida de presión cada 100 pies pies-liquido	hL pérdida de presión cada 100 pies C libras/pie ²
Agua a enjuague botella	63.56	0.1416	3.00	3.260	0.05796	2.44	61365	0.00060	0.022	0.750	0.325
Agua desgas. a mezclador ME-01	126.06	0.2808	4.00	4.260	0.06896	2.84	93137	0.00045	0.020	0.704	0.305
Agua a pasteurizadora	130.26	0.2902	4.00	4.260	0.06896	2.93	98240	0.00045	0.020	0.752	0.326
Ag. desgasific. a mezclador ME-03	164.54	0.3665	4.00	4.260	0.06896	3.70	121567	0.00045	0.019	1.136	0.494
Agua de ME-03 a lavadoras	168.82	0.3760	4.00	4.260	0.06896	3.80	124720	0.00045	0.019	1.190	0.520
Salida de mezclador ME-01	193.82	0.4317	4.00	4.260	0.06896	4.36	143200	0.00045	0.019	1.581	0.685
Ag. Desgasific. a ME-01 y ME-03	290.60	0.6473	6.00	6.357	0.22041	2.84	143879	0.00030	0.016	0.456	0.197
Agua desgasificada a ME-02	355.40	0.7917	6.00	6.357	0.22041	3.59	175962	0.00030	0.016	0.681	0.295
Agua mezclada de ME-02 a T-05	564.17	1.2567	6.00	6.357	0.22041	5.70	279327	0.00030	0.017	1.620	0.702
Cabezal agua permeada	646.00	1.4390	8.00	8.329	0.37837	3.80	244115	0.00022	0.016	0.582	0.252

7.12 Cálculo de bombas

Criterio general:

Este proyecto requiere del cálculo de cuatro tipos de bombas con diferentes capacidades: B-01 a 03 (alimentación a filtros multimedia), cuya capacidad requerida es de 698.61 gpm. cada una, B-05 y 06 (Alimentación a suavizadores), con una capacidad de 100 gpm. cada una, B-07 y 08 (Descarga tanque de agua suave), con una capacidad de 73.94 gpm cada una, B-09 y 10 (Agua desgasificada), con una capacidad de 646.00 gpm cada una.

Para realizar los cálculos, tanto en forma manual como la diseñada en programa en computadora, las referencias que se tomaron para el cálculo de bombas fueron las que tienen los números: 29, 30, 31 y 32 de la bibliografía de esta tesis.

No se contempla especificar o calcular la bomba de alta presión de alimentación a las membranas de la ósmosis inversa, ya que se considera que las membranas, su sistema de postratamiento, el bastidor, etc, constituye un solo paquete que el distribuidor de la ósmosis proveerá.

La potencia de las bombas fueron calculadas mediante un programa de computadora (tablas 7.3, 7.4, 7.5 y 7.6), una de ellas se calculará a mano, escogiendo una al azar, la bomba B-05, para un flujo de operación 100 gpm. Para tener una idea precisa de las diversas tuberías, se recomienda realizar un dibujo con la posible ruta. En los anexos se encuentra un gráfico para la bomba B-05 con las diversas conexiones, válvulas, tramos de tubería, etc. Algunos autores prefieren realizar un dibujo unifilar.

Propiedades del líquido a bombear:

Fluido:	agua
Flujo	100 gpm
Temperatura de bombeo	20°C
Viscosidad a 20°C	1.000 cp.
Densidad a 20°C	62.2 libras/pie ³
Gravedad específica	0.996
Presión inicial (tanque atmosférico)	0.0 psi
Presión de vapor	0.772 pies
Presión atmosférica local	27.9 pies
Succión:	
Nivel mínimo de operación (altura entre espejo de agua y succión de la bomba)	1 pie
Longitud de tubería:	28 pies
Diámetro de la tubería y cédula	4 pulgadas, cédula 40
Diámetro interno	4.026 pulgadas
Conexiones en la succión:	1 válvula de compuerta, 1 tee con flujo lateral
Material de la tubería	Acero al carbón
Descarga:	
Altura máxima de descarga del agua	25 pies
Longitud de tubería descarga	139 pies

Diámetro tubería descarga y cédula	3 pulgadas, cédula 40
Diámetro interno	3.068 pulgadas
Conexiones en la descarga	8 Codos radio largo 1 válvulas check 4 válvulas de compuerta 4 tee con flujo recto
Equipos en la descarga	Un filtro cartucho Un suavizador
Material de la tubería	Acero al carbón

Para realizar el cálculo existen infinidad de procedimientos pero todos basados en el principio de Bernoulli, Cameron Hydraulic Data⁽²⁹⁾ y Flow of Fluids⁽³⁰⁾, sirvieron como guía principal para ilustrar este cálculo y elaborar con computadora el programa de bombas.

