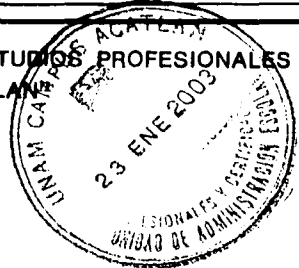




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"



SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA POTABILIZAR EL MANANTIAL "ESFUERZO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

CARLOS ALBERTO RODRIGUEZ PARRA

ASESOR: ING. SALVADOR ACEVEDO MARQUES



ENERO 2003

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres, que me han dado su cariño y apoyo incondicional, y por hacer de mí lo que ahora soy.

A mis hermanos por motivarme siempre.

A mis amigos y familia por el hecho de serlo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

AGRADECIMIENTOS:

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme los conocimientos y la conciencia necesaria para desarrollarme como profesionista.

A mi asesor, sinodales y profesores por brindarme su apoyo y dedicar parte de su tiempo a este proyecto.

Al personal de DGCOH, CNA y Delegación Coyoacán, por su atención y tiempo.

A mis amigos y familiares que de alguna manera estuvieron involucrados en la realización de este trabajo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Sistema de tratamiento para potabilizar el manantial "Esfuerzo"

Contenido

Introducción.....	1
Capítulo 1: Descripción de l manantial "Esfuerzo".....	3
1.1 Localización y ubicación.....	3
1.2 Estudio geológico.....	5
1.3 Calidad del agua.....	9
1.4 Obras hidráulicas existentes en la zona.....	10
Capítulo 2: Normatividad en la calidad del agua potable en México.....	13
Antecedentes de calidad del agua potable.....	13
2.1 Leyes y Normas aplicables para el agua potable en México.....	14
2.2 Descripción general de los métodos de análisis de contaminantes del agua potable.....	23
2.3 Determinación de los parámetros fuera de Norma en el efluente del manantial "Esfuerzo".....	25
Capítulo 3: Métodos de Potabilización factibles.....	26
3.1 Análisis de necesidades.....	26
3.2 Determinación de los métodos aplicables.....	29
3.3 Descripción detallada de los métodos aplicables.....	31
Dilución.....	31
Ablandamiento químico.....	32
Filtración.....	33
Cloro y sus compuestos.....	39
Yodo.....	44
Ozono.....	45
Radiación Ultravioleta.....	47
Intercambio iónico.....	48
Osmosis inversa.....	51
Osmosis inversa.....	52
Métodos alternativos no contenidos en las Normas Mexicanas.....	54
Capítulo 4: Diseño del sistema de tratamiento.....	57
4.1 Diseño del tren de tratamiento.....	57
Consideraciones Generales.....	57
Configuración en el tren de tratamiento.....	58
4.2 Predimensionamiento de las etapas del tren de tratamiento.....	62
I. Intercambio catiónico para remoción de calcio.....	62
II. Ablandamiento químico.....	70
III. Cloración.....	81
4.3 Análisis de la eficiencia teórica del tratamiento.....	83
Conclusiones y recomendaciones.....	85
Bibliografía.....	88

Introducción

La Ciudad de México es, el centro cultural, económico e industrial de la República Mexicana. Con una población que se acerca a los 20 millones de habitantes se ha convertido en un imán de crecimiento. Desde las áreas rurales fluyen en forma constante grupos migratorios de personas en busca de mejores oportunidades. Muchos de estos inmigrantes se establecen de manera ilegal en los límites urbanos, con la esperanza de que el gobierno les proporcione servicios públicos.

El abastecimiento de agua y de drenaje para la creciente población de la Ciudad de México representa un gran reto. La situación del abastecimiento de agua en la ciudad se aproxima a una crisis. El crecimiento urbano y el escaso financiamiento han limitado la capacidad del gobierno para extender la red de abastecimiento de agua a las áreas que carecen del servicio, para reparar fugas y para tratar las aguas residuales. Casi el 72 % del abastecimiento de agua de la ciudad proviene del acuífero localizado bajo el área metropolitana, el cual ha venido padeciendo una considerable sobreexplotación.

Los niveles de agua del subsuelo se han venido abatiendo en el transcurso de los últimos 100 años, lo que ha provocado un hundimiento del suelo de la región: el nivel de la superficie del área metropolitana ha sufrido un descenso de 7.5 metros, con respecto al nivel de referencia original. Esto propicia condiciones para que existan inundaciones en la ciudad, lo que a su vez provoca daños a la infraestructura. Estas dificultades, combinadas con el manejo inadecuado de desechos peligrosos, provocan que el acuífero y el sistema de distribución sean vulnerables a la contaminación, con los consecuentes riesgos para la salud pública. La ciudad de México consume casi tres mil millones de litros de agua por día, (año 2002), y se pronostica que esta demanda aumentará en los próximos años.

En la ciudad existen cuerpos de agua que no se aprovechan debido a la falta de exploración, o bien porque no cumplen con un mínimo de calidad que permita someterla a un tratamiento rentable para aprovecharla en el consumo humano.

La zona de los pedregales, ubicada al sur de la ciudad, es una región en la cual se encuentran varios manantiales cuyas transparentes aguas son poco aprovechadas por los vecinos antes de ser encausadas al drenaje. En este grupo de manantiales se encuentra el manantial "Esfuerzo", que produce diariamente trece millones de litros de agua que son arrojados al alcantarillado.

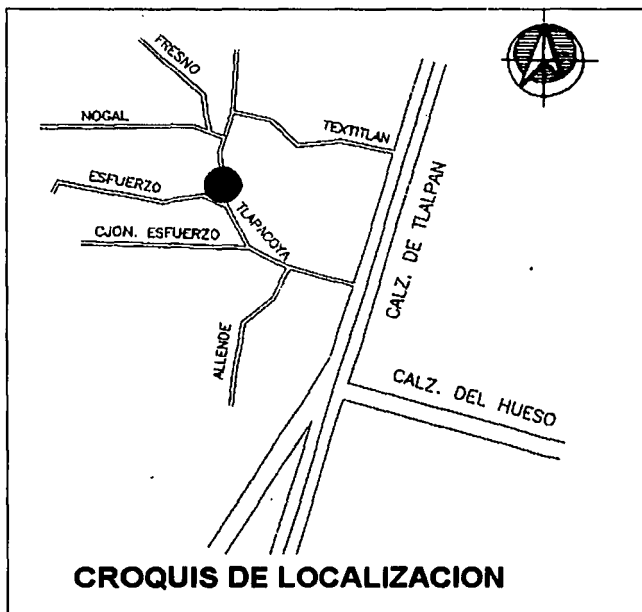
La calidad del agua y las condiciones de la localidad sugieren que este manantial es aprovechable, ya que no presenta una alta concentración de contaminantes. Además de encontrarse a escasos metros de un terreno que es propiedad de la Delegación Coyoacán, el cual puede ser aprovechado para construir una planta de tratamiento. El acueducto Xochimilco - Xotepingo es un acueducto que lleva agua potable desde Xochimilco a la estación de bombeo y cloración Xotepingo. Esta línea trabaja actualmente a menos de la mitad de su capacidad y la topografía permite que el agua fluya por gravedad. El acueducto pasa a menos de 700 metros de distancia del manantial, por lo que el agua del manantial puede ser potabilizada y posteriormente incorporada al acueducto para aprovecharla en el consumo de la Delegación Coyoacán.

Capítulo 1: Descripción del manantial "Esfuerzo"

1.1 Localización y ubicación

El manantial se encuentra en la calle de Tlapacoya entre las calles de Esfuerzo y Textitlán en la Colonia Santa Úrsula Coapa de la Delegación Coyoacán, al sur de la ciudad de México, en una zona conocida como *Los Pedregales*. Lo llamaremos "Esfuerzo" porque es la forma en que la gente lo conoce.

En la zona de los Pedregales existen, sobre todo en temporada de lluvias, afloramientos que ocasionalmente escurren sobre la vía pública, provocando encharcamientos y afectación a obras civiles, tales como banquetas y calles, así como muros perimetrales de los vecinos.



En esta zona se encuentran varios manantiales, que han existido desde hace muchos años según testimonio de los vecinos. Algunos de los manantiales que se han estudiado por la delegación son los conocidos como Izcoatl, Olmecas, Popocatepetl - Olmecas, Cerrada Nahuatlacas, Nauyaca - Coyamel, Pedregal de San Francisco, Del Rosal, Cáliz - Tallo, Bosques de Tetlameya y Caracol. De los más importantes por su gasto, son el de Fuentes Brotantes con 160 lps, El de Olmecas con 350 lps y el de Esfuerzo con 150 lps.

Actualmente el lugar en donde emerge el agua del manantial Esfuerzo está entubado a un registro de concreto con rejillas metálicas ubicado sobre la calle Tlapacoya , entubado por debajo de la carpeta asfáltica de la calle, donde el flujo llega hasta un pequeño canal junto al cual hay unos lavaderos públicos que actualmente ya no se usan, el área de los lavaderos es propiedad del gobierno, por lo que es viable utilizar este predio como estación de bombeo y tratamiento para el agua transparente, que actualmente se va al drenaje sin mayor aprovechamiento que el uso que le dan los vecinos para regar sus patios, barrer las calles y lavar sus autos.

A simple vista, el agua que aflora de este manantial es transparente y libre de olores, por lo que se convirtió en objeto de estudio de la Delegación y la DGCOH. Actualmente existe un proyecto de la DGCOH para entubar el agua en ductos de agua tratada y dar riego a las áreas verdes de la Delegación.

Sorprende el hecho de que no se haya detectado alto contenido de patógenos en el agua de este manantial; considerando que el gran fraccionamiento del Pedregal no cuenta con drenaje moderno, donde todo se infiltra sin control: aguas grises y hasta aguas negras a través de fosas sépticas.

1.2 Estudio geológico

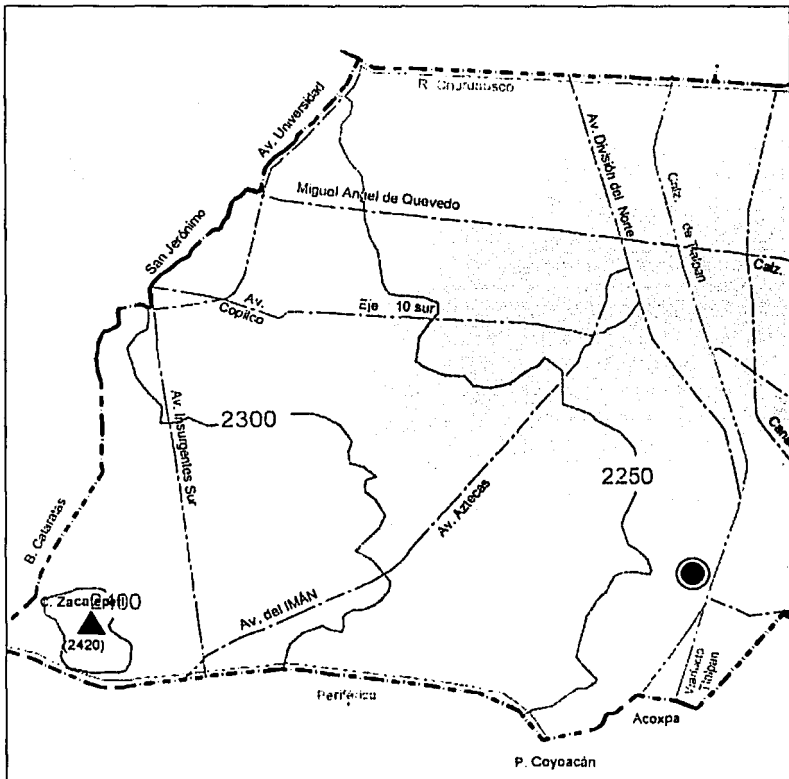
La Cuenca del Valle de México se localiza en la parte central del Cinturón Volcánico Transmexicano y tiene un área aproximada de 9000 kilómetros cuadrados. El valle, situado a una altitud cercana a los 2,400 metros sobre el nivel del mar, es el más alto de la región y se encuentra rodeado por montañas de elevación considerable, alcanzando hasta 5465 metros en el volcán Popocatepetl. La temperatura promedio anual es de 15 grados centígrados. La mayor parte de los 700 milímetros de agua de lluvia que caen anualmente en la región se concentra en unas cuantas tormentas intensas, las cuales se presentan por lo regular de junio a septiembre; durante el resto del año las precipitaciones pluviales suelen ser escasas o nulas.

Esta cuenca es una depresión cerrada de manera natural. Las fuentes de recarga del agua subterránea en la cuenca se derivan, en gran medida, de las precipitaciones infiltradas y de la nieve derretida en las montañas y cerros que la rodean; este flujo se desplaza en forma de una corriente subterránea hacia las zonas menos elevadas. En su estado natural, la cuenca tenía una serie de lagos, desde los de agua dulce en el extremo superior, hasta los salados del extremo más bajo, en los que se concentraba la sal debido a la evaporación. La corriente de agua subterránea originaba numerosos manantiales al pie de las montañas, así como pozos en el valle.

Tres principales zonas hidrológicas han sido definidas para el Valle de México: la zona lacustre, el piedemonte y la zona montañosa. La distribución de estas tres zonas puede inferirse al analizar el mapa de elevaciones. La zona lacustre corresponde a las elevaciones de menor altura. La región piedemonte se encuentra por lo general entre el lecho de los antiguos lagos y las montañas de mayor pendiente. Aquí, las capas de arcilla lacustre se intercalan con las de sedimento y arena; en las áreas más cercanas a la base de las montañas.

El piedemonte está compuesto en gran medida por basalto fracturado de flujos volcánicos. Esta formación de basalto es altamente permeable, con una buena capacidad de almacenamiento de agua y se encuentra expuesta cerca de la porción

En esta sección de carta topográfica de la Ciudad de México se pueden observar las elevaciones cercanas al lugar de estudio y es claro el sentido del escurrimiento, ya que la zona de Los Pedregales se encuentra con un desnivel de más de mil metros con respecto a la cima del Cerro del Ajusco y considerando las grandes fracturas del basalto que sirven como drenaje para el escurrimiento, se tiene un afloramiento de manantiales en la zona. Cabe mencionar que en toda la parte baja de Los Pedregales existen varios manantiales, incluyendo algunos dentro de Ciudad Universitaria.

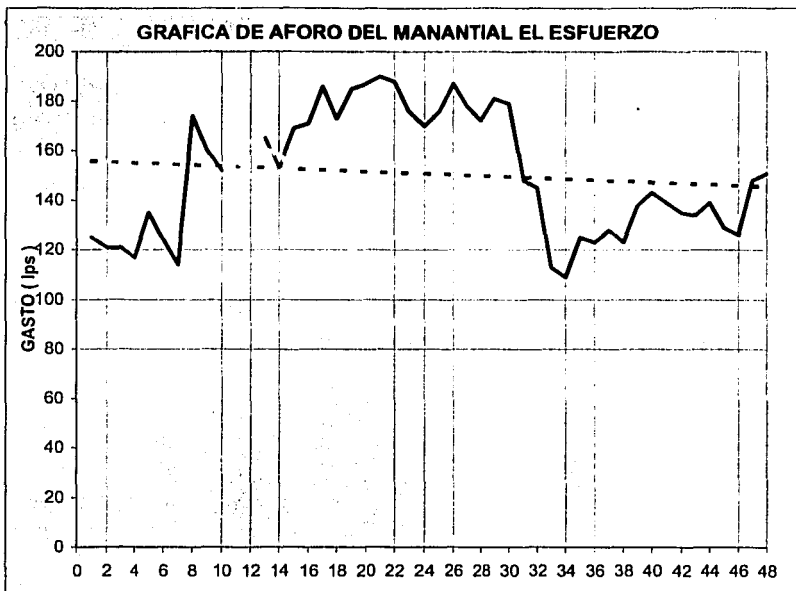


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica realizó estudios de aforo en diversos manantiales de la Delegación Coyoacán, entre ellos se midió el manantial del Esfuerzo. Las mediciones fueron realizadas en un lapso de 6 meses de estiaje, por lo que se sugiere que los gastos mayores, debidos a las lluvias, no están contemplados. Dentro de los registros que se tienen, el aforo menor fue el 21 de diciembre de 1998 y midió un gasto de 109 lps, el mayor aforo registrado en el estudio fue el del 9 de noviembre de 1998, con un gasto de 190 lps. Los datos de aforo son presentados en la siguiente tabla.

