

**PURIFICACIÓN DE AGUA POTABLE EN LA INDUSTRIA EMBOTELLADORA
POR MEDIO DE INTERCAMBIADORES IÓNICOS**

**AUTOR
CARLOS JÚLIAN ROJAS DIAZ
COD: 1.098.761.981**

DIPLOMADO EN TRATAMIENTO AVANZADO DEL AGUA

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
INGENIERIA AMBIENTAL
2019**

**PURIFICACION DE AGUA POTABLE EN LA INDUSTRIA EMBOTELLADORA POR
MEDIO DE INTERCAMBIADORES IONICOS**

**AUTOR
COD: 1.098.761.981**

**TRABAJO DE MONOGRAFIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO
AMBIENTAL**

**DIRECTOR
ING. ORLANDO GARCIA**

DIPLOMADO EN TRATAMIENTO AVANZADO DEL AGUA

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
INGENIERIA AMBIENTAL
2019**

Agradecimientos

Principalmente agradezco a Dios quien nos da la oportunidad día tras día de luchar por nuestras metas y cumplir nuestros sueños y en mi caso por obtener el título de ingeniero ambiental. Agradezco inmensamente a mi padres y hermanos que me formaron para convertirme en la persona que hoy soy, a su vez agradezco su apoyo económico y moral que siempre creyeron y confiaron en mi de que por medio de la formación integral que ofrece nuestra universidad de pamplona poder obtener un título y desempeñarme como profesional.

Al microbiólogo Jorge Luis mi director de monografía, quien me brindó su apoyo y experiencia A mi director de programa Msc. Julio Isaac Maldonado por el proceso y aprendizaje durante toda la carrera.

A todos los demás docentes que me instruyeron y me aportaron todos sus conocimientos y así convertirme en una persona íntegra, proactiva, autónoma y poder diferir en amplios temas que tiene espacio en el área ingenieril.

A mis amigos, colegas y demás familiares que de alguno u otra manera me Apoyaron a lo Largo de esta etapa universitaria.

Contenido

Introducción	6
Capítulo 1	9
Materiales y métodos	9
1.1. Método	9
1.2. Fases de la investigación	9
Capítulo 2	10
Importancia del tratamiento de agua para el consumo humano	10
2.1. Reseña histórica.....	10
2.2. Contaminación del agua en el contexto mundial	12
2.2.1. Estándares que debe poseer la calidad del agua	14
Capítulo 3	21
Potabilización del agua embotellada para el consumo humano mediante el uso de intercambiadores iónicos.....	21
3.1. Aspectos importantes a tener en cuenta en el proceso de potabilización de agua para el consumo humano.....	21
3.1.1. Criterios a tener en cuenta en la potabilización del agua	22
3.1.2. Proceso ionizado del agua en las empresas embotelladoras de agua	27
3.2. Normas que se deben tener en cuenta al momento de tratar el agua:.....	29
3.3. Tipos de plantas de purificación.....	30
3.3.1. Filtración	31
3.3.2. Mecanismos de remoción.....	32
3.3.3. Descripción de la filtración	32
3.3.4. Sistemas de filtración	32
3.3.5. Variables del proceso de filtración.....	33
3.4. Intercambio Iónico	34
Capítulo 4	44
Investigar en relación al uso de intercambiadores iónicos en una empresa embotelladora localizada en la ciudad de Cúcuta	44
4.1. Identificación y contexto de la empresa.....	44
4.2. Descripción del proceso ionizador en la empresa para la potabilización del agua a embotellar	46

4.2.1. Captación de agua del acueducto	46
4.2.2. Bombeo a los equipos de filtración.	46
4.2.3. Filtro de sedimentos.	47
4.2.4. Filtro de carbón activado.	47
4.2.5. Suavizador.	47
4.2.6. Sistema de osmosis inversa.	47
4.2.7. Posfiltro de Carbón en bloque:.....	48
4.2.8. Esterilizador de agua por Luz Ultravioleta:	48
4.2.9. Captación de agua purificada.	48
4.2.10. Bombeo final.	49
4.2.11. Esterilizador de luz ultravioleta.....	49
4.2.12. Filtro pulidor.	50
4.2.13. Lavado exterior.	50
4.2.14. Lavado interior.	50
4.2.15. Llenado.....	50
Capítulo 5	55
Conclusiones	55
Referencias bibliográficas	57

Lista de tablas

Tabla 1 Contaminantes primarios y sus límites máximos para agua potable.....	14
Tabla 2 Estándares primarios de potabilidad	16
Tabla 3 Contaminantes y su eliminación en aguas a potabilizar.....	17
Tabla 4 Modelo de resinas comúnmente en mercado.	42
Tabla 5 Aspectos a considerar en el proceso de producción Agua Mash Fresh	51

Lista de figuras

Figura 1 Esquema básico del proceso de purificación del agua.....	22
<i>Figura 2</i> Potabilización del agua en una planta embotelladora a través de intercambiadores iónicos	29
Figura 3 Ionización de agua	34
Figura 4 Instalación del ablandador.	43
Figura 5 Etiqueta Marca del Producto: “Agua Max Fresh”	44
Figura 6 Zona de empaque del producto	45
Figura 7 Esquema proceso Productivo Agua Max Fresh.....	46
Figura 8 Sistema Scada para medición de nivel.....	49
Figura 9 Diagrama proceso de producción	52
Figura 10 Tanques y filtros de intercambiadores iónicos	53

Introducción

Se justifica la siguiente monografía, teniendo en cuenta la importancia del tema propuesto, especialmente dentro del diplomado de “Tratamiento Avanzado del Agua”, puesto que permite investigar e indagar desde un punto de vista teórico todo lo relacionado con los intercambiadores iónicos. Entendiéndose estos como intercambios de iones entre dos electrolitos o entre una disolución de electrolitos y un complejo. En la mayoría de los casos se utiliza el término para referirse a procesos de purificación, separación, y descontaminación de disoluciones que contienen dichos iones, empleando para ello sólidos poliméricos o minerales dentro de dispositivos llamados intercambiadores de iones. La investigación, para el desarrollo y complemento de la presente monografía se realizará mediante el método bibliográfico. Es bibliográfico porque se consultaran una serie de documentos tales como libros revistas, artículos científicos, diccionario y otros documentos así como información de internet relacionado con el tema de investigación con el fin de sustentar la base teórica del estudio, el cual tiene como objetivo elaborar una reseña histórica de los intercambiadores iónicos del agua teniendo en cuenta el pasado, presente y futuro, así como la forma en que estos han ido avanzado de la mano con el desarrollo científico y tecnológico..

La idea principal es investigar desde el punto de vista documental artículos científicos, trabajos de investigación y teorías planteadas alrededor de los intercambiadores iónicos en la potabilización de aguas y la efectividad de las mismas. De esta forma, se estudiarán las características más relevantes del manejo de las aguas mediante intercambiadores iónicos y el respectivo sistema de tratamientos que pueden ser usados de acuerdo con su origen de producción, así como verificar mediante los aportes científicos la efectividad de los mismos en el agua embotellada para el consumo humano.

En este mismo orden de ideas, la monografía estará orientada por un objetivo general y tres específicos. En cuanto al general se direcciona en cuanto “Analizar la potabilización de aguas por medio de intercambiadores iónicos del agua”, de igual forma se plantean entre objetivos específicos los siguientes:

Determinar la importancia de los intercambiadores iónicos en el tratamiento de agua para el consumo humano.

Describir la potabilización del agua embotellada para el consumo humano mediante el uso de intercambiadores iónicos

Investigar en relación al uso de intercambiadores iónicos en una empresa embotelladora localizada en la ciudad de Cúcuta.

Capítulo 1

Materiales y métodos

1.1. Método

Se utilizó el método cualitativo acompañado de un tipo de investigación documental, según Balestrini, (2006) el estudio documental, como punto de partida en el análisis de las fuentes documentales, se puede realizar mediante una lectura general de los textos, se iniciará la búsqueda y observación de los hechos presentes en los materiales escritos consultados que son de interés para esta investigación. En este mismo orden de ideas el precitado autor considera que algunas de las técnicas operacionales para el manejo de las fuentes documentales, que se emplearán, a fin de introducir los procedimientos y protocolos instrumentales de la investigación documental en el manejo de los datos ubicados en éstas, requeridos en la presente investigación, son: de subrayado, fichaje, bibliográficas, de citas y notas de referencias bibliográficas y de ampliación de texto, construcción y presentación de índices, presentación de cuadros, gráficos e ilustraciones, presentación del trabajo escrito, y otras.

1.2. Fases de la investigación

La primera fase del presente estudio tuvo como fin la consulta de artículos y selección de los mismos por orden temático y prioridad en cuanto al tema y problema planteado en el sector industrial como lo es la importancia del uso de los intercambiadores iónicos en el tratamiento de agua embotellada para el consumo humano,

En la segunda fase se procedió a la elaboración de la monografía, para ello se aplicó el estudio descriptivo de análisis documental, mediante el cual se logró apreciar el uso de los intercambiadores iónicos como herramienta importante en la potabilización de aguas.

En este sentido, la presente monografía, se realizó desde un punto de vista teórico en donde se presenta el desarrollo de los conceptos y temas referentes al tema planteado, encontrando diferentes perspectivas desde la teoría y la práctica en lo referente a la utilización de intercambiadores iónicos en la purificación de aguas.

Capítulo 2

Importancia del tratamiento de agua para el consumo humano

2.1. Reseña histórica

Históricamente el hombre ha recurrido a la naturaleza para satisfacer las necesidades básicas para su supervivencia. La forma de vida nómada se basaba en una economía recolectora; en actividades como la caza, la pesca y la recolección, que no suponían ser una amenaza para el medio ambiente. Con el paso del tiempo el alejamiento de la humanidad de la vida salvaje, trae consigo una transformación de la sociedad, convirtiéndola fundamentalmente en sedentaria. Consigo viene la llamada Revolución Agrícola donde nace el control del ser humano sobre su propio abastecimiento de alimentos.

Núñez y otros, (2014) señalan que en la Edad Media se basó principalmente por un estilo de vida rural, se presencia el nacimiento de una incipiente vida urbana, donde comienzan a aparecer los primeros indicios de contaminación, no obstante, su impacto en el ambiente constituía ser tan sólo una simple amenaza a nivel local. En la esta época ya los seres humanos estaban sufriendo las consecuencias de la contaminación debido a la poca salubridad que existía en los alrededores de las poblaciones donde no existía un control sanitario, tal como se registró en la historia la famosa peste negra o peste bubónica que dejó más de dos millones de muertos. .

Según Márquez, (2015) a mediados del siglo XX, con el rápido avance tecnológico producido por Revolución Industrial, junto con la utilización de energías contaminantes, la explotación de los recursos naturales, unido a una creciente economía basada en la producción y consumo masivo de productos, empieza a hacer indiscutible la llegada de los problemas ambientales más significativos y generalizados globalmente; traducidos como contaminación atmosférica, degradación de la capa de ozono, el agotamiento de los recursos naturales, la sobreproducción de residuos, la contaminación del agua, la disminución de la biodiversidad, entre otros.

Al hacerse visible la inminente crisis ecológica, la preocupación por el medio ambiente también se empieza a ver cada vez más extendida. El ser humano comienza a ver de forma diferente la naturaleza, intentando crear en sí una conciencia que se extiende en diversos ámbitos como el político, el social y el científico.

Los procesos de tratamiento de agua están en función de la calidad de esta en las fuentes de captación, pudiendo ser tan sencillo como la desinfección o involucrar “diversas operaciones unitarias como oxidación, coagulación, floculación, sedimentación y filtración, además de la desinfección. En algunos casos, se llega a requerir de procesos de intercambio iónico, ósmosis inversa o adsorción con carbón activado” (Arboleda, 2000) . En las sociedades modernas, el agua deja de ser un recurso netamente para el consumo humano y se convierte en el compuesto de mayor importancia a nivel industrial, en donde no sólo se utiliza como componente de los productos que fabrica, sino también como agente refrigerante u otros usos.

La evolución en los procesos de potabilización comienza en 1804 cuando Paisley (Escocia) filtraba todo su suministro de agua y en 1829 se instaló el primer filtro de arena en Londres para clarificar el agua del Támesis. En el año 1952 ya era obligatorio filtrar todos los suministros de aguas de ríos a Londres, extendiendo este sistema de clarificación a varias ciudades europeas y norteamericanas (Márquez, 2012).

Paralelamente a la proliferación del filtrado, se van desarrollando otros tratamientos como la coagulación, la aireación o la desinfección. La aireación artificial se utilizaba ya en el siglo XVIII, pero no fue hasta la segunda mitad del siglo XIX cuando se convirtió en uno de los procesos principales de los abastecimientos municipales. En cuanto a la coagulación, la primera vez que se recurrió a ella para el tratamiento de suministros municipales de agua fue en el año 1881, en Inglaterra. El coagulante utilizado fue el sulfato de alúmina, añadido en el punto de toma del abastecimiento.