1.- Cálculo del flujo en pies cúbicos por segundo

$$100 \text{ gal/min} \times 1 \text{ min}/60 \text{ s} \times \text{pie}^3/7.4813 \text{ gal} = 0.222 \text{ pie}^3/\text{s}$$

2.- Cálculo de la velocidad en pie/s lado de succión

$$\begin{aligned} \text{Area interna de tubo de 4 pulgadas nominales} &= 0.08840 \text{ pie}^2 \\ \text{Velocidad del agua } 0.222 \text{ pie}^3/\text{s} / 0.08840 \text{ pie}^2 &= 2.52 \text{ pie/s} \end{aligned}$$

2a.- Cálculo de la velocidad en pie/s lado descarga

$$\begin{aligned} \text{Area interna de tubo de 3 pulgadas nominales} &= 0.05130 \text{ pie}^2 \\ \text{Velocidad del agua } 0.222 \text{ pie}^3/\text{s} / 0.05130 \text{ pie}^2 &= 4.34 \text{ pie/s} \end{aligned}$$

3.- Número de Reynolds, lado de succión

$$\begin{aligned} \text{Re} &= 123.9 \times d_i \times v \times \text{dens.} / \text{visc.} \\ \text{Re} &\approx 123.9 \times 4.026 \times 2.52 \times 62.2 / 1.00 = 78177 \text{ (flujo turbulento)} \end{aligned}$$

123.9 = Constante

d_i = diámetro interno en pulgadas 4.026

v = velocidad en pies/s 2.52

dens. = libras/pie³ 62.2

visc. = centipoises 1.00

3a.- Número de Reynolds, lado de descarga

$$123.9 \times 3.068 \times 4.339 \times 62.2 / 1.00 = 102589 \text{ (flujo turbulento)}$$

4.- Rugosidad relativa, lado de succión e/D

Con el valor del diámetro y considerando tubería comercial de 4 pulg. en la que la rugosidad absoluta e, es 0.00015 se obtiene en la gráfica "Relative Roughness of Pipe Materials and Friction Factors For Complete Turbulence" en anexos, el valor

$$e/D = 0.00045$$

4a.- Rugosidad relativa lado descarga e/D

Con el valor del diámetro y considerando tubería comercial en la que la rugosidad absoluta e, es 0.00015 se obtiene en la gráfica "Relative Roughness of Pipe Materials and Friction Factors For Complete Turbulence" en anexos, el valor:

$$e/D = 0.0006$$

5.- Factor de fricción (f), lado de succión

En la misma grafica "Relative Roughness of Pipe Materials and Friction Factors For Complete Turbulence" en anexos, se obtiene para tubería de 4 pulgadas el factor (f), de fricción:

$$f = 0.0165$$

5a.- Factor de fricción (f), lado de descarga

En la misma grafica "Relative Roughness of Pipe Materials and Friction Factors For Complete Turbulence" en anexos, se obtiene para tubería de 3 pulgadas el factor (f), de fricción:

$$f = 0.0175$$

Con esta serie de datos ya se puede conocer las pérdidas de presión ocasionadas por tubería, conexiones, etc.

6.- Caída de presión (hf), por conexiones, lado de succión

Para realizar este cálculo, Cameron Hydraulic Data ⁽²⁹⁾, ofrece la alternativa de un coeficiente de resistencia K para todo tipo de conexiones, este valor multiplicado por la cabeza de velocidad $v^2/2g$ proporciona la pérdida de presión por conexiones (f), en la página 3-111 a 3-117, se obtienen los valores para tee en flujo recto $K=1.02$ y para codos radio largo $K=0.14$, la cantidad y número de conexiones se obtiene del isométrico para bomba B-05 en los anexos.

Conexiones	Cantidad	K	K Total
Te en flujo recto	1	1.02	1.02
Valv. de compuerta	1	0.14	0.14
			<hr/>
			1.16

$$hf = Kv^2/2g = 1.16 \times 2.52^2 / 2 \times 32.2 = 0.1143 \text{ pies}$$

32.2 aceleración de la gravedad pies/s²

6a.- Caída de presión por conexiones, lado de descarga

Conexiones	Cantidad	K	K Total
Codos radio largo	8	0.29	2.32

Válvula check	1	1.08	1.08
Valv. de compuerta	4	0.14	0.56
Te en flujo recto	4	1.08	4.32
			8.28

$$h_f = K_v^2/2g = 8.28 \times 4.339^2 / 2 \times 32.2 = 2.42 \text{ pies}$$

7.- Caída de presión en tubería (h_t), lado de succión.