Tabla de aforo del caudal del manantial "El esfuerzo", mediciones elaboradas del mes de septiembre 1998 al mes de febrero de 1999

N° DE AFORO	GASTO (lps)	FECHA			N° DE AFORO	GASTO (lps)	FECHA			
1	125	8	Sept.	1998	25	176	23	Nov.	1998	
2	121	11	Sept.	1998	26	187	23	Nov.	1998	
3	121	11	Sept.	1998	27	178	30	Nov.	1998	
4	117	11	Sept.	1998	28	172	30	Nov.	1998	
5	135	11	Sept.	1998	29	181	7	Dic	1998	
6	124	15	Sept.	1998	30	179	7	Dic	1998	
7	114	15	Sept.	1998	31	148	14	Dic	1998	
8	174	18	Sept.	1998	32	145	14	Dic	1998	
9	160	24	Sept.	1998	33	113	21	Dic	1998	
10	152	24	Sept.	1998	34	109	21	Dic	1998	
11	N.D.	29	Sept.	1998	35	125	28	Dic	1998	
12	N.D.	29	Sept.	1998	36	123	28	Dic	1998	
13	165	12	Oct.	1998	37	128	4	Enero	1999	
14	153	12	Oct.	1998	38	123	4	Enero	1999	
15	169	20	Oct.	1998	39	138	11	Enero	1999	
16	171	20	Oct.	1998	40	143	11	Enero	1999	
17	186	26	Oct.	1998	41	139	18	Enero	1999	
18	173	26	Oct.	1998	42	135	18	Enero	1999	
19	185	3	Nov.	1998	43	134	26	Enero	1999	
20	187	3	Nov.	1998	44	139	26	Enero	1999	
21	190	9	Nov.	1998	45	129	1	Feb.	1999	
22	188	9	Nov.	1998	46	126	1	Feb.	1999	
23	176	16	Nov.	1998	47	148	8	Feb.	1999	
24	170	16	Nov.	1998	48	151	8	Feb.	1999	
PROMEDIO						150.54				

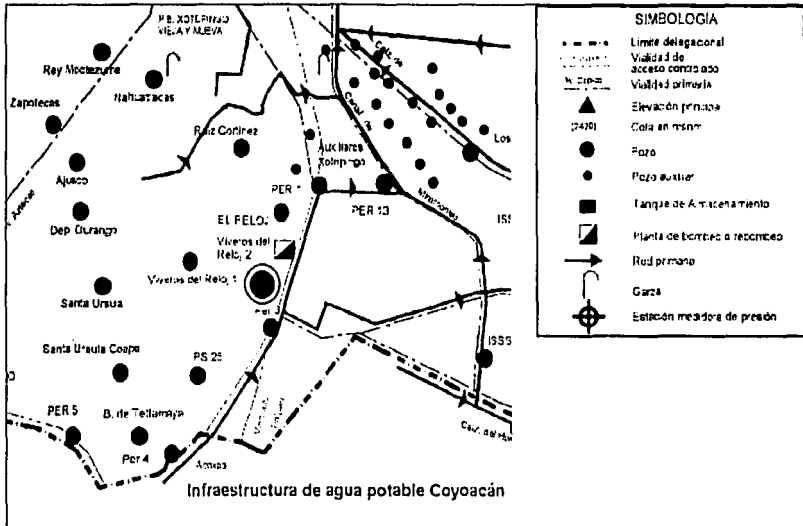


Gráfica de la Tabla de aforo del caudal del manantial "El esfuerzo", mediciones elaboradas del mes de septiembre 1998 al mes de febrero de 1999. Datos GDF-DGCOH-2000-18302

1.3 Calidad del agua

El agua que emana del manantial es transparente y libre de olores desagradables, vale la pena mencionar que algunos de los vecinos utilizan el agua del manantial para tener pequeños estanques con patos y peces. La presencia de contaminación por heces fecales es inminente, ya que el sistema de drenaje no cubre todo el territorio, por lo que el desagüe de muchas casas va directo al suelo sin previo tratamiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



1.4 Obras hidráulicas existentes en la zona

La delegación Coyoacán es abastecida de agua potable con un nivel de cobertura del 100 por ciento, por medio de los caudales bombeados por la planta Xotepingo, que recibe agua de los acueductos Xochimilco y de los pozos auxiliares de Xotepingo, con la opción de recibir aportaciones de la planta de bombeo Cerro de la Estrella, siendo otra fuente importante de abastecimiento los pozos profundos que aportan su caudal directamente a la red de distribución. La planta Xotepingo se encuentra actualmente trabajando por debajo de su capacidad debido a la alimentación limitada que le brinda el acueducto Xochimilco - Xotepingo, esto se debe a una baja en el sistema de captación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El problema de la carencia de drenaje es especialmente grave porque en aquellas zonas en que no se cuenta con el servicio, las descargas de aguas negras se realizan a las grietas del subsuelo a través de fosas sépticas, lo cual representa un riesgo potencial de contaminación del acuífero en dicha región. Las aguas pluviales también son encausadas a las grietas, a través de resumideros que con frecuencia sufren obstrucción por el arrastre de basura, lo que provoca encharcamientos que permanecen varios días. Por esta razón durante la temporada de lluvias constantemente se emplean unidades hidroneumáticas para limpiar las grietas.

Capítulo 2: Normatividad en la calidad del agua potable en México

Antecedentes de calidad del agua potable

A lo largo de la historia, las civilizaciones se han asentado cerca de los abastecimientos de agua, la calidad de esta no estaba muy bien documentada, aunque se asociaban ciertas enfermedades con la calidad del agua. Hipócrates, padre de la medicina (460 – 354 A.C.) determinó que "el agua contribuye mucho a la salud", su interés en el agua se centró en la selección de los abastecimientos de agua más saludable, en vez de preocuparse por purificar los que eran malos. Aparentemente, la gente mayor deducía por observación que ciertas aguas eran buenas para la salud, mientras que otras producían infecciones. En aquel tiempo no conocían de las enfermedades, así que esa información era adquirida como resultado de la enfermedad y muerte de mucha gente.

Para el siglo XVIII, la filtración de partículas del agua fue establecido como un método eficaz para clarificar el agua. La primer planta municipal de filtración de agua comenzó a operar en Paisely Escocia en el año de 1832. Con la presencia de varias epidemias como el cólera y la fiebre tifoidea, causadas y difundidas por la contaminación del agua, la gente se dió cuenta que los sentidos no eran suficientes para juzgar la aceptabilidad del agua, era necesario adoptar otros criterios para determinarlo. Como resultado, en 1852 se creó una ley en Londres que establecía que toda el agua debía ser filtrada.

La segunda mitad del siglo XIX fue de experimentos en sistemas de filtración con arena y sedimentación, hubo también en ese período investigación abundante en epidemiología, y a finales de 1880 Luis Pasteur muestra su teoría del origen de las enfermedades causadas por gérmenes.

Fue hasta 1908 que la cloración fue usada por primera vez y se introdujo en muchos sistemas de abastecimiento de agua potable poco tiempo después.

2.1 Leyes y Normas aplicables para el agua potable en México.

El sistema legal mexicano, establece jerarquías en su normatividad, siendo la más alta de orden Federal La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, otras Leyes Federales de Importancia en Materia de Aguas son: Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, Ley de Aguas Nacionales, Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Ley General de Bienes Nacionales, Ley Federal de Metrología y Normalización, Ley Agraria, Ley de Planeación, Ley Forestal, Ley Federal del Mar. De estas leyes se derivan Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que son de carácter obligatorio y Normas Mexicanas (NMX) que serán aplicables para casos particulares. En cada una de las normas se indica la Dependencia que las emite y también será la responsable de verificar su cumplimiento dentro del territorio nacional.

La Constitución establece en su artículo No 27 que la propiedad de las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponden originalmente a la Nación, la cual tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a particulares, constituyendo la propiedad privada. La Nación tendrá todo el tiempo el derecho de expropiar o imponer modalidades a la propiedad privada con fines de interés público, también regulará el aprovechamiento de los recursos naturales en función del beneficio social.

La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT tiene entre otras funciones: Administrar, controlar y reglamentar el aprovechamiento de las cuencas hidráulicas, vasos, manantiales y aguas de propiedad nacional, y de las zonas federales correspondientes, con exclusión de lo que se atribuya expresamente a otra dependencia, La Comisión Nacional del Agua CNA es la Unidad Administrativa desconcentrada de la SEMARNAT , que tiene las atribuciones que se establecen en la Ley de Aguas Nacionales, su Reglamento, el Reglamento Interior de la SEMARNAT y las demás disposiciones aplicables, sus funciones son: Administrar y custodiar las aguas nacionales, así como los bienes que se vinculan a éstas, de conformidad con las disposiciones jurídicas aplicables. Vigilar el cumplimiento de la Ley de Aguas

Nacionales. Proveer lo necesario para la preservación de su calidad y cantidad para lograr su uso integral sustentable.

También está encargada de estudiar, normar, proyectar, promover, construir, vigilar, administrar, operar, conservar y rehabilitar la infraestructura hidráulica, así como las obras complementarias que correspondan al Gobierno Federal.

El abastecimiento de agua para el uso y consumo humano debe tener una calidad adecuada para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y de cualquier otro tipo, para ello se requiere establecer límites permisibles en sus características físicas, químicas, microbiológicas, radioactivas y organolépticas, con el fin de asegurar la calidad de agua en los sistemas hasta la entrega al consumidor.

La Secretaría de Salud, tiene entre sus funciones "Planear, normar y controlar los servicios de atención médica, salud pública, asistencia social y regulación sanitaria que correspondan al Sistema Nacional de Salud", ésta rige en materia de calidad de agua potable, a través de la Norma Oficial Mexicana "*NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*", misma que como su nombre lo indica, dicta las concentraciones, contenidos máximos o intervalos de valores de un componente, que no causará efectos nocivos a la salud del consumidor, y los tratamientos de potabilización a que ésta ha de someterse para hacerla apta para uso y consumo humano.

Esta Norma Oficial Mexicana, es aplicable a todos los sistemas de abastecimiento públicos y privados y a cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio. Esta Norma tiene referencias de otras Normas Oficiales Mexicanas que tratan temas de: requisitos sanitarios en sistemas de abastecimiento de agua potable, sistema general de unidades de medida, procedimientos sanitarios para el muestreo del agua, técnicas y métodos de determinación de bacterias y elementos químicos.

La siguiente tabla es un extracto de la Norma Oficial Mexicana "NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad y

tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", los elementos, valores y tratamientos corresponden a la última modificación disponible al momento de la elaboración de este trabajo; publicada en el Diario Oficial de la Federación el día Miércoles 22 de Noviembre de 2000.

Característica	Límites permisibles	Tratamiento a que debe someterse para su potabilización
----------------	---------------------	---

Características microbiológicas

Organismos coliformes fecales	Ausencia	Cloro, compuestos de cloro, yodo, ozono, luz ultravioleta; plata iónica o coloidal; coagulación-sedimentación-filtración; filtración en múltiples etapas
E. coli o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia	

Características físicas y organolépticas

Color (unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto)	20	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado
Olor y sabor	Agradable	
Turbiedad (unidades de turbiedad nefelométricas UTN o su equivalente en otro método.)	5	

Característica	Límites permisibles	Tratamiento a que debe someterse para su potabilización
----------------	---------------------	---

Características químicas (en miligramos por litro)

Aluminio	0.20	coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.
Arsénico (se reduce el límite en 0.005 anualmente, desde 0.045 en 2001 hasta llegar a 0.025 en 2005) para el 2002 = 0.040	0.040	
Bario	0.70	
Cadmio	0.005	
Cianuros (como CN ⁻)	0.07	
Cloro residual libre	0.2-1.50	*Se usa como método de desinfección
Cloruros (como Cl ⁻)	250.00	Intercambio iónico u ósmosis inversa o evaporación.
Cobre	2.00	coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.
Cromo total	0.05	
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00	Ablandamiento químico o intercambio iónico
Fenoles o compuestos fenólicos	0.3	Oxidación-coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado u oxidación con ozono.
Fierro	0.30	Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.
Fluoruros (como F ⁻)	1.50	Alumina activada, carbón de hueso u ósmosis inversa.

Características radioactivas (en Bequerel por litro)

Radioactividad alfa global	0.56	No se especifica.
Radioactividad beta global	1.85	No se especifica.

Característica	Límites permisibles	Tratamiento a que debe someterse para su potabilización
----------------	---------------------	---

Hidrocarburos aromáticos (en microgramos por litro)

Benceno	10.00	Oxidación-filtración o adsorción en carbón activado
Etilbenceno	300.00	
Tolueno	700.00	
Xileno (tres isómeros)	500.00	

Metales Pesados (en miligramos por litro)

Manganeso	0.15	Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.
Mercurio	0.001	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado granular u ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos / l. Adsorción en carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos / l.
Nitratos (como N)	10.00	Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración.
Nitritos (como N)	1.00	
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50	coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción en columna.
pH (potencial de hidrógeno) en uds de pH	6.5-8.5	Neutralización

Característica	Límites permisibles	Tratamiento a que debe someterse para su potabilización
----------------	---------------------	---

Plaguicidas (en microgramos por litro)

Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.30	Adsorción en carbón activado granular.
Clordano (total de isómeros)	0.20	
DDT (total de isómeros)	1.00	
Gamma-HCH-(lindano)	2.00	
Hexaclorobenceno	1.00	
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03	
Metoxicloro	20.00	
2,4-D	30.00	

Constituyentes químicos (en miligramos por litro)

Plomo	0.01	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.
Sodio	200.00	Intercambio iónico
Sólidos disueltos totales	1000.00	coagulación-floculación-sedimentación-filtración y/o intercambio iónico
Sulfatos (como SO_4^{2-})	400.00	Intercambio iónico u ósmosis inversa.
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50	Adsorción en carbón activado.
Trihalometanos totales	0.20	Oxidación con aireación u ozono y adsorción
Yodo residual libre	0.2-0.5	*Se usa como método de desinfección
Zinc	5.00	Evaporación o intercambio iónico.

La potabilización del agua proveniente de una fuente particular debe justificarse con estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad.

Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad cuando los contaminantes anteriormente mencionados excedan los límites permisibles establecidos.

Concepto	Definición
Ablandamiento	Proceso de remoción de los iones de calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua
Adsorción	Remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separadas de la solución.
Características microbiológicas	Debidas a microorganismos nocivos a la salud humana. Para efectos de control sanitario se determina el contenido de indicadores generales de contaminación microbiológica, específicamente organismos coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> o coliformes totales.
Características físicas y organolépticas	Las que se detectan sensorialmente. Para efectos de evaluación, es sabor y olor se ponderan por medio de los sentidos y el color y la turbiedad se determinan por medio de métodos analíticos de laboratorio.
Características químicas	Las debidas a elementos o compuestos químicos, que como resultado de investigación científica se ha comprobado que pueden causar efectos nocivos a la salud humana.

Características radiactivas	Aquellas resultantes de la presencia de elementos radiactivos.
Coagulación química	Adición de compuestos químicos al agua para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales, o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.
Desinfección	Dstrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos.
Evaporación	Separación del agua de los sólidos disueltos, utilizando calor como agente de separación, condensando finalmente el agua para su aprovechamiento.
Filtración	Remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndola fluir a través de un medio filtrante de porosidad adecuada.
Floculación	Aglomeración de partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación química, a través de medios mecánicos e hidráulicos.
Intercambio iónico	Proceso de remoción de aniones o cationes específicos disueltos en el agua, a través de su reemplazo por aniones o cationes provenientes de un medio de intercambio, natural o sintético con el que se pone en contacto.
Límite permisible	Concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

- Neutralización** Adición de sustancias básicas o ácidas al agua para obtener un pH neutro.
- Estabilización** Obtención de determinada concentración de sales y pH del agua, para evitar la incrustación o corrosión de los materiales con que se fabrican los elementos que la conducen o contienen.
- Osmosis inversa** Proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltos en el agua, en el cual por medio de altas presiones se fuerza el paso de ella a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño.
- Oxidación** Pérdida de electrones de un elemento, ion o compuesto por la acción del oxígeno u otro agente oxidante.
- Potabilización** Conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua en los sistemas de abastecimiento públicos o privados, a fin de hacerla apta para uso y consumo humano.
- Sedimentación** Proceso físico que consiste en la separación de las partículas suspendidas en el agua, por efecto gravitacional.

En lo que respecta a la legislación mexicana en materia de agua potable, debe de existir concordancia con las normas internacionales, éstas son marcadas por la Organización Mundial de la Salud OMS y la Organización Panamericana de la Salud OPS.

En el resto del mundo existen normas de calidad del agua potable, en los Estados Unidos de América, rige en materia de medio ambiente la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA; Environmental Protection Agency), que cuenta con una oficina de agua potable. Dentro de los análisis que la EPA realiza para calidad de agua potable, están: 16 químicos inorgánicos, 54 químicos orgánicos, 3 Radionucleidos, 6 microbiológicos. De estos parámetros maneja en su mayoría dos niveles, que son un obligatorio y otro que es el deseable.

2.2 Descripción general de los métodos de análisis de contaminantes del agua potable

Para todos los parámetros de contaminación del agua para uso y consumo humano existen procedimientos para toma de muestras y métodos específicos de análisis.

La "NOM-014-SSA1-1993, "Procedimientos Sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados" ofrece una guía detallada para el muestreo de agua para uso y consumo humano en los elementos de un sistema de abastecimiento, en los cuales es necesario establecer vigilancia y control de la calidad del agua. En ésta se incluyen aspectos bacteriológicos y físico-químicos, así como criterios para manejo, preservación y transporte de muestras.