En 1885, investigadores de la Universidad de Rutgers publicaron estudios en los que confirmaban el sulfato de alúmina como el coagulante más ventajoso de los conocidos. En la actualidad los electrolitos acompañan, y

en algunos casos sustituyen, a los coagulantes tradicionales en las plantas de tratamiento (Márquez, 2012)

La desinfección es otro de los procesos que durante milenios se han utilizado en el acondicionamiento del agua, aunque sin conocer bien sus fundamentos. Veatch, (2010) considera que existen diversos sistemas de desinfección: cloración (y sus variantes), ozonización, utilización de rayos ultravioleta, siendo la cloración el más utilizado. El sistema convencional de potabilización básico comprende coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección; se incluye la dosificación y alimentación de los reactivos (sulfato de aluminio y poli electrolito como coagulantes) y gas cloro en la desinfección. “Con éste sistema se puede remover fundamentalmente la turbiedad, contaminación bacteriológica y disminución en los niveles de otros parámetros” (Márquez, 2015).

Por otro lado, todas las aguas en la naturaleza contienen una cierta cantidad de sales disueltas. Estas sales se encuentran homogéneamente distribuidas en el líquido, no pueden ser detectadas a simple vista y se presentan en formas de iones o partículas cargadas positivamente o negativamente. (Shaposhnik, Zubets, & Strygina, 2000) señala que no se conoce exactamente la fecha en que se vio la necesidad de adecuar el agua para los procesos industriales y así evitar daños y disminuir costos por el arrastre de ciertos metales a los equipos. A través de los procesos de retención de iones o desmineralización.

En la actualidad son diversos los problemas ambientales a los que se tiene que enfrentar la humanidad para por lo menos vivir en un planeta que ofrezca los recursos necesarios para las generaciones actuales y también para las generaciones futuras. Entre estos problemas se encuentran, la contaminación atmosférica, la contaminación del agua, la sobreproducción de residuos, la disminución de la biodiversidad, entre otros. Pasamos a ver de forma detallada los principales problemas que se involucran en la gestión ambiental.

2.2. Contaminación del agua en el contexto mundial

La senda del desarrollo económico seguida en este siglo ha afectado drásticamente la cantidad y calidad de los recursos hídricos. De continuar por este camino, en las próximas décadas habrá una

enorme disparidad entre la demanda y la disponibilidad del agua. Existe el riesgo de que se produzca una crisis del agua a escala mundial. Según Colin & Michael, (2014) actualmente, la cuarta parte de los países del mundo tiene insuficiencia de agua tanto en cantidad como en calidad, con lo cual no cabe duda que un uso más intensivo e inapropiado del recurso aumentará los riesgos para la población y supone una grave rémora para la producción alimentaria, para el desarrollo económico y para la protección de los ecosistemas. Es tan grave la escasez de agua dulce en el mundo que el Banco Mundial advierte que el problema presenta una amenaza para la economía y la salud de 80 países, es decir 40 % de los habitantes de la tierra - más de dos millones de personas—no tienen acceso al agua limpia ni a condiciones sanitarias (Cazares, 1992) citado por (Arana, 1996).

Algunos autores como Gross, Kaplan, & Baker, (2007) han estimado que el 80% de todas las enfermedades y el 33% de las muertes en los países en desarrollo están relacionados con la inadecuada calidad del agua y según el estudio del PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) de "cuatro de cada cinco enfermedades endémicas en los países en vías de desarrollo se deben al agua sucia o a la falta de instalaciones sanitarias" y la Organización Mundial de la Salud (OMS) informó que las enfermedades ligadas al modo de vida y al ambiente son responsables de las tres cuartas partes de los 49 millones de defunciones que se producen en el planeta cada año, y medio mundo 2.500 millones de personas- sufren enfermedades asociadas a la contaminación del agua y a la falta de higiene, señalando una estrecha correlación entre la insuficiencia y calidad del recurso y la ocurrencia de enfermedades de origen hídrico (Nuñez, y otros, 2014).

A lo descrito en párrafos anteriores, cabe agregar los nuevos avances científicos y tecnológicos y la forma que dieron paso a la creación de industrias encaminadas a facilitar la vida de las personas en la sociedad, entre estas industrias surgieron aquellas que utilizan el agua como materia prima para el desarrollo de sus actividades industriales, surgiendo las empresas embotelladoras de agua purificada, quienes requieren de iones o plantas ionizadoras para purificar el agua a embazar, para ello utilizan diversas sustancias químicas para el proceso de purificación.

2.2.1. Estándares que debe poseer la calidad del agua

Los estándares primarios y secundarios del agua se de acuerdo a los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud y conforme a los conocimientos actuales aceptados. Estas normas pueden variar de país a país e incluso en cada región, dependiendo de las autoridades locales de salubridad.

Tabla 1 Contaminantes primarios y sus límites máximos para agua potable.

Componente	límite máximo
	mg/L
Arsénico	0.05 (valor muy alto, se debe bajar)
Bario	1.0
Cadmio	0.01
Cromo	0.05
Plomo	0.05
Mercurio	0.002
Nitrato como N	10.00
Selenio	0.01
Plata	0.05
Fluoruro	
a 12 °C	2.4
a 12.1-14.6 °C	2.2
a 14.7 17.6 °C	2.0
a 17.7-21.4 °C	1.8
a 21.5-26.2 °C	1.6
a 26.3-32.5 °C	1.4
Endrin	0.0002
Lindano	0.004
Toxafeno	0.005
Metoxiclor	0.1
2,4 D	0.1
2,4,5 TP (Silvex)	0.001
TTHHM	
Radio 226	0.1
Radio 228	(pCi/l)
Actividad alfa excluyendo	5
Radón y Uranio	5
Turbidez (NTU)	15
Coliformes,	1*
	1 por 100 ml

Filtro de membrana Tubo de fermentación porciones de 10 ml.	no deben estar presentes en más del 10% de las porciones en cualquier mes.
---	--

Fuente: Etienne, (2009)

En la tabla 1 se observa los estándares a nivel mundial que debe tener el agua de acuerdo a la OMS.

La presencia de conformes indica la contaminación por excremento humano o animal.

La turbidez se puede aceptar hasta 5 NTU si se demuestra que no hay interferencia con el proceso de desinfección.

La turbidez tiene efectos negativos puesto que interfiere con el proceso de desinfección, hace imposible mantener un residuo de cloro en el agua, interfiere con las pruebas microbiológicas del agua, y estéticamente es inaceptable.

La cuenta de organismos coliformes, muestra la calidad bacteriológica del agua. Su presencia indica que el agua está contaminada por excremento humano o animal y existe la probabilidad de bacterias patógenas en esa agua. Su valor máximo aceptable depende del método utilizado.

Contaminantes secundarios y sus límites máximos para agua potable

Compuesto	límite máximo
Cloruros	250 mg/L
Color	15 unidades de color
Cobre	1 mg/L
Corrosividad	ninguna
Agentes espumantes	0.5 mg/L
Fierro	0.3 mg/L
Manganeso	0.005 mg/L
Olor	3 TON

PH	6.5 a 8.5
Sulfatos	250 mg/L
Sólidos totales disueltos	500 mg/L
Zinc	5 mg/L

Tabla 2 Estándares primarios de potabilidad

		archivo: potab1
Parámetro	U.S.A.	OMS* Unidades
Coliformes:	1/100 ml	3/100
Turbidez:	1-5	NTU
Arsénico:	0.05	0.05 mg/L
Bario:	1.00	mg/L
Cadmio:	0.01	0.005 mg/L
Cromo:	0.05	0.05 mg/L
Fluoruro (F):	4.00	1.5 mg/L
Plomo:	0.05	0.05 mg/L
Mercurio:	0.002	0.001 mg/L
Nitrato como N:	10.00	10 mg/L
Selenio:	0.01	0.01 mg/L
Plata:	0.05	mg/L
ESTÁNDARES SECUNDARIOS		VALOR ESTETICO
Aluminio:		0.2 mg/L
Cloruros (Cl):	250	250 mg/L
Color, (unidades):	15	15
Cobre:	1	1 mg/L
Fluoruro:	2	mg/L
Surfactantes:	0.5	mg/L
Fierro:	0.3	0.3 mg/L
Manganeso:	0.05	0.1 mg/L
Olor, (número):	3 inofensivo	
pH:	6.5-8.5	6.5-8.5
Sodio:	20 **	200 mg/L
Sulfatos (SO ₄):	250	400 mg/L
Sólidos Totales Disueltos:	500	1000 mg/L
Zinc:	5	5 mg/L
Dureza:		500
Acido sulfhídrico:		no detectable por el consumidor
Turbidez:		5 NTU

Fuente: (Assoc, 1993)

Tabla 3 Contaminantes y su eliminación en aguas a potabilizar

CONTAMINANTE	LÍMITE	ORIGEN	EFFECTOS EN LA	TRATAMIENTO *
	MÁXIMO		SALUD	
MICROBIOLOGICOS				
Coliformes	< 1 colonia por 100 m ³ s.	Aguas negras, excremento, fosas sépticas, excremento de animales	Afecta al tracto digestivo. Su presencia indica la posible presencia de otras bacterias	Cloración, irradiación con luz UV
Parásitos (amibas, oxiuros, tenias, lombrices, etcétera.)	cero	Aguas negras, excremento, fosas sépticas	diarreas, cansancio, e incluso la muerte	Cloración, ozonización
Giardia Lambia	cero	Excremento humano y animal	Afecta al tracto digestivo	Filtración, cloración, irradiación con luz UV
Legionela	cero	Torres de enfriamiento, fuentes	Enfermedad de los Legionarios	Filtración, cloración, irradiación con luz UV
Turbidez	0.5-1.0 NTU	Erosión, y descargas	Interfiere con la desinfección	Sedimentación, floculación, filtración

Fuente: (Assoc, 1993)

Nota: El Tratamiento debe incluir además el tratamiento de las aguas negras, de la basura para eliminar los lixiviados, y obviamente la eliminación de la fuente del contaminante químico.

Confirme los límites máximos con las autoridades sanitarias y ecológicas locales.

Por otro lado, se puede decir que la contaminación del agua está estrechamente relacionada con la transmisión de enfermedades de modo directo o indirecto. El primer caso se refiere a aquellas enfermedades transmitidas por ingestión directa del agua contaminada (enfermedades diarreicas, cólera, Hepatitis A, fiebre tifoidea, entre otras), o por contacto cutáneo o mucoso. El segundo caso se refiere al agua como vehículo de infecciones, bien sea por medio de alimentos contaminados (cultivos de alimentos regados con agua insalubre, peces, mariscos, moluscos, etc) y finalmente, algunos insectos que se reproducen en el agua son transmisores de enfermedades (paludismo, fiebre amarilla).

La problemática descrita ha conllevado a que el hombre en su imperiosa necesidad de proteger el medio ambiente y preservar el agua como recurso natural no renovable, buscara la forma de purificar el agua desde ionizadores hasta purificadores de agua sofisticados. “A partir de estos hechos se empezó a estudiar y analizar los contaminantes del agua que empiezan a repercutir en la salud humana” (Gunjan, 2012). Fue así como poco a poco empezaron a surgir diversos métodos para tratar y purificar el agua, empezándose a estudiar profundamente los inconvenientes antes expuestos, obteniéndose avances en las tecnologías de tratamiento un agua sin impurezas apta para diferentes usos e incluso la forma de purificar el agua para embotellar y ser comercializada en las grandes cadenas de supermercados, tiendas mayoristas y minoristas. De acuerdo a Márquez, (2015) Entre los diferentes métodos existentes en la actualidad como tecnologías de tratamiento están la evaporación/destilación, ultrafiltración/osmosis inversa y la ionización.

2.3. Contexto del agua en la industria embotelladora

En la actualidad el consumo de agua embotellada se ha incrementado de una manera acelerada y se ha encontrado en este segmento la oportunidad de crecimiento para las empresas que se dedican a esta actividad económica. Para autores como Channy, Jeison, & Ruiz, (2003) el agua dejó de ser un servicio público donde el consumidor espera el producto en sus hogares por medio de una red de acueducto y alcantarillado, y paso a ser un lujo con el agua embotellada diversificándose a través del tiempo en varias presentaciones para el consumidor, dando entrada a la tendencia mundial de cambiar las bebidas gaseosas, refrescos y jugos artificiales. Actualmente

las empresas de agua embotellada y líderes de bebidas han saturado el mercado con múltiples opciones del producto.