Para realizar este cálculo Flow of Fluids⁽³⁰⁾ ofrece varias alternativas en el capítulo de Summary of Formulas, escogiendo la siguiente:

$$h_t = 0.1863 \times f \times L \times v^2/d = 0.1863 \times 0.0165 \times 28 \times 2.52^2/4.026 = 0.136 \text{ pies}$$

L = longitud de total de tubería en tramos rectos (28 pies), estos valores se obtienen del Isométrico para bomba B-05 ilustrada en los anexos
d = diámetro interior de la tubería en pulgadas 4.026

7a.- Caída de presión en tubería (h_t), lado de descarga.

$$h_t = 0.1863 \times f \times L \times v^2/d = 0.1863 \times 0.0175 \times 139 \times 4.34^2/3.068 = 2.781 \text{ pies}$$

L = longitud de total de tubería en tramos rectos (139 pies), estos valores se obtienen del Isométrico para bomba B-05 ilustrada en los anexos.
d = diámetro interior de la tubería en pulgadas 3.068

8.- Caída de presión en equipos (h_e) en pies, lado descarga ocasionado por equipos (filtros, intercambiadores de calor, etc.), en este caso no hay equipos, por lo tanto $h_e = 0$

8a.- Caída de presión en equipos (h_e) en pies, lado descarga ocasionado por equipos (filtros, intercambiadores de calor, etc.), en este caso hay un filtro cartucho y un suavizador, se considera pérdida total de 10 psi (23.07pies), por los dos equipos.

9.- Elevación es la diferencia de alturas de nivel mínimo de agua y el centro de succión de la bomba (h_l), lado de succión.

En este caso, se considera que el nivel mínimo de agua que debe haber en el tanque (T-06) es de $h_l = 1$ pie.

9a.- Elevación es la diferencia de alturas del nivel máximo de agua y el centro de succión de la bomba (h_l), lado de descarga.

En este caso se considera que el nivel máximo de agua (T-06) es de $h_l = 25$ pies.

10.- Cabeza total de succión (h_s):

Es la suma de las pérdidas de presión de: caída de presión por conexiones, caída de presión de tubería, caída de presión por equipos, y la diferencia de alturas, como la succión está arriba de la succión de la bomba, la diferencia de alturas ($h_l = 1$), se resta.

$$h_s = h_f + h_t + h_e + h_l = 0.1143 + 0.135 + 0.0 - 1 = -0.750 \text{ pies}$$

Cabeza total de diseño (hds)

Cabeza total de succión x 1.1 factor de servicio

$$h_{ds} = h_s \times 1.1 = -0.750 \times 1.1 = -0.825 \text{ pies}$$

10a.- Cabeza total de descarga (hd):

Es la suma de las pérdidas de presión de: caída de presión por conexiones, caída de presión de tubería, caída de presión por equipos, la diferencia de alturas, presión en el punto final de descarga, en este caso va a llegar el agua a un tanque atmosférico.

$$h_d = h_f + h_t + h_e + h_l = 2.42 + 2.781 + 23.07 + 25 = 53.271 \text{ pies}$$

Cabeza total de diseño (hdd)

Cabeza total de succión x 1.1 factor de servicio

$$h_{dd} = h_d \times 1.1 = 53.271 \times 1.1 = 58.598 \text{ pies}$$

11.- Presión diferencial total

$$H = h_s + h_d = -0.750 + 53.271 = 52.521 \text{ pies}$$

12.- Presión diferencial total de diseño

$$H_d = h_{ds} + h_{dd} = -0.825 + 58.598 = 57.774 \text{ pies}$$

13.- NPSH (columna neta de succión positiva) ~~4.25~~

$$NPSH = p_a - p_v - h_f - h_t - h_e + h_l = 27.90 - 0.772 - 0.1143 - 0.135 - 0.0 + 1.0 = 27.88 \text{ pies}$$

p_a = Presión atmosférica local en pies = 27.90

p_v = presión de vapor a 20 °C en pies = 0.772

14.- Potencia al freno

$$BHP = \text{gpm} \times H_d \times \text{sp gr} / 3960 \times \text{efic.} = 100 \times 57.765 \times 0.996 / 3960 \times 0.70 = 2.08$$

eficiencia considerada 70%

3960 constante.

Todos estos datos corresponden a la hoja de Calculo de Bombas, Bomba B-05, Tabla 7.4., página 89.