Esta Norma es de observancia obligatoria para los encargados de los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano en sus programas de control de calidad, así como para las autoridades sanitarias competentes en los programas de vigilancia de la calidad del agua.

La vigilancia del cumplimiento de esta Norma, corresponde a la Secretaría de Salud y a los gobiernos de las entidades federativas en sus respectivos ámbitos de competencia en coordinación con la Comisión Nacional del Agua.

La "NOM-112-SSA1-1994, Bienes y Servicios, Determinación de bacterias coliformes. Técnica del Número Más Probable." establece el método microbiológico para estimar el número de coliformes presentes en productos alimenticios, por medio del cálculo del número más probable (NMP) después de la incubación a 35 °C de la muestra diluida en un medio líquido.

El método se basa en que las bacterias coliformes, fermentan la lactosa incubadas a 35 ± 1°C durante 24 a 48 horas, resultando una producción de ácidos y gas el cual se manifiesta en las campanas de fermentación.

Este procedimiento puede aplicarse a agua potable, agua purificada, hielo y alimentos procesados térmicamente, así como a muestras destinadas a evaluar la eficiencia de prácticas sanitarias en la industria alimentaria. En esta Norma se establecen los materiales y detalles de los procedimientos para la determinación del NMP.

"NOM-117-SSA1-1994, Bienes y Servicios. Métodos de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y purificada por espectrometría de absorción atómica." La presencia de ciertos elementos químicos en alimentos, bebidas, agua potable y agua purificada, constituye un serio problema para la salud del hombre debido a su toxicidad. Esta Norma Oficial Mexicana establece los métodos de prueba de espectrometría de absorción atómica para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio presentes en alimentos, bebidas, agua purificada y agua potable.

El método de absorción atómica se basa en hacer pasar un haz de luz monocromática de una frecuencia tal que puede ser absorbido por el analito que se encuentra presente en forma de vapor atómico. La medida de la intensidad luminosa antes y después de su paso por el vapor atómico permite determinar el por ciento de absorción. La cantidad de absorción aumenta con la concentración de los átomos en el medio absorbente, es decir, la medida de la absorción aumenta con la concentración del elemento en la muestra, ya sea que esté en su condición original o sujeta a pretratamiento.

Los métodos de análisis son varios, por ejemplo, para la detección del Calcio en aguas transparentes se utiliza la titulación con EDTA, este método es sensible para concentraciones que van desde 2 mg/l, y su límite superior puede ser cualquiera con dilución de muestra.

2.3 Determinación de los parámetros fuera de Norma en el efluente del manantial "Esfuerzo"

En los estudios de calidad analítica del agua, realizados por la DGCOH, en el periodo de septiembre de 1998 a junio de 1999, se obtuvo que únicamente existían cuatro parámetros fuera de las Normas de agua potable vigentes a la fecha del estudio. Es conveniente indicar que "Coliforme Total" es un parámetro particular de la DGCOH, ya que no está contenido en la NOM-SSA1-127-1994.

La tabla muestra los valores máximos registrados en uno de los muestreos de estas fechas .

Compuesto químico	Valor Normado	Valor en el manantial	Diferencia Aritmética.
Nitrógeno de nitrato (mg / l)	10	14.32	4.32
Coliforme Total (col / 100ml)	0	>100	>100
Coliforme Fecal	0	Positivo	+
Cuenta estándar (col / ml)	0	4095	4095
Calcio (mg / l)	30	38	8

Capítulo 3: Métodos de Potabilización factibles.

3.1 Análisis de necesidades.

La purificación del agua es una necesidad que debe atenderse de manera particular en cada una de las fuentes de abastecimiento debido a que la calidad del agua cruda es muy variable. Durante el ciclo del agua existe contaminación, comenzando por los contaminantes suspendidos en la atmósfera que se añaden a las gotas de lluvia, la infiltración de ésta en el suelo y el camino que recorre a través del subsuelo hasta llegar a cuerpos mayores subterráneos o bien a su afloración en manantiales como este caso.

Contaminación es un cambio físico, químico, biológico o radiológico en un recurso natural, causado por las actividades del hombre o la naturaleza, y que presentan daño a la existencia, calidad o uso potencial de un recurso. En los análisis de calidad del agua se encontraron valores excedidos en calcio, nitratos y coliformes.

El **calcio** es un elemento químico inorgánico, los niveles registrados fuera de lo normal en el análisis obedece a un criterio interno de la DGCOH, donde se estipula un valor de 30 mg/l, que es menor al de la SSA. La cantidad de calcio en el agua del manantial es irrelevante en materia de salud pública, ya que el valor contenido es de 38 mg/l. Cabe mencionar que la ingesta diaria recomendada de calcio en el ser humano es de aproximadamente 1000 mg, y si una persona consumiera 5 lts de agua con una concentración de 38 mg/l en un día, estaría recibiendo una dosis de 190 mg de calcio a través del agua potable, que es menos del 20% de la Ingesta diaria recomendada.

Al agua con altos contenidos de Calcio y Magnesio se le llama *agua dura*, aguas duras son aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma; producen incrustaciones en las tuberías, principalmente en las de agua caliente y calentadores, además de requerir mayores cantidades de energía para ser calentada, incrementando el consumo de combustible de manera significativa. Desde el punto de vista sanitario, las aguas duras son satisfactorias para el consumo humano como las aguas blandas, pero encarece los costos de operación y mantenimiento.

En términos de dureza Total (de Magnesio y Calcio), se puede clasificar al agua como blanda cuando la concentración es de 0 a 75 mg/l, moderadamente dura con 75 a 150 mg/l, dura 150 a 300 mg/l y muy dura cuando es mayor a 300 mg/l. La lectura máxima de dureza Total que presenta el manantial Esfuerzo es de 172 mg/l, por lo que se puede clasificar como agua dura.

Nitrato, es el producto final de la descomposición del nitrógeno orgánico, es decir, es nitrógeno en estado reducido. El nitrógeno llega al agua por el uso de fertilizantes; filtraciones de las fosas sépticas y de redes de alcantarillado; drenaje de tierras de cultivo y pastos.

El nitrógeno obedece a un ciclo, en el cual el amoníaco es el producto inicial en la descomposición del nitrógeno orgánico. A medida que transcurre el tiempo, en condiciones aeróbicas, el nitrógeno amoniacal es oxidado a nitritos y éstos posteriormente forman nitratos, los cuales son el producto final de la descomposición del nitrógeno orgánico.

Los efectos de la exposición crónica a los altos niveles del nitrato provocan diuresis y hemorragia del bazo. No hay evidencia para indicar si los nitratos o los nitritos en agua potable son carcinógenos a largo plazo (EPA 2001).

Cuenta estándar, indica la densidad bacteriana, ésta tiene un subgrupo que es el de Coliformes totales, y a su vez éste contiene al grupo de los Coliformes fecales.

Coliformes son organismos que se utilizan como índice de ocurrencia de contaminación fecal y por lo tanto de contaminación con organismos patógenos. Los coliformes no solamente provienen de las excretas humanas sino también pueden originarse en animales de sangre caliente, animales de sangre fría y en el suelo.

Los organismos coliformes en bajas concentraciones no son dañinos al hombre, pero dado que el número de organismos patógenos presentes en aguas contaminadas son pocos y difíciles de aislar, los organismos coliformes, que son más numerosos y de

determinación más sencilla, se utilizan como indicador. Las bacterias coliformes incluyen los géneros *Escherichia* y *Aerobacter*, de estas, la *Escherichia Coli* es totalmente de origen fecal.

Los organismos patógenos encontrados en el agua residual pueden proceder de desechos humanos que estén infectados, o que sean portadores de una enfermedad determinada. Los organismos patógenos que pueden ser excretados por el hombre, causan enfermedades del aparato gastrointestinal, tales como la fiebre tifoidea o paratifoidea, disentería, diarreas y cólera.

En el siguiente cuadro se mencionan las enfermedades más comunes asociadas al agua contaminada por microorganismos.

Enfermedad	Organismo causante	Fuente del organismo en el agua	Síntoma
Gastroenteritis	Salmonella	Excrementos humanos o de animales.	Diarrea aguda y vómito
Tifoidea	Salmonella typhosa	Excrementos humanos	Intestino inflamado, bazo agrandado, alta temperatura, fatal.
Disentería	Shigella	Excrementos humanos	Diarrea
Cólera	Vibro coma	Excrementos humanos	Vómito, diarrea severa
Hepatitis Infecciosa	Virus	Excrementos humanos y mariscos	Piel amarilla, dolores
Amibiasis	Entamoeba hystolitica	Excrementos humanos	Diarrea, disentería crónica

3.2 Determinación de los métodos aplicables

Siguiendo a la "NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", han de considerarse únicamente los métodos que ésta exige, y que son los siguientes:

Característica	Límites permisibles	Tratamiento a que debe someterse para su potabilización
Calcio	30 mg/l	Dilución * Ablandamiento químico, Intercambio iónico.
Nitratos (como N)	10 mg/l	Intercambio iónico o coagulación- floculación-sedimentación- filtración. Dilución *
Organismos coliformes fecales	Ausencia	Cloro, compuestos de cloro, yodo, ozono, luz ultravioleta; plata iónica o coloidal; coagulación- sedimentación-filtración;
E. coli o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia	filtración en múltiples etapas

* La dilución no está contemplada en la NOM-SSA1-127-1994

En caso de que en el sistema de abastecimiento se utilicen para la desinfección del agua, métodos que no incluyan cloro o sus derivados, la autoridad sanitaria determinará los casos en que adicionalmente deberá dosificarse cloro al agua distribuida, para mantener la concentración de cloro residual libre dentro del límite permisible establecido en esta norma.

El **calcio** está contenido Dentro de los parámetros de control de calidad de agua potable de la DGCQH. Este parámetro es la cantidad de calcio que existe en la medida de Carbonato de calcio, por lo que en realidad lo que se mide es un porcentaje de la dureza de calcio, para ser preciso el 40% de ésta. La remoción del calcio, debido a que es función del Carbonato de calcio, se efectuará atacando la Dureza de Calcio con los métodos contemplados en la Norma.

Operaciones y procesos de tratamiento	Remoción de dureza	Remoción de microorganismos
Ablandamiento químico	90 - 100 %	60 – 100 %
Intercambio iónico	90 – 100 %	< 20 %

El nitrógeno de **nitratos** es complicado de remover, a continuación se muestra una tabla que muestra el método y su eficiencia teórica según bibliografía

Operaciones y procesos de tratamiento	Remoción de Nitratos	Remoción de microorganismos
Intercambio iónico selectivo para el nitrato	70 – 90 %	< 20 %
Coagulación-floculación-sedimentación-filtración.	20% - 40 %	60 – 100 %
Filtración convencional	< 20 %	Hasta 99%
* Osmosis inversa	80 – 90 %	80 – 100 %

*La Osmosis inversa no está contenida para remoción de Calcio y/o Nitratos en la NOM-SSA1-127-1994

Los **organismos coliformes** y otros organismos patógenos, son típicamente eliminados con compuestos tóxicos de Cloro, también pueden usarse compuestos de Yodo, e incluso el Gas Ozono; en estos el proceso es de desinfección. Métodos como Luz Ultra Violeta sirven para esterilizar, es decir, matar toda forma viviente dentro del agua, métodos de filtración y membranas separan físicamente a los organismos patógenos sin proporcionar protección posterior.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3 Descripción detallada de los métodos aplicables.

Dilución

La dilución es un método físico en el que un cuerpo de agua con cierta concentración es añadido a otro cuerpo de agua que no contiene dicha sustancia, o bien, contiene una menor concentración, dando como resultado un agua con una concentración menor que la primera. Este método es típicamente usado en tratamiento de aguas residuales para hacer que las aguas cumplan con las normas de descarga en cuerpos colectores.

La *dilución* no está contenida como un método de tratamiento dentro de las Normas Mexicanas de agua potable, sin embargo es una opción que debe al menos contemplarse debido a que el agua del manantial no será directamente consumida, sino que después del tratamiento que ha de recibir en la obra de captación viajará casi tres kilómetros junto con el flujo del acueducto, durante el trayecto se mezclarán, y finalmente al llegar a la estación de bombeo de Xotepingo es nuevamente analizada y clorada antes de su distribución final en las colonias contiguas.

La dilución puede ser aplicable para el *Calcio* y los *Nitratos*, no así para los agentes biológicos.

Es muy importante observar las concentraciones de los contaminantes fuera de norma en el cuerpo a diluir, y en el diluyente. Las concentraciones del cuerpo de agua contaminado sólo podrán diluirse si el cuerpo receptor es capaz de mantener a ambos por debajo del nivel máximo permisible.

Ablandamiento químico

La dureza del agua es originada principalmente por los carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros de calcio y de magnesio. La dureza carbónica es la asociada con carbonatos y bicarbonatos, la dureza no carbónica es la asociada con sulfatos y cloruros. La dureza del agua es causada por Calcio y Magnesio disueltos en el agua como carbonatos y bicarbonatos, que forman la dureza carbónica; y como sulfatos y cloruros, formando dureza no carbónica.

El agua que es ablandada por adición de cal tiene el beneficio adicional de remoción del hierro y el magnesio, y la reducción en sólidos suspendidos, entre ellos las bacterias y virus. El ablandamiento común con cal-sosa no removerá toda la dureza y usualmente es operado para producir una dureza residual de aproximadamente 100 mg/l como CaCO_3 . Mayores reducciones no son económicas y pueden tener, de igual manera, consecuencias adversas para la salud.

Con la **adición de cal** el calcio se precipita como carbonato de calcio. El suministro de una concentración de ión carbonato igual a aquella del calcio permitirá una combinación casi completa. El ión calcio se puede agregar directamente, pero en general es más económico producirlo mediante la reacción de la cal con la alcalinidad del bicarbonato.

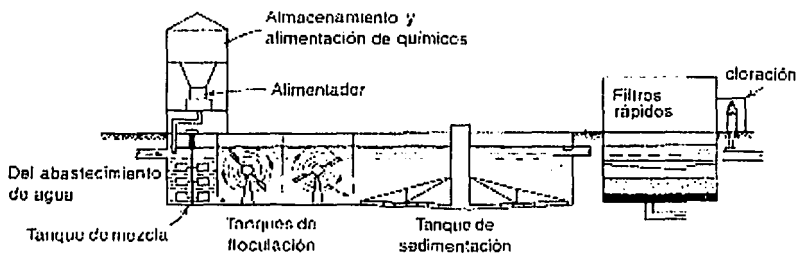
Los sistemas de ablandamiento constan de un equipo de alimentación, un proceso de mezclado rápido, floculación, sedimentación, recarbonatación para ajuste de pH y sistema de filtros. Evidentemente los pasos de alimentación-mezclado-floculación pueden incluirse en una sola etapa para reducir espacios.

La adición de **sosa cáustica** (NaOH) reacciona con la alcalinidad y produce ión carbonato de la reacción del calcio.

El carbonato de calcio es precipitado en un lecho fluidizado sobre granos de arena, trozos de mármol, cascajo de acero o material similarmente denso. Cuando éstos crecen en tamaño mediante la deposición de CaCO_3 , las partículas migran hacia el

fondo del lecho fluidizado, del cual son desechados periódicamente. El tiempo de retención del proceso es muy corto (5 a 10 segundos) y no se produce ningún lodo.

El material residual se encuentra en forma de pepas de calcita, que pueden ser removidas mediante equipo de manejo de sólidos.



Proceso de ablandamiento químico

Filtración

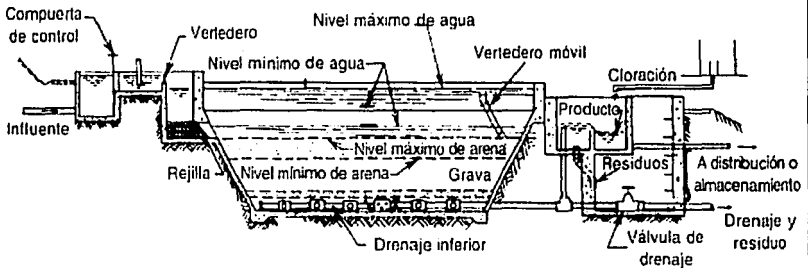
La filtración es un proceso físico, químico y en algunos casos biológico, para separar del agua las impurezas suspendidas mediante el paso a través de un medio poroso. Consiste esencialmente en hacer pasar el agua a través de un lecho poroso que atrape las impurezas al paso del agua.