Edzwald, (2010) señala que las empresas dedicadas al comercio industrial de agua deben propender por potabilizar dicho producto, teniendo en cuenta que esta trae compuestos químicos que son perjudiciales para la salud humana por tratarse de contaminantes naturales dentro de sus componentes físicos y químicos. Es por ello que para su tratamiento se deben utilizar sustancias químicas que permite su purificación así mismo existen en el mercado diversas formas de tratarla mediante sustancias solidas que pueden servir como intercambiadores de iones que tienen dentro de su estructura moléculas que intercambian aquellas sustancias perjudiciales para la salud sin ninguna modificación evidente el aspecto físico del H_2O sin que esta pierda sus propiedades fisicoquímicas siendo aptas para el consumo humano.

En la actualidad existen diversos mecanismos utilizados para el tratamiento de agua, el más conocido es el que se realiza por medio de los intercambiadores iónicos, “lo cual permite una estructura iónica del líquido que es tratado para ser modificado sin cambiar el número total de iones en el líquido antes del intercambio” (Stanley, 2007). Antes de existir los avances científicos y tecnológicos existían sustancias empleadas para el intercambio iónico como tierras naturales arcillas o zeolitas, seguidas por compuestos inorgánicos sintéticos (aluminosilicatos) estos últimos materiales se utilizan hoy, bajo el nombre de resinas. Los avances tecnológicos dieron paso a nuevas tecnologías utilizadas para purificar el agua, esta tecnología es la utilizada por la mayoría de las empresas embotelladoras de este producto, el cual les permite potabilizar el agua sin ningún riesgo para la salud humana, permitiendo un producto de calidad. Al respecto (Grágeda & Grágeda, 2006) consideran que la eficiencia de la ionización en el proceso de potabilización depende de algunos factores como la afinidad de la resina por un ion en particular, el pH del fluido, la concentración de iones, la temperatura y la difusión; éste último factor está en función de la dimensión del ion, carga electrostática, temperatura, estructura y tamaño del poro de la resina

Según Víctor, Lloani, & Salas, (2015) el intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de materia fluido sólido. Es decir que dicho proceso implica la transferencia de uno o más iones de la fase fluida al sólido por intercambio o desplazamiento de

iones de la misma carga, que se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales. En este mismo orden de ideas, Skoog, West, Holler & Crouch (2000) señalan que el intercambio iónico es una reacción química reversible, que tiene lugar cuando un ion de una disolución se intercambia por otro ión de igual signo que reencuentra unido a una partícula sólida inmóvil. Este proceso utilizado en las empresas embotelladoras de agua es de suma importancia, teniendo en cuenta que es una forma precisa de purificar el agua preservando las propiedades de la misma sin temor a causar daño en la salud humana. De aquí parte la importancia de los intercambiadores iónicos en esta clase de industrias, brindando un gran beneficio en la producción del agua embotellada con un valor agregado sobre el producto. Dicho proceso de ionización es considerado efectivo, teniendo en cuenta que el agua por sus propiedades de los disolventes y su utilización en diversos procesos industriales, acostumbra a tener muchas impurezas y contaminantes perjudiciales para la salud humana.

A lo descrito en los párrafos anteriores, cabe agregar que en las últimas décadas ha surgido una creciente preocupación por el medio ambiente, lo cual ha venido imponiendo tratamientos eficaces que eviten el deterioro de la calidad de las aguas especialmente por el vertido de efluentes industriales altamente contaminados. Al respecto (Valencia, 2000) considera que "...entre todos los tratamientos posibles, el intercambio iónico es una opción a considerar.

Capítulo 3

Potabilización del agua embotellada para el consumo humano mediante el uso de intercambiadores iónicos

3.1. Aspectos importantes a tener en cuenta en el proceso de potabilización de agua para el consumo humano

Todo proceso de potabilización de agua plantea dos propósitos centrales: la remoción de sólidos, para mejorar el aspecto físico (turbidez) del líquido y la inactivación de organismos nocivos (Devinny, Deshusses, & Webste, 1998). Estos dos contenidos tienen una relación con el contenido del material sólido presente en el agua de una fuente superficial, comúnmente utilizada en el abastecimiento de agua. Se deduce entonces que el proceso de potabilización debe cumplir con la eliminación y reducción de contaminantes hasta niveles no agresivos. Al respecto (Bernardo, 2003) considera que el sistema más usado para el tratamiento de agua potable se conoce como método convencional de potabilización el cual consta de seis unidades en su proceso: mezcla rápida o coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

Es innegable que la problemática no natural del agua es provocada por el hombre en su interacción con el medio natural. Está a su vez encuentra determinada por la forma de aprovechar, usar y administrar, tanto el agua como los otros recursos, los cuales son inherentes al equilibrio ecológico y al sano flujo del ciclo hidrológico.

Por otra parte, la preocupación por la calidad sanitaria del agua que se bebe se ha incrementado por el consumo de agua purificada embotellada en la sociedad, puesto la mayoría de las personas prefieren comprar agua de una cierta calidad e higiene. Es así como las personas sin importar los estratos sociales consumen gran cantidad de agua embotellada, La necesidad por obtener agua con menores contaminantes, ha permitido al hombre, buscar nuevas alternativas más eficientes, con un mínimo de recursos económicos para purificar el agua y de esa manera evitar riesgo de enfermedades graves que puedan perjudicar a la persona que la consume.

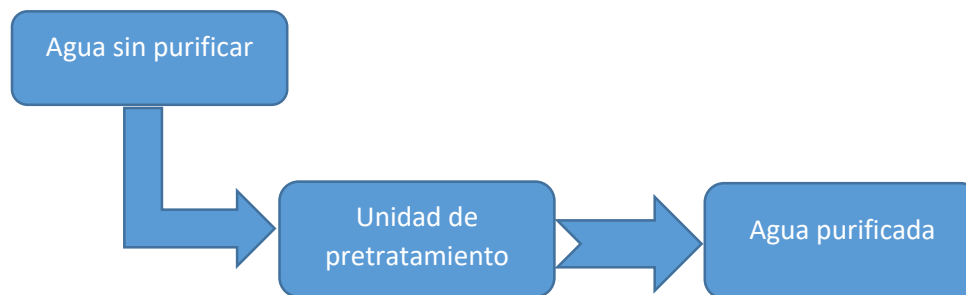
De acuerdo a González, (2000) para iniciar un procedimiento de selección es indispensable realizar análisis del agua, ya que su realización nos permite conocer su calidad, y reduce la desconfianza por parte del usuario, pues es que tomando como base los resultados obtenidos, se selecciona el equipo adecuado para su purificación.

3.1.1. Criterios a tener en cuenta en la potabilización del agua

Canal de ingreso de agua cruda: Permite transportar el agua cruda desde el ingreso de la planta de tratamiento hasta la canaleta Parshall donde se da el proceso de coagulación. No requiere ningún nivel de operación ya que se trata de un simple canal. Se deben verificar los siguientes aspectos en forma permanente:

- Que el canal se encuentre limpio, evitando la acumulación de materiales en el fondo, que impidan el paso del agua, produciendo rebalses con pérdida de caudal.
- Se debe verificar que no existan infiltraciones (depende del material del canal) que produzcan pérdidas de caudal del agua, que deterioren el canal o la plataforma donde se encuentra construido (Pérez, 1997).

Figura 1 Esquema básico del proceso de purificación del agua



Fuente: Autor

En la figura 1 se puede observar el proceso de purificación del agua,

Mezcla rápida – coagulación: Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado o mezcla rápida. El objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer su aglomeración; en consecuencia, se eliminan las materias en

suspensión estables; la coagulación no solo elimina la turbiedad, sino que también reduce la concentración de las materias orgánicas y los microorganismos (Romero A. , 2002).

Romero, (2002) señala que la dosificación se realiza en la unidad de mezcla o mezcladores que tienen como objetivo la dispersión instantánea del coagulante en toda la masa que se va a tratar. Esta dispersión debe ser lo más homogénea posible, con el objeto de desestabilizar todas las partículas presentes en el agua y optimizar el proceso de coagulación. El tratamiento de coagulación óptimo de un agua cruda tiene como objetivo lograr un equilibrio muy complejo en el que están implicadas muchas variables como son PH, Sales disueltas, Temperatura, Tipo de coagulante y turbiedad.

La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia que puede ser provocada por medios hidráulicos o mecánicos. El proceso de coagulación se consigue introduciendo en el agua un producto químico denominado coagulante o sustancias aglomerantes, con el fin de obtener la formación de coágulos que faciliten la precipitación de los aglomerados por gravedad y su posterior separación del líquido.

Los coagulantes que pueden emplearse son los coagulantes metálicos y los polímeros orgánicos e inorgánicos según las Normas RAS 2000 numeral C.4.4.1.1. Para su empleo se recomienda la realización de ensayos de jarras en rangos amplios de dosificaciones, para determinar la dosificación óptima (RAS, 2000).

Floculación: El término floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas, es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados (Bratby, 1981).

El objetivo del floculador es proporcionar a la masa de agua coagulada una agitación lenta aplicando velocidades decrecientes, para promover el crecimiento de los flóculos y su conservación, hasta que la suspensión de agua y flóculos salga de la unidad (Ojha, 1993). De la misma manera que la coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas químicas y físicas

tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del floculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos. Los procesos de coagulación – floculación son procesos complejos, cuya dosificación depende de las características del agua cruda (Romero, 2000).

La mezcla lenta para floculación puede efectuarse mecánicamente, usando rotores de paletas, o hidráulicamente, como resultado del movimiento del agua. El pasó de agua del mezclador o coagulador debe ser instantáneo y debe evitarse los canales y las interconexiones largas pues afectaran en la formación de los flocs. Para garantizar un buen diseño de la unidad, se debe tener en cuenta que el tiempo de retención y el gradiente de velocidad varían con la calidad del agua (Romero, 2000), por lo tanto, estos parámetros deben ser seleccionados mediante una prueba de jarras.

Sedimentación: En el proceso de sedimentación permite la remoción de las partículas sólidas de una suspensión mediante grave dad, en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento. Este tipo de proceso puede ser de dos tipos: sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento, siendo esta ultima la más utilizada. La sedimentación después de coagulación y floculación, se usa para remover la carga de solidos suspendidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico. Las variables que afectan el proceso de sedimentación son (Ramalho, 2005).

a. Corrientes de densidad: son las corrientes que se producen dentro del tanque por efecto de las diferencias de densidades en la masa de agua y son ocasionadas por un cambio de temperatura y/o por diferencias en la concentración de las partículas suspendidas en las distintas masas de agua

b. Corrientes debidas al viento: el viento puede producir corrientes de suficiente intensidad como para inducir cambios en la dirección del flujo.

c. Corrientes cinéticas: pueden ser debido al diseño mpropio de la zona de entrada o de salida (velocidad de flujo excesiva, zonas muertas, turbulencias) o por obstrucciones en la zona de sedimentación.

Los sedimentadores que pueden emplearse según las especificaciones RAS 2000 son el de flujo horizontal, flujo vertical y alta tasa. También puede realizarse la sedimentación en unidades con manto de lodos.

Filtración: El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación, floculación y sedimentación. Generalmente, se piensa del funcionamiento de los filtros como un tamiz que atrapa el material suspendido entre los granos, pero el mecanismo por el cual el filtro remueve el material suspendido es el resultado de la acción conjunta de diferentes acciones físicas, químicas y biológicas ocurrentes (Romero, 2002)

Los filtros se clasifican de acuerdo a:

- Dirección de flujo: hacia arriba, hacia abajo o dual
- Tipo de lecho filtrante: generalmente un solo medio sea arena o antracita, medio dual: arena y antracita, y lecho mezclado: arena, antracita y grava
- Fuerza impulsora: Vence la resistencia friccional ofrecida por el lecho filtrante. Se clasifican en: filtros de gravedad y de presión. El filtro por gravedad es el filtro más usado en plantas de purificación de agua, mientras que el filtro a presión se usa principalmente en la filtración de aguas para piscinas.
- Tasa de filtración: Entre mayor tasa de filtración menores son los requerimientos de área. Con el uso de medios filtrantes duales o mezclados, se logran diseños mucho más económicos de área, pues usan tasas de filtración mayores que los filtros rápidos convencionales de un solo medio
- Método de control: Diferentes métodos que permiten mantener la tasa de filtración constante, pues al iniciar la carrera de filtración, el filtro está limpio, a medida que empieza la filtración, los sólidos suspendidos removidos se acumulan en el medio filtrante; la fuerza impulsora debe vencer la resistencia ofrecida por el lecho taponado y el sistema de drenaje. Por tanto, si desea mantener una tasa constante de filtración, la fuerza impulsora debe aumentar proporcionalmente al aumento en la resistencia del filtro, por el contrario, el caudal a través del filtro declina y la filtración será declinante

Desodorización: Se denomina desodorización a los procesos que eliminan de una corriente los compuestos que provocan los malos olores. A menudo se trata de mezclas de sustancias liberadas en procesos de descomposición anaeróbica como el sulfhídrico, los mercaptanos, el amoníaco, las aminas o diversos compuestos orgánicos volátiles. Según Romero, (2002) generalmente se hace uso de filtros de carbón activado, este material es fabricado a partir de compuestos de carbonos, con propiedades adsorptivas; el carbón activado remueve contaminantes orgánicos del agua por el proceso de adsorción, atrayendo y acumulando el adsorbato sobre su superficie. Este material ha tenido su éxito debido a que controla los olores y sabores causados principalmente por gases disueltos (ácido sulfhídrico y metano), materia orgánica proveniente de algas y microorganismos en descomposición, etc. Además, remueve residuos orgánicos tóxicos, metales pesados y compuestos orgánicos de cloro.