El resto de las bombas se calculó con programa de computadora, tablas 7.3, 7.4, 7.5 y 7.6 en las siguientes hojas inmediatas, a continuación se presenta un resumen:

	Flujo gpm	Cabeza total (Hd) pies	Potencia al freno BHP (HP)	NPSH disponible pies
Bombas B-01, 02, 03	698.61c/u	90.405	22.69 (25)	27.55
Bombas B-05, 06	100.00 c/u	57.774	2.08 (3)	27.85
Bombas B-07, 08	73.94 c/u	46.122	1.23 (2)	27.89
Bombas B-09, 10	646.00 c/u	66.386	15.41 (20)	27.81

Especificación general de bombas centrífugas:

- 1.- Las bombas no se suministrarán con impulsor de diámetro máximo o mínimo
- 2.- Los motores deberán ser (TCCV), Totalmente Cerrados Con Ventilación.
- 3.- Los impulsores deberán estar estáticamente balanceados.
- 4.- La carcaza deberá ser diseñada de tal manera que permita ser removida por la parte posterior y permita un fácil acceso al estopero o sello mecánico, sin necesidad de desconectar las tuberías de succión, descarga o remover la unidad motriz.
- 5.- La bomba deberá tener una conexión para venteo o purga.
- 6.- Los coples motor-bomba deberá ser tipo flexible.
- 7.- Todas las bombas deberán ser suministradas con base común para la bomba y el motor.

Tabla 7.3 CÁLCULO DE BOMBAS B-01, B-02 y B-03

Si el espejo del líquido está arriba de la bomba

Alejandro Benítez Villegas

Octubre del 2001

Bomba B-01, B-02 y B-03

Alimentar datos

	Símbolo	Unidades	Succión	Descarga
Flujo	Q	GPM	698.61	698.61
Diámetro nominal	d	pulgadas	8.0	8.0
Diámetro interno	di	pulgadas	7.987	8.005
Longitud de tubería (tramos rectos)	L	pies	29.8	188
Temperatura	t	oF	78	88
Gravedad específica	sp gr		0.988	0.988
Presión atmosférica local	pa	pies	27.98	27.9
Presión de vapor	pv	pies	0.772	0.772
Velocidad	v	pie/s	4.48	7.76
Densidad a temperatura de bombeo	de	libras/pie ³	62.20	62.20
Viscosidad a temperatura de bombeo	cp	centipoise	1.000	1.000
Número de Reynolds	Re		275507	362542
Rugosidad relativa (tubería acero al carbón)	e/D		0.00022	0.0003
Factor de fricción	f		0.014	0.017
Caída de presión por conexiones	hf	pies	0.35	5.46
Caída de presión en tubería	ht	pies	0.198	5.027
Caída de presión en equipos	he	pies	0.88	48.14
Elevación (dif. de alturas espejo de líquido/centro bomba)	hl	pies	1.08	25
(Cabeza) caída total de presión en succión	hs	pies	-0.445	
(Cabeza) presión de diseño en succión 1.1	hds	pies	-0.490	
Presión final en el punto de descarga	pf	pies		0
(Cabeza) presión total en descarga	hd	pies		82.631
(Cabeza) presión de diseño en descarga 1.1	hdd	pies		90.895

(Cabeza) presión diferencial total $H = hs + hd$ $H =$ 82.186 pies

(Cabeza) presión diferencial total de diseño $Hd = hds + hdd$ $Hd =$ 90.405 pies

NPSH (columna neta de succión positiva) $NPSH = pa - pv - hf - ht - he + hl$ = 27.57

BHP considerando una eficiencia de 70% $gpm \times Hd \times sp\ gr / 3960 \times eficiencia$ = 22.69

Succión

Conexiones	Cantidad	K	Total
"Te"	1	0.84	0.84
Codo	1	0.22	0.22
Válvula de compuerta	1	0.11	0.11
			1.17

Descarga

Codos radio largo	6	0.24	1.44
Válv. Check	1	1.40	1.40
Válvula de compuerta	6	0.12	0.72
"Te" flujo recto	4	0.84	3.36
			6.92

Tabla 7.4: CÁLCULO DE BOMBAS B-05 y B-06

Si el espejo del líquido está arriba de la bomba.

Alejandro Benítez Villegas

Octubre del 2001.

Bomba B-05 y B-06

Alimentar datos.