Dos tipos generales de filtros se utilizan comúnmente en el tratamiento de agua: el filtro lento de arena y el filtro rápido de arena, también conocido como (coagulación - floculación - sedimentación - filtración)

Un filtro lento de arena se compone de una capa de arena fina no clasificada, a través de la cual se filtra el agua a una velocidad lenta (0.1 a 0.4 m/h), el filtro se limpia periódicamente raspando una delgada capa de arena sucia de la superficie a intervalos de varias semanas a meses. El lapso de limpieza varía de acuerdo a la cantidad de

materia removida del agua, para agua más concentrada; menor tiempo entre limpiezas. La arena que es removida se coloca en otro sitio, en donde se lava y se guarda, después de varias raspaduras se acumula una gran cantidad de arena limpia, así que ésta se regresa al filtro. La velocidad lenta de filtración permite la formación de una capa activa de microorganismos llamada el *schmutzdecke* sobre el lecho de arena, misma que proporciona el tratamiento biológico. Esta capa es particularmente efectiva en la remoción de microorganismos, incluyendo los patógenos del agua.

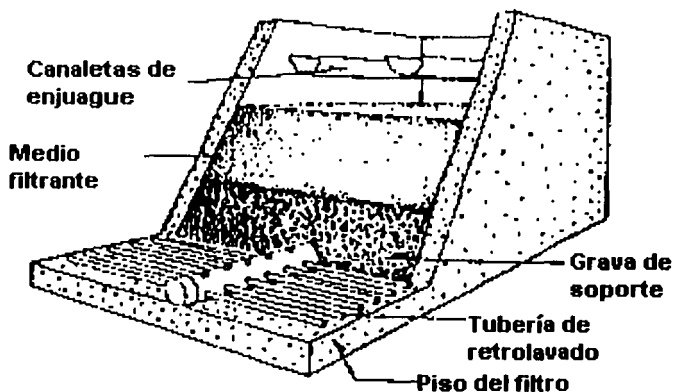
Los filtros lentos se usan principalmente para la remoción de materia orgánica y organismos patógenos de las aguas crudas de turbiedad baja. Reducen las bacterias y E. Coli en cantidades enormes, El costo de construcción es bajo; La simplicidad del diseño y operación hacen que se requiera poca supervisión, poca tubería y equipo o instrumentación especial; No se requiere mano de obra calificada o energía en demasía; sin embargo, requiere de grandes espacios.



Sección transversal de un filtro lento de arena.

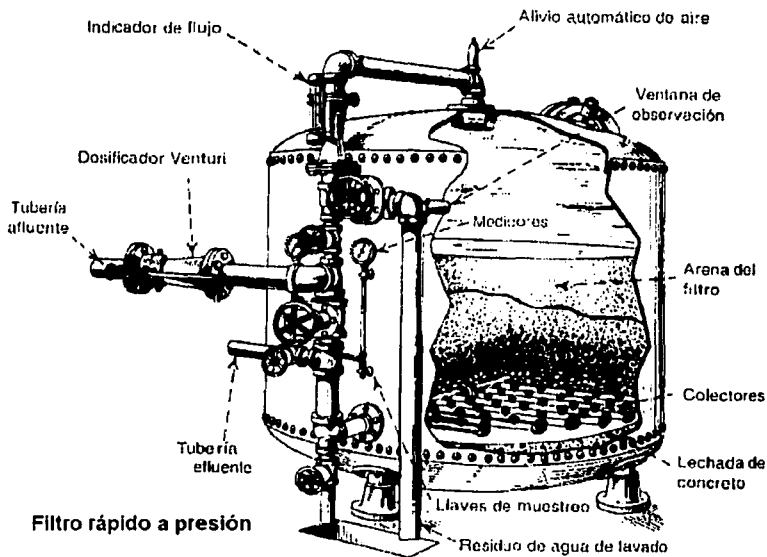
Un **filtro rápido** por gravedad, se compone de una capa de arena clasificada o en algunos casos de un medio filtrante grueso (por ejemplo: antracita) colocada encima de una capa de arena, a través de la cual se filtra el agua a velocidades más altas (4 a 21 m/h); el filtro se limpia retrolavando, es decir, haciendo pasar un chorro de agua limpia en sentido contrario del flujo de filtración normal, dando como consecuencia la remoción de partículas atrapadas. Debido a las altas velocidades de filtración, el requerimiento de espacio para una planta de filtración rápida es aproximadamente del 20% del que se requiere para los filtros lentos de arena.

Un filtro rápido generalmente requiere una etapa de pretratamiento, esto es: adición de químicos, mezclado rápido, floculación y sedimentación. A veces al sistema de filtración rápida se define como coagulación-floculación-sedimentación-filtración.



Filtro rápido por gravedad

Los **filtros rápidos a presión** son generalmente diseñados sobre medida por compañías especializadas, estos filtros son generalmente grandes contenedores de acero que hacen pasar el agua por un lecho filtrante a altas velocidades, y para conseguirlo se adiciona presión al agua, con una bomba eléctrica, antes de entrar en el contenedor. La tecnología de estos filtros es importada de países con adelantos tecnológicos, y no es típicamente la mejor solución, ya que una vez instalado el filtro se requiere de gente capacitada para operarlo adecuadamente y las refacciones además de costosas pueden ser difíciles de conseguir.



En la siguiente tabla se muestran las características más sobresalientes de los filtros lentos de arena y de los filtros rápidos.

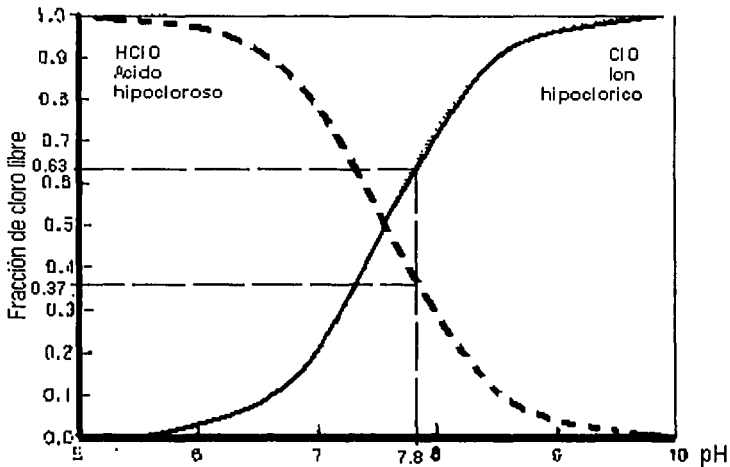
Característica	Filtro lento de arena	Filtro rápido de arena
Velocidad de filtración	0.1 - 0.4 (m/h)	4 - 21 (m/h)
Tamaño del lecho	Extenso hasta 2000 m ²	Pequeño, 40 a 400 m ²
Profundidad del lecho	30 cm de grava, 90 a 110 cm de arena, usualmente se reduce mediante raspado hasta no menos de 60 cm.	30 a 45 cm de grava, 60 a 70 cm de arena; no reducida mediante lavado.
Tamaño de la arena	Tamaño efectivo de 0.25 a 0.3 mm; coeficiente de uniformidad de 2 a 3.	Tamaño efectivo de 0.55 mm y mayores; coeficiente de uniformidad < 1.5, dependiendo del sistema de drenaje inferior.
Distribución del tamaño de grano de la arena en el filtro	No estratificado.	Estratificado, con los granos más pequeños o ligeros en la parte superior y los más gruesos o pesados en el fondo.
Sistema de drenaje inferior	Laterales de arcilla de juntas abiertas colocados sobre piedra gruesa descargando en conductos de drenaje maestros de concreto o arcilla. Laterales de tubos perforados descargando en cañerías principales.	Laterales de tubos perforados descargando en cañerías principales. De tipo fondo falso con orificios. Varios, generalmente patentados.
Caída de presión	Inicial de 6 cm; final de 120 cm	Inicial de 30 cm, final de 250cm

Característica	Filtro lento de arena	Filtro rápido de arena
Duración del ciclo de filtración entre limpiezas	20 a 60 días	12 a 72 horas
Penetración de la materia suspendida	Superficial	Profunda, particularmente con medios filtrantes dobles o mezclados.
Método de limpieza	Raspando la capa superficial de arena; lavando y almacenando para reemplazo periódico del lecho.	Desalojando y removiendo la materia suspendida mediante flujo ascendente o retrolavado que fluidifica el lecho. Posible uso de sistemas auxiliares de lavado.
Cantidad de agua utilizada en la limpieza de la arena.	0.2 a 0.6 % del agua filtrada	1 a 6 % del agua filtrada
Tratamiento preparatorio del agua	Generalmente ninguno	Coagulación, floculación y sedimentación.
Tratamiento suplementario del agua	Generalmente Cloración	Generalmente Cloración
Costo de construcción	Relativamente bajo	Relativamente alto
Costo de operación	Relativamente bajo donde la arena se limpia en el sitio de la planta	Relativamente alto
Costo de depreciación	Relativamente bajo	Relativamente alto.

Cloro y sus compuestos.

Desinfección es la destrucción de los microorganismos patógenos. En el proceso las bacterias Coliformes y otras especies indicadoras serán también destruidas, reduciéndose sustancialmente el conteo total bacteriano.

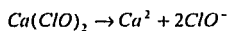
El cloro es un agente oxidante bastante fuerte, el cual, adicionado al agua en la forma molecular, reaccionará tanto con los materiales orgánicos como inorgánicos que se encuentren presentes. El cloro mismo se combinará con el agua para formar los ácidos hipocloroso y ácido clorhídrico: $Cl_2 + H_2O \leftrightarrow HClO + HCl$



Efecto del pH en la distribución de las formas del cloro residual a 20° C

El cloro molecular es hallado en una reacción medible sólo a niveles de pH inferiores a 3.0. El ácido hipocloroso, HClO se ioniza para formar el hipoclorito en una reacción reversible cuyo equilibrio está determinado por el pH: $HClO \leftrightarrow H^+ + ClO^-$

El cloro también puede ser adicionado en forma de sales como el hipoclorito de sodio o de calcio, el cual se ioniza en el agua:



liberando el hipoclorito que más tarde ingresará dentro del equilibrio. Tanto el ion hipoclorito como el ácido hipocloroso son desinfectantes, pero este último más efectivo. El total del cloro molecular, del ácido hipocloroso y del ion hipoclorito en el agua es denominado *cloro libre disponible*.

El cloro al reaccionar con el amoníaco o con las aminas, formará las *cloraminas*, las cuales, aunque suministren una acción desinfectante razonable, tienen menos probabilidad de reaccionar con otros materiales que pueden estar presentes. El cloro en la forma de las cloraminas es denominado *cloro combinado disponible* Se requiere 40% más cloraminas para tener la misma acción desinfectante que el cloro libre.

La proporción de monocloraminas (NH_2Cl), dicloraminas (NH_2Cl_2) y tricloraminas o tricloruro de nitrógeno (NCl_3), depende de la proporción de cloro con respecto al amoníaco y al pH del agua. En concentraciones bajas, las di- y tricloraminas producen un sabor y olor poco placenteros en el agua; en consecuencia, su formación es indeseable. Mantener el pH por encima de 5 reducirá la cantidad de tricloraminas, y por encima de 7.5 inhibirá la producción de dicloraminas.

El mecanismo por el cual el cloro destruye los organismos patógenos es un tanto incierto. Es probable que el cloro destruya las enzimas extracelulares de las bacterias y es posible que en realidad pase a través de la pared celular para atacar los sistemas intracelulares. Las concentraciones empleadas no son lo suficientemente altas para destruir la célula mediante la oxidación. La eficiencia del cloro se ve afectada adversamente por un pH alto y una temperatura baja.

Características generales

Característica	Cloro	Hipoclorito de Calcio	Hipoclorito de Sodio
Fórmula química	Cl ₂	Ca(ClO) ₂ *4H ₂ O	NaClO
Nombre común	Gas cloro, cloro líquido	HAR (Hipoclorito de alta resistencia), Perchloron, Pittchlor	Líquido blanqueador, cloro blanqueador
Formas disponibles	Gas licuado a presión en cilindros de acero de 50 y 70 kg, recipientes de 1 ton, furgones y recipientes de 15 ton.	Polvo, gránulos y perdigones en toneles de 50 kg; latas de 2, 7, 50 y 140 kg, y tambores de 360 kg	Líquido en garrafones de 20 y 50 lts; camiones tanque de 4500 a 7500 litros

Característica	Cloro	Hipoclorito de Calcio	Hipoclorito de Sodio
Apariencia y propiedades	Gas amarillo verdoso, picante, corrosivo más pesado que el aire; nocivo para la salud	Blanco o blanco amarillento; no higroscópico; corrosivo y oloroso	Amarillo claro, corrosivo y oloroso; relativamente estable, generalmente libre de sólidos suspendidos
Peso	Peso específico con respecto al aire 2.49	800 a 900 kg/m ³	1200 kg/m ³
Concentración comercial	99.8% de Cl ₂	65 a 70 % de Cl ₂ disponible	12 a 15% de Cl ₂ disponible
Alimentación	Alimentado como gas vaporizado de un líquido y como solución acuosa (2.4 g/l o más) por medio de un alimentador de gas o clorador	En forma de solución hasta una concentración de 2% (30 g/l)	Aplicase como solución diluido con agua a una concentración de 0.5 a 1.0 % de Cl ₂ disponible
Materiales de manejo	Líquido o gas secos, manéjense con hierro sin galvanizar, cobre y acero; gas húmedo, con vidrio, plata o hule endurecido.	Cerámica, vidrio, plásticos y tanques recubiertos de hule; almacénese en lugar fresco y seco; evítese el contacto con la materia orgánica.	Cerámica, vidrio, plásticos y tanques recubiertos de hule; almacénese en lugar fresco, protegido de la luz

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La desinfección de los sistemas de abastecimiento de agua potable, se lleva a cabo casi universalmente mediante el uso del gas cloro o compuestos de cloro (hipocloritos). Su capacidad para eliminar organismos patógenos y mantener una concentración residual en el sistema de distribución, así como también su alta disponibilidad y costo moderado en la mayoría de las regiones del mundo, los hace adecuados para la desinfección de los suministros de agua comunales.

El período disponible para la interacción entre el desinfectante y los componentes del agua, conocido como tiempo de contacto, es importante para el diseño de sistemas de desinfección de agua. El tiempo mínimo de contacto durante la cloración, debe ser de 10 a 15 minutos a fin de garantizar una desinfección efectiva, este periodo generalmente se consigue durante el trayecto del agua clorada dentro de las tuberías de distribución antes del primer consumidor.

La decisión de utilizar ya sea gas cloro o hipocloritos se debe basar en varios factores: 1) la cantidad de agua que se va a tratar, 2) el costo y disponibilidad de los productos químicos, 3) el equipo requerido para su aplicación, y 4) la destreza requerida para su operación y control. El equipo de alimentación del gas cloro es más caro, más difícil de operar y mantener, y más peligroso que los hipocloradores tipo solución; y en la mayoría de los casos se tiene que importar. Por otra parte el gas cloro es generalmente menos caro que el hipoclorito que contenga una cantidad equivalente de cloro disponible, y se puede almacenar durante más tiempo sin deteriorarse, aunque el gas cloro a menudo sólo puede conseguirse en las principales ciudades. Como política interna, La Delegación Coyoacán no permite el uso de gas cloro dentro de las zonas residenciales, y recordando que el manantial está en una zona residencial, y para ser preciso, el área destinada a la planta está rodeada de predios habitacionales.

Yodo.

El yodo es un agente germicida eficaz con equilibrio químico similar al del cloro. A diferencia del cloro, el yodo no reacciona con el amoníaco o con compuestos de nitrógeno orgánico para formar aminas, y por tanto persiste como ácido hipoyodoso y como yodo molecular.

Es un buen desinfectante que ha sido muy utilizado para pequeñas cantidades de agua, típicamente usado por excursionistas. También se utiliza para piscinas de natación, pero es muy poco probable que sea ampliamente usado en tratamiento de aguas debido a sus efectos fisiológicos sobre la actividad tiroidea y su costo relativamente alto. En comparación con las cloraminas, el sistema yodo-yodato es un mejor desinfectante con pH neutro, aunque la combinación ha probado ser más efectiva que la cloramina o el yodo solo.

Tintura de Yodo.

El yodo común que se utiliza para curar las heridas se puede también utilizar para desinfectar el agua. Añada cinco gotas de tintura de yodo al 2 por ciento, por cada litro de agua limpia. Para el agua turbia añada diez gotas y deje la solución reposar durante 30 minutos por lo menos.

Tabletas de Yodo.

Las tabletas de yodo preparadas para la venta contienen la dosis necesaria para desinfectar el agua potable y se pueden adquirir en farmacias y tiendas de artículos de deporte. Se deben utilizar según se ha indicado. Cuando no hayan instrucciones disponibles, utilice una tableta por cada litro de agua que se quiera purificar.

Ozono

El ozono, es una forma alotrópica del oxígeno que tiene tres átomos en cada molécula, y cuya fórmula es O_3 . Es un gas azul pálido de olor fuerte y altamente venenoso. El ozono se forma al pasar una chispa eléctrica a través de oxígeno, y produce un olor detectable en las inmediaciones de maquinaria eléctrica. El método comercial de obtención consiste en pasar oxígeno frío y seco a través de una descarga eléctrica silenciosa. El ozono es mucho más activo químicamente que el oxígeno ordinario y es mejor como agente oxidante.