Desinfección: El objetivo fundamental de desinfectar el agua destinada al consumo humano y uso doméstico es asegurar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos para el hombre, transmitidos por ésta. El agua a desinfectar debe estar libre de partículas coloidales causantes de turbiedad y color que puedan interferir con la acción del agente desinfectante. Así la desinfección alcanza su máxima eficiencia con las aguas claras. Por lo tanto, es importante optimizar los procesos previos de clarificación del agua. Este proceso se lleva a cabo en tanques o cámaras de contacto que tienen como función asegurar un tiempo fijo entre el agua y el desinfectante, asegurando así la remoción de bacterias, virus y parásitos presentes en el agua.

De acuerdo a la Organización Panamericana de la Salud, (2002) existen diferentes productos y tecnologías para realizar el proceso de desinfección del agua. Los más comunes incluyen el uso de halógenos (cloro, bromo y yodo), la luz ultravioleta, el ozono, el dióxido de cloro, etc. Sin embargo el cloro sigue siendo el desinfectante más popular por su bajo costo, facilidad para medir su concentración en el agua, alta eficiencia para remover microorganismos patógenos y la disponibilidad de tecnología simple para su aplicación y control, este se puede encontrar de varias formas dependiendo de las características de cada uno.

Almacenamiento y Distribución. Estas dos operaciones son importantes para la entrega de agua de calidad adecuada a los consumidores, por ello se debe disponer de instalaciones con la

capacidad suficiente para abastecer la demanda de los usuarios. Pero, además, las instalaciones de almacenamiento deben estar protegidas contra las posibilidades de contaminación secundaria y deben someterse a actividades sanitarias con cierta frecuencia.

La distribución se hace a través de redes. Estas deben garantizar un porcentaje mínimo de fugas para que la dotación requerida por los usuarios se garantice, pero también debe construirse con los materiales adecuados para no comprometer la calidad del agua ofrecida a los usuarios (Arboleda, 2000).

3.1.2. Proceso ionizado del agua en las empresas embotelladoras de agua

El agua desmineralizada es aquella provista de minerales comunes presentes en el agua como calcio, hierro, sodio, entre otros. La función principal del proceso de desmineralización, radica en la eliminación de sólidos disueltos que contiene el agua, estas son partículas de tamaño reducido que se encuentran totalmente rodeadas por moléculas de agua y que poseen cierta carga eléctrica (Gabelich, Rahardianto, & Cohen, 2007).

Gabelich, Rahardianto, & Cohen, (2007) señalan que el proceso de desmineralización consiste en eliminar o disminuir considerablemente, la proporción de sales y minerales disueltos en el agua bruta. Generalmente, previa a la unidad de desmineralización, el agua bruta se somete a una secuencia de procesos físicos y químicos en las unidades de pre tratamiento y desalación.

Es necesario que las empresas embotelladoras purifiquen el agua, teniendo en cuenta que dicho líquido contiene moléculas constituida por dos átomos de hidrógeno y un átomo de Oxígeno sometidos a enlaces covalentes fuertes (1 su dimensión media es del orden de $3,3 \text{ \AA}$) (2). Un cristal de hielo a baja temperatura está constituido por una malla de tetraedros en cuyos vértices se encuentran átomos de oxígeno unidos a un átomo situado en el centro; en cada uno de estos átomos se encuentra un átomo de hidrógeno unido al uno por un enlace covalente y al otro enlace por un hidrógeno (3) mucho más débil. Cuando la temperatura se eleva, los enlaces de hidrógeno se rompen progresivamente, pero el 85 % de ellos subsisten aún en el agua de fusión a 00. En fase líquida se puede considerar al agua como una mezcla heterogénea de moléculas de agua polimerizadas y de iones y OH atracción fuerte entre dos átomos resultante de compartir uno o

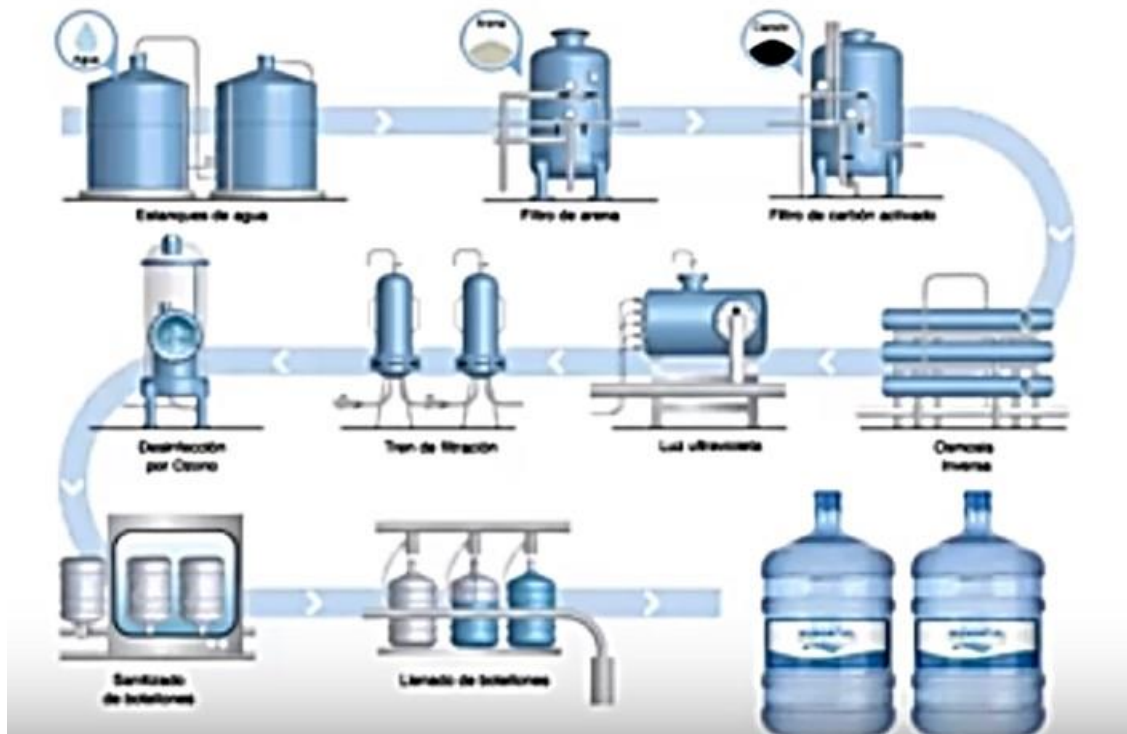
varios electrones (a menudo dos); es uno de los enlaces que explica la formación de moléculas con propiedades físicas y químicas propias, a partir de átomos. 1 Angstrom (A) vale 10^{-11} , o sea, 10^{-7} mm. Enlace relativamente débil entre dos moléculas por mediación de un átomo de hidrógeno perteneciente a una de ellas, estas moléculas pueden ser de la misma naturaleza o de naturalezas distintas (García, 2002).

En el párrafo anterior se describen las características físico químicas del agua en sus tres estados, esto es importante tener en cuenta, ya que los niveles contaminantes del agua dependen al estado en que se encuentre, En su estado natural, líquida y cruda el agua contiene componentes como virus o bacterias que pueden llegar hacer perjudicial para la salud humana, trayendo drásticas consecuencias para el que la consume. En este sentido, Salamanca, (2016) considera que los químicos inorgánicos se presentan en el agua potable debido a la corrosión, que es el deterioro o destrucción de los sistemas de bombeo y distribución de agua por la acción química o física, cuyo producto se deposita en el agua, es decir el agua aun en su estado natural ya está contaminada.

En sí, las empresas embotelladoras de agua, deben tener en cuenta para la potabilización de la misma, para ello es importante el diseño de una eficiente planta de tratamiento de agua requiere de un cuidadoso estudio de ingeniería. Basado en factores tales la calidad y características del agua cruda. Los niveles de impurezas permisibles, selección de los procesos unitarios a utilizarse y además de un análisis en canto de la viabilidad del proceso ionizador para la purificación de la misma.

En sí, los intercambiadores iónicos juegan un papel importante en las empresas embotelladoras de agua, pues a través de ellos se realiza la purificación del agua, ya que estos son un método que se basa en la remoción de impurezas del agua mediante la utilización de resinas sintéticas que tienen afinidad por las sales disueltas ionizadas.

Figura 2 Purificación del agua en una planta embotelladora a través de intercambiadores iónicos



Fuente: ESCENCIE, (2018)

Como se puede observar una planta de tratamiento de agua potable es un sistema integrado de procesos cuya función es convertir una fuente de agua tales como un pozo, un manantial, del mar o un río en agua apta para el consumo humano. En la figura 1 se puede observar los procesos que se utilizan para purificar y/o potabilizar el agua dependen en gran medida de las características iniciales del agua a tratar tales como los STD, turbidez, Color, etc.

3.2. Normas que se deben tener en cuenta al momento de tratar el agua:

La potabilización del agua incluye el detectar cualquier posible contaminante microbiológico o químico y aplicar las metodologías para que no se continúe la contaminación.

Toda agua destinada para el consumo humano, como se indica en el Anexo I, debe estar exenta de:

1. Bacterias coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli*,
2. Virus;

3. Huevos y larvas de helmintos, quistes y o quistes de protozoarios patógenos;
4. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos y nematodos en todos sus estadios evolutivos; y 5. Para el caso de Bacterias Heterotróficas menos de 500 UFC/ml a 35°C.

Es importante el poder reconocer que la calidad del agua potable es uno de los aspectos más sensibles en la prestación de los servicios de salubridad. “Una mala calidad del agua puede tener efectos perjudiciales sobre la salud de la población, razón por la cual es necesario realizar constantes monitoreos a fin de prevenir cualquier problema” (Pedraza, 2003, pág. 111), el precitado autor considera que el agua destinada al consumo humano debe ser limpiado y purificado haciéndole pasar por un complejo y eficiente sistema de tratamiento. En este mismo orden de ideas, autores como Colin & Michael, (2014) éste sistema de purificación de agua utiliza una resina de la cual ciertos iones indeseables son absorbidos y reemplazados por diferentes iones “la reacción usual de intercambio iónico intercambia iones de calcio y magnesio por iones sodio, lo cual reduce la dureza” (Colin & Michael, 2014, pág. 23). La importancia de optimizar el sistema de potabilización del agua a través del intercambio iónico consiste en mejorar la calidad la misma ante las impurezas que no la deja ser apta para el consumo. Solo a través de este proceso químico se puede brindar a la comunidad en general de cualquier parte del mundo un agua de calidad, permitiendo que las personas puedan disfrutar de la misma en forma segura, “libre de bacterias y agentes fisicoquímicos que puedan afectar la salud de sus habitantes, evitando cualquier tipo de enfermedades endémicas y gastrointestinales” (Colin & Michael, 2014, pág. 37).

3.3. Tipos de plantas de purificación

La calidad del agua cruda oscila gradualmente de una fuente a otra; por ello el tipo de tratamiento requerido para producir agua potable, también varía. Dependiendo de la calidad de esta, el grado de complejidad del tratamiento es diferente. El diseño de una planta de tratamiento eficiente y económica requiere un estudio basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuadas y económicos para producir agua de la calidad requerida (Romero, 1999).

3.3.1. Filtración

Es sabido que los recursos hídricos, tanto subterráneos como cuerpos superficiales, presentan contaminantes que no permiten su uso directo para consumo humano. La turbiedad, el fierro, el manganeso, el arsénico, el cadmio, el flúor, los sulfatos, el amonio, los nitritos y nitratos son los principales contaminantes o parámetros que deben corregirse con la filtración. La humanidad buscó la manera de corregir algunos problemas del agua y es en Escocia en 1804 donde se inventó el primer filtro. En 1829 la Compañía del Río Támesis, en Londres emprendió la construcción de filtros lentos de arena y en 1892 se demostró su eficiencia para el control biológico de la epidemia de cólera ocurrida en Hamburgo.