	Simbolo	Unidades	Succión	Descarga
Flujo	Q	GPM	100	100
Diámetro nominal	d	pulgadas	4.0	3.0
Diámetro interno	d _i	pulgadas	4.026	3.066
Longitud de tubería (tramos rectos)	L	pies	20.0	130
Temperatura	t	oF	60	60
Gravedad específica	sp gr		0.998	0.998
Presión atmosférica local	p _a	pies	27.80	27.8
Presión de vapor	p _v	pies	0.772	0.772
Velocidad	v	pie/s	2.520	4.34
Densidad a temperatura de bombeo	d _s	libras/pie ³	62.20	62.20
Viscosidad a temperatura de bombeo	cp	centipoise	1.000	1.000
Número de Reynolds	Re		78177	102589
Rugosidad relativa (tubería acero al carbón)	e/D		0.00045	0.0006
Factor de fricción	f		0.0165	0.0175
Caída de presión por conexiones	h _f	pies	0.414	2.42
Caída de presión en tubería	h _t	pies	0.136	2.781
Caída de presión en equipos	h _e	pies	0.00	23.07
Elevación (dif. de alturas espejo de líquido/centro bomba)	h _l	pies	1.00	25
(Cabeza) caída total de presión en succión	h _s	pies	-0.750	
(Cabeza) presión de diseño en succión 1.1	h _{ds}	pies	-0.825	
Presión final en el punto de descarga	p _f	pies		0
(Cabeza) presión total en descarga	h _d	pies		53.271
(Cabeza) presión de diseño en descarga 1.1	h _{dd}	pies		58.598

(Cabeza) presión diferencial total $h_t = h_e + h_d$

$h_t = 52.521$ pies

(Cabeza) presión diferencial total de diseño $H_d = h_{ds} + h_{dd}$

$H_d = 57.774$ pies.

NPSH (columna neta de succión positiva)

$NPSH = p_a - p_v - h_f - h_t - h_e + h_l$

$= 27.80$

BHP considerando una eficiencia de 70%

$gpm \times H_d \times sp \text{ gr} / 3960 \times \text{eficiencia} =$

2.00

Succión

Conexiones	Cantidad	K	Total
"Te"	1	1.02	1.02
Válvula de compuerta	1	0.14	0.14
			1.16

Descarga

Codos radio largo	8	0.29	2.32
Válv. Check	1	1.00	1.00
Válvula de compuerta	4	0.14	0.56
"Te" flujo recto	4	1.00	4.32
			8.20

Tabla 7.5 CÁLCULO DE BOMBAS B-07 y B-08

Si el espejo del líquido está arriba de la bomba

Alejandro Benítez Villegas

Octubre del 2001

Bomba B-07 y B-08

Alimentar datos

	Símbolo	Unidades	Succión	Descarga
Flujo	Q	GPM	73.94	73.94
Diámetro nominal	d	pulgadas	3.0	3.0
Diámetro interno	d _i	pulgadas	3.068	3.068
Longitud de tubería (tramos rectos)	L	pies	500	500
Temperatura	t	°F	68	68
Gravedad específica	sp gr		0.996	0.996
Presión atmosférica local	p _a	pies	27.98	27.9
Presión de vapor	p _v	pies	0.772	0.772
Velocidad	v	pie/s	3.21	3.21
Densidad a temperatura de bombeo	d _e	libras/pie ³	62.20	62.20
Viscosidad a temperatura de bombeo	cp	centipoise	1.000	1.000
Número de Reynolds	Re		75854	75854
Rugosidad relativa (tubería acero al carbón)	e/D		0.0006	0.0006
Factor de fricción	f		0.0175	0.0175
Caída de presión por conexiones	h _f	pies	0.19	0.79
Caída de presión en tubería	h _t	pies	0.044	5.460
Caída de presión en equipos	h _e	pies	0.08	11.53
Elevación (dif. de alturas espejo de líquido/centro bomba)	h _l	pies	1.00	25
(Cabeza) caída total de presión en succión	h _s	pies	-0.774	
(Cabeza) presión de diseño en succión 1.1	h _{ds}	pies	-0.848	
Presión final en el punto de descarga	p _f	pies		0
(Cabeza) presión total en descarga	h _d	pies		42.708
(Cabeza) presión de diseño en descarga 1.1	h _{dd}	pies		46.970

(Cabeza) presión diferencial total $H = h_s + h_d$ $H =$ 41.930 pies

(Cabeza) presión diferencial total de diseño $H_d = h_{ds} + h_{dd}$ $H_d =$ 46.122 pies

NPSH (columna neta de succión positiva) $NPSH = p_a - p_v - h_f - h_t - h_e + h_l$ = 27.90

BHP considerando una eficiencia de 70% $gpm \times H_d \times sp\ gr / 3960 \times eficiencia =$ 1.23