Por su carácter de agente oxidante, fuerte, puede ser aplicado en cualquier circunstancia en la que el cloro sea efectivo. El ozono mejora la eficiencia de la coagulación subsiguiente, ayuda a la remoción de olores y sabores de moho, tierra, pescado, y lodo; reduce la posterior demanda de cloro, produce menos orgánicos halogenados que otros desinfectantes oxidantes comunes. El ozono a diferencia del cloro, requiere muy poco tiempo de contacto para una desinfección efectiva.

Los tiempos de contacto para inactividad de virus son de dos minutos. La acción efectiva del ozono no es particularmente sensible al pH en el rango de 5 a 8, pero es bastante sensible a la temperatura. A medida que la temperatura aumenta es probable que tanto la tasa como el grado de terminación de las reacciones de oxidación se incrementen, de ahí que la demanda de ozono pueda incrementarse con la temperatura. La descomposición espontánea del ozono a oxígeno molecular también aumenta con la temperatura, aunque su solubilidad disminuya. La combinación de esos factores puede requerir grandes incrementos en la dosificación a temperaturas altas. El ozono ha sido ampliamente usado en Europa por muchos años y su uso en los Estados Unidos está intensificándose.

Si bien el ozono es preferible al cloro o al dióxido de cloro en muchos aspectos, no es una solución perfecta a los problemas asociados con orgánicos en el agua. Se ha observado que el ozono interfiere con la habilidad del carbón activado para remover orgánicos volátiles, evidentemente mediante la producción de orgánicos de peso molecular bajo.

El ozono es fabricado mediante descarga eléctrica dentro de aire fresco seco, oxígeno de alta pureza o aire enriquecido con oxígeno. En el caso del aire, aproximadamente el 1% del contenido de oxígeno es convertido a O_3 con un consumo de energía de 0.025 kWh por gramo de O_3 . El incremento producido es suministrado mediante el enriquecimiento del oxígeno, pero la economía del proceso depende del costo de producción del oxígeno. La mezcla de gases es transferida al agua bien sea al burbujear el gas a través del volumen de solución o al dejar que unas gotas de agua caigan a través de una columna ascendente de gas. El ozono que no es transferido no debe ser descargado a la atmósfera, ya que es un contaminante del aire. En algunos casos puede reutilizarse, de otra manera el exceso de ozono debe ser removido mediante un proceso de reducción química antes de ser descargado al aire.

El ozono se convierte espontáneamente en oxígeno, por tanto, su producción en lugares distantes del punto de uso es poco práctico. Este fenómeno de conversión también impide el mantenimiento de una concentración residual de ozono que puede proteger contra la contaminación posterior del sistema de distribución. Por esta razón, la ozonación es normalmente seguida por la cloración en dosis modestas.

Radiación Ultravioleta.

La radiación ultravioleta es efectiva en la destrucción de todos los tipos de bacterias y de virus a través del mecanismo probable de destrucción de los ácidos nucleicos. Los rayos ultravioletas UV, son generados mediante lámparas de cuarzo de vapor de mercurio que tienen una eficiencia de cerca del 30%, una longitud de onda de 253.7 nm y una intensidad de 50 uv W/m^2 a una distancia de 50 mm. Los tiempos de retención mínima están en el orden de 15 segundos con películas menores a un grosor de 120 mm.

Son ventajas de la desinfección ultravioleta la facilidad de automatización; la ausencia de manejo químico; el corto tiempo de retención; la ausencia de efecto en las características químicas, sabor u olor del agua; poco mantenimiento y la ausencia de efectos perjudiciales por sobredosis. Las desventajas consisten sobre todo en la falta de protección residual, el costo relativamente alto y su nula efectividad en aguas turbias que los rayos no pueden penetrar.

El proceso es usado principalmente en aplicaciones industriales y pequeños sistemas de agua privados, y al parecer no es costeable para sistemas municipales para países en vías de desarrollo.

Intercambio iónico

Los procesos de separación con intercambio iónico no son usados regularmente para sistemas municipales de tratamiento de aguas. Este proceso es producto de ingeniería química altamente especializada. Consecuentemente, se requiere de un equipo de especialistas en las áreas de diseño, fabricación y operación, así como de los productores y distribuidores de resinas.

El proceso de intercambio iónico remueve iones indeseables del agua cruda, intercambiándolos por iones deseables o inocuos; estos están contenidos en una resina a través de la cual fluye el agua. Esta maquina tiene una capacidad de intercambio limitada, cuando ésta se agota debe ser lavada con una solución regenerante para recuperar sus propiedades. Los primeros intercambiadores iónicos estaban compuestos de zeolita, los actuales son maquinas de resinas compuestas de materiales plásticos sintéticos que tienen una vida útil de 5 a 10 años de uso continuo.

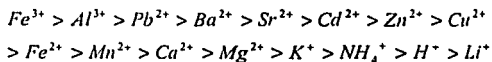
Las resinas son también clasificadas como intercambiadores catiónicos, estas son las resinas con sitios de carga negativa que recogen iones de carga positiva. Las resinas tienen una estructura porosa y permeable, en consecuencia, todas las partículas de la resina participan en el proceso de intercambio. Las resinas son típicamente de forma esférica y su tamaño varía de 0.4 a 0.8 mm. Las resinas catiónicas generalmente tienen una capacidad de aproximadamente 2 miliequivalentes por gramo seco (mEq/g). Las resinas aniónicas de base fuerte tienen una capacidad de intercambio de 1.3 mEq/g.

En el campo de tratamiento de aguas, el intercambio iónico es usado para suavizar agua, remoción de fluoruro o nitrato, y para producir agua desmineralizada para usos de laboratorio. El proceso de remoción de iones por resina es el único proceso, salvo la evaporación, que tiene la capacidad de remover completamente los minerales del agua.

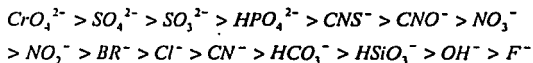
Los diseños típicos de los sistemas de intercambio iónico constan en su operación de un proceso constante de agotamiento y regeneración de las resinas. La frecuencia de regeneración de la resina, y por consecuencia el costo por unidad de volumen de agua tratada, es casi directamente proporcional a la cantidad de minerales removidos.

Las resinas de intercambio iónico son selectivas, es decir, tienen preferencia para remover ciertos iones. La selectividad primaria varía con el tipo de resina que se usa, la concentración de la solución, la cantidad de iones diversos y la temperatura del agua. La selectividad es una característica sumamente importante en el proceso de regeneración.

El orden de selectividad de iones para un agua ordinaria, son los siguientes cationes:



Para aniones:



Las unidades de intercambio iónico pueden usarse para desionizar agua, simplemente dejando pasar el flujo continuo a través de una columna de resina catiónica y una columna de base aniónica fuerte.

La tasa de aplicación depende de la profundidad del lecho, ya que el tiempo de contacto es el factor más importante de diseño. El tiempo de retención del lecho vacío es de aproximadamente 10 minutos. La capacidad de intercambio de las resinas se agota, y hay que regenerarlas aplicando una solución. La resina no debe de agotarse por completo antes de ser regenerada, ya que ello incrementa la cantidad de regenerante requerido. El tiempo requerido para la regeneración es del orden de 15 minutos de contacto efectivo con la solución

En la práctica se han dado eficiencias de remoción de Calcio donde concentraciones de 154 mg/l bajan hasta 7.0 mg/l; para Nitratos de concentraciones de 93 mg/l a 31.9 mg/l, y dureza total (HCO_3) de 401 mg/l se ha reducido hasta 18.2 mg/l.

Es posible calcular el volumen que puede ser tratado entre regeneraciones y regenerar en base al tiempo o al flujo. Cuando se trata de agua municipal: no todo el flujo debe ser pasado a través del proceso de intercambio iónico, ya que un agua de cero dureza no es deseable para propósitos domésticos.

Los proceso de intercambio iónico no producen lodos, pero producen salmueras concentradas, las cuales pueden ser igualmente difíciles de manejar. Descargar las salmueras al drenaje no es una opción viable, ya que las plantas municipales de tratamiento no están preparadas para estos desechos, y únicamente se estaría trasladando el problema.

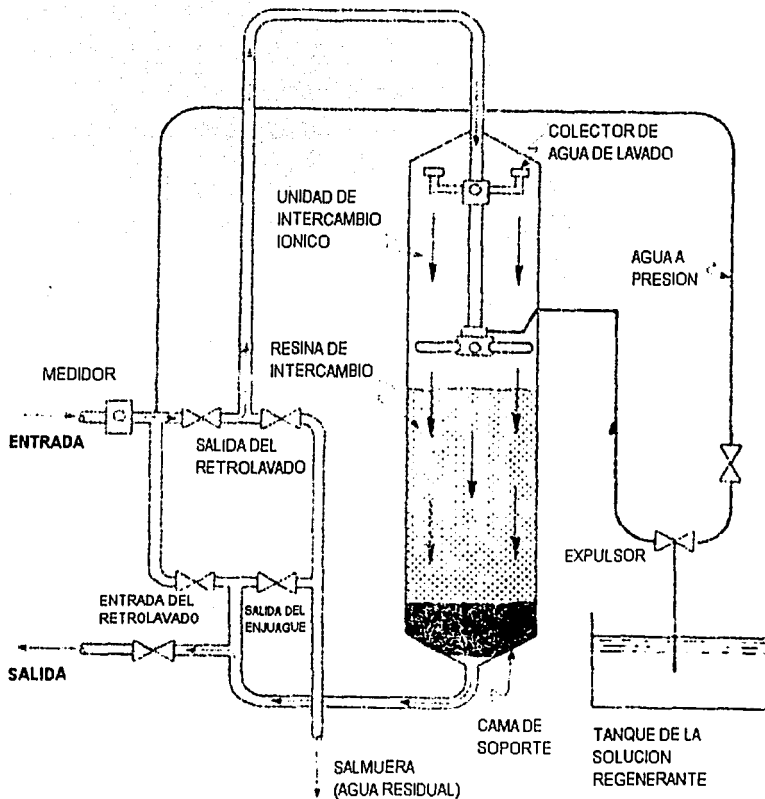


DIAGRAMA TIPICO DE UNA UNIDAD DE INTERCAMBIO IONICO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Ósmosis inversa

El principio de la ósmosis puede ser entendido fácilmente si se considera una membrana semipermeable separando dos cuerpos de agua que contienen diferentes concentraciones de sal. Una membrana semipermeable tiene tamaño de poros que son más grandes que el tamaño molecular de agua pero más pequeña que los de las sales. En la situación descrita, el agua fluirá a través de la membrana, de la concentración más baja hacia la más alta, tratando de igualar las concentraciones de sal. Si se aplica una presión que es justamente adecuada para detener el flujo es denominada *presión osmótica*. Si se aplica una mayor presión, la dirección natural del flujo será revertida y el agua fluirá de la concentración más alta a la más baja. La presión aplicada en sistemas prácticos varía de 5 a 50 veces la presión osmótica.

El sistema de ósmosis inversa consta de una membrana, una estructura de soporte, un vaso de presión y una bomba. Las membranas modernas son fabricadas de poliamidas aromáticas que tienen propiedades mecánicas y químicas más convenientes que los primeros diseños de acetato de celulosa.

El afluente de los sistemas de ósmosis inversa requieren a menudo pretratamiento para evitar el daño de la membrana por efecto de bacterias u otros sólidos suspendidos. Dado que las membranas no son completamente eficientes para excluir moléculas diferentes al agua, el agua producida no es completamente desmineralizada. Los gases disueltos, tales como el dióxido de carbono, pasan a través de la membrana, produciendo un pH incrementado en el lado rechazado y algunas condiciones ácidas en el lado del producto. Las condiciones alcalinas en el lado rechazado pueden causar la precipitación de sales, como puede hacerlo la alta concentración de materiales de baja solubilidad. El agua rechazada, al igual que las salmueras de intercambio iónico, pueden requerir manejo especial.

El acetato de celulosa y el nylon han sido utilizados como materiales para la membrana. Actualmente, se usan cuatro tipos de configuraciones para el soporte de la membrana: en espiral, tubular, de capas y de fibra hueca.

Las unidades de ósmosis inversa pueden disponerse en paralelo para obtener una capacidad hidráulica adecuada o bien en serie para lograr el grado de desmineralización deseado.

Algunos niveles de remoción alcanzados son los siguientes:

Calcio de 329 mg/l hasta 1.5 mg/l; en cantidad de 85 mg/l remociones del 85%

Nitratos de 3.4 mg/l hasta 0 mg/l; en cantidad de 11 mg/l remociones del 50%

Dureza total de 380 mg/l hasta 20 mg/l

La osmosis inversa es capaz de remover iones de bajo peso molecular, todo tipo de coloides, bacterias y virus, hasta en un 80 a 100 %

El residuo de este tratamiento es una agua con altas concentraciones en sales minerales.

Métodos alternativos no contenidos en las Normas Mexicanas.

La Electrodiálisis, Microfiltración y Nanofiltración son procesos que no están contenidos dentro de la NOM-127-SSA1 de agua potable, sin embargo se mencionan debido a la importancia que han adquirido en los últimos años.

Electrodiálisis. (ED)

La membrana semipermeable de diálisis es impermeable al agua pero no para los cationes y electrones bajo diferentes fuerzas actuantes. La fuerza actuante puede ser un gradiente de concentración (diálisis simple), presión (diálisis piezométrica), o una fuerza eléctrica (electro diálisis). Las membranas más comúnmente usadas están hechas de celofán hidratado, la selección de una membrana es primordialmente dada por el tamaño de poro. La diálisis es raramente usada en el campo del agua tratada y de recuperación de sustancias en agua.

En la ED la fuerza eléctrica es la fuerza actuante en el proceso. Membranas con propiedades de intercambio iónico y catiónico son colocadas transversalmente al delgado flujo de agua que avanza con una presión adicionada por un mecanismo. Los canales se hacen tan delgados como es posible para minimizar el consumo eléctrico. Cuando se aplica corriente directa a los electrodos (colocados a cada lado de las membranas apiladas), los aniones migran al ánodo, y viceversa.

De manera distinta al intercambio iónico, ED es un proceso en donde la sal removida del agua es proporcional a la corriente eléctrica aplicada. Sin embargo, la aplicación de corriente excesiva causa electrólisis, formando hidrógeno y oxígeno en gas, y en consecuencia reduce toda la eficiencia.

La eficiencia de la ED puede también ser reducida por la concentración, polarización y formación de incrustaciones y depósitos en la superficie de la membrana; estos fenómenos incrementan la demanda de energía eléctrica.

Si el agua a tratar contiene moléculas no ionizadas como compuestos orgánicos y coloides, estos quedarán parcialmente desmineralizados en el agua. Por ello es necesario pretratar el agua para remover turbidez, compuestos orgánicos y hierro, antes de pasar por la ED, de otra manera, estos dañarán las membranas. El consumo eléctrico del proceso es de aproximadamente 0.70 kWh por kilogramo de sal removida del agua.

La Electrodialisis tiene tres limitaciones:

Es incapaz de producir agua altamente desmineralizada

El costo crece rápidamente con la concentración de sal en el agua, siendo rentable hasta 8000 mg/l,

Existen muy pocas empresas que manufacturan estos equipos, las cuales son evidentemente de países desarrollados (EU)

Al igual que en la osmosis inversa, muchas veces se requiere pretratamiento para obtener una operación satisfactoria. Normalmente se añade acidez para inhibir la precipitación de sales como el carbonato de calcio. La filtración se usa para remover impurezas suspendidas.

Microfiltración (MF)

La microfiltración es el tipo de membrana más popular en los Estados Unidos, la compañía que los fabrica es la US Filter (Memtec). El propósito de la micro filtración es remover partículas de 0.5 micrómetros de diámetro. Se usa en ingeniería sanitaria para aislar bacterias coliformes

Las membranas de MF pueden ser fabricadas en muchos materiales, incluyendo acetato de celulosa. La abertura de poro de estas membranas es de aproximadamente 0.1 micrómetros, los coloides y materia disuelta tienen dimensiones del orden de (0.01 a 0.1) micrómetros, por lo que no son retenidas por este método. Cuando la membrana se satura, se forma una capa de material sobre ésta, entonces la membrana debe ser aseada por medio de retroflujo y limpieza química. Consecuentemente, el agua debe ser pretratada, donde se remuevan la mayoría de sólidos suspendidos, antes de ser microfiltrada.

La limpieza de la membrana debe hacerse cada 20 minutos a través de un proceso de retroflujo de aire a presión.

Nanofiltración.

La apertura de poro en las membranas de nanofiltración en aplicaciones de agua potable es de (0.001 a 0.002) micrómetros. Este proceso es capaz de remover iones de calcio y magnesio; microbios al 100%, por lo cual es capaz de sustituir la ozonación. Sin embargo, las membranas tienen problemas de saturación, por lo que un sistema de pretratamiento con micro filtración puede ser muy útil.