En las plantas de purificación la filtración remueve el material suspendido (turbiedad) compuesto de flóculos, suelos, metales oxidados y microorganismos que resisten a la desinfección. Cuando la filtración se usa en la potabilización se emplea con o sin pretratamiento de coagulación y sedimentación para eliminar los sólidos presentes en las aguas y los precipitados de tratamiento químico (Ramalho, 2005).

Definición: La filtración se define como la separación de partículas sólidas o semisólidas que están suspendidas en un fluido (Romero, 2002). El filtro es un aparato que sirve para separar las partículas sólidas de un medio fluido por intercepción y retención de las partículas sobre una superficie o en el seno de una masa porosa a través de las cuales se hace circular el fluido.

En el diseño óptimo de un filtro debe considerarse (Ramalho, 2005):

Tamaño del medio y la altura del lecho.

Velocidad de filtración.

Presión disponible.

El modo de filtrar.

3.3.2. Mecanismos de remoción

La filtración depende de una combinación compleja de mecanismos físicos y químicos; en aguas de consumo, la adsorción juega el papel importante (AWWA,1984), ya que a medida que el agua pasa a través del lecho del filtro las partículas suspendidas hacen contactos y son adsorbidas sobre la superficie de los granos del medio o sobre material previamente depositado.

Las fuerzas que atraen y retienen las partículas sobre los granos son las mismas que en la coagulación y floculación y por lo tanto es muy importante tener una buena coagulación antes de la filtración.

3.3.3. Descripción de la filtración

La operación de la filtración supone dos etapas: filtración y lavado o regeneración.

El filtro rápido por gravedad es el más usado en tratamiento de aguas; el final de la etapa de filtración se alcanza cuando los sólidos suspendidos (turbiedad) en el efluente aumentan; cuando la pérdida de carga es alta que el filtro ya no produce agua a la tasa deseada o cuando la filtración es de 36 horas o más.

Presentándose una de las condiciones anteriores se procede a lavar para remover el material suspendido acumulado dentro del lecho filtrante y recuperar su capacidad como tal. El método de retrolavado es invertir el flujo a través del filtro.

3.3.4. Sistemas de filtración

La clasificación de los sistemas de filtrado es de acuerdo a la dirección del flujo, el tipo de lecho filtrante, la fuerza impulsora, la tasa de filtración y el método de control de la tasa de filtración.

Dirección del flujo. Puede ser hacia ascendente o descendente.

Tipo de lecho filtrante: un solo medio arena o antracita, un medio dual, arena y antracita, o un lecho mezclado: arena, antracita y granata o ilmenita.

Fuerza Impulsora: Esta es utilizada para vencer la resistencia y la fricción ofrecida por el lecho filtrante, los filtros se clasifican como filtros de gravedad o de presión.

Método de Control.

La tasa de filtración se expresa así (González, 2000)

Tasa de filtración = (fuerza Impulsora / Resistencia del Filtro)

La fuerza impulsora representa la pérdida de presión en el filtro, la cual empuja el agua a través del filtro. A medida que se efectúa la filtración los sólidos suspendidos removidos se acumulan, lo que implica que la fuerza impulsora debe vencer la resistencia ofrecida por el lecho taponado. Por tal para una tasa de filtración constante la Filtración debe aumentar proporcionalmente a la resistencia del filtro.

3.3.5. Variables del proceso de filtración

Características del agua a filtrar: Las características principales son la concentración de sólidos en suspensión, el tamaño y la distribución de tamaños de las partículas, así como la consistencia de los flóculos. Las partículas se encuentran en dos intervalos de tamaño distintos: pequeñas (1 y 15 micras de diámetro circular), grandes(50 y 150 micras).

Características del medio filtrante: El tamaño del grano afecta tanto a la pérdida de carga en la circulación del agua a través del filtro como a la tasa de variación de dicho aumento durante el ciclo de filtración. Si el tamaño es demasiado pequeño, la mayor parte de la fuerza actuante se empleará para vencer la resistencia de fricción provocado por el lecho filtrante.

3.4. Intercambio Iónico

Aspectos generales

El intercambio iónico es un fenómeno muy frecuente en la naturaleza. Las arcillas, coloide y humus vegetales del suelo, tienen la propiedad de intercambiar, algunos de sus cationes transportados por las corrientes de agua (calcio y magnesio); así la nutrición de la litósfera en lo relativo a sales minerales, depende de las propiedades químicas del suelo especialmente de sus cationes intercambiables y de la capacidad de intercambio del mismo.

Figura 3 Ionización de agua



Fuente: (Iruin, 2017)

En los suministros de agua natural contienen sales disueltas, las cuales se disocian en el agua para formar partículas con carga, conocidas como iones. Estos iones están presentes por lo general en concentraciones relativamente bajas, y permiten que el agua conduzca electricidad. Algunas veces se conocen como electrolitos. Los iones comunes que se encuentran en la mayoría de las

aguas incluyen los cationes de carga positiva; calcio y magnesio cationes que generan dureza, los cuales hacen que el agua sea —dura (sodio y potasio). Los aniones de carga negativa incluyen alcalinidad, sulfato, cloruro, y silicio.

Definición

Cheremisinoff, (1996) considera que el Intercambio iónico es una reacción química reversible de un Ion de una dilución es intercambiador por un Ion similarmente cargado, adheridos a una partícula sólida inmóvil. Esos Iones sólidos intercambiables son obtenidos naturalmente o producidos sintéticamente.

“El intercambio iónico es un proceso de adsorción que emplea el intercambio reversible de iones entre un medio intercambiador de iones y una solución” (Gray, 1999). Al respecto Ramalho, (1996) el Intercambio iónico es un proceso en que los iones que se mantienen unidos a grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por iones de una especie diferente en disolución.

Principios de funcionamiento

El intercambio iónico es un fenómeno dinámico, corresponde al proceso de sorción lo que implica el contacto que se establece entre una fase fluida con una fase macromolecular, generalmente en forma de gel que contienen grupos ionizables y constituyen un gran Ion insoluble, asociado a iones móviles de carga opuesta. A lo largo de la reacción la estructura física del cambiador mantiene la propiedad de tomar y almacenar en forma selectiva una o más especies de soluto contenidos originalmente en el fluido.

Es una red macromolecular mineral u orgánica portadora de cargas eléctricas que retienen a su alrededor, por simple atracción electrostática, las cargas del signo contrario; estas cargas constituyen los iones móviles o contraiones susceptibles de cambio y capaces de pasar a una disolución.

Al respecto (Stanley, 1994) señala que el proceso de intercambio iónico para remoción de compuestos inorgánicos consiste en el paso sucesivo del agua sobre un sólido intercambiador de cationes y un sólido intercambiador de aniones, los cuales reemplazan los cationes y aniones por iones hidrógeno y iones hidróxido, respectivamente.

Este método se usa principalmente para eliminar la dureza del agua. Este método de tratamiento consiste en la remoción de los iones indeseables que existan en el agua, transfiriéndolos a un material sólido llamado intercambiador. Cuando este llega a su capacidad máxima se requiere un retrolavado, regeneración, enjuagado y servicio.

Los intercambiadores de iones suelen ser del tipo columna con flujo descendente. El agua entra por la parte superior de la columna sometida a una cierta presión, circula en el sentido descendente a través del lecho de resina, y se extrae por la parte inferior. Cuando se agota la capacidad de la resina, la columna se somete a un ciclo de lavado a contracorriente para eliminar los sólidos atrapados y proceder a la posterior regeneración. “La resina de intercambio catiónico se regenera con un ácido fuerte, como el ácido sulfúrico o el hidroclicórico. El regenerador de resinas aniónicas más comúnmente empleado es el hidróxido de sodio” (Gray, 1999). Las elevadas concentraciones de sólidos en suspensión en el agua que entra en las unidades de proceso pueden taponar los lechos de intercambio iónico, provocando grandes pérdidas de carga y rendimientos ineficaces.

Dureza

Edzwald, (2010) como aguas duras se consideran aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente. En términos de dureza (en mg/l como CaCO₃) las aguas pueden clasificarse así (Sawyer, 1967):

0-75 mg/l	Blanda
75 – 150 mg/l	Moderadamente dura
150 – 300 mg/l	Dura
>300 mg/l	Muy dura.

Causas de la Dureza. Se considera que es causada por iones metálicos divalentes capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones.

Los principales cationes que causan dureza en el agua y los principales aniones asociados con ellos son los siguientes:

Cationes: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+}

Aniones: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , SiO_3^{2-}

En menor grado Al^{3+} y Fe^{3+} son considerados como iones causantes de dureza. En general, la dureza es igual a la concentración de cationes polivalentes del agua.

Desde el punto de vista sanitario las aguas duras son tan satisfactorias para el consumo humano como las aguas blandas. La desventaja que se tiene es que depositan incrustaciones sobre las superficies en las cuales entra en contacto y en los recipientes.

En la mayoría de las aguas se considera que la dureza total es aproximadamente igual a la dureza producida por los iones calcio y magnesio, es decir:

Dureza total = dureza por Ca + dureza por Mg.

La distinción es importante para el cálculo de la dosis de cal y soda Ash usada en la precipitación de la dureza con estos materiales. Cuando la alcalinidad es mayor o igual a la dureza total, entonces,

Dureza carbonatada (mg/L) = dureza total (mg/l).

Esta desaparece cuando se hierve el agua. Esto se produce porque los bicarbonatos sirven como fuente de iones carbonato para precipitar Ca^{2+} como CaCO_3 a temperaturas elevadas, la cual sucede en calderas.



El cálculo de la dureza causada por cada Ion se efectúa usando la fórmula siguiente:

Dureza en mg / L como $\text{CaCO}_3 = M^{++} (\text{mg} / \text{L}) \times 50 / \text{Masa eq. De } M^{++}$ En que M^{++} representa cualquier ion metálico divalente causante de dureza.

Según Sawyer, (1967) se requieren aproximadamente 3 mg de NaCl para desplazar cada mg, de dureza removida. De acuerdo con Hammer (1977) las características de operación de una resina de Intercambio Iónico de poliestireno son: capacidad operativa de intercambio 45-80 g/l, tasa de flujo 120-350 m³/m²d, tasa de regeneración 300-350 m³/m²d y tiempo de contacto con la salmuera 25 – 45 min.

Materiales de intercambio

La mayor parte de los materiales de esferas de intercambio iónico se fabrican usando un proceso de polimerización de suspensión, que utiliza estireno y divinilbenceno (DVB). El estireno y el DVB, ambos líquidos en un principio, se colocan en un reactor químico con más o menos la misma cantidad. Así mismo está presente un agitador para mantener todo disperso Joseph, (2020). Estas resinas son polímeros insolubles a los que se le añaden grupos básicos mediante reacciones químicas (Márquez, 2015).

La mayoría de los materiales para el intercambio se basan en resinas sintéticas (poliestireno copolimerizado con DVB), ya que cuando se usaban los cambiadores naturales su capacidad de cambio era débil (Martínez y Gonzáles, 2000).

En el tratamiento de intercambio iónico no se producen lodos, sin embargo al regenerarlas se genera un desecho concentrado del contaminante original.

Zeolitas

Las zeolitas son una familia de minerales aluminosilicatos hidratados altamente cristalinos, que al deshidratarse desarrollan, en el cristal ideal, una estructura porosa con diámetros de poro mínimos de 3 a 10 angstroms.

Su estructura forma cavidades ocupadas por iones grandes y moléculas de agua con gran libertad de movimiento que permiten el cambio iónico y la deshidratación reversible.

Las zeolitas están compuestas por aluminio, silicio, sodio, hidrógeno, y oxígeno. La estructura cristalina está basada en las tres direcciones de la red con SiO_4 en forma tetraédrica con sus cuatro oxígenos compartidos con los tetraedros adyacentes.

Según Servin, (2000) las zeolitas son caracterizadas por las siguientes propiedades:

Alto grado de hidratación.

Baja densidad y un gran volumen de vacíos cuando es deshidratado.

La estabilidad de su estructura cristalina cuando se deshidrata.

Las propiedades de intercambio del catión.

Presenta canales moleculares uniformes clasificados en los cristales deshidratados.

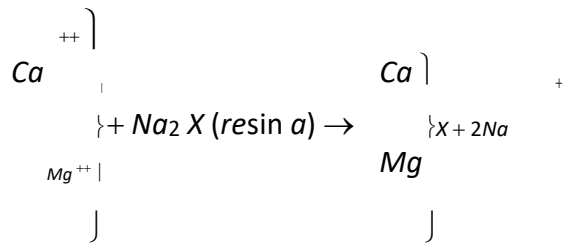
Por su habilidad de absorber gases y vapores.