Succión

Conexiones	Cantidad	K	Total
"Te"	1	1.02	1.02
Válvula de compuerta	1	0.14	0.14
			1.16

Descarga

Codos radio largo	2	0.29	0.57
Válv. Check	1	1.06	1.06
Válvula de compuerta	2	0.14	0.28
"Te" flujo recto	2	1.06	2.16
			4.39

Tabla 7.6 CÁLCULO DE BOMBAS B-09 y B-10

Si el espejo del líquido está arriba de la bomba

Alejandro Benítez Villegas

Octubre del 2001

Bomba B-09 y B-10

Alimentar datos

	Simbolo	Unidades	Succión	Descarga
Flujo	Q	GPM	646.00	646.00
Diámetro nominal	d	pulgadas	8.0	8.0
Diámetro interno	di	pulgadas	8.329	6.357
Longitud de tubería (tramos rectos)	L	pies	10.0	400
Temperatura	t	oF	68	68
Gravedad específica	sp gr		0.996	0.996
Presión atmosférica local	pa	pies	27.90	27.9
Presión de vapor	pv	pies	0.772	0.772
Velocidad	v	pie/s	3.80	6.53
Densidad a temperatura de bombeo	de	libras/pie^3	62.20	62.20
Viscosidad a temperatura de bombeo	cp	centipoise	1.000	1.000
Número de Reynolds	Re		244115	319842
Rugosidad relativa	e/D		0.00022	0.0003
Factor de fricción	f		0.01400	0.01500
Caída de presión por conexiones	hf	pies	0.26	5.48
Caída de presión en tubería	ht	pies	0.045	7.495
Caída de presión en equipos	he	pies	0.00	23.07
Elevación (dif. de alturas espejo de líquido/centro bomba)	hl	pies	1.00	25
(Cabeza) caída total de presión en succión	hs	pies	-0.694	
(Cabeza) presión de diseño en succión 1.1	hds	pies	-0.764	
Presión final en el punto de descarga	pf	pies		0
(Cabeza) presión total en descarga	hd	pies		61.045
(Cabeza) presión de diseño en descarga 1.1	hdd	pies		67.149

(Cabeza) presión diferencial total $H = hs + hd$ $H = 60.351$ pies

(Cabeza) presión diferencial total de diseño $Hd = hds + hdd$ $Hd = 66.386$ pies

NPSH (columna neta de succión positiva) $NPSH = pa - pv - hf - ht - he + hl$ = 27.82

BHP considerando una eficiencia de 70% $gpm \times Hd \times sp\ gr / 3960 \times eficiencia = 75.41$

Succión

Conexiones	Cantidad	K	Total
"Te"	1	1.02	1.02
Válvula de compuerta	1	0.14	0.14
			1.16

Descarga

Codos radio largo	8	0.29	2.32
Válv. Check	1	1.08	1.08
Válvula de compuerta	4	0.14	0.56
"Te" flujo recto	4	1.08	4.32
			8.28

8. CONCLUSIONES

La "Norma Oficial Mexicana 127-SSA1-1994 Salud Ambiental, Agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someterse el agua para su potabilización", ha sido la guía principal para acondicionar el agua para uso potable, esta Norma ofrece una serie de alternativas para eliminar o reducir los diversos contaminantes y como se mencionó en el inicio de este estudio, la industria cervecera exige en algunos casos parámetros mas rígidos; destacando aquella contaminación que pudiera afectar el sabor, presentación, etc. del producto final, otro aspecto no menos importante es el propósito de esta industria cervecera que tiene instalaciones en diversos lugares de la Republica Mexicana es uniformizar su producto final, el agua es una de las variables a uniformizar, sin menospreciar otras materias primas que se emplean en la elaboración de la cerveza.

Equipos de servicio como calderas, torres de enfriamiento, compresores, etc.) También tienen Normas de Calidad de agua, el principal parámetro a controlar es la dureza, esta industria no es la excepción, para propósitos de este estudio solamente se acondicionó el agua para calderas, quedando pendiente para un futuro y en otro proyecto suministrar agua en la calidad y cantidad a otros equipos de servicio.

También formará parte de otro proyecto a corto plazo el optimizar y/o ampliar la capacidad de la planta de tratamiento de agua residual de rechazos de ósmosis que como ya se describió ya está cerca de su máxima capacidad.