Capítulo 4: Diseño del sistema de tratamiento**4.1 Diseño del tren de tratamiento.****Consideraciones Generales.**

Cuando se diseña un tren de tratamiento de agua, éste deberá ser lógico y considerarse como un sistema y no sólo como la suma de procesos unitarios. El gasto que ha de introducirse a cada una de las etapas debe de cumplir con especificaciones que cada uno de los Procesos requiere, debiendo ser corregidos en la etapa previa, ya que el orden de los procesos si altera al producto.

El diseño deberá ser lo más confiable posible, para ello deberán adecuarse las tecnologías a las necesidades demandadas y a los recursos disponibles.

El método de diseño debe aprovechar al máximo la inversión de capital, recursos humanos y materiales disponibles, reconociendo las limitaciones que puedan existir. Ya que las condiciones socioeconómicas y técnicas difieren bastante entre los países industrializados y los países en desarrollo.

En los países industrializados, la abundancia de capital demanda para los sistemas de abastecimiento de agua un alto grado de automatización, ya que los costos de mano de obra son considerablemente más altos que en los países en desarrollo, en los que abunda la mano de obra barata y los gobiernos deben procurar la generación de empleo.

Los equipos mecanizados requieren operación especializada y mantenimiento preventivo de alto costo. Incluso vale la pena mencionar que: en caso de avería de estos equipos; las refacciones deben ser importadas del país de origen.

Configuración en el tren de tratamiento.

Para hacer más eficiente un sistema de tratamiento, se debe de reducir al máximo posible el riesgo de interrupción de producción del agua potable. El tren deberá estar conformado de Operaciones Unitarias confiables y redundantes. Confiable es aquel equipo que no presenta fallas periódicas, Redundante es un equipo adicional que permanece en estado de espera por si se presenta una falla en el otro. De esta manera se pueden hacer reparaciones sin interrumpir el flujo del vital líquido.

Una manera de aprovechar al máximo los conceptos de Confiable y Redundante, es proyectar dos trenes paralelos que estén interconectados en cada una de sus etapas; de esa manera se puede brindar el servicio de agua potable aun cuando exista una etapa fuera de servicio en cada tren, a reserva de que se presentara falla en ambas etapas de ambos trenes de manera simultánea.

Fig. 4.1 a

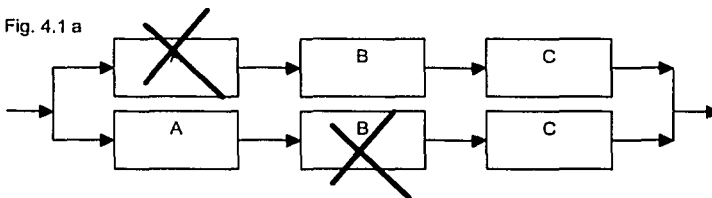
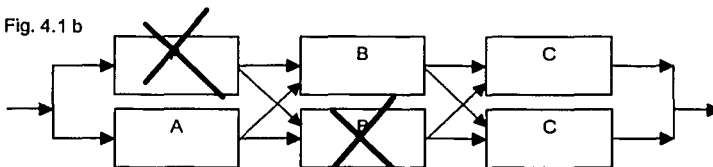


Fig. 4.1 b



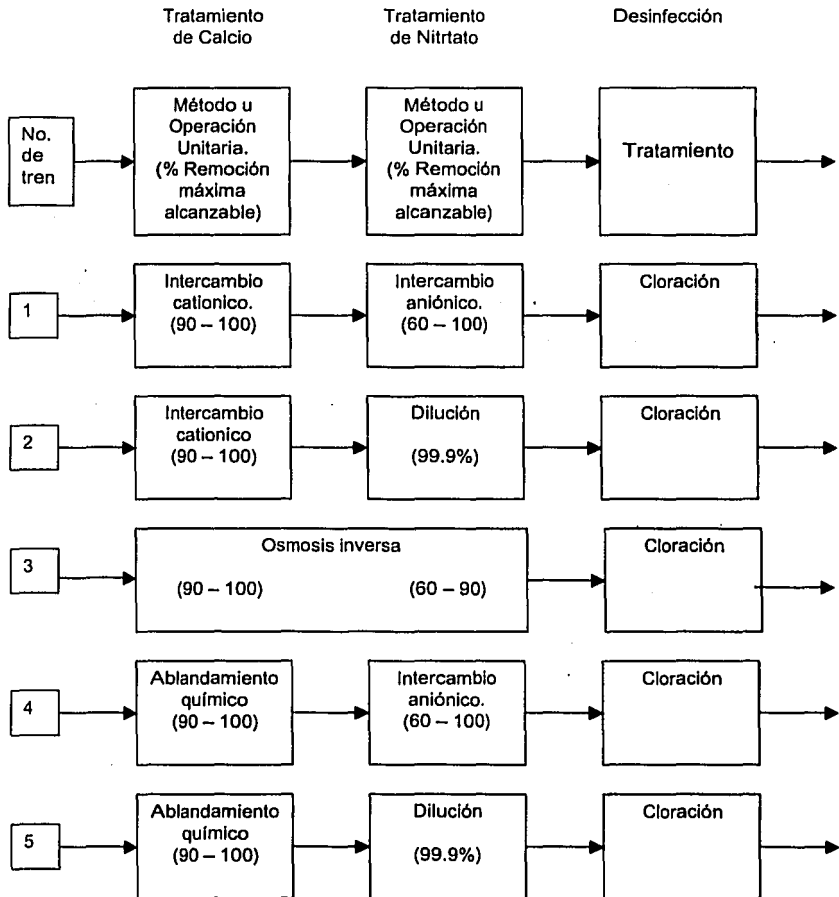
En la figura 4.1 a, se muestra que ambos trenes están inutilizados por las fallas en etapas diferentes en los trenes. En la figura 4.1 b, el tren sigue produciendo debido a que las interconexiones permiten continuar la operación cruzando el flujo de un tren a otro mediante un juego de válvulas.

La siguiente tabla contiene en el eje vertical los Métodos y Operaciones Unitarias normadas, y en el eje horizontal contiene los Elementos contaminantes fuera de norma. Se relacionan en la tabla donde se muestra con "X" para los contaminantes que son satisfactoriamente removidos para cada Método u Operaciones. En esta tabla se han considerado únicamente los porcentajes de remoción efectiva de cada uno de los Métodos y Operaciones.

Método u Operación	Dureza Calcio	Nitrato	Coliformes	Residuos del proceso	Operación y/o calidad previa.	Notas
Dilución al acueducto.		X		Ninguno	Reducir el calcio y eliminar los coliformes.	La dilución del nitrato del manantial al acueducto es satisfactoria.
Filtración convencional				Lodo	Ninguna	La remoción que brinda es insuficiente.
Cloración			X	Ninguno	Ninguna.	Mantener niveles de cloro residual.
Ozono, UV				Ninguno	Ninguna	No brinda protección posterior.
Intercambio aniónico		X		Salmuera	Ninguna	Las salmueras son aguas altamente concentradas de contaminantes, por lo que no deben ser tiradas al drenaje común.
Intercambio catiónico.	X		Ninguna.			
Osmosis Inversa	X	X				
Ablandamiento quírmico.	X			Pepas de calcita	Ninguna	Se requiere mezclado rápido, floculación y sedimentación.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

En el siguiente esquema se muestran las 5 opciones de trenes viables para atacar los elementos fuera de norma; Se muestra el nombre del Método u Operación Unitaria y el % máximo alcanzado de remoción o adecuación para el caso de la dilución.

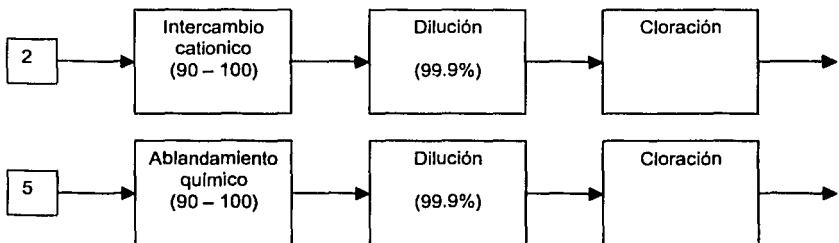


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

De las 5 opciones anteriormente mostradas, se ha de considerar que para el caso de remoción de calcio existen las opciones de Intercambio iónico, Ablandamiento químico y Ósmosis inversa. En plantas municipales es sumamente usado el Ablandamiento químico, ya que es económico y tiene como beneficio adicional la remoción de metales y materia orgánica. El intercambio iónico es menos usado que el Ablandamiento químico, ya que tiene el problema de disposición de salmueras y un ligero incremento en los niveles de sodio para el agua tratada. La ósmosis inversa es muy poco usada en plantas de aguas municipales, ya que el costo del equipo, el mantenimiento, operación y sueldos de personal capacitado que la maneje adecuadamente es costoso. Además de la dependencia de tecnología extranjera para hacer cualquier tipo de reparación o mantenimiento.

Para el caso de la remoción de nitratos se presentan las opciones de Intercambio aniónico, Ósmosis inversa y Dilución. Dado que la dilución es suficiente para abatir los niveles de nitrato en el agua potable hasta niveles aceptables, y que el nivel ligeramente elevado de 38 mg/l, no tiene reacciones aparentes con los procesos de Ablandamiento químico e Intercambio iónico, los trenes que se evaluarán serán únicamente el 2 (Intercambio Catiónico, Dilución, Cloración) y el 5 (Ablandamiento químico, Dilución, Cloración).

En el siguiente subcapítulo se analizarán el Intercambio Catiónico y Ablandamiento, ya que la Dilución es obvia y la cloración tiene que hacerse con la dosis máxima permitida, para evitar contaminación biológica en el recorrido de casi 4 kilómetros que hará el agua hasta la estación de rebombeo y rechloración de Xotepingo.



4.2 Predimensionamiento de las etapas del tren de tratamiento.

Calcular dimensiones necesarias para I. Intercambio catiónico para remoción de calcio.
II. Ablandamiento químico, III. Cloración.

I. Intercambio catiónico para remoción de calcio.

DATOS:

CARACTERÍSTICA	ENTRADA	SALIDA ESTIMADA
Gasto	150 lps	150 lps
Dureza calcio (CaCO_3)	95 mg/l (1.90 eq/l)	75 mg/l (1.50 eq)
Dureza magnesio (CaCO_3)	82 mg/l (1.64 eq/l)	65 mg/l (1.29 eq)
Dureza total (CaCO_3)	177 mg/l (3.54 eq/l)	140 mg/l (2.79 eq)
Calcio DGCOH (40% dureza Calcio)	38 mg/l	30 mg/l

Proceso de diseño para remover dureza de agua con resinas de intercambio aniónico.

Seleccionar el tipo de resina y el nivel de regeneración de ésta, a partir de los datos de los fabricantes.

Calcular la fracción de agua que debe pasar a través del lecho de la resina.

Elegir la velocidad de flujo y el tiempo de contacto.

Calcular el volumen de agua que puede ser tratado y el tiempo útil de servicio entre regeneraciones.

Calcular el volumen de resina requerida.

Determinar el tiempo de regeneración de resina.

Determinar el número de columnas en base al tiempo fuera de servicio.

Dimensionar las columnas.

Calcular el volumen y composición del agua de desecho.

- 1. Seleccionar el tipo de resina y el nivel de regeneración de ésta, a partir de los datos de los fabricantes.**

Tabla de Propiedades de una resina de estireno de Ácido fuerte.

Característica	Valores comprendidos
Peso de la resina	850 kg/m ³
Contenido de humedad	45-48 %
Rango de pH	0 -14
Temperatura máxima de operación	140 °C
Tolerancia a la turbiedad	5 NTU
Nivel máximo de Fe en el agua tolerable	5 mg/l
Velocidad de retrolavado	12-20 m/h
Tiempo de retrolavado	5-15 min
Volumen de expansión	50 %
Regenerante y concentración	NaCl, 3-12 %
Dosis de regenerante	80-320 kg/m ³
Tiempo de regeneración	5-15 min
Capacidad de intercambio	1.8-2 meq/mL
Capacidad de operación	0.9-1.4 meq/mL
Rango de operación	8-40 volúmenes.

Fuente: AWWA, Water Quality and Treatment 4th ed.pg 590.

Tabla de Capacidad suavizante en función de la regeneración.

Nivel de regeneración	Capacidad en remoción de dureza	Eficiencia de regeneración.
$\frac{kg_NaCl}{m^3_resina}$	$\frac{eq_CaCO_3}{L_resina}$	$\frac{eq_NaCl}{eq_CaCO_3}$
64	0.78	1.40
96	0.92	1.78
128	1.00	2.19
160	1.15	2.38
240	1.24	3.30
320	1.33	4.11
X	2.06	X

Fuente: AWWA, Water Quality and Treatment 4th ed.pg 590.

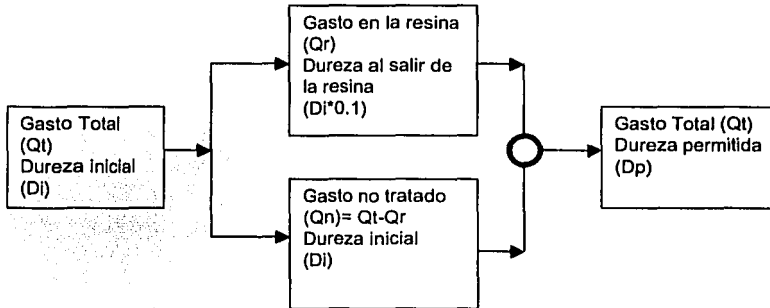
En la tabla se muestra la capacidad de regeneración en función del nivel de regeneración. Para el nivel de 240 kg NaCl/m³, existe una remoción 1.24 meq CaCO₃/ml de resina.

Se selecciono por características y disponibilidad de datos: una resina de Intercambio Catiónico de Ácido Fuerte, sujeta a una regeneración de Cloruro de Sodio (NaCl al 10%). Con un nivel estandar de regeneración de 240 kg NaCl/m³.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. Calcular la fracción de agua que debe pasar a través del lecho de la resina

Asumiendo que el agua que pasa a través de la resina alcanza una remoción del 90% de la dureza. Se hace una ecuación de balance de gasto y concentración en el punto de salida.



$$Q_r * 0.1 * D_i + Q_n * D_i = Q_t * D_p$$

$$Q_r * 0.1 * D_i + (Q_t - Q_r) * D_i = Q_t * D_p$$

$$- 0.9 * Q_r * D_i = Q_t(D_p - D_i)$$

$$Q_r = - \frac{Q_t(D_p - D_i)}{0.9 * D_i}; = - \frac{150 \text{ lps}(140 - 177) \text{ mg CaCO}_3/\text{l}}{0.9 * 177 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}}$$

$$Q_r = 35 \text{ lps}$$

3. Elegir la velocidad de flujo y el tiempo de contacto.

El rango de velocidad aceptable para el flujo dentro de la resina es de 2 a 11 lps/m³. Si tomamos un valor intermedio de 7 lps/ m³, entonces se puede calcular el tiempo de retención.

$$\text{Tiempo de retencion} = \frac{1}{\text{Velocidad}}; = \frac{\text{seg} * \text{m}^3}{71} \left(\frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \right) = 143 \text{ seg}; = 2.4 \text{ min}$$

4. Calcular el volumen de agua que puede ser tratado y el tiempo útil de servicio entre regeneraciones.

Calcular el volumen de agua que puede tratarse por volumen de resina a partir de la capacidad de intercambio de la resina 1.24 eq CaCO₃ por cada litro de resina, la dureza en el agua 177 mg CaCO₃, y la proporción de miligramos y equivalentes de CaCO₃

$$\text{Vol Agua a tratar} = \left(\frac{1.24 \text{ eq CaCO}_3}{1 \text{ l resina}} \right) * \left(\frac{1 \text{ l H}_2\text{O}}{177 \text{ mg CaCO}_3} \right) * \left(\frac{50,000 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ eq CaCO}_3} \right)$$

$$\text{Vol Agua a tratar} = 350 \text{ Volúmenes de resina.}$$

El tiempo útil de servicio para tratar agua está dado en función de los volúmenes de resina y el tiempo de retención de éstos.

$$\text{Tiempo útil} = \text{Tiempo de retención} * \text{Vol Agua a tratar}$$

$$\text{Tiempo útil} = \frac{2.4 \text{ min}}{\text{Volumen de resina}} * 350 \text{ Volumen de resina}; = 840 \text{ min}; = 14 \text{ hr.}$$

Por lo que el tiempo máximo entre regeneraciones deberá ser de 14 horas.