Por sus propiedades catalíticas.

Una alta capacidad de intercambio iónico corresponde a zeolitas con baja relación.

Las zeolitas pueden ser sintéticas y naturales (ceniza volcánica, arcilla, feldespato, sílice biogénico y formas de cuarzo).

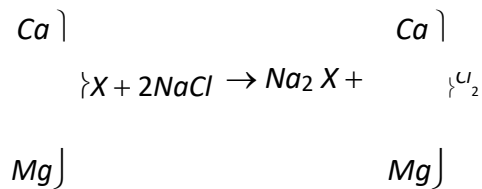
Cuando se usan para el ablandamiento del agua, las zeolitas naturales intercambian sus iones de sodio por los iones de calcio y magnesio en el agua, lo que permite la eliminación total de la dureza. Esto es, si se representa una zeolita por Na_2X .



El agua así obtenida tiene un alto contenido de sodio, que no es probable que cause problema, a no ser que el agua fuera originalmente muy dura.

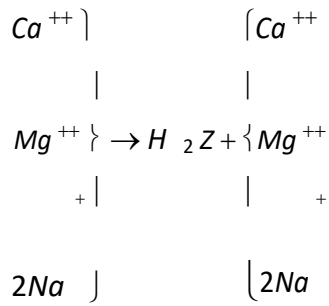
Intercambio y regeneración

Cuando se han intercambiado todos los iones de sodio en la estructura, ya no hay remoción de dureza. La regeneración se logra con el uso de una solución de sal que suministre una alta concentración de iones de sodio para invertir la reacción de intercambio.

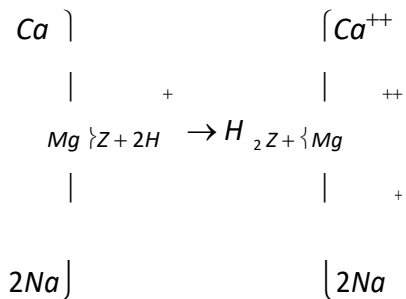


Con lo que se libera la dureza como una corriente concentrada de cloruro. Una zeolita de ciclo de sodio natural tendrá una capacidad de intercambio de 200 equivalentes gramo/m³ con un requerimiento de material regenerante de 5 equivalentes/equivalente intercambiado.

También se dispone de intercambiadores de cation de ciclo de hidrógeno obtenidos de compuestos carbonosos naturales o sintéticos con los que se produce agua de dureza cero. Para tal fin intercambian todos los cationes por iones de hidrógeno de modo que la corriente del producto es ácida y su uso principal es como la primera etapa de las operaciones de desmineralización.



La regeneración es por tratamiento ácido:



Las características comunes de rendimiento para un intercambiador de ciclo de hidrógeno son 100 equivalentes gramo/m³ de capacidad de intercambio y un requerimiento de material regenerante de cerca de 3 equivalentes/equivalente intercambiado. Los intercambiadores de iones que normalmente son derivados sintéticos del amoníaco, aceptarán el agua producto de un intercambiador del ciclo del hidrógeno y producirán agua desmineralizada para laboratorio y otros usos especiales.

De manera general, la regeneración de los aniones se realiza con sosa diluida, con agua descationizada para evitar la precipitación de carbonatos o hidróxidos. La regeneración de las resinas catiónicas se realiza con ácido clorhídrico o con el ácido sulfúrico.

Las etapas del proceso de permutación iónica son:

Intercambio o ablandamiento.

Retrolavado a contracorriente, se realiza provocando la expansión del lecho para dejar sueltas las partículas de resinas y asegurar su limpieza. Las velocidades de paso del agua de lavado son de 6 a 8 m/hr para las resinas aniónicas y de 10 a 18 m/hr para las cationicas. La duración es de 10 a 15 min.

La regeneración se hace con una sustancia que permita recuperar el ion perdido de la resina (ver tabla 4).

Tabla 4 Modelo de resinas comúnmente en mercado.

Modelos	Tipo	Base	Forma	Aplicación.
CGS-BL	Catiónica	Fuerte	Na	Suavización.
CG-8	Catiónica	Fuerte	Na	Suavización, desmineralización.
CG-8H	Catiónica	Fuerte	H	Suavización, desmineralización.
WAC-MP	Catiónica	Débil	H	Desmineralización.
SGG1	Aniónica	Fuerte	Cl	Desmineralización, de alcalinización.
WBMP	Aniónica	Debil	OH	Desmineralización.
MBO	Mixta	Fuerte	H/OH	Desmineralización.

Fuente: (Cheremisinoff, 1996)

Configuraciones para el intercambio Iónico en base a la calidad del agua de alimentación.

Enjuague. La finalidad es eliminar los compuestos originados posiblemente por regenerador.

Los ablandadores modernos tienen un método de "regeneración" de la resina con una solución de salmuera (agua salada). La salmuera encharca la resina por tiempo suficiente para permitir la substitución por el sodio del calcio y magnesio fijados en el lecho de resina. El calcio y magnesio son lavados y removidos, dejando el lecho de resina regenerado y listo para ser nuevamente utilizado. Los ciclos de regeneración son establecidos en el momento de la instalación y son basados en la demanda de agua, la calidad del agua de alimentación y el caudal máximo de servicio necesario para atender al usuario.

Los ablandadores realizan de igual manera el intercambio y el retrolavado, posteriormente (ver figura 4).

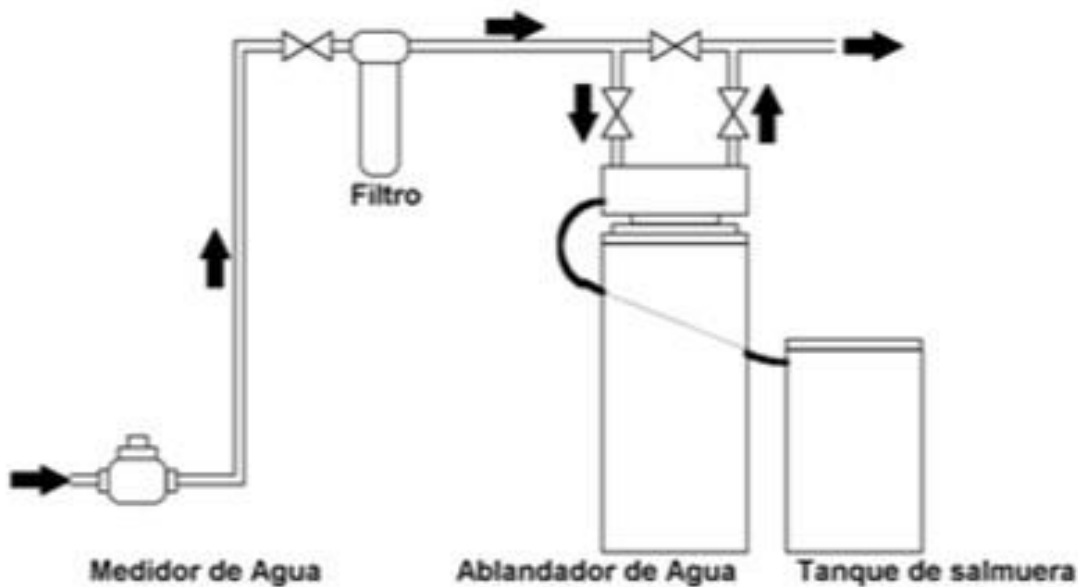
Aspiración de la salmuera: la solución de salmuera es aspirada del tanque de almacenamiento de la salmuera y entra en el lecho de resina.

Enjuague lento: el enjuague de salmuera es lentamente forzado a través del lecho de resina, permitiendo que el sodio force los iones de calcio y magnesio para fuera del lecho de resina.

Enjuague rápido: es forzado el pasaje rápido de agua bruta a través del lecho de resina para retirar la salmuera residual y los iones de calcio y magnesio.

Completar el tanque de salmuera: el tanque de salmuera es completado con agua para quedar preparado para el próximo ciclo de regeneración.

Figura 4 Instalación del ablandador.



Fuente: (Bernardo, 2003)

Capítulo 4

Investigar en relación al uso de intercambiadores iónicos en una empresa embotelladora localizada en la ciudad de Cúcuta

4.1. Identificación y contexto de la empresa

Nombre de la empresa: Embotelladora Max Fresh

La empresa donde se realizará el proyecto se encuentra localizada en la Calle No. 2 – 64 Trigal del Norte, Cúcuta – Norte de Santander.

Max Fresh es una empresa familiar que se dedica a los procesos de obtención, envasado y comercialización de agua potable tratada con destino al consumo humano, ubicada en la ciudad de Cúcuta, tiene una trayectoria en el mercado de tres años y su planta de personal está compuesta por 12 empleados.

Se le explicó al gerente de la empresa la idea de realizar un estudio de campo en la empresa con el fin de fortalecer el presente estudio al comprobar la importancia del uso de los intercambiadores iónicos en la purificación de agua en una empresa embotelladora.

Figura 5 Etiqueta Marca del Producto: "Agua Max Fresh"



Fuente: Empresa Max Fresh

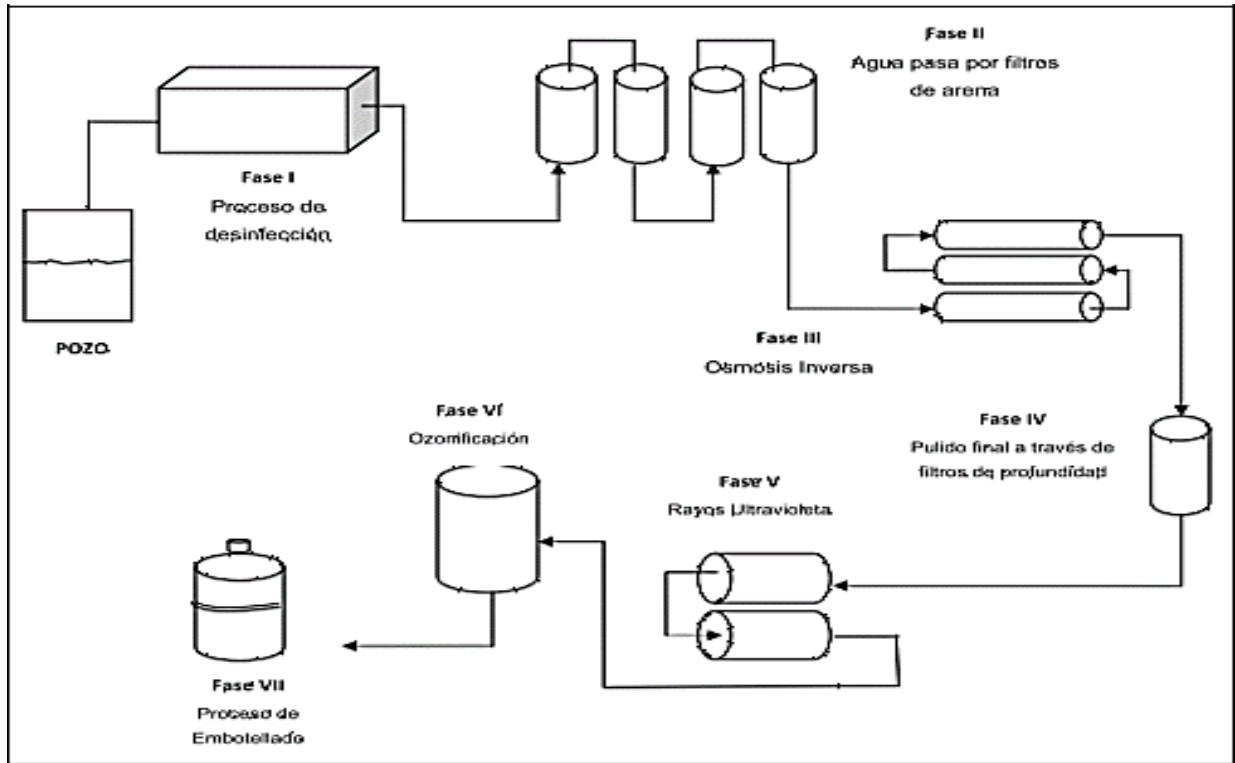
Número de Identificación Tributaria: EMBOTELLADORA MAX FRESH NIT. No. 88152033.

Figura 6 Zona de empaque del producto



Fuente: Empresa Max Fresh

Figura 7 Esquema proceso Productivo Agua Max Fresh



Fuente:

4.2. Descripción del proceso ionizador en la empresa para la potabilización del agua a embotellar

Mediante visita a la empresa y un recorrido por la misma se observó lo siguiente:

4.2.1. Captación de agua del acueducto

El agua se extrae del acueducto servicio prestado por Aguas Kpital de Cúcuta, esta agua se capta en tanques de polietileno, los cuales se lavan y sanitizan periódicamente.