En párrafos anteriores se ha mencionado que el principal equipo para acondicionar el agua es el ósmosis inversa, el agua permeada del ósmosis, el agua filtrada y el agua suave fueron mezcladas en diversas proporciones hasta cumplir con las Normas exigidas, además, con una serie de operaciones unitarias, como: cloración, etc, se asegura que se proporcionará agua con la calidad y cantidad requerida a cada uno de los "usuarios" como: elaboración, calderas, lavados, etc. el diagrama de flujo esquematizado adjunto en anexos y las tablas: 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6, así lo demuestran.

Tabla 6.3 Mezclado de agua de ósmosis con agua filtrada.

Página 60, un mezclador ME-02, en la que se unen agua filtrada que ya ha pasado por filtros de carbón activado (13.17 lps) y agua procedente de un sistema de ósmosis inversa (22.42 lps) al mezclarse dan un total de 35.59 lps que son las necesidades del usuario y en cuanto a la concentración de contaminantes, ninguno rebasa la NOM 127 ni la Norma Interna para la elaboración de la cerveza, los únicos contaminantes que están casi al tope del límite son: Bicarbonatos,

plomo y el pH.

Tabla 6.4 Agua a procesarse en suavizador.

Página 61, los suavizadores existentes y que solamente han sido relocalizados, proporcionarán agua de cero dureza para alimentar a las calderas y agua para hacer mezcla con agua de ósmosis inversa, el agua al salir de los suavizadores cumple con las condiciones de calidad que especifica el fabricante de calderas (Cleaver Brooks), y al mezclarse con agua de ósmosis, cumple las especificaciones para lavados, enjuague de botella, pasteurizador.

Tabla 6.5 Mezclado de agua de ósmosis con agua suave para lavadoras.

Página 62, un mezclador ME-03, en la que se unen agua suave (0.27 lps) y agua permeado de ósmosis (10.38 lps), mezclada servirá para los primeros lavados de botellas, en dicha tabla se observa que para que cumpla con la norma interna se le debe agregar hidróxido de sodio, de no agregarlo el pH sería de 6.02 y la norma interna pide entre 8 a 9.

Tabla 6.6 Mezclado de agua de ósmosis con agua suave para enjuague de botella y pasteurizador.

Página 63, un mezclador ME-01, en la que se unen agua suave (4.275 lps) y agua permeado de ósmosis (7.95 lps), mezclada servirá para el enjuague de botella y para la pasteurizada, en dicha tabla se observa que para que cumpla con la norma interna se le debe agregar hidróxido de sodio, de no agregarlo el pH sería de 6.21 y la Norma Interna pide entre 7 a 9.

Es preocupación de esta instalación industrial, el óptimo aprovechamiento del agua, siempre y cuando se ajusten a Normas de Calidad, saben de la importancia de aprovechar este recurso a lo máximo, saben de la escasez que empieza a manifestarse en varias partes de la República Mexicana, así como otros lugares del extranjero.

Es por eso la alternativa de aprovechar el agua de rechazo del ósmosis y darle un tratamiento, el agua procedente de los retrolavados de los filtros se suaviza, en esta tesis se presentó un estudio preliminar, es factible, esto va a traer grandes ahorros, sobre todo la de reducir la explotación de los mantos acuíferos.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Millán Daniel, "Alertan sobre problema de salud pública", pág. 14 A. El Norte, periódico de la ciudad de Monterrey, N. L., 2 de abril del 2001.
2. Chapman Deborah. **Water Quality Assessments**. Edit. Chapman & Hall Ltd. London, UK, 1992.
3. Sawyer Clair N., Mc Carty, and Parkin, **Chemistry for Environmental Engineering**, Fourth edition, McGraw-Hill, Inc.
4. U. S. Environmental Protection Agency, **Quality Criteria for Water**, July 1976, Washington, D. C. 20460.
5. Master Brewers Association of the Americas. **The Practical Brewer**. Edit. Edwards Brothers Inc. Tenth Printing, January, 1993. United States of America.
6. De Clerk Jean. **A textbook of Brewing**. Volume one. Edit. Chapman & Hall Ltd. United States of America 1994
7. Bravo, Giraldo, Centeno y Páez. "Catalizadores para purificación de aguas industriales que contengan compuestos resistentes a la biodegradación", Centro de Investigaciones en Catálisis, Universidad Industrial de Santander A.A. Bucaramanga, Colombia, <http://www.icp.csic.es/cyted/Monografias/B2-259html>
8. S/A "Efectos de los tóxicos, efectos que producen los desechos tóxicos, sobre la salud y el medio ambiente" Fundación Greenpeace Pacífico Sur, Santiago de Chile http://www.greenpeace.cl/toxicos/efectos_toxicos.htm
9. Castro de Esparza, Wong, HDT 74: "Remoción del arsénico a nivel domiciliario". Abril de 1999, <http://www.cepis.org.pe/eswww/proyecto/repdisc/publica/hdt/hdt74/hdt74.html>
10. Portilla Javier. "Arsénico en el agua de Guanajuato, México." <http://148.233.5.66/qp/datos/secciones/estados/2001/1040/estados.html>
11. Gilles Greg "Water Conditioning & Purification". Magazine, Octubre 2001
12. Sääsk Aapo "Water Conditioning & Purification". Magazine, January 2002

13. S./A "Incineración municipal de residuos, contaminación por metales pesados emitidos por las incineradoras de residuos urbanos" Octubre de 2001, Revista Integral.
<http://incineradorano.brinkster.net/doc/metalespesados.htm>.
14. Mata, Sanchez, Calvo. "Mercurio en la leche y otros alimentos",
<http://www.milksci.unizar.es/metal/mercury.html>
15. S/A "El envenamamiento por el plomo y sus niños, programa de plomo". Environmental Health Center, A division of National Safety Council, 1025 Connecticut Avenue, N.W, Suite 1200, Washington, D. C. 20036
http://www.nsc.org/ehc/nlic/sp_lead.htm
16. Mata, Sanchez, Calvo, "El plomo en la leche y otros alimentos"
[http://www. Milksci.unizar.es/metal/lead.html](http://www.Milksci.unizar.es/metal/lead.html).
17. Juárez y Rochín. **Manual de Química Aplicada**. Editorial Rorez. México, 1966.
18. Powell, Sheppard T. **Acondicionamiento de Aguas para la Industria**. Editorial Limusa-Wiley, S. A. México, 1970.
19. Deininger, Ancheta, Ziegler/Escuela de Salud Pública, Lima, Octubre de 1998 Simposio regional sobre la calidad del agua, "Desinfección con Dióxido de Cloro".
<http://www.adobe.com/prodindex/acrobat/readstep.html>"target"top
20. Lupal Myron. "Luz ultravioleta ofrece desinfeccion confiable". ACS Medio Ambiente, S. A. de C. V. 1998-2000
21. Metcaf & Eddy, Inc. **Ingeniería de Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización**. Editorial McGraw-Hill. Tercera Edición. México 1996.
22. Mallevalle, Odendaal, Wiesner, **Tratamiento de Agua por procesos de membrana**. Editorial Mc Graw Hill, México, 1996
23. Filmtec Membrane Elements, **Technical Manual**, April 1995
24. D. W. Little, "The Economics of reverse osmosis and ion exchange systems, Project Leader Membrane Systems", The Chemical Company. A paper presented at the Water Supply Improvement Association, 10 th, annual conference, Honolulu, Hawaii, July, 1982).
25. Naico Chemical Company. **Manual del agua, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones**, Ed. McGraw-Hill. México 1998
26. Hunt James A. "Water Conditioning & Purification". Magazine, May 2001

27. **Technical Bulletin, Rohm & Hass, Amberlite IR 120, "Type ion exchange resins, engineering notes", sodium cycle, Philadelphia, Pa. 19195**
28. **Bufete Industrial, S. A. "Procedimiento para dimensionamiento de tuberías No. 38-PPC-01".**
29. **Westaway C. R. & A. W. Loomis (editors) (1979) Cameron Hydraulic Data. New Jersey, E. U. Ingersoll-Rand. Sixteenth Edition.**
30. **Crane By the Engineering Division, "Flow of Fluids through valves, fittings, and pipe", Copyright 1988, (twenty Fifth Printing 1991), Reprint 5/96, Technical Paper 410**
31. **Pérez J. José, Fundamentos de Bombas, Ingersoll Dresser Pumps, (s/d)**
32. **Milton Roy Company, (Flow Control Division), NPSH an Engineers Guide To Net Positive Suction Head, bulletin 100.02, Ivyland, Pa. USA 18974**
33. **Herrera Ascencio Patricia, "El agua en el Mundo", La cooperación internacional y el agua, Instituto Mexicano de tecnología del agua <http://www.webimta@tlaloc.imta.mx>**
34. **Monge/Ortiz, "El país se seca". El Norte diario matutino de la ciudad de Monterrey, N. L. pág. 16A, 6 de mayo de 2001.**
35. **Barajas Esperanza, "Urge legislar sobre el agua". El Norte diario matutino de la ciudad de Monterrey, N. L. pág. 11A, 30 de marzo de 2002.**
36. **S/A., "Agua", Suplemento Especial, El Norte diario matutino de la ciudad de Monterrey, 8 de julio del 2002.**