5. Calcular el volumen de resina requerida.

El volumen de resina que se requiere está ligado al gasto que se pretende tratar y el tiempo de detención que este requiere.

$$\text{Volumen de resina} = \text{Gasto a tratar} * \text{Tiempo de retención}$$

$$\text{Volumen de resina} = 35 \text{ l/seg} * 143 \text{ seg}; = 5000 \text{ l}; = 5 \text{ m}^3$$

6. Determinar el tiempo de regeneración de resina.

De manera estandarizada, el proceso de regeneración de resina de intercambio iónico, se divide en 4 partes: Retrolavado (5 a 15 min), Regeneración (30 a 60 min), Enjuague lento (10 a 30 min) y Enjuague rápido (5 a 15 min). Considerando un criterio pesimista para el cálculo de tiempo el máximo sería de 2 horas.

7. Determinar el número de columnas en base al tiempo fuera de servicio.

Dado que el tiempo de servicio tiene un máximo de 14 horas y el tiempo de retrolavado tiene un máximo de 2 horas. Es suficiente contar con 2 unidades que trabajen alternadamente.

8. Dimensionar las columnas.

La resina se ha de contener en columnas cilíndricas para tener un flujo más uniforme., como restricción en las dimensiones de las columnas se debe mantener una relación profundidad:diámetro, que debe estar comprendido entre (0.2:1 y 2:1)

El volumen de la resina es de 5 m³, y la profundidad propuesta es de 1 m.

$$\text{Diámetro} = \sqrt{\frac{4 * \text{Vol resina}}{\pi * \text{profundidad}}} = \sqrt{\frac{4 * 5 \text{ m}^3}{3.142 * 1 \text{ m}}} = 2.52 \text{ m}$$

La relación que existe es 1:2.52, o bien 0.4:1. Por lo que es aceptable, aunque es necesario indicar que el contenedor deberá tener el doble de altura debido a la expansión que sufre la resina durante el proceso de regeneración.

9. Calcular el volumen y composición del agua de desecho.

El agua de desecho está comprendida por la solución regenerante y el agua usada para el enjuague lento, que es donde se sueltan los excedentes del mismo. La cantidad está dada en función del tamaño de la resina, mismo que nombraremos *Volumen de resina*.

$$\text{Solución regenerante (en Vol resina)} = \frac{\text{Dureza removida/m}^3}{\text{Concentración de regenerante} \cdot \text{Peso específico solución}}$$

$$\text{Solución regenerante (en Vol resina)} = \frac{240 \text{ kg NaCl/m}^3}{0.10 \cdot 1070 \text{ kg/m}^3} = 2.24 \text{ Volúmenes de resina}$$

El enjuague lento deberá ser de agua, en la cantidad de 2 *volúmenes de resina*, que sumados a los 2.24 *volúmenes de resina* de la solución regenerante: suman 4.24 *volúmenes de resina*, que multiplicados por 5 m^3 , que es el volumen de resina calculado en el paso 5, da como resultado un total de 21.20 m^3 por cada ciclo de uso (14 hrs)

La concentración del agua residual será entonces la dureza removida más el exceso de Cloruro de Sodio.

La dureza removida por la resina es de 1.24 equivalentes de CaCO_3 por cada litro de resina, dado que esto se enjuagará en 4.24 volúmenes, o sea 4.24 litros de agua para cada litro de resina, la concentración del agua será:

$$\text{Concentración dureza agua residual} = \frac{\text{Dureza removida por unidad de volumen}}{\text{Unidades de volumen de agua residual.}}$$

$$\text{Concentración. dureza agua residual} = \frac{1.24 \text{ eq CaCO}_3/\text{l}}{4.24 \text{ l}} = 0.29 \text{ eq CaCO}_3/\text{l}$$

Haciendo la conversión de equivalentes a miligramos se tiene

$$0.29 \text{ eq CaCO}_3/\text{l} * \left(\frac{50,000 \text{ mg CaCO}_3}{1 \text{ eq CaCO}_3} \right) = 14,623 \text{ mg CaCO}_3/\text{l}$$

El exceso de Cloruro de Sodio se calcula como la capacidad de la resina multiplicado por la razón entre equivalentes de Cloruro de Sodio y Carbonato de Calcio, a lo que se le resta una capacidad de resina, y finalmente se divide entre los volúmenes de agua de residuo.

$$\text{Exceso NaCl} = \frac{\text{eq NaCl aplicado} * (\text{Factor conversión a CaCO}_3) - \text{eq CaCO}_3 \text{ removida}}{\text{Volumen de regenerante}}$$

$$\text{Exceso NaCl} = \frac{1.24 \text{ eq CaCO}_3/\text{l} * \left(\frac{3.30 \text{ eq NaCl}}{1 \text{ eq CaCO}_3} \right) - 1.24 \text{ eq CaCO}_3/\text{l}}{4.24 \text{ Vol resina}}; = 0.67 \text{ eq NaCl/l}$$

$$\text{Exceso NaCl} = 0.67 \text{ eq NaCl/l} * \left(\frac{58,500 \text{ mg NaCl}}{1 \text{ eq NaCl}} \right) = 39,195 \text{ mg NaCl/l}$$

La composición catiónica total del agua residual (salmuera) es de 0.96 equivalentes por litro: 0.29 de dureza y 0.67 de sodio. Estos cationes junto con el cloruro son los mayores constituyentes de la salmuera. Otros contaminantes menores removidos del agua serán Br^{2+} , Sr^{2+} , Ra^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} .

Dado que el período útil del intercambiador es de 14 horas, entonces la cantidad diaria (24 horas) de salmuera será:

$$\frac{21.20 \text{ m}^3}{14 \text{ horas}} * \left(\frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \right) = \frac{36.34 \text{ m}^3}{\text{día}}$$

La solución de cloruro de sodio es al 10%, por lo que se necesitarán 3.64 m^3 diarios.

II. Ablandamiento químico.

Datos del agua.

CARACTERÍSTICA	ENTRADA	SALIDA ESTIMADA
Gasto	150 lps	150 lps
Dureza calcio (CaCO_3)	95 mg/l (1.90 eq/l)	75 mg/l (1.50 eq)
Dureza magnesio (CaCO_3)	82 mg/l (1.64 eq/l)	65 mg/l (1.29 eq)
Dureza total (CaCO_3)	177 mg/l (3.54 eq/l)	140 mg/l (2.79 eq)
Calcio DGCOH (40% dureza Calcio)	38 mg/l	30 mg/l

El proceso de diseño para ablandamiento de agua potable.

1. Expresar la dureza en términos de Carbonato de Calcio.
2. Calcular la distribución de dureza.
3. Seleccionar el producto de ablandamiento químico.
4. Calcular la dosis por unidad de volumen
5. Calcular la dureza al final del proceso
6. Calcular la fracción de agua que debe tratarse
7. Calcular dureza y pH después de mezclar gastos.
8. Calcular la dosis diaria de producto
9. Dimensionar las etapa de mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración rápida.

1. Expresar la dureza en términos de Carbonato de Calcio.

Especie química	Concentración mg/L	Peso equivalente	Concentración meq/L	Concentración mg/L (CaCO ₃)
Calcio, Ca ²⁺	38	20.0	1.90	95
Magnesio, Mg ²⁺	20	12.2	1.64	82
Sodio, Na ⁺	46	23.0	2.00	100
Suma			5.54	277
Bicarbonato, HCO ₃ ²⁻	181.8	61.0	2.98	149
Cloruros, Cl ⁻	35.6	35.5	1.00	50
Sulfatos, SO ₄ ²⁻	75.0	48.0	1.56	78
Suma			5.54	277

Se asume que a un pH cercano a 7, toda la alcalinidad está en forma de bicarbonato.

2. Calcular la distribución de dureza.

La distribución de dureza en términos de mg/L (CaCO₃) es la siguiente:

Dureza Total = Dureza de calcio + Dureza de Magnesio; =95+82; = 177 mg/L (CaCO₃)

Alcalinidad = Alcalinidad de bicarbonato; = 149 mg/L (CaCO₃)

Dureza Carbónica = Alcalinidad ; = 149 mg/L (CaCO₃)

Dureza no Carbónica = Dureza total – alcalinidad; = 177-149; = 28 mg/L (CaCO₃)

3. Seleccionar el producto de ablandamiento químico

Los procesos para ablandamiento son:

1. Ablandamiento parcial con cal	Remueve únicamente dureza carbónica de calcio. (pH 9.5)
2. Ablandamiento por exceso de cal	Remueve dureza carbónica de calcio y magnesio. (pH 11)
3. Ablandamiento por Cal - Soda ceniza.	Remueve dureza carbónica y no carbónica de Calcio. (pH 10.6)
4. Ablandamiento por Sosa Cáustica.	Se puede usar como sustituto de Cal para los 3 casos anteriores. (Comparada con la Cal: produce menos lodos, menos problemas de polvos químicos, cuesta 8 veces más y es un peligro potencial a la salud de los operadores)
5. Ablandamiento por Cal y Sosa cáustica.	Se usa como alternativa del tratamiento 4, sirve para reducir costos.

No se pretende reducir la dureza de magnesio, debido a que el problema que se ataca es la dureza de Calcio. Por lo tanto se utilizará únicamente cal para suavizar el agua.

4. Calcular la dosis por unidad de volumen

a. Estimar la concentración de ácido carbónico.

$$[\text{HCO}_3^-] = \text{Alcalinidad (HCO}_3^-) \text{ mg/l} * \left(\frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \right) * \left(\frac{1 \text{ mol}}{61 \text{ g(HCO}_3^-)} \right) = 2.98 * 10^{-3} \text{ mol/l}$$

b. Calcular las constantes de disociación del ácido carbónico a 25° C. (Formula de Rossum y Merrill) . $T = ^\circ K = ^\circ C + 273$.

$$K_1 = 10^{14.8435 - 3404.71/T - 0.032786 \cdot T}; = 10^{14.8435 - 3404.71/298 - 0.032786 \cdot 298}; = 4.45 \cdot 10^{-7}$$

$$K_2 = 10^{6.498 - 2909.39/T - 0.02379 \cdot T}; = 10^{6.498 - 2909.39/289 - 0.02379 \cdot 289}; = 4.42 \cdot 10^{-11}$$

c. Calcular el índice α_1 .

$$[H^+] = 10^{-pH}$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{\frac{[H^+]}{K_1} + 1 + \frac{K_2}{[H^+]}}; = \frac{1}{\frac{10^{-7}}{4.45 \cdot 10^{-7}} + 1 + \frac{4.42 \cdot 10^{-11}}{10^{-7}}}; = 0.82$$

d. Determinar la concentración total de especies carbónicas.

$$C_T = \frac{[HCO_3^-]}{\alpha_1}; = \frac{2.98 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}}{0.82}; = 3.63 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

e. Calcular la concentración de ácido carbónico

$$C_T = [H_2CO_3^*] + [HCO_3^-] + [CO_3^{2-}] \approx [H_2CO_3^*] + [HCO_3^-]$$

$$[H_2CO_3^*] = C_T - [HCO_3^-] = 3.63 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l} - 2.98 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}; = 0.95 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

o bien

$$[H_2CO_3^*] = 0.95 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}; = 95 \text{ mg/l (CaCO}_3\text{)}$$

f. Cálculo de la dosis de cal.

Dosis de cal = $[H_2CO_3^*]$ mg/l ($CaCO_3$) + Dureza carbonica de calcio mg/l ($CaCO_3$)

Dosis de cal = 95 mg/l + 95 mg/l; = 190 mg/l ($CaCO_3$)

o bien

Dosis de cal = 190 mg/l ($CaCO_3$) * $\left(\frac{37 \text{ mg/l } (Ca(OH)_2)}{50 \text{ mg/l } (CaCO_3)} \right)$ = 140 mg/l ($Ca(OH)_2$)

5. Calcular la dureza del agua tratada por ablandamiento

La dureza al final será la suma de la dureza de magnesio, más el límite práctico de remoción de $CaCO_3$, el cual es 30 mg/l.

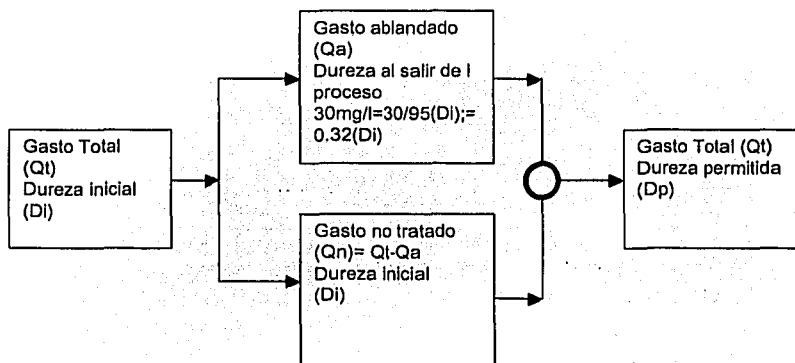
Dureza agua tr = Dureza Mg + Límite dureza $CaCO_3$

Dureza agua tr = 82 mg/l ($CaCO_3$) + 30 mg/l ($CaCO_3$); = 112 mg/l ($CaCO_3$)

El parámetro de calcio DGCOH equivalente al 40% de la dureza de calcio será de $30 * (0.40)$; = 12 mg/l.

El pH será aproximadamente 9.5

6. Calcular el gasto de agua que debe ablandarse.



Cálculo con los valores y límite permisible de dureza de calcio ($D_p=75\text{mg/l}$)

$$Q_a * 0.32 * D_i + Q_n * D_i = Q_t * D_p$$

$$Q_a * 0.32 * D_i + (Q_t - Q_a) * D_i = Q_t * D_p$$

$$-0.68 * Q_a * D_i = Q_t(D_p - D_i)$$

$$Q_a = -\frac{Q_t(D_p - D_i)}{0.68 * D_i} ; = -\frac{150\text{ lps}(75 - 95)\text{mg CaCO}_3/\text{l}}{0.68 * 95\text{mg CaCO}_3/\text{l}}$$

$$Q_a = 46.44 \text{ lps}$$

7. Revisar dureza y pH después de mezclar el gasto ablandado y el no tratado.

Sumando los gastos y concentraciones se tiene:

$$\text{Dureza Calcio} = \frac{46.44 \text{ lps} \cdot (30 \text{ mg/l}) + 103.56 \text{ lps} \cdot (95 \text{ mg/l})}{150 \text{ lps}}; = 74.86 \text{ mg/l (CaCO}_3\text{)}$$

$$\text{Dureza Magnesio} = 82 \text{ mg/l (CaCO}_3\text{)}$$

$$\text{pH final} = \frac{46.44 \text{ lps} \cdot (9.5) + 103.56 \text{ lps} \cdot (7.3)}{150 \text{ lps}}; = 7.98$$

8. Calcular la dosis diaria de producto y la cantidad de lodo a remover.

La cantidad diaria de cal que ha de suministrarse es el producto del gasto en un día por la dosis requerida.

Suponiendo que los lodos contendrán carbonatos precipitados equivalentes a la cantidad de cal dosificada, la cantidad de ácido carbónico y la dureza de carbonato de calcio.

$$\begin{aligned} \text{Dosis cal diaria} &= 140 \text{ mg/l (Ca(OH)}_2\text{)} \cdot 46.5 \text{ lps} \cdot \left(\frac{86,400 \text{ seg}}{\text{día}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ Ton}}{10^9 \text{ mg}} \right) \\ &= 0.56 \text{ Ton (Ca(OH)}_2\text{) /día} \end{aligned}$$

La cantidad de lodo producido es experimentalmente determinado como 2 a 4 veces el peso de la dureza removida. Se remueven 65 mg/l de dureza. Factor promedio 3.

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de lodos} &= \text{Dureza removida/litro} \cdot \text{Gasto diario} \cdot \text{Factor exp.} \\ &= 65 \text{ mg/l} \cdot \left(\frac{1 \text{ Ton}}{1 \cdot 10^9 \text{ mg}} \right) \cdot 46.5 \text{ l/s} \cdot \left(\frac{86400 \text{ seg}}{\text{día}} \right) \cdot 3; = 0.78 \text{ Ton/día} \end{aligned}$$

9. Dimensionar las etapa de mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración rápida.

Etapa de mezcla.

Criterios generales:

Energía de mezcla (G) 700 -1000 s^{-1} , valor medio (850 s^{-1})

Tiempo de mezcla 2 – 5 segundos, valor medio (3.5 seg)

$$V = Q * t; = 0.046 \text{ m}^3 * 3.5 \text{ seg}; = 0.16 \text{ m}^3$$

$$P = \text{Potencia (Watts)} \text{ o } \left(\frac{\text{kg} * \text{m}^2}{\text{seg}^3} \right)$$

G = Gradiente de energía (s^{-1})

$$\mu = \text{viscosidad dinámica a } 25^\circ\text{C (0.0089 poises)} \text{ o } \left(0.0089 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}} \right)$$

V = volumen (m^3)

$$P = G^2 (\mu * V); = (850 s^{-1})^2 * \left(0.0089 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}} \right) * 0.16 \text{ m}^3; = 1,029 \text{ Watts}$$

Floculación

Criterios generales de floculación previa a la sedimentación:

Energía (G) : 10 – 60 s^{-1} , valor medio (35 s^{-1})

Tiempo de retención y mezcla: 1000 – 1500 segundos, v. M. (1250 seg)

Profundidad y ancho de 3 a 5 m.

$$V = Q * t; = 0.046 \text{ m}^3 * 1250 \text{ seg}; = 57.50 \text{ m}^3$$

$$P = \text{Potencia (Watts)} \text{ o } \left(\frac{\text{kg} * \text{m}^2}{\text{seg}^3} \right)$$

$$G = \text{Gradiente de energía (s}^{-1}\text{)}$$

$$\mu = \text{viscosidad dinámica a } 25^\circ\text{C (0,0089 poises)} \text{ o } \left(0.0089 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}} \right)$$

$$V = \text{volumen (m}^3\text{)}$$

$$P = G^2 (\mu * V); = (35\text{s}^{-1})^2 * \left(0.0089 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}} \right) * 57.50 \text{ m}^3; = 626.90 \text{ Watts}$$

Sedimentación

Criterios de diseño para un tanque rectangular de sedimentación:

Tamaño del flóculo 1 a 3 mm.