4.2.2. Bombeo a los equipos de filtración.

El agua se suministra a los equipos de filtración mediante una bomba sumergible, la cual es muy silenciosa y proporciona el caudal y la presión necesarios para llevar a cabo eficientemente la filtración.

4.2.3. Filtro de sedimentos.

Este filtro detiene las impurezas grandes (sólidos hasta 30 micras) que trae el agua al momento de pasar por las camas de arena. Este filtro se regenera periódicamente; retro lavándose a presión, para desalojar las impurezas retenidas. Se realiza con el fin de evitar el paso de cualquier material o partícula que pudiese haber en la red del agua tales como formaciones calcáreas, sedimentos, limo, etc. Se utilizan filtros mecánicos de porosidad variable dependiendo de la calidad del agua. El material de estos filtros debe ser inerte y no afectar las características organolépticas del agua, por lo general se utilizan “cartridges” de polipropileno o poliéster plegado.

4.2.4. Filtro de carbón activado.

El agua se conduce por columnas con Carbón Activado. Este carbón activado elimina eficientemente el cloro, sabores y olores característicos del agua de pozo, además de una gran variedad de contaminantes químicos orgánicos, tales como: pesticidas, herbicidas, metilato de mercurio e hidrocarburos clorinados.

4.2.5. Suavizador.

Este filtro remueve del agua minerales disueltos en la forma de Calcio, Magnesio, y Hierro. La remoción de estos minerales se logra por medio de un proceso de intercambio iónico al pasar el agua a través del tanque de resina. El suavizador disminuye las sales disueltas antes de pasar al equipo de osmosis inversa.

4.2.6. Sistema de osmosis inversa.

La osmosis inversa separa los componentes orgánicos e inorgánicos del agua por el uso de presión ejercida en una membrana semipermeable mayor que la presión osmótica de la solución. La presión fuerza al agua pura a través de la membrana semipermeable, dejando atrás los sólidos disueltos. El resultado es un flujo de agua pura, esencialmente libre de minerales, coloides, partículas de materia y bacterias. El proceso se lo describe de la siguiente manera:

Membrana de osmosis inversa:

Compuesta por una película muy fina, esta membrana procesa 1500 galones por día. Además de todos los sólidos en suspensión, remueve los elementos que hacen el agua dura como, plomo, cobre, bario, cromo, mercurio, sodio, cadmio, flúor, nitrato, nitrito y selenio.

4.2.7. Posfiltro de Carbón en bloque:

Además de las cualidades antes expuestas sobre el carbón, termina de suprimir cualquier sabor que quede del proceso. Estas unidades son avaladas por la NSF como perfectas para reducir sabores en el agua.

4.2.8. Esterilizador de agua por Luz Ultravioleta:

La luz ultravioleta (UV), que es una parte natural de la luz solar, es aceptada como una solución, confiable, eficiente y respetuosa del medio ambiente en la desinfección del agua. Esta lámpara de UV utiliza la aplicación con un eficiente radiador luz ultravioleta a 258 nm, de amplio espectro que causa la muerte inmediata de los microorganismos: 99.9% destrucción de bacterias y virus.

Este debe ser el paso más importante para contar con un agua de calidad y asegurar su conservación; debido a que la luz UV no deja residual, es necesario como último procedimiento antes del envasado, realizar una ozonificación al agua, obteniendo un residual sanitizante al momento de sellar el envase; como el ozono es inestable, luego de un tiempo se convierte en oxígeno dejando el agua sin sabor.

4.2.9. Captación de agua purificada.

El agua ya purificada se almacena en tanques de acero inoxidable donde se contabiliza por medio de sensores de nivel electrónico que registraran los volúmenes de agua purificada en el sistema "SCADA" que es un sistema de adquisición de datos para historiales y control de inventario por medio de la electrónica y un computador.

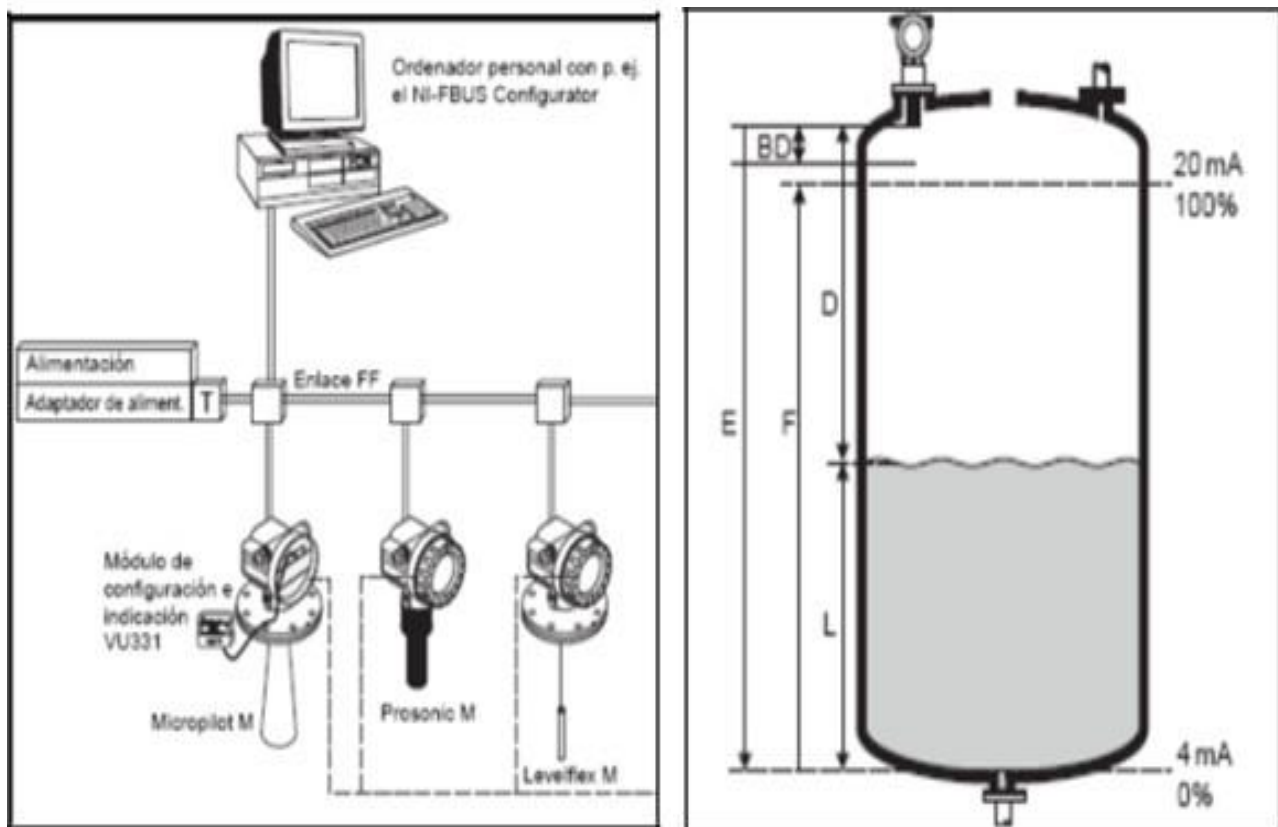
Los sensores usan el principio de ultrasonido, el mismo que se coloca en la parte superior del tanque de almacenamiento donde el sensor emite impulsos ultrasónicos hacia la superficie del producto. Al incidir los impulsos sobre la superficie, éstos se reflejan y vuelven al sensor. El sensor

determina el tiempo que transcurre entre la emisión y la recepción de un impulso. El instrumento utiliza este tiempo y la velocidad del sonido para calcular la distancia entre la membrana del sensor y la superficie del producto.

4.2.10. Bombeo final.

El agua purificada se bombea mediante un equipo hidroneumático a la lámpara de luz ultravioleta, luego al filtro pulidor y finalmente a los llenadores.

Figura 8 Sistema Scada para medición de nivel



4.2.11. Esterilizador de luz ultravioleta.

Funciona como germicida, anula la vida de las bacterias, gérmenes, virus, algas y esporas que vienen en el agua. Los microorganismos no pueden proliferarse ya que mueren al contacto con la luz.

4.2.12. Filtro pulidor.

La función de este filtro es de detener las impurezas pequeñas (sólidos hasta 5 micras). Los pulidores son fabricados en polipropileno grado alimenticio, después de este paso se puede tener un agua brillante, cristalina y realmente purificada.

4.2.13. Lavado exterior.

De manera muy independiente se lleva a cabo el proceso de recepción, y lavado exterior del garrafón, el cual se lleva a cabo por medios mecánicos, jabón biodegradable y agua suavizada.

4.2.14. Lavado interior.

Después del lavado exterior, el garrafón se lava interiormente mediante una solución sanitizante a presión y se enjuaga mediante agua suavizada a presión.

4.2.15. Llenado.

Finalmente se llena las botellas de las diferentes presentaciones y el garrafón, se los pone una tapadera nueva, se seca y se entrega al cliente. Un número de pruebas de proceso también son requeridas o recomendadas para medición de pH, sólidos totales disueltos y pruebas de sabor. Estas se realizan regularmente en el producto terminado durante el procesamiento para determinar si la producción es consistente y si el tratamiento es efectivo.

Un análisis posterior debe realizarse para detectar presencia de detergentes en las botellas limpias y así determinar si el enjuague es adecuado.

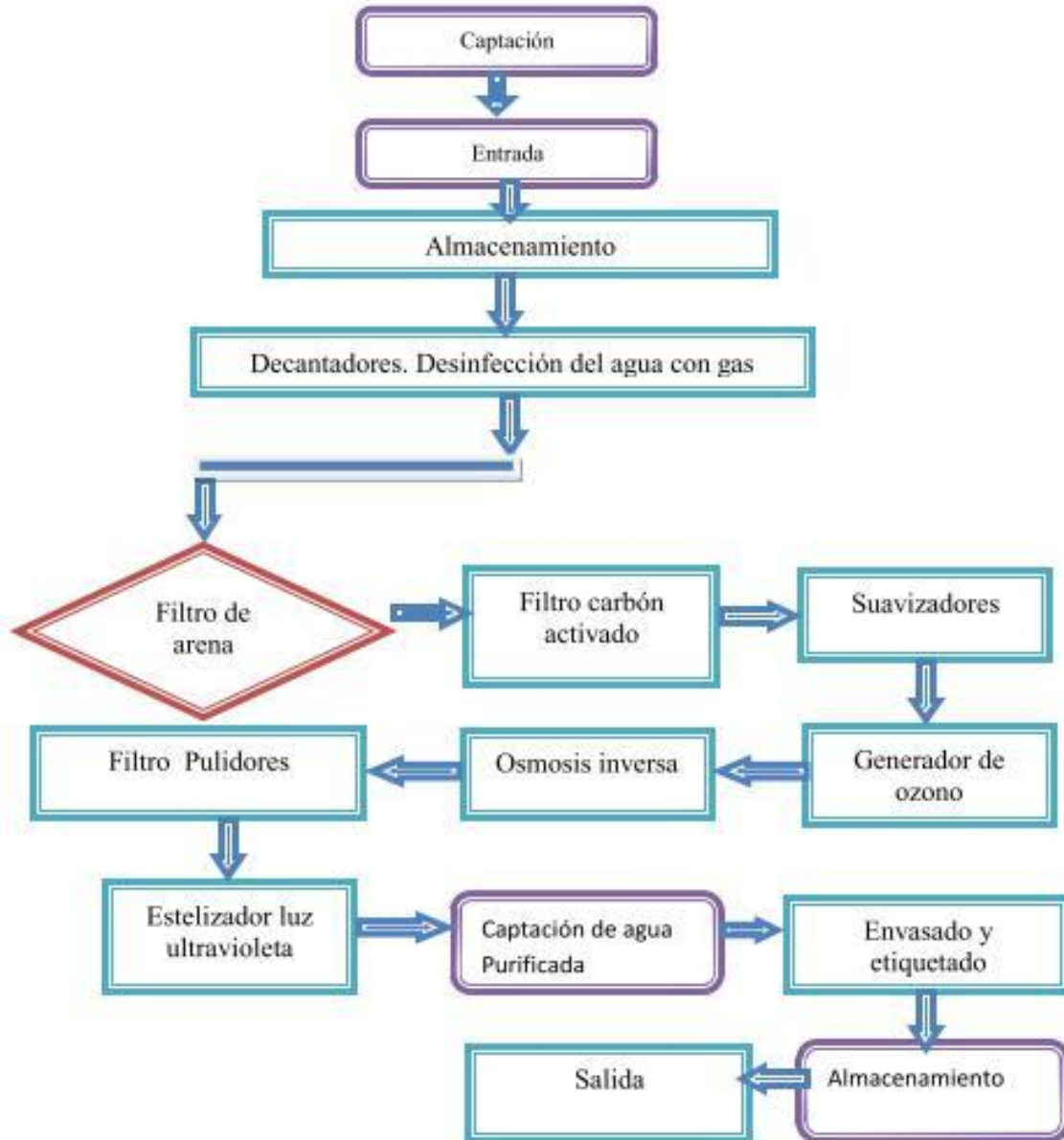
Tabla 5 Aspectos a considerar en el proceso de producción Agua Max Fresh

Lugar	Descripción	Estándar permitido
Fuente	Inspección mensual de la fuente Y toma de muestras.	Cero coliformes fecales/ml. de agua. Cero coliformes totales/ml. de agua.
Tubería de llenado de Botellas	Toma mensual de muestras de agua de cada tubo de salida	Cero coliformes fecales/ml. de agua. Cero coliformes totales/ml. de agua.
Etiquetado y Sellado de Botellas	Revisión diaria de la temperatura Correcta de la Selladora según el grosor de los envases.	La temperatura y tiempo necesario para un buen sellado.
Almacenamiento de Botellas	Se almacenarán las botellas que estén bien selladas y con sus Respectiva etiqueta.	Sólo serán almacenadas las botellas que hayan pasado los estándares de calidad anteriores y estén en perfecto estado.
Transporte de botellas	Las botellas que hayan pasado Todos los procesos y se encuentren en perfecto estado Serán transportadas a su comercialización.	No se transportarán botellas que tengan algún tipo de desperfecto.

Fuente: Tabla con datos de la empresa Agua Max Fresh

En la tabla 5 se observa aquellos aspectos importantes que se tienen en consideración en el proceso de producción de la empresa.

Figura 9 Diagrama proceso de producción



Fuente: esquema de la empresa Agua Max Fresh

Análisis de la visita y estudio técnico en la empresa Agua Max Fresh

El diseño y análisis del sistema de tratamiento del agua para el proceso de purificación de la misma de la empresa Agua Max Fresh, se elaboró a través de una visita realizada a la empresa donde se logró observar el proceso de ionización a través de filtros de intercambiadores iónicos

estudio realizado a los diferentes sistemas de tratamiento de agua industrial, con base a las normas y conceptos presentados por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000.

Figura 10 Tanques y filtros de intercambiadores iónicos



Fuente: Autor con información de la empresa Agua Max Fresh

Filtros de Intercambio Iónico utilizados por la empresa Agua Max Fresh

Suavización: Reducción de la dureza del agua (aportada principalmente por iones de Calcio y Magnesio disueltos en el agua) estos causan incrustación en tuberías, interfiere en procesos industriales, precipita detergentes y colorantes, ocasiona depósitos en griferías y manchas en equipos sanitarios, reducen la eficiencia en transferencia de calor en calderas y sistemas de refrigeración entre otros problemas.

La dureza es eliminada mediante el uso de resinas de intercambio iónico, que son regeneradas con una solución concentrada de cloruro de sodio (salmuera), dichas resinas se disponen en tanques cilíndricos verticales (Suavizadores) fabricados en PRFV, acero inoxidable o revestido, con sistema de maniobra manual o automática.

Desmineralización: Eliminación de sales disueltas en el agua por medio de resinas de intercambio iónico, catiónicas y aniónicas, con el fin de obtener aguas de baja conductividad especiales para procesos industriales.

Como se puede observar en la empresa Agua Max Fresh permite resaltar la importancia que tienen los intercambiadores iónicos en las empresas embotelladoras de agua procesada para el consumo humano. Observándose de esta forma que la purificación del agua ha tomado gran importancia en la sociedad, cada empresa maneja tecnologías diferentes acordes a sus productos.

Capítulo 5

Conclusiones

Los parámetros del agua son características físicas, químicas, biológicas y radiológicas que permiten detectar cual es el grado de contaminación que presenta el agua, la razón principal de este problema es su estructura molecular que es dipolar, con una constante dieléctrica muy alta superior a cualquier otro líquido. Algunos de estos se utilizan en el control de los procesos de tratamiento realizando mediciones de forma continua o discreta.

En si los intercambiadores iónicos, son un proceso que consiste en aprovechar la capacidad que tiene las resinas de intercambiar iones entre una fase sólida y una fase líquida en forma reversible, es decir que regresa a su estado original y sin cambio permanente en la estructura del sólido. Generalmente, la gran utilidad del intercambio iónico descansa en el hecho de usar una y otra vez los materiales de intercambio iónico puesto que el material intercambiador puede ser regenerado ya que el cambio que sufre en la “fase de operación” no es permanente.

Los iones comunes que se encuentran en la mayoría del agua incluyen los cationes de carga positiva; calcio magnesio cationes que generan dureza, los cuales hacen que el agua sea “dura” y sodio. Los aniones de carga negativa incluyen alcalinidad, sulfato, cloruro, y silicio. Las resinas de intercambio iónico son particularmente adecuadas para la eliminación de estas impurezas por varias razones: las resinas poseen una alta capacidad para los iones que se encuentran en bajas concentraciones, las resinas son estables y se regeneran fácilmente, los efectos de la temperatura son en su mayoría insignificantes, y el proceso es excelente tanto para las grandes como las pequeñas industrias.

La mayor parte de los materiales de esferas de intercambio iónico se fabrican usando un proceso de polimerización de suspensión, que utiliza estireno y divinilbenzeno (DVB). El estireno y DVB, ambos líquidos en un principio se colocan en un reactor químico con más o menos la misma cantidad de agua. Asimismo, está presente un agente flotador para mantener.

La necesidad por obtener agua con menores contaminantes, ha permitido al hombre, buscar nuevas alternativas más eficientes, con un mínimo de recursos económicos para purificar el agua y de esa manera tener un mercado competitivo, a precio accesible a la población.

Para iniciar un procedimiento de selección es indispensable realizar análisis del agua, ya que su realización nos permite conocer su calidad, y reduce la desconfianza por parte del usuario, pues es que tomando como base los resultados obtenidos, se selecciona el equipo adecuado para su purificación.

Referencias bibliográficas

- Arana, O. (1996). *Tratamiento de Aguas residuales para riego Agrícola industrial y urbano*. Universidad del Pacífico Occidental.
- Arboleda, V. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Bogotá : McGraw Hill.
- Assoc, H. (1993). *Standard Methods for the examination of water and waste* . Estados Unidos : Wwater.
- Balestrini, M. (2006). *Como se elabora el proyecto de Investigación*. Caracas: Consultores Asociados.
- Bernardo, L. (2003). *Métodos e técnicas de tratamento de agua associacao brasileira*. Río de Janeiro : Engenharia sanitaria e ambiental.
- Bratby, J. (1981). *Interpreting laboratory results for the design of rapid mixing and flocculation systems* . California : Journal of the American Water Works Association.
- Channy, R., Jeison, D., & Ruiz, G. (2003). Nitrificación con alta acumulación de nitritos para el tratamiento de aguas residuales con alta concentración de amoníaco. *Publimed*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12598199>
- Cheremisinoff, N. (1996). *Handbook of water and waster water treatment technology*. Inglaterra : Dekker.
- Colin, B., & Michael, C. (2014). *Química ambiental* (Segunda ed.). Barcelona: Reverté.
- Devinny, J., Deshusses, M., & Webste, T. (1998). *Biofiltration for air pollution control*. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC. CRC Pres.
- Edzwald, J. (2010). *Calidad y tratamiento del agua* . Nueva York: McGraw-Hill.
- ESCENCIE. (2018). Planta de tratamiento de agua potable. *Escencie*. Obtenido de <http://www.essence.pe/blog/>
- Etienne, G. (2009). *Potabilización y tratamiento de agua:* . México: Bvsde paho organización.

- Gabelich, W., Rahardianto, F., & Cohen, J. (2007). *High-recovery reverse osmosis desalination using intermediate chemical demineralization*. Estados Unidos: Membrane Science.
- García, O. (2002). Fundamentos de la Osmosis Inversa. *Universidad Oviedo*. Obtenido de www.luctra.com/manualOsmosis/Instalacion_osmosis_domestica.pdf
- González, R. (2000). Tratamientos Avanzados de las Aguas y Aguas Residuales. *Universidad Autónoma Chapingo*.
- Grágeda, M., & Grágeda, M. (2006). *Desarrollos actuales en tratamientos de riles por métodos electroquímicos*. Chile: Ciencia Abierta.
- Gray, D. (1999). *Water technology*. Gran Bretaña: Arnold.
- Gross, A., Kaplan, D., & Baker, K. (2007). Eliminación de contaminantes químicos y microbiológicos de las aguas grises domésticas utilizando un biorreactor de flujo vertical reciclado (RVFB). *Ingeniería ecológica*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng>
- Gunjan, D. (2012). *Metales Peligrosos eliminación con resina de intercambio iónico R3A2-20.7 nH''*. Pensilvania: LAP Lambert Academic Publishing AG& Co. KH.
- Iruin, Y. (2017). *El blog del búho*. Obtenido de <http://elblogdeuhogris.blogspot.com/2017/08/ionizadores-de-agua.html>
- James, E. (2010). *Water Quality and Treatment*. Nueva York: McGraw-Hill Professional Publishing.
- Joseph, A. (2020). *Intercambio Ionico*. Italia: Resintech Inc.
- Márquez, E. (2015). Tratamiento del agua mediante resinas de intercambio iónico. Conceptos básicos. *Fondo Verde*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/FondoVerde/tratamiento-del-agua-mediante-resinas-de-intercambio-inico-conceptos-bsicos>
- Márquez, J. (2012). *Tratamiento de agua*. Obtenido de El agua potable: http://www.elaguapotable.com/tratamiento_del_agua.htm
- Nuñez, L., Molinari, C., Paz, M., Tornello, C., Mantovano, J., & Moretton, J. (2014). Análisis de riesgo sanitario en aguas grises de la provincia de buenos aires, argentina. *Revista. Int. Contam. Ambie*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n4/v30n4a3.pdf>

- Ojha, B. (1993). *Models for Design of Flocculating Baffled Channels*. Water Research.
- Organización Panamericana de la Salud. (2002). *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente Ciclo: Tratamiento*. Washington D.C.: Serie: Desinfección. Manuales.
- Pedraza, N. (2003). *Plan de Acción para Formadores Ambientales*. Bogotá : Magisterio. Colombia.
- Pérez, P. (1997). *Manual de potabilización de agua*. Medellín. Universidad nacional de Colombia.
- Ramalho, R. (1996). *Tratamientos de Aguas Residuales*. Barcelona: Revert.
- Ramalho, R. (2005). *Tratamiento de aguas*. Barcelona: Reverté, S.A. .
- RAS. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico* . Bogotá : Ministerio de Desarrollo Económico .
- Romero, A. (2002). *Purificación del agua*. Medellín: Escuela Colombia de ingeniería.
- Romero, J. (1999). *Calidad del agua*. Bogotá: Alfaomega.
- Romero, J. (2000). *Purificación del agua*. Medellín: Escuela Colombia de ingeniería.
- Salamanca, E. (2016). Tratamiento de aguas para el consumo humano. *Módulo Arquitectura*.
Obtenido de file:///C:/Users/HP%20PC/Downloads/1527-Texto%20del%20art%C3%ADculo-5834-1-10-20170506.pdf
- Servin, L. (2000). *Metalurgia de Minerales No Metálicos*. México : USON.
- Shaposhnik, N., Zubets, B., & Strygina, M. (2000). *Demineralization of water by electrodialysis with ion-exchange membranes*. Nueva York: Elsevier Science.
- Skoog, D., West, ,, H. F., & Crouch, S. (2000). *Química analítica*. México: McGraw Hill Interamericana.
- Stanley, M. (1994). *Enviromental Cemistry*. USA: Lewis Publishera.
- Stanley, M. (2007). *Introducción a la química ambiental*. Barcelona´ : Reverté.
- Valencia, A. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua* (Tercera ed.). Bogotá: Mcgraw-Hill / Interamericana de Colombia.

Veatch, C. B. (2010). *The handbook of chlorination and alternative disinfectants*. Nueva York: White's Handbook of Chlorination.

Víctor, S., Lloani, C., & Salas, J. (2015). Evaluación preliminar de sistemas de intercambio iónico obtenidos de la borra del café aplicado como dispositivo para ablandamiento de aguas. *Arje*. Obtenido de <http://arje.bc.uc.edu.ve/arj18/art34.pdf>