Velocidad de sedimentación de flóculos de cal: 0.4 a 1.2 mm/s

Tiempo de retención 1.5 a 4 horas

Profundidad 3 a 4.5 metros.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$\text{Volumen} = Q \cdot T_r = 0.046 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1.5 \text{ h} \cdot \left(\frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) = 248.4 \approx 250 \text{ m}^3$$

profundidad = 3.0 m

ancho = 6.0 m

$$\text{Area transversal} = \text{profundidad} \cdot \text{ancho} = 3.0 \text{ m} \cdot 6.0 \text{ m} = 18.0 \text{ m}^2$$

$$\text{Longitud} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area transversal}} = \frac{250 \text{ m}^3}{18.0 \text{ m}^2} = 13.8 \approx 14 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad horizontal} = \frac{\text{Gasto}}{\text{Area transversal}} = \frac{0.046 \text{ m}^3/\text{s}}{18.0 \text{ m}^2} = 0.0026 \text{ m/s}$$

Velocidad sedimentación floculos cal = 0.004 m/s

$$\begin{aligned} \text{Distancia precipitación mayor} &= \text{profundidad} \cdot \left(\frac{\text{Velocidad horizontal}}{\text{Velocidad sedimentación floculos cal}} \right) \\ &= 3.0 \text{ m} \cdot \left(\frac{0.0026 \text{ m/s}}{0.004 \text{ m/s}} \right) = 1.95 \approx 2 \text{ m} \end{aligned}$$

Se deberán utilizar 2 tanques paralelos independientes para dar mantenimiento a una unidad mientras se limpia manualmente la otra.

Recarbonatación

El proceso de recarbonatación tiene la finalidad de bajar el pH, este proceso no será necesario debido a la dilución con el gasto no tratado por ablandamiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Filtración

Criterios de diseño para filtración después de estabilizar el pH.

Lecho de filtración rápida

Velocidad de filtración 10 a 15 m/h.,

Velocidad de retrolavado de 50m/h

Compuesto de dos medios.(Antracita y Arena) ,

Antracita:

Profundidad 0.50 m

Tamaño efectivo. 1.0 a 1.1 mm

Coefficiente de uniformidad < 1.5

Peso específico relativo 1.67 a 1.7

Arena:

Profundidad 0.25 m

Tamaño efectivo. 0.55 a 0.6 mm

Coefficiente de uniformidad < 1.5

Peso específico relativo > 2.63

$$\text{Area filtro} = \frac{Q}{\text{vel}} = \frac{0.045 \text{ m}^3/\text{seg}}{12.5 \text{ m/h} * \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ seg}} \right)} = 142.56 \text{ m}^2$$

El tanque del filtro será de concreto, las dimensiones de cada lado serán de 12 metros , y la profundidad sería de 2 metros incluyendo el espacio que debe dejarse para la base de grava gruesa, la tubería del fondo para retrolavado, la ligera expansión del medio durante la limpieza y las canaletas superiores de enjuague.

III. Cloración.

Las consideraciones de diseño son:

· Tiempo de contacto de cloro residual. (C^*t) concentración y tiempo.

· La formación de sub-productos del cloro y la cantidad de los mismos.

Condiciones ideales de cloración ph (6 a 7), temperatura de 20 a 25°C, tiempo de contacto de 30 minutos y cloro residual en 0.5 a 0.8 mg/l.

El hipóclorito de sodio está formado de cloro e hidróxido de sodio diluido en agua, se distribuye comercialmente en concentraciones de 12 a 15% de Cl_2 disponible, 1% corresponde a 10 mg/l de cloro disponible..

El término *cloro libre disponible* se usa para referirse a la suma de concentraciones de: cloro molecular (Cl_2), ácido hipocloroso (HClO), y el ión hipoclorito (ClO^-), cada uno expresado en términos de cloro disponible.

Cuando el cloro reacciona con amoníaco y las aminas, formará las cloraminas, las cuales aunque suministren una acción desinfectante suficiente razonable, tiene menos probabilidad de reaccionar con otros materiales que pueden estar presentes. El cloro combinado con las cloraminas es denominado *cloro combinado disponible*. En este caso particular, la concentración de nitrógeno amoniacal es muy baja .017 mg/l, por lo que se espera que la formación inmediata de cloraminas sea relativamente baja.

Cloro residual es la suma del cloro libre disponible y cloro combinado disponible.

La NOM-127-SSA1-1994 indica que el agua potable debe contener Cloro residual libre en cantidades comprendidas entre el rango de 0.2 a 1.50 mg/l, Las recomendaciones que se manejan por organismos internacionales y, que organismos como la DGCOH adoptan es de 0.5 a 0.8 mg/l de cloro residual.

El tiempo de contacto es el trayecto desde que se aplica la cloración en la salida del manantial hasta el punto de bombeo Xotepingo. Del manantial al acueducto se estima una obra de 650 metros de longitud, con 30.5 cm de diámetro, por lo que el tiempo es de casi 5 minutos, de ahí se incorpora al acueducto Xochimilco-Xotepingo, que está actualmente trabajando por gravedad con una velocidad de 1.2 m/s. La longitud desde el punto más cercano al manantial hasta la estación de bombeo es de casi 4 kilómetros, por lo que el recorrido será de 55 minutos más, lo que sumado a los 5 minutos anteriores es casi una hora.

La dosis de cloro será de 0.8 mg/l debido a lo largo del trayecto.

El hipoclorito de sodio comercial tiene comúnmente 13% disponible, lo que equivale a 130 mg/l, la dilución que se hará es:

Proporción Cloruro de Sodio/Agua

$$\frac{\text{Dosis cloro efectivo al agua}}{\text{Concentración comercial}} = \frac{0.8 \text{ mg/l}}{130 \text{ mg/l}} = 0.0062 \frac{\text{litros Hipoclorito Sodio}}{\text{litros agua}}$$

Dosis diaria Cloruro de Sodio (NaClO)

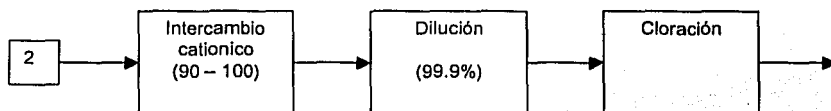
$$\text{Dosis diaria de NaClO} = \text{Proporción (NaClO/H}_2\text{O)} * \text{Gasto diario}$$

$$0.0062 (1 \text{ NaClO/l H}_2\text{O}) * 12'960,000 \text{ l/día} = 80,352 \frac{\text{Litros NaClO}}{\text{día}}$$

4.3 Análisis de la eficiencia teórica del tratamiento

A continuación se hace un análisis teórico de la eficiencia de los tratamientos propuestos, la intención es mostrar la cantidad de agua que es realmente tratada en el proceso y la cantidad de agua que es desechada durante el mismo debido a la generación de salmueras, limpieza de filtros, etc. Los insumos y residuos generados, así como una ligera aproximación al área requerida.

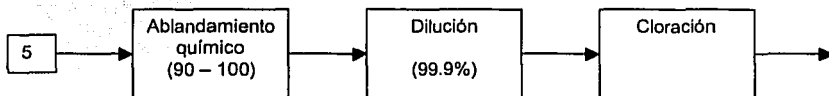
El primer tren propuesto es intercambio catiónico – dilución – cloración.



Etapa	% desperdicio agua	% eficiencia promedio.
Intercambio catiónico.	2	98
Dilución	0	100
Cloración	0	100
Total	2	98

Etapa	Insumos	Residuos	Área mínima.
Intercambio catiónico.	Solución regenerante de Cloruro de Sodio (NaCl) Vol= 3.64 m ³ /día	36.4 m ³ de salmuera alta en concentración de Cloruro de Sodio (NaCl) = 39.2 g/l y Carbonato de Calcio (CaCO ₃)=14.6 g/l	20 m ²
Dilución	-	-	En la tubería.
Cloración	Hipoclorito de Sodio. Vol = 80.35 m ³	-	15 m ²

El segundo tren propuesto de ablandamiento químico (mezcla-floculación-sedimentación-filtración), dilución y cloración.



Etapa	% desperdicio agua	% eficiencia promedio.
Mezcla	0	100
Floculación	0	100
Sedimentación	0.2	99.8
Filtración rápida dos medios	5	95.0
Dilución	0	100
Cloración	0	100
Total	5.2	94.8

Etapa	Insumos	Residuos	Área mínima.
Mezcla	Cal $(Ca(OH)_2)$ Peso = 560 kg/día	-	0.60 m ²
Floculación	-	-	32 m ²
Sedimentación	-	Carbonato de Calcio $(CaCO_3)$, Peso = 780 kg/día	168 m ²
Filtración rápida dos medios	-	Salmuera alta en Sólidos suspendidos, Vol = 1.3 m ³	150 m ²
Dilución	-	-	En la tubería
Cloración	Hipoclorito de Sodio. Vol = 80.35 m ³	-	15 m ²

Conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones

Acerca del manantial "Esfuerzo"

El agua del manantial "Esfuerzo" es subterránea, por lo que no es de extrañarse la buena calidad que esta tiene, aunque es alta en dureza, lo cual es propio de aguas subterráneas, y tiene una concentración ligeramente alta de nitratos, que obedece a la presencia de contaminación orgánica, misma que es corroborada con la presencia de coliformes fecales. El agua es de gran calidad de origen, pero lamentablemente estropeada por las filtraciones de las letrinas de los colonos de Santa Ursula Coapa.

Lo aprendido en la Tesis.

El tema de agua potable es sumamente extenso, dentro de este tema, es muy interesante e indispensable conocer algunas de las normas que se han hecho con el fin de establecer límites permisibles de calidad y establecer los criterios para plantear los tratamientos para potabilizarla. El agua libre de impurezas sólo existe en los laboratorios, por lo que es imposible encontrar fuentes de abastecimiento de agua potable que estén exentas de otros elementos, quedando como responsabilidad de los ingenieros el hallar las fuentes de mejor calidad y aplicar los métodos de potabilización necesarios para lograr una calidad óptima.

Los métodos de tratamientos de potabilización que existen son muchísimos, cada uno está enfocado a remover a un contaminante o bien un grupo de contaminantes, la mayoría de los métodos se ha ido comprendiendo y perfeccionando con la experiencia, ya que los planteamientos teóricos son tan sólo una aproximación a la solución, pero hace falta realizar experimentación en modelos a escala usando muestras del agua que se va a tratar para lograr una remoción efectiva de los contaminantes que desean

removeirse, de esa manera se puede observar como trabajan los método por separado y en sistema, ya que generalmente se diseñan procesos en serie.

La normatividad es necesaria para dar pautas a seguir, ya que existen, como ya se comentó, muchos métodos y un gran número de contaminantes en el agua. La "NOM-127-SSA1-1994", es una guía que contiene los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes en el agua y los métodos que deben usarse para remediarlos, en la mayoría de los casos se presentan varias opciones.

Las cosas aprendidas en la escuela y aplicadas en la Tesis.

A través de este trabajo tuve la oportunidad de aplicar conocimientos adquiridos durante la carrera y la formación integral adquirida en la Universidad me permitió abrimme camino para investigar y muchas veces deducir cosas que durante el desarrollo del trabajo se fueron presentando. Me fue claramente útil y de aplicación inmediata lo aprendido en los últimos semestres de la carrera, en materias relacionadas con hidráulica e ingeniería sanitaria, pero no podría menospreciar la ayuda de las lecciones de materias abstractas como los cursos matemáticas de los primeros semestres.

Los alcances de la Tesis.

El objetivo planteado por escrito en la Tesis es: "Proponer un sistema de tratamiento para la potabilización del manantial "Esfuerzo", para aprovecharlo en el abastecimiento de agua potable en la Delegación Coyoacán". El objetivo se cumple, aclarando que se hace en el sentido teórico y no experimental.

Recomendaciones

Acerca del manantial "Esfuerzo"

El manantial debe ser aprovechado a la brevedad posible porque no es congruente tirar esta agua al drenaje mientras enfrentamos un problema de escasez de agua en la ciudad de México. Entre los dos sistemas propuestos al final del capítulo 4: (Intercambio catiónico-dilución-cloración) y (mezcla-floculación-sedimentación-filtración-dilución-cloración), yo me inclinaría más por el segundo, es decir, por el sistema de ablandamiento químico, ya que la tecnología es más simple y así permitiría la operación, mantenimiento y adecuaciones futuras, sin necesidad de hacer grandes gastos ni tener que recurrir a consultores extranjeros expertos en la materia.

El producto que desecha el sistema de intercambio catiónico es agua con altas concentraciones de contaminantes, por lo que no pueden arrojarse al drenaje y requiere canalizarse de manera diferente: ya sea verterla al mar o bien un proceso de desecación para separar los sólidos y posteriormente neutralizarlos. A diferencia del sistema de coagulación química, que tiene como desecho pepitas de Carbonato de calcio (CaCO_3) con algunas impurezas, estas pepitas no representan riesgo a la salud, e incluso se pueden vender a la industria química.

Antes de tomar una decisión, es importante considerar factores económicos sin descuidar el diseño y la seguridad. La Agencia Estadounidense de Protección Ambiental presentó, a través de una publicación de 1999, una rutina para presupuestar sistemas de tratamiento de aguas. Auxiliándose de dicha publicación, se puede observar que el Costo de Construcción es menor para el Sistema de Intercambio catiónico, pero los costos de operación y mantenimiento son mucho menores para el sistema de Ablandamiento químico. El Costo Total resulta ser más conveniente para la opción de Ablandamiento químico a partir del 3^{er} o 4^o año de operación. Considerando que el tiempo de vida útil de éste es mayor y menos costoso por lo que resulta más conveniente de manera técnica y económica también; el sistema de Ablandamiento químico.

Bibliografía

T. H. Y. Tebbutt.

Fundamentos de control de la calidad del agua,
5ª reimpresión, México, Limusa, 1998

Departamento de sanidad del Estado de Nueva York
Manual de tratamiento de aguas
18ª reimpresión. México, Limusa, 1999

The American Works Association Inc.
Control de calidad y tratamiento del agua
"Manual de abastecimientos públicos de agua"
tr. Federico de Lorca
Madrid, IEA, 1975

Metcalf & Eddy
Ingeniería Sanitaria
"Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales"
tr. Juan de Dios Trillo Montsoriu
2ª ed., España, Imprenta juvenil, 1985

Romalho, Rubens Sette
Tratamiento de aguas residuales
Barcelona, Reverté, 1996

Romero Rojas, Jairo Alberto
Calidad del agua
2ª ed. México, Alfaomega, 1999

Terence J. McGhee
Abastecimiento de agua y alcantarillado
"Ingeniería ambiental"
Tr. Daniel Antonio Agudelo Quigua
6ª ed, México, McGraw-Hill, 1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Gobierno del Distrito Federal.
Secretaría de Obras y Servicios.
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.
Plan de acciones hidráulicas 2001-2005, Delegación Coyoacán.

Comité de Academias para el Estudio de Suministro de Agua de la Ciudad de México.

Water Science and Technology Board. Commission on Geosciences,
Environment, and Resources.
National Research Council. y
Academia de la Investigación Científica, A.C.
Academia Nacional de Ingeniería, A.C.
El suministro de agua de la Ciudad de México
"Mejorando la Sustentabilidad"
1ª ed.. Washington, D.C, USA NATIONAL ACADEMY PRESS, 1995

Christopher R. Schulz y Daniel A. Okun.
Tratamiento de aguas superficiales para países en desarrollo.
Tr. Rodolfo Navarro Salas
México, Limusa 1990.

American Water Works Association
Water Quality and Treatment
4th ed., New York, McGraw-Hill, 1990

Kawamura, Susumu
Integrated Design of Water Treatment Facilities
USA, John Wiley & Sons, 1991

American Water Works Association
Water Treatment Plant Design
2nd ed, USA, McGraww-Hill, 1990

NOM-127-SSA1-1994," Salud ambiental, Agua para uso y consumo humano.
Límites permisibles de la calidad y tratamientos a que debe someterse el agua
para su potabilización"

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN