



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA
LA EMPRESA PROCESADORA AGROINDUSTRIAL MIS FRUTALES”**

TESIS DE GRADO

Previa obtención del Título de

INGENIERO QUÍMICO

Presentado por:

MAYRA ALEXANDRA HERNÁNDEZ BALDEÓN

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

AGRADECIMIENTO

*Agradezco a mi Señor Jesucristo, quien no solo me ha dado
la fuerza, vida y la salud,
sino que ha guiado mi vida, mis pasos y
me ha dado la sabiduría necesaria para así cumplir uno de mis sueños,
a mis padres por su protección y apoyo,
a mis hermanos, sobrinos, abuelitos y amigos
que han sido un pilar fundamental para alcanzar mis éxitos.
Además un agradecimiento especial a mis amigas N.G.S.V. y a los docentes
quienes impartieron sus conocimientos día a día logrando
así formar un grupo de personas no solo
con gran intelecto sino con ética y gran carisma humano en especial al Ing. Gonzalo
Sánchez, José Usiña y Dr. Gerardo León.*

Mayra Alexandra Hernández Baldeón

DEDICATORIA

*Con gran cariño quiero dedicar este trabajo
a mis padres Antonio y Mariana porque sin ellos
no sería nada de lo que soy ahora,
ya que ellos han sabido educarme con gran responsabilidad,
a mis hermanos Carmita, Sebastián y Susana
con quienes he compartido mi infancia y mi vida,
a mis abuelitos Carmen y Leopoldo
quienes me han dado cariño, comprensión y apoyo.
Este trabajo lo he realizado con mucho esfuerzo
y se los dedico a ustedes porque los amo.*

Mayra Alexandra Hernández Baldeón

FIRMAS RESPONSABLES

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: **“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA EMPRESA PROCESADORA AGROINDUSTRIAL MIS FRUTALES”**, de responsabilidad de la señorita egresada Mayra Alexandra Hernández Baldeón, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Silvio Álvarez DECANO FAC. CIENCIAS
Ing. Mario Villacrés DIRECTOR ESC. ING. QUIMICA
Ing. Gonzalo Sánchez DIRECTOR DE TESIS
Ing. José Usiña MIEMBRO DEL TRIBUNAL
Tlgo. Carlos Rodríguez DIRECTOR DEL CENTRO DE DOCUMENTACIÓN
NOTA DE LA TESIS ESCRITA	

Yo, “Mayra Alexandra Hernández Baldeón, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la “**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO**”.

.....
Mayra Alexandra Hernández Baldeón

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A_{TA} :	Área del tanque de almacenamiento
A_{TAn} :	Área del tanque intercambiador de aniones
A_{TA} :	Área del tanque de almacenamiento
A_{TAn} :	Área del tanque intercambiador de aniones
A_{TC} :	Área del tanque intercambiador de cationes
A_{TCl} :	Área del tanque hipoclorador de almacenamiento
ADT:	Altura total de bombeo
C:	Coefficiente Hazzen Williams
Cs:	Concentración de la solución
D:	Diámetro de la tubería en impulsión.
D:	Diámetro de la tubería
Di:	Diámetro interno
d:	Dosis de cloro necesario
Ee:	Espesor del envolvente
Es:	Factor de soldadura
Em:	Módulo de elasticidad
Et:	Espesor de las tapas torio-esféricas
Ex:	Expansión de la resina al retrolavarla
Ff:	Espesor del falso fondo
fs:	Factor de Seguridad
GPD:	Granos necesarios en un día
grpg:	Gramos por galón
h_{TA} :	Altura del tanque de almacenamiento

h_{TAn} :	Altura del tanque intercambiador de aniones
h_{TC} :	Altura del tanque intercambiador de cationes
h_{di} :	Altura de los difusores
h_{TANQUE} :	Altura del tanque hipoclorador
HPA:	Perdida por accesorios
HTA:	Altura del tanque de almacenamiento.
HTC:	Altura del tanque de cloración.
H_p :	Potencia de la bomba
H_1 :	Altura estática de bombeo.
H_2 :	Pérdidas por fricción
H_3 :	Perdidas por accesorios
L:	Longitud de la tubería
lbs/mgal:	Libras por millón de galones
mg/L:	Miligramos por litro
m^3/s :	Metros cúbicos por segundo
ppm:	Partes por millón
P:	Presión máxima
P' :	Presión máxima x Di
P_{Cl} :	Peso del cloro en g/h
P_C :	Peso del producto comercial
Q:	Caudal de diseño
q_s :	Demanda horaria de la solución en l/h
r:	Radio
r_{Cl} :	Porcentaje de cloro activo que contiene el producto comercial

S:	Resistencia del material
t:	Horas de operación
Tt:	Espesor de las tapas torioesféricas
tr:	Tiempo de retención
V _{TA} :	Volumen del tanque de almacenamiento
V:	Velocidad
V _{resina} :	Volumen de resina necesaria
V _{TA} :	Volumen del tanque intercambiador de aniones
V _{TC} :	Volumen del tanque intercambiador de cationes
V _{HCl} :	Volumen del tanque hipoclorador de almacenamiento
V _{resina} :	Volumen de la resina necesaria
W:	Flujo másico
ρ:	Densidad del agua
Δ :	Deflexión

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula

Agradecimiento

Dedicatoria

Hoja de firmas

Hoja de responsabilidad

Índice de abreviaturas

Índice de contenidos

Índice de figuras

Índice de tablas

Índice de gráficos

Índice de fotos

Índice de anexos

Índice de contenidos

SUMMARY	42
RESUMEN	43
INTRODUCCIÓN	44
ANTECEDENTES	45
JUSTIFICACIÓN	46
OBJETIVOS	47
1. MARCO TEORICO	25
1.1. AGUA POTABLE.....	25
1.1.1. POTABILIZACIÓN	26
1.1.2. FORMAS DE CONSEGUIR AGUA POTABLE	26
1.1.3. CALIDAD DE AGUA POTABLE.....	27

1.1.4.	CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE.....	29
1.1.4.1.	FÍSICAS.....	29
1.1.4.2.	QUÍMICAS.....	30
1.1.4.2.1.	TÉRMINOS QUÍMICOS	30
1.1.4.2.2.	SUSTANCIAS TÓXICAS:	31
1.1.4.3.	BIOLÓGICA	36
1.1.5.	PUNTOS A CONSIDERAR PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA.	37
1.2.	PROCESO PREVIO A LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA	39
1.2.1.	FUENTE HIDROLÓGICA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA.....	40
1.2.2.	CAPTACIÓN.....	43
1.2.2.1.	CAPTACIÓN EN EMBALSES	43
1.2.2.2.	CAPTACIÓN EN RIOS	44
1.2.3.	ADUCCIÓN	45
1.2.3.1.	ADUCCIÓN POR GRAVEDAD.....	45
1.2.3.1.1.	TIPOS DE ADUCCIÓN POR GRAVEDAD.....	45
1.2.3.2.	ADUCCIÓN FORZADA O POR BOMBEO.....	45
1.2.3.2.1.	TIPOS DE ADUCCIÓN POR BOMBEO	46
1.3.	MÉTODOS DE PURIFICACIÓN DEL AGUA	48
1.3.1.	AUTOPURIFICACIÓN Y REPOSO	48
1.3.2.	AERACIÓN.....	50
1.3.2.1.	TIPOS DE AIREADORES.....	51
1.3.2.1.1.	AIREADORES DE BANDEJAS	51
1.3.2.1.2.	AIREADORES DE CASCADA.....	52
1.3.3.	MEZCLADO, COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN	53
1.3.3.1.	Aplicación de coagulantes químicos.....	53
1.3.3.2.	COAGULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN	54
1.3.3.2.1.	Mezclado.....	54
1.3.3.2.2.	Coagulación y Floculación	55
1.3.3.2.3.	Sedimentación.....	56
1.3.3.2.4.	Control de Laboratorio.....	57
1.3.4.	FILTRACIÓN.....	58
1.3.4.1.	FILTRACIÓN LENTA POR ARENA.....	59

1.3.4.1.1.	Material filtrante	60
1.3.4.2.	FILTRACIÓN RÁPIDA POR ARENA	61
1.3.4.2.1.	Principio.....	61
1.3.4.3.	FILTROS DE DIATOMEAS	62
1.3.5.	ABLANDAMIENTO DE AGUA	63
1.3.5.1.	ABLANDAMIENTO CAL- SODA-LIME SOFTENING.....	63
1.3.5.2.	FORMACIÓN DE COMPLEJOS	64
1.3.5.3.	INTERCAMBIO IONICO.....	64
1.3.5.3.1.	DESIONIZACIÓN COMPLETA.....	67
1.3.5.3.2.	REGENERACIÓN DE UNA RESINA.....	67
1.3.6.	DESINFECCIÓN.....	68
1.3.6.1.	CLORACIÓN	68
1.3.6.2.	OSMOSIS INVERSA.....	69
1.3.6.3.	LUZ ULTRAVIOLETA	70
2.	PARTE EXPERIMENTAL	72
2.1.	MUESTREO.....	72
2.2.	METODOLOGIA	73
2.2.1.	MÉTODOS Y TÉCNICAS.....	73
2.2.1.1.	MÉTODOS	73
2.2.1.1.1.	Análisis Físico-Químicos.....	73
2.2.1.1.2.	Análisis microbiológicos	75
2.2.1.2.	TÉCNICAS	75
2.2.1.2.1.	Caracterizaciones Físico-Químicos	76
2.2.1.2.2.	Caracterizaciones Microbiológicas.....	79
2.2.1.2.3.	Norma de Calidad Ambiental: Recurso Agua	80
2.3.	DATOS EXPERIMENTALES.....	85
2.3.1.	DIAGNÓSTICO	85
2.3.2.	DATOS	85
2.3.2.1.	Caracterización del Agua que ingresa a la Empresa.....	85
2.4.	DATOS ADICIONALES	86
2.4.1.	Tabla de caracterización del agua.....	86
2.4.1.1.	Análisis Físico-Químico del agua que ingresa a la empresa	86
2.4.1.2.	Análisis Microbiológico del Agua que Ingres a la Empresa.....	87
3.	LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	89

3.1.	CÁLCULOS	92
3.1.1.	DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO	92
3.1.2.	Dimensionamiento de la Bomba del Tanque de Almacenamiento.....	93
3.1.3.	DISEÑO DEL DESIONIZADOR	97
3.1.3.1.	DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CATIONES.....	97
3.1.3.2.	DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE ANIONES	102
3.1.4.	DISEÑO DEL TANQUE DE CLORACIÓN.....	107
3.1.4.1.	Dosificación	107
3.1.4.2.	Dimensionamiento del tanque de contacto para la mezcla de cloro	109
3.2.	RESULTADOS	110
3.3.	PROPUESTA.....	113
3.4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	114
3.4.1.	DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS ...	114
3.4.1.1.	Determinación de pH del Agua que Ingres a la Empresa	114
3.4.1.2.	Determinación de Conductividad en el Agua que Ingres a la Empresa..	115
3.4.1.3.	Determinación de Turbiedad en el Agua que Ingres a la Empresa.....	116
3.4.1.4.	Determinación de Cloruros en el Agua que Ingres a la Empresa	117
3.4.1.5.	Determinación de Dureza del Agua que Ingres a la Empresa.....	118
3.4.1.6.	Determinación de Calcio en el Agua que Ingres a la Empresa.....	119
3.4.1.7.	Determinación de Magnesio en el Agua que Ingres a la Empresa.....	120
3.4.1.8.	Determinación de Alcalinidad del Agua que Ingres a la Empresa	121
3.4.1.9.	Determinación de Bicarbonatos en el Agua que Ingres a la Empresa	122
3.4.1.10.	Determinación de Sulfatos en el Agua que Ingres a la Empresa	123
3.4.1.11.	Determinación de Amonios en el Agua que Ingres a la Empresa.....	124
3.4.1.12.	Determinación de Nitritos en el Agua que Ingres a la Empresa	125
3.4.1.13.	Determinación de Nitratos en el Agua que Ingres a la Empresa	126
3.4.1.14.	Determinación de Hierro en el Agua que Ingres a la Empresa.....	127
3.4.1.15.	Determinación de Fosfatos en el Agua que Ingres a la Empresa.....	128
3.4.1.16.	Determinación de Sólidos Totales en el Agua que Ingres a la Empresa...	129
3.4.1.17.	Determinación de Sólidos Disueltos en el Agua que Ingres a la Empresa	130
3.4.2.	DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS	131
3.4.2.1.	Determinación de Coliformes Totales	131

3.4.2.2. Determinación de Coliformes Fecales	132
3.4.3. Evaluación de los parámetros microbiológicos después de la desinfección...	133
3.4.3.1. Coliformes Totales.....	133
3.4.3.2. Coliformes Fecales	133
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
4.1. CONCLUSIONES	134
4.2. RECOMENDACIONES.....	136
BIBLIOGRAFÍA	137
ANEXOS	1341

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	1.2.1-1	41
Figura	1.2.2.2-1	44
Figura	1.2.3.2.1-1	46
Figura	1.2.3.2.1-2	47
Figura	1.2.3.2.1-3	47
Figura	1.3.2.1.1-1	51
Figura	1.3.2.1.1-2	51
Figura	1.3.2.1.2-1	52
Figura	1.3.2.1.2-2	52
Figura	1.3.5.3-1	65
Figura	1.3.6.2-1	69
Figura	3.3-1	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.2.1-1	42
Tabla 2.2.1.1.1-1	74
Tabla 2.2.1.1.2-1	75
Tabla 2.2.1.2.1-1	76
Tabla 2.2.1.2.2-1	79
Tabla 2.2.1.2.3-1	81
Tabla 2.4.1.1-1	86
Tabla 3.2-1	109
Tabla 3.2-2	109
Tabla 3.2-3	109
Tabla 3.2-4	110
Tabla 3.2-5	110
Tabla 3.2-6	110
Tabla 3.2-7	111
Tabla 3.2-8	111
Tabla 3.4.1.1-1	114
Tabla 3.4.1.2-1	115
Tabla 3.4.1.3-1	116
Tabla 3.4.1.4-1	117
Tabla 3.4.1.5-1	118
Tabla 3.4.1.6-1	119
Tabla 3.4.1.7-1	120

Tabla 3.4.1.8-1	121
Tabla 3.4.1.9-1	122
Tabla 3.4.1.10-1	123
Tabla 3.4.1.11-1	124
Tabla 3.4.1.12-1	125
Tabla 3.4.1.13-1	126
Tabla 3.4.1.14-1	127
Tabla 3.4.1.15-1	128
Tabla 3.4.1.16-1	129
Tabla 3.4.1.17-1	130
Tabla 3.4.2.1-1	131
Tabla 3.4.2.2-1	132
Tabla 3.4.3.1-1	133
Tabla 3.4.3.2-1	133

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.4.1.1-1	114
Gráfico 3.4.1.2-1	115
Gráfico 3.4.1.3-1	116
Gráfico 3.4.1.4-1	117
Gráfico 3.4.1.5-1	118
Gráfico 3.4.1.6-1	119
Gráfico 3.4.1.7-1	120
Gráfico 3.4.1.8-1	121
Gráfico 3.4.1.9-1	122
Gráfico 3.4.1.10-1	123
Gráfico 3.4.1.11-1	124
Gráfico 3.4.1.12-1	125
Gráfico 3.4.1.13-1	126
Gráfico 3.4.1.14-1	127
Gráfico 3.4.1.15-1	128
Gráfico 3.4.1.16-1	129
Gráfico 3.4.1.17-1	130
Gráfico 3.4.2.1-1	131
Gráfico 3.4.2.2-1	132
Gráfico 3.4.3.1-1	133
Gráfico 3.4.3.2-1	133

SUMMARY

Drinking water treatment plant design for “My Fruit”, Agro Industrial Processing Company located in San Luis, Riobamba.

Based on the experimental scientific method, we proceed to perform the water analysis supplied to “My Fruit”, Agro Industrial Processing Company, it was determined that the parameters are outside the allowable limits, and then we propose the most effective water purification system, which was evaluated in the Technical and Microbiological Analysis Lab of ESPOCH. We use materials and laboratory equipment such as spectrophotometer and samplers.

This treatment will be able to remove hardness, alkalinity, total and fecal coliforms, which are the off limits parameters, so a storage system was structured ($V=3,6m^3$), deionization system was based in a twin tank system used for cations removal ($V=0,0075m^3$) and a disinfections system ($V=2m^3$), all designed with engineering calculations.

It is concluded that this treatment is effective because it is able to remove hardness, alkalinity and water coliforms, so that it can be used in the company processes.

It is recommended that the personnel in charge of the water treatment plant do not neglect the regeneration of the resin in the deionizer as these are mainstay of treatment; they also have to be careful with the dosage so that the water is free of microbial charge.

RESUMEN

Se diseñó una planta de tratamiento de agua potable para la Empresa Procesadora Agroindustrial Mis Frutales, ubicada en la parroquia San Luis, en la ciudad de Riobamba.

Basándonos en el método científico experimental, se procedió a realizar el análisis del agua que ingresa a la Empresa Procesadora Agroindustrial Mis Frutales, se pudo determinar los parámetros que están fuera de los límites permitidos, para posteriormente proponer el sistema más efectivo de potabilización, el cual fue evaluado en el Laboratorio de Análisis Técnicos y Microbiológicos de la ESPOCH, siendo el más adecuado. Se utilizó los materiales y equipos del laboratorio como espectrofotómetro, embaces recolectores de muestras.

El tratamiento será capaz de eliminar Dureza, Alcalinidad, Coliformes Totales y Fecales, que son los parámetros que están fuera de los límites, por lo cual se estructuró un sistema de almacenamiento ($V= 3,6 \text{ m}^3$), el sistema de desionización se basará en un sistema de tanques gemelos, utilizados para la eliminación de cationes ($V= 0,0075\text{m}^3$) y la eliminación de aniones ($V= 0,012 \text{ m}^3$) y un sistema de desinfección ($V= 2\text{m}^3$), todo esto fue diseñado con cálculos de ingeniería.

Se concluye que este tratamiento es efectivo ya que es capaz de eliminar la dureza, la alcalinidad y los coliformes del agua, para que la misma sea capaz de ser usada en los procesos de la empresa.

Se recomienda que el personal a cargo de la planta potabilizadora no descuide la regeneración de la resina en los desionizadores ya que estos son la parte fundamental del tratamiento, también se deberá tener cuidado en cuanto a la dosificación para que así el agua esté libre de carga microbiana.

INTRODUCCIÓN

El proyecto tiene como objetivo potabilizar el agua que ingresa a la empresa y que será utilizada en el proceso de producción de pulpas en la **EMPRESA PROCESADORA AGROINDUSTRIAL MIS FRUTALES**.

Para esto se ha diseñado una planta de tratamiento de agua potable, de la cual obtendremos agua en condiciones óptimas lista para ser utilizada en el proceso; para el diseño de esta planta se ha utilizado el método más adecuado.

La finalidad de este proyecto es obtener agua de buena calidad, por medio del diseño del tratamiento más adecuado de potabilización, para esto se ha realizado un estudio de los métodos factibles de potabilización y el análisis del agua que se va a tratar, para así elegir el sistema más adecuado que además de darnos el agua con las características deseadas nos ayude a optimizar recursos.

ANTECEDENTES

La empresa “PROCESADORA AGROINDUSTRIAL MIS FRUTALES” creada en el 2006, se encuentra ubicada en la parroquia San Luis, su producción se enfoca a la elaboración de pulpas de fruta 100% natural.

La industria ha considerado que la mejor manera de mantener la durabilidad de los alimentos en este caso las frutas, es por medio de procesos industriales los cuales preservan el sabor, aspecto y aroma característico de los mismos.

Este tipo de empresa pese a ser una manera eficaz de desarrollo de la agroindustria, se ve involucradas en cierto tipo de dificultades que les impiden desarrollar su producción con éxito en este caso el problema es la falta de agua potable que dificulta el funcionamiento de esta empresa.

El agua que se expende en la parroquia San Luis es solamente agua entubada, proveniente de la vertiente natural Santa Cruz, en dicha parroquia, cabe señalar que este tipo de agua carece de calidad no solo para el desarrollo de la empresa sino también para el consumo humano.

La empresa trata de mejorar la calidad del agua antes de que esta sea utilizada en el proceso, para que la producción no se vea afectada, pero esto no es suficiente ya que la producción se retrasa, y además en los equipos empiezan a existir daños y deterioros prematuros y continuos.

En visto de estos inconvenientes la empresa se ha visto en la necesidad de diseñar una planta de tratamiento de agua potable, que proporcione agua de calidad para que sea utilizada en los procesos de producción.

JUSTIFICACIÓN

Pese al esfuerzo de la empresa de mejorar la calidad de agua de una manera empírica, esto no es suficiente, además el agua a utilizar no está en las condiciones que se desea, ya que si el agua no está en óptimas condiciones puede traer consecuencias graves para la empresa ya que puede contaminar el producto y echar a perder la producción acarreando así daños no solo económicos sino también en la confiabilidad del producto y en especial de la empresa.

La tecnología y los conocimientos nos permiten tener a la mano herramientas claves para poder diseñar una planta de potabilización de agua potable que nos permitirá tener agua que cumpla con los parámetros de calidad establecidos en el TULAS.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar la planta de tratamiento de agua potable para la empresa “PROCESADORA AGROINDUSTRIAL MIS FRUTALES”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las características físico-químicas y microbiológicas del agua que se utiliza en la empresa.
- Investigar diferentes métodos de diseño y tratamiento para potabilizar el agua.
- Seleccionar y diseñar el sistema de tratamiento más adecuado para la empresa.
- Evaluar las características físico-químicas y microbiológicas del agua que se obtendrá después de haber sido tratada.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEORICO

1.1. AGUA POTABLE

Se denomina agua potable o agua para consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

Por lo general establece valores máximos y mínimos para el contenido en minerales, diferentes iones como cloruros, nitratos, nitritos, amonio, calcio, magnesio, fosfato, arsénico, entre otros, además de los gérmenes patógenos. Los controles sobre el agua potable suelen ser más severos que los controles aplicados sobre las aguas minerales embotelladas.

En zonas con intensivo uso agrícola es cada vez más difícil encontrar pozos cuya agua se ajuste a las exigencias de las normas. Especialmente los valores de nitratos y nitritos, además de las concentraciones de los compuestos fitosanitarios, superan a menudo el umbral de lo permitido. El nitrógeno aplicado de esta manera, que no es asimilado por las plantas es transformado por los microorganismos del suelo en nitrato y luego arrastrado por el agua de lluvia al nivel freático. También ponen en peligro el suministro de agua potable otros contaminantes medioambientales como el derrame de derivados del petróleo, lixiviados de minas, etc. Las causas de la no potabilidad del agua son:

- Bacterias, virus;
- Minerales (en formas de partículas o disueltos), productos tóxicos;
- Depósitos o partículas en suspensión.¹

¹ http://es.wikipedia.org/wiki/potable/Agua_potable.htm

1.1.1.POTABILIZACIÓN

Es el proceso de conversión de agua común en agua potable. Los procesos de potabilización son muy variados, y van desde una simple desinfección, para eliminar los patógenos, que se hace generalmente mediante la adición de cloro, mediante la irradiación de rayos ultravioletas, mediante la aplicación de ozono, etc. Estos procedimientos se aplican a aguas que se originan en manantiales naturales o para las aguas subterráneas. Si la fuente del agua es superficial, agua de un río arroyo o de un lago, ya sea natural o artificial, el tratamiento suele consistir en un stripping de compuestos volátiles seguido de la precipitación de impurezas con floculantes, filtración y desinfección con cloro u ozono. El caso extremo se presenta cuando el agua en las fuentes disponibles tiene presencia de sales y/o metales pesados. Los procesos para eliminar este tipo de impurezas son generalmente complicados y costosos.

1.1.2.FORMAS DE CONSEGUIR AGUA POTABLE

El agua captada de la lluvia debe recibir un tratamiento de filtrado y cloración para que pueda ser realmente potable. En algunos sistemas de captación de agua de lluvia, antes de que el agua caiga en el canal receptor que la llevará a su contenedor, se coloca una malla para detener hojas y semillas de árbol, luego se filtra colocando un "tapón" de carbón activado y finalmente ya estando en el recipiente contenedor se agrega 1 mililitro de cloro por cada litro de agua.

- **Hervir el agua de los ríos o charcos:** con el fin de evitar la contaminación bacteriana. Este método no evita la presencia de productos tóxicos. Con el fin de evitar los depósitos y las partículas en suspensión, se puede tratar de

decantar el agua dejándola reposar y recuperando el volumen más limpio, desechando el volumen más sucio (depositado al fondo o en la superficie).

- **El agua que se hierve y cuyo vapor puede recuperarse por condensación:** Es un medio para conseguir agua pura (sin productos tóxicos, sin bacterias o virus, sin depósitos o partículas). En la práctica, fuera del laboratorio, el resultado no es seguro. El agua obtenida por este medio se denomina agua destilada.
- **Pastillas potabilizadoras:** Con ellas es posible obtener agua limpia y segura. Deben aplicarse en cantidades exactas y dejar reposar lo suficiente antes de consumir el agua. Se recomienda leer las instrucciones de uso y fecha de vencimiento.²

1.1.3. CALIDAD DE AGUA POTABLE

La precipitación en forma de lluvia, nieve, granizo o hielo, contiene muy pocas impurezas pero no tiene contenido bacteriano.

A partir del instante en que la precipitación toca la superficie de la tierra, se presentan múltiples oportunidades para que se introduzcan sustancias minerales y orgánicas, microorganismos y otras formas de polución (contaminación). Cuando el agua corre a través de la superficie del suelo puede arrastrar partículas del suelo esto se aprecia en las aguas como opacidad o turbiedad. También arrastra partículas de materia orgánica y bacterias a medida que el agua superficial se introduce en los suelos a través de diversos materiales hasta el manto freático, la mayor parte de las partículas o sólidos en suspensión se retienen por la filtración, esta filtración natural puede ser parcialmente

² http://es.wikipedia.org/wiki/potable/Agua_potable#formas_para_conseguir_agua_potable.htm

eficaz para la remoción de bacterias y otros materiales particulados; sin embargo las características químicas del agua pueden cambiar y variar considerablemente cuando entra en contacto con depósitos minerales. Los agentes que alteran la calidad de agua a medida que se desplaza sobre o por debajo de la superficie de la tierra pueden clasificarse en cuatro rubros principales:

- **Físicos:** Relativos a la calidad del agua para usos domésticos y que se asocian generalmente con la apariencia del agua, su color, turbiedad o su temperatura, sabor y olor en particular.
- **Químicos:** Las diferencias químicas entre las aguas se ponen de manifiesto, en ocasiones, por las reacciones que se observan, tales como reacciones distintas de aguas blandas o duras en el lavado de ropa.
- **Biológicos:** los agentes biológicos son muy importantes en su relación con la salud pública, pudiendo ser, también, de considerable importancia en la modificación de las características físicas y químicas del agua.
- **Radiología:** Deben considerarse los factores radiológicos en zonas donde existas la posibilidad de que el agua llegue a estar en contacto con sustancias radioactivas.

Consecuentemente, en la explotación de un sistema particular de abastecimiento de agua, es necesario examinar, cuidadosamente, todos los factores que pueden afectar adversamente la utilización que se pretenda obtener de una fuente de abastecimiento.³

3 CENTRO REGIONAL DE AYUDA TECNICA A.I.D., MANUAL SOBRE PEQUEÑOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, Editorial C_{VLTVRA}, T.G.S.A., México D.F, pp 7.

1.1.4. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE

1.1.4.1. FÍSICAS

El agua para utilizarse, deberá estar libre de impurezas que sean ofensivas a la vista, gusto y olfato. Las características físicas:

- **Turbiedad:** es la presencia de materia en suspensión tales como arcillas, limo, materia orgánica finamente dividida “plancton” y otras materias y materias inorgánicas en el agua, cuando excede a las 5 unidades es fácilmente notable en un vaso con agua.
- **Color:** las materias orgánicas disueltas provenientes de la descomposición vegetal así como ciertas materias inorgánicas son causas de color en las aguas, ocasionalmente puede deberse por la existencia de algas o al crecimiento de microorganismos acuáticos. El agua que contenga esta característica es rechazada.
- **Sabor y olor:** las materias extrañas, tales como compuestos orgánicos, sales inorgánicas y gases disueltos, pueden causar olores y sabores en el agua estas materias pueden provenir de fuentes domésticas, agrícolas o naturales. Las aguas potables aceptables deberán estar exentas de cualquier sabor u olor objetable.
- **Temperatura:** las mejores aguas que pueden considerarse para beber son aquellas que pueden considerarse como frías y que no tiene fluctuaciones en su temperatura de más de unos grados. Se considera que la temperatura entre 10 y 15 ° C son las más agradables.⁴

4 CENTRO REGIONAL DE AYUDA TECNICA A.I.D., MANUAL SOBRE PEQUEÑOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, Editorial C_{VLTVRA}, T.G.S.A., México D.F., pp 7.

1.1.4.2. QUÍMICAS

La cantidad de rocas existentes en la superficie terrestre no afecta solo a la cantidad que se puede recuperar sino también a las características del agua. Las aguas del subsuelo contienen con mayor frecuencia cantidades superiores de minerales que las de la superficie. El análisis químico en un abastecimiento de agua incluye por lo general la determinación: Dureza Total, Alcalinidad Total, pH, y la presencia de sulfato y cloruros. El volumen necesario de agua y el método para su recolección se hará de acuerdo a la institución encargada de realizar los análisis.

1.1.4.2.1. TÉRMINOS QUÍMICOS

- **Alcalinidad:** Es causada en el agua por bicarbonatos, carbonatos o compuestos hidróxidos.

La existencia de estos compuestos se determina por los métodos estándar que tienen titulaciones con varias soluciones indicadoras. El conocer los compuestos de alcalinidad es útil en la potabilización de las aguas de abastecimiento.

- **Dureza:** Los términos agua “dura” y agua “blanda” son relativos.

El agua dura retarda la acción limpiadora de los jabones y detergentes ocasionando dispendios, ya sea en el trabajo o en la cantidad de agentes limpiadores. Las sales de calcio y magnesio, causantes de la dureza del agua se dividen en: Dureza temporal y Dureza permanente.

- ✓ **Dureza Temporal:** o producida por carbonatos se debe a que se suprime grandes partes de ellos debido al calentamiento de las aguas las partículas sólidas precipitan y se adhieren a las paredes de la tubería y a las superficies calentadas.

- ✓ **Dureza Permanente:** o no producida por carbonatos recibe este nombre porque no se elimina por calentamiento esto se debe principalmente a la presencia de sulfatos y cloruros de calcio y magnesio.
- **pH:** es una medida de concentración de iones Hidrógeno en las aguas. También cuantifica el contenido ácido o alcalino.

Sus valores van de 0 a 14 siendo 7 el valor de las aguas neutras. Por lo general el valor de pH en estado natural va desde 5.5 hasta 9.0. la determinación de pH ayuda al control de la corrosión.

1.1.4.2.2. SUSTANCIAS TÓXICAS:

El agua puede contener sustancias tóxicas si estas exceden los límites estas no se deberán utilizar. Entre las principales sustancias tóxicas tenemos:

- **Cloruros:** la mayoría de las aguas contiene cloruros en solución; esto puede ser causado por desechos industriales y domésticos.

La concentración de cloruros que exceden los 250mg/l, generalmente son causa de un sabor apreciable en las aguas de bebida. Las aguas de uso doméstico deben contener menos de 100 mg/l. Generalmente el aumento de cloruros en las aguas puede ser indicativo de contaminación de aguas negras.
- **Cobre:** el cobre se encuentra en algunas aguas n especial donde se explota este material.

El cobre en cantidades pequeñas no se considera perjudicial para la salud, pero da un sabor desagradable a las aguas potables, el límite recomendado es de 1mg/l.
- **Hierro:** con frecuencia se encuentran en el agua, pequeñas cantidades debido a las grandes cantidades de hierro que existe en el suelo.

Es objetable la presencia de hierro en las aguas debido a un color pardusco. El límite permisible es de 0.3mg/l.

- **Sulfatos:** las aguas que contienen altas concentraciones de sulfatos son causadas por el deslave de depósitos naturales de sulfato de sodio y magnesio. El límite permisible que no se debe exceder es 250mg/l.⁵
- **Sodio y potasio:** El sodio es un catión común en el agua, sobre todo en aguas salobres con contenido en cloruro sódico. En principio si su contenido no es excesivo, no es un catión muy molesto. El potasio es un catión raro en el agua. La única forma de eliminar ambos, es mediante desmineralización u ósmosis inversa.
- **Calcio y Magnesio:** Como hemos dicho son los responsables de la dureza del agua. El calcio es el catión más frecuente en el agua y se encuentra en mayor proporción que el magnesio. Debido a que las sales de calcio y magnesio tienen propiedades incrustantes y reaccionan con los jabones, tintes y colorantes, son sales que molestan en gran número de aguas. Su eliminación se realiza por descalcificación por resinas de intercambio iónico, y la instalación necesaria es un descalcificador. También se puede realizar, en grandes instalaciones, una descalcificación por adición de hidróxido cálcico, para eliminar la dureza temporal y carbonato sódico y para eliminar la dureza permanente.
- **Hierro y manganeso:** Son cationes menos frecuentes en el agua, pero cuando están presentes en ella su efecto es muy aparatoso y desagradable. Pueden presentarse en el agua en forma soluble o en forma insoluble. Normalmente, la forma soluble corresponde al óxido ferroso o manganeso y la forma insoluble a

5 CENTRO REGIONAL DE AYUDA TECNICA A.I.D., MANUAL SOBRE PEQUEÑOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, Editorial C_{VLTVRA}, T.G.S.A., México D.F., pp 8-9

la forma más oxidada u óxido férrico o mangánico. La importancia del hierro o manganeso cabe considerarla por el color y gusto ferruginoso del agua. En algunos casos la presencia de estos elementos también puede ser debida a la corrosión de las canalizaciones de las instalaciones. Su eliminación, como veremos más adelante, está basado en un proceso mixto de oxidación-filtración.

- **Bicarbonatos:** Están presentes en todas las aguas como hemos visto anteriormente, y pueden eliminarse por eliminación de anhídrido carbónico, que descompondrá los bicarbonatos en carbonatos, hirviendo el agua o por decarbonatación química mediante hidróxido cálcico y sulfato de alúmina. También pueden destruirse por dosificación de ácido clorhídrico o sulfúrico o mediante desmineralización u ósmosis inversa.
- **Carbonatos:** Los carbonatos normalmente presentes en el agua son cálcicos y se presentan en pequeñas cantidades. Se pueden eliminar por intercambio iónico y desmineralización.
- **Anhídrido Carbónico:** Está presente en todas las aguas en mayor o menor medida, siendo su presencia alta en las denominadas aguas carbónicas, siendo su presencia no estable y pasando a la atmósfera en burbujas. La mejor forma de eliminarlo es por aireación o desgasificación térmica.
- **Oxígeno:** También se encuentra presente en todas las aguas en mayor o menor medida, y es responsable, junto con el anhídrido carbónico, de muchos procesos de corrosión. Se elimina de la misma forma que el anhídrido carbónico.
- **Sulfatos:** El ion sulfato está presente también en todas las aguas naturales. La importancia de los sulfatos a nivel sanitario es debida a que un alto contenido, puede provocar trastornos intestinales en personas no acostumbrados a su

ingesta. Sus sales cálcicas producen incrustaciones muy duras y difícilmente eliminables. Un alto contenido también puede ser un factor de corrosión en tuberías de cobre.

- **Nitratos:** La presencia de nitratos cada vez es más frecuente en las aguas, debido a su uso industrial y agrícola. Su importancia, desde el punto de vista sanitario, radica en los grandes perjuicios que pueden provocar a la salud humana. En altas cantidades se combinan con la hemoglobina de la sangre provocando la denominada metahemo-glubemia o cianosis, que se manifiesta por la coloración azulada de labios y mucosas por falta de oxígeno en los tejidos. Afecta sobre todo a fetos, niños pequeños y personas ancianas con deficiencia metabólica, por lo que su eliminación es muy importante. Dicha eliminación se realiza fundamentalmente por columna de intercambio iónico, denominada **desnitrificadores**, o por ósmosis inversa.
- **Nitritos:** Altamente tóxicos, su presencia en el agua tiene que ser nula o insignificante. Cuando se presente, cabe pensar en una contaminación biológica cercana o por reversión de nitratos al hervirse. Se está en estudio sus propiedades altamente cancerígenas. Su eliminación es a base de desmineralización u ósmosis inversa.
- **Silicatos:** Normalmente su presencia es escasa pero de alta incidencia en instalaciones industriales, como caldera de alta presión, etc. Dado su carácter incrustante y difícilmente eliminable, se elimina por desmineralización u ósmosis inversa.

- **Fosfatos:** Al igual que los silicatos, su presencia en aguas naturales es baja, y es un factor que hay que controlar cuando se hace un tratamiento en base a inhibición por polifosfatos.
- **Flúor:** Es interesante que esté en el agua en cantidades determinadas para eliminar la caries dental, pero altas concentraciones pueden producir problemas. Se elimina por destilación, desmineralización u ósmosis inversa.
- **Fenoles:** Es otro problema de actualidad en las aguas potables. Se puede eliminar por cloración y filtración a través de carbón activo.
- **Sales amoniacaes:** Normalmente se encuentran en presencia de aguas con una fuerte contaminación bacteriológica. Su eliminación se realiza por oxidación a nitratos y una vez en ésta forma eliminarlos.
- **Cromo:** Normalmente no se encuentran en el agua natural, y siempre son debidos a un tratamiento de aguas o aguas residuales galvánicas. Se emplean en tratamientos de aguas para evitar la oxidación en aguas frías e industriales. Su eliminación es por desmineralización u ósmosis inversa.
- **Metales pesados (plomo, arsénico, mercurio):** No deben estar presentes en aguas naturales, aunque el plomo puede estar presente por conducciones construidas de este material. Normalmente está prohibido en casi todos los países del mundo, y puede eliminarse por intercambio catiónico, desmineralización u osmosis inversa.
- **Sustancias orgánicas:** Normalmente tienen que estar presentes en el Agua en concentraciones muy bajas. Pueden proceder de residuos orgánicos como plaguicidas, insecticidas, etc., o por contaminación bacteriana. Se eliminan por una oxidación primaria fuerte, por ejemplo cloro, con un tiempo de contacto

mínimo de 20 minutos, tras lo cual se realiza una filtración por carbón activo para eliminar los componentes residuales de dicha oxidación. Después de este primer capítulo intuimos fácilmente, que para realizar un tratamiento de aguas es muy importante poseer un análisis detallado y reciente del agua problema. Con él podremos determinar cuál es el origen del problema de ese agua, solventarlo y establecer su potabilidad, basándonos siempre en el reglamento técnico sanitario de aguas potables.

Por lo tanto, es muy importante realizar una analítica precisa, aunque se tenga que cobrar al cliente, para evitar errores y problemas posteriores en el tratamiento de dicha agua.⁶

1.1.4.3. BIOLÓGICA

El agua para su uso y consumo humano debe estar libre de microorganismos que causen enfermedades. Estos organismos incluyen bacterias, protozoarios, virus y helmintos (lombrices).

Algunos organismos causantes de enfermedades se originan con descargas fecales de individuos infectados. Por esta razón, es necesario tomar precauciones para evitar la contaminación de una fuente de agua que se halle segura, o bien establecer métodos de tratamiento o de potabilización que nos den agua potable y segura.

La prueba más ampliamente utilizada, implica en identificar el número de bacterias del grupo coliforme, que está ligado a las heces fecales y por ende a las enfermedades.⁷

⁶ <http://www.freetechebooks.com/ebook-2011/ablandamiento-del-agua-page1.html>

⁷ CENTRO REGIONAL DE AYUDA TÉCNICA A.I.D., MANUAL SOBRE PEQUEÑOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, Editorial C_{VLTVRA}, T.G.S.A., México D.F., pp 11.

1.1.5. PUNTOS A CONSIDERAR PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Para diseñar un Sistema de Tratamiento de Agua Potable debemos tomar en consideración los siguientes puntos:

- **Sistema Actual a Diseñar:** Dada la importancia que los datos relacionados con los servicios sanitarios existentes, tendrán para los futuros diseños, es necesario presentar y describir en la forma más detallada posible, las condiciones y características del sistema de agua potable en servicio, para lo cual, deberá observarse las varias partes del sistema haciendo referencia a los puntos que a continuación se indican:
- **Captaciones:** (para cada uno de los sistemas)
 - Nombre de la fuente o del sitio
 - Origen del agua: río, quebrada, manantial, laguna, etc.
 - Situación de las fuentes con respecto a la población, distancia y diferencias de elevación.
 - Caudal: aforo a la fecha, determinación a máximo estiaje (caudal mínimo) y en crecientes en varias épocas del año.
 - Estado de las captaciones: estructuras, condiciones sanitarias, posible utilización, etc.
 - Calidad del agua: en invierno, en verano y a la fecha. Se tomaran muestras de agua para examen físico-químico completo.
 - En los casos que sean posibles se tomaran muestras para exámenes bacteriológicos.

- **Aducciones**
 - Longitudes y pendientes.
 - Diámetros y secciones.
 - Materiales empleados.
 - Pozos de revisión, válvulas de aire, de desagüe, etc.
- **Tratamiento:** Debe describirse las unidades existentes indicando:
 - Tipo: sedimentadores, aeradores, filtros, etc.
 - Número y capacidad de cada una.
 - Tasas de trabajo.
 - Accesorios.
 - Estado de conservación y funcionamiento..
- **Reserva:**
 - Capacidad.
 - Altura con respecto a la población.
 - Material de construcción.
 - Tipo de cubierta y bocas de visita.
 - Válvulas y accesorios.
 - Estado de conservación.
 - Registros de consumo (anual, diario, horario).⁸
- **Otros:** Entre otros puntos importantes se puede tratar:
 - Red de distribución
 - Estaciones de bombeo

⁸ DIRECCIÓN DE INGENIERÍA SANITARIA DE SALUD Y ASISTENCIA., Manual de saneamiento: agua vivienda y desechos., Edición original., México D.F. – México., Editorial Limusa; 1987., pp. 54-55.

- Conexiones domiciliarias.

1.2. PROCESO PREVIO A LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA

Las aguas crudas que manan de las fuentes naturales pueden no ser completamente satisfactorias para usos domésticos. Las aguas superficiales pueden contener organismos patógenos, materia suspendida o sustancia orgánica. A excepción de las zonas calcáreas, las aguas del subsuelo ofrecen menos probabilidades de contener organismos patógenos que las aguas superficiales, pero pueden contener olores y sabores desagradables e inconvenientes, o impurezas minerales que limitan su utilización o grado de aceptabilidad. Algunas de estas características pueden tolerarse temporalmente, pero lo aconsejable es elevar la calidad de las aguas al nivel más alto posible, por medio de procesos de potabilización adecuados. En aquellos casos donde pueda obtenerse de una fuente aguas que reúnan condiciones de pureza aproximadamente a lo ideal, es aun recomendable proporcionar el equipo necesario de potabilización para asegurarse de que se dispone de agua potable todo el tiempo.

La calidad de las aguas naturales cambia continuamente. Los procesos naturales que afectan la calidad de agua son disolución, sedimentación, filtración, aeración, insolación y descomposición bioquímica. Los procesos naturales pueden tender a poluir o a contaminar las aguas o a purificarlas; sin embargo, los procesos naturales de purificación no son consistentes ni dignos de confianza.

Las bacterias que abundan en la superficie de la tierra o cercanas a ella pueden reducirse por la filtración en los suelos, agotamiento de oxígeno disponible o por retención subterránea por largos periodos desfavorables para el crecimiento y supervivencia de las bacterias.

La falsa creencia de que el agua se purifica por si misma por el hecho de correr y recorrer ciertas distancias, ha conducido a conceptos injustificados de seguridad con relación a su potabilidad. En ciertas condiciones, el número de microorganismos que se encuentran en las aguas corrientes superficiales pueden aumentar en vez de disminuir.

Los procesos de potabilización de aguas incorporan, suplementan o modifican ciertos procesos naturales.

Esto proporciona una seguridad adecuada n el sentido de que el agua se encuentra libre de organismos patógenos o de otros materiales o sustancias químicas inconvenientes.

La potabilización del agua puede acondicionar o reducir, hasta niveles aceptables cualquier sustancia química o impurezas inconvenientes que puedan hallarse en el agua.

En las secciones siguientes se exponen unas de los procesos naturales de potabilización y las adaptaciones hechas por el hombre para mejorar y acondicionar el agua.⁹

Previo al desarrollo de un sistema de potabilización se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1.2.1. FUENTE HIDROLÓGICA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

En este punto determinaremos las diferentes fuentes de abastecimiento de agua la cual va ha ser tratada, para su posterior uso.

Como fuentes aprovechables de agua podemos citar:

- Lluvia y nieve
- Agua de superficie
 - Corrientes de aguas
 - Lagunas

9 CENTRO REGIONAL DE AYUDA TECNICA A.I.D., MANUAL SOBRE PEQUEÑOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, Editorial C_{VLTVRA}, T.G.S.A., México D.F., pp 69.

- Lagos naturales
- Embalses
- Aguas subterráneas
 - Manantiales
 - Pozos poco profundos y galerías de infiltración
 - Pozos profundos

La fuente esencial del agua potable es la lluvia, utilizada en pocas ocasiones como fuente directa.

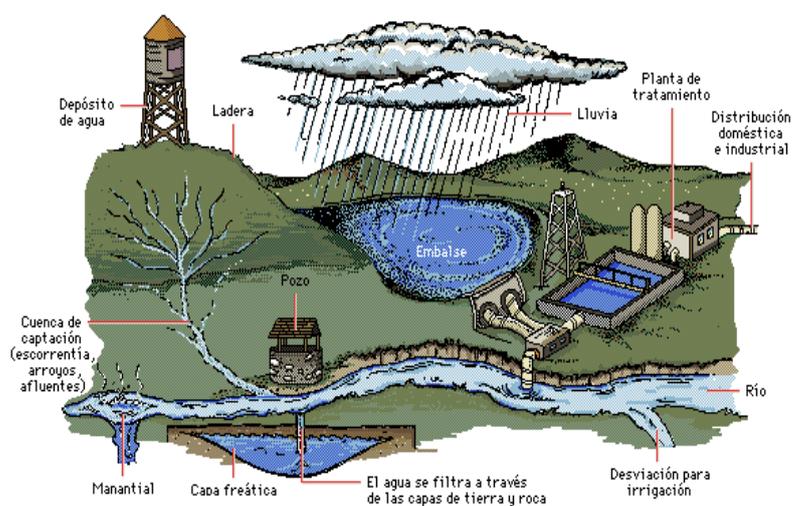
Cuando llueve en abundancia, el agua corre por arroyos, y cuando llueve con menos intensidad, se filtra en el suelo a través de los estratos porosos hasta encontrar un estrato impermeable en el que el agua se acumula, formando depósitos subterráneos.

El agua subterránea alimenta fuentes y manantiales, que a su vez proporcionan agua a ríos, arroyos y lagos.

En los modernos sistemas de abastecimiento de aguas, suelen convertirse cuencas enteras en reservas para controlar la contaminación.

Figura: 1.2.1-1

Fuentes de Abastecimiento de agua



Cuando se ha determinado el lugar de abastecimiento, el agua es captada para su posterior tratamiento.

Tabla 1.2.1-1

Principales diferencias entre las aguas superficiales y las aguas
Subterráneas

Características Examinadas	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
Temperatura	Variable según la época del año	Relativamente constante
Turbiedad	Variable, a veces elevada	Baja o nula
Mineralización	Variable en función de los terrenos, precipitación, vertidos, etc.	Sensiblemente constante, generalmente mayor que en la superficie de la misma región
Oxígeno disuelto	Normalmente próximo a saturación	Ausencia total en la mayoría de los casos
Amonio	Presente sólo en aguas contaminadas	Presencia frecuente, sin ser un índice sistemático de contaminación
Nitratos	Poco abundante en general	Contenido a veces elevado, riesgo de metahemoglobinemia
Microorganismos	Bacterias (algunas patógenas), virus, plancton	Frecuentes ferrobacterias

Fuente: Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada.pdf¹⁰

1.2.2. CAPTACIÓN

La captación de aguas superficiales se realiza por medio de tomas de agua que se hacen en los ríos o diques.

El agua proveniente de ríos está expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos requiriendo un proceso más complejo para su tratamiento. La turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación varían según la época del año (en verano el agua de nuestros ríos es más turbia que en invierno).

La captación de aguas subterráneas se efectúa por medio de pozos de bombeo ó perforaciones.

El sistema de captación utilizado en las aguas subterráneas, es por bombeo, mientras que en las aguas superficiales se emplean diferentes métodos.

Normalmente para abastecimiento de grandes y medianas poblaciones se utiliza aguas superficiales, por lo que ampliaremos un poco mas este tema.

1.2.2.1. CAPTACIÓN EN EMBALSES

La poca cantidad de agua que circula por los efluentes en nuestro país, y el índice de contaminación que llevan, hacen que, hoy en día sean más numerosos los abastecimientos en embalses. Normalmente el nivel del embalse va a ir fluctuando, en función de las aportaciones de lluvia, y las tomas de caudal. Por este motivo, las torres se construyen con diversas tomas, a distintas alturas.

Las maniobras de apertura y cierre de las tomas, se realizan con compuertas reguladoras. Para proteger dichas entradas, se las puede obstruir con ramas, hojas, etc.

¹⁰ [http:// Diseño/ de plantas/ potabilizadoras/ tipo de tecnología /simplificada/pdf/.htm](http://Diseño/de/plantas/potabilizadoras/tipo/de/tecnología/simplificada/pdf/.htm). Pp. 13

1.2.2.2. CAPTACIÓN EN RÍOS

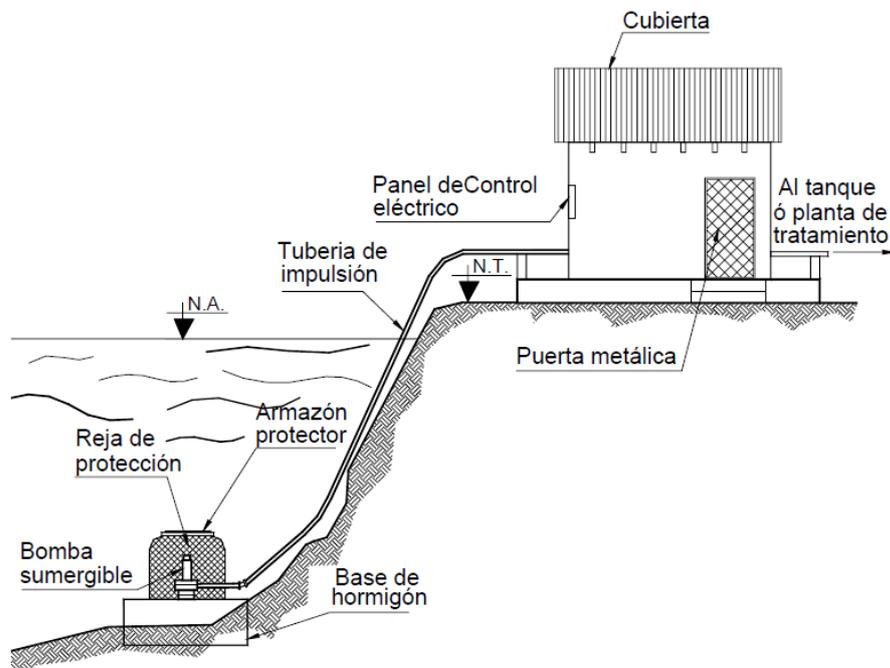
No existe un modelo de toma ideal, puede realizarse tomas laterales, de fondo, etc. Si el caudal es pobre habrá que aprovechar algún azud o pequeña presa, que garantice siempre un volumen de agua suficiente para nuestro abastecimiento, se podrá aumentar ligeramente la lámina de agua en la toma de forma artificial.

En los ríos debido a la velocidad del agua, aumentan los arrastres de flotantes, sólidos, arenas, etc. Para evitar que estas impurezas ingresen a los sistemas de captación, se colocaran rejillas las cuales impedirán el paso de las mismas. También en casos donde la calidad del agua es mala se puede dar un pre-tratamiento con el uso de algún método o reactivo químico.

Una manera muy común es la de usar bombas sumergibles.

Figura: 1.2.2.2-1

Captación con bomba sumergible



1.2.3.ADUCCIÓN

La aducción no es más que el transporte o conducción del agua desde el lugar de captación hasta el lugar donde va hacer tratada. Se puede distinguir dos tipos de de aducción, dependiendo de las alturas del punto de toma y la entrada en planta.

1.2.3.1. ADUCCIÓN POR GRAVEDAD

Es el conjunto de tuberías, canales, túneles, dispositivos y obras civiles que permiten el transporte de agua, aprovechando la energía disponible por efecto de la fuerza de gravedad, desde la obra de toma hasta la planta de tratamiento, tanque de regulación o directamente a la red de distribución.

1.2.3.1.1. TIPOS DE ADUCCIÓN POR GRAVEDAD

En el diseño de aducciones se pueden considerar los siguientes tipos:

- **Aducción por conductos y canales:** a superficie libre, en la que el agua se conduce a una presión igual a la atmosférica, pueden ser túneles, tuberías y canales en general.
- **Aducción por conductos cerrados a presión:** en la que el agua se conduce a presiones superiores a la presión atmosférica, son generalmente tuberías de agua a sección llena.

1.2.3.2. ADUCCIÓN FORZADA O POR BOMBEO

Es el conjunto de elementos estructurales, equipos, dispositivos, tuberías y accesorios que permiten el transporte de un volumen determinado de agua mediante bombeo desde la otra obra de toma hasta la planta de tratamiento, tanque de regulación o directamente

a la red de distribución. Los criterios, parámetros y fórmulas para el diseño se encuentran expuestos en él.

1.2.3.2.1. TIPOS DE ADUCCIÓN POR BOMBEO

En el diseño de aducciones por bombeo se pueden considerar los siguientes tipos:

- **Bombeo en serie**

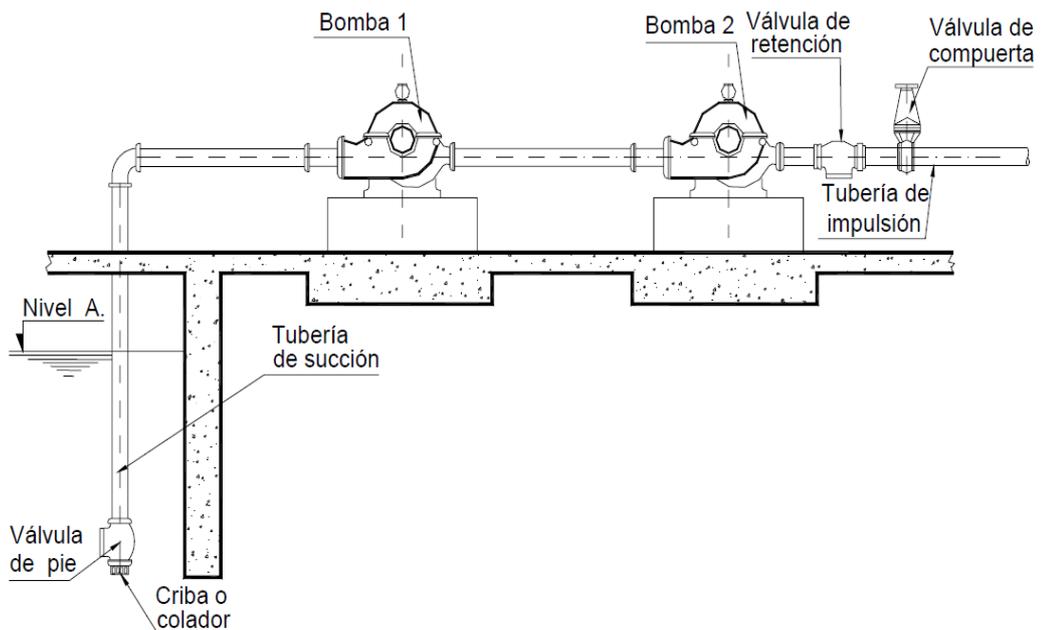
Es la acción de impulsar el agua con dos o más bombas instaladas sobre la misma línea de impulsión.

Se debe aplicar en los siguientes casos:

- Cuando sea necesario aumentar la altura de impulsión.
- Cuando por las características de la fuente de energía eléctrica, se debe colocar dos bombas en serie en la misma línea de aducción.

Figura: 1.2.3.2.1-1

Bombeo en serie



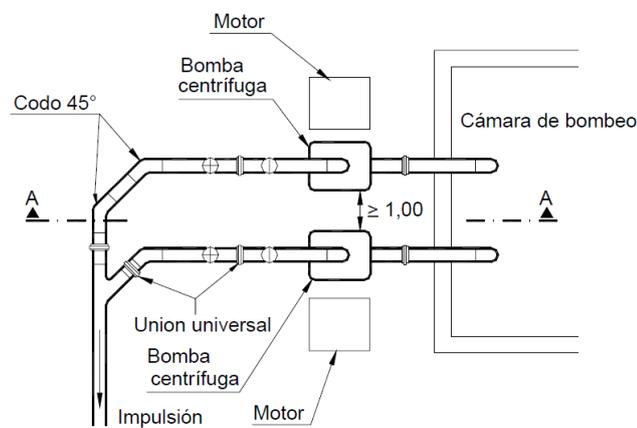
- **Bombeo en paralelo**

Es la acción de impulsar el agua instalando más de una línea de impulsión con su respectiva bomba. Se debe aplicar en los siguientes casos:

- Por razones económicas, caudal o energía.
- Por condiciones de seguridad.

Figura: 1.2.3.2.1-2

Bombeo en serie

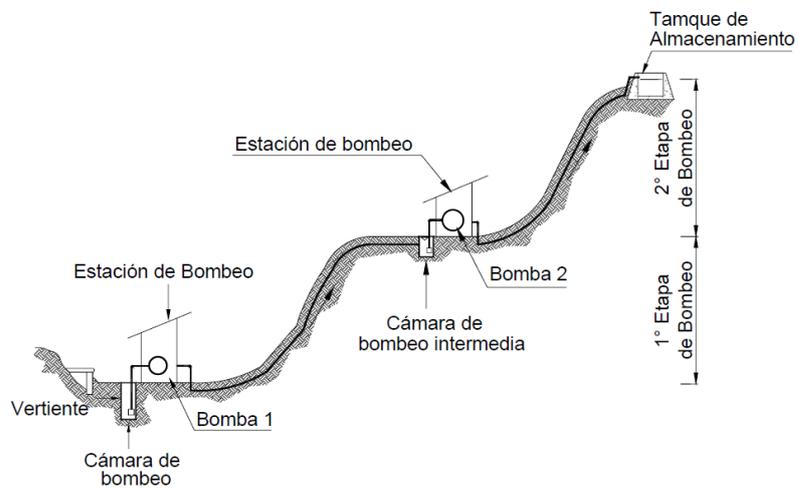


- **Bombeo por etapas**

Impulsa el agua de un nivel inferior a otro superior en más de una etapa.

Figura: 1.2.3.2.1-3

Bombeo en serie



1.3. MÉTODOS DE PURIFICACIÓN DEL AGUA

Los métodos que se emplean para tratar el agua dependen en gran parte, del fin al que se destina el abastecimiento. Para usos domésticos es necesario eliminar las impurezas, ya sea suspendida o disueltas, que sean perjudiciales a la apariencia y aspecto estético del agua. Es absoluta necesaria eliminar o volver inactivas cualesquier impureza, como las bacterias que pueden ser perjudiciales para la seguridad y bienestar del público consumidor. Por otro lado los requerimientos de calidad para aguas industriales son diversos según su empleo. El agua que vaya a utilizarse en calderas debe estar libre de incrustaciones. Las lavanderías y fábricas de papel deben tener agua que este relativamente libre de hierro y magnesio. Por lo general los métodos que se emplean en la práctica para el tratamiento de agua tienen como objetivo principal, eliminar las “impurezas” o sustancias extrañas del agua. Aun cuando se agregue “productos químicos” al agua esto se hace con el propósito de eliminar cantidades mucho mayores de materiales que las que se añaden. Hay casos sin embargo en que ciertos constituyentes del agua se eliminan sustituyendo por otras sustancias, y en otro caso, la sustancia que se adhiere puede tener la finalidad de agregar al agua características que se deseen.

1.3.1. AUTOPURIFICACIÓN Y REPOSO

La naturaleza provee cierto grado de autopurificación a todas las aguas que hayan sido corrompidas o contaminadas por la introducción de desechos, ya sea debido a escurrimientos del suelo, aguas negras o desperdicios industriales. La velocidad a la que se verifica este proceso depende de la naturaleza y material contaminante, así como de las características físicas, químicas y biológicas del agua. Sin embargo, hay ideas

erróneas que prevalecen a este respecto, particularmente acerca de la importancia de la aireación y sus efectos sobre las aguas corrientes, por ejemplo a menudo se afirma que “el agua se purifica al fluir durante doce kilómetros” o que la aeración natural que tiene lugar en las cascadas o cataratas “oxidará” o matará las bacterias. El tiempo es el factor más importante, siendo los otros factores las condiciones más adecuadas de temperatura, la luz solar, la velocidad del flujo y muchas otras características físicas, químicas y biológicas. La sedimentación por reposo en un depósito, durante un período de casi mes, puede lograr generalmente una purificación equivalente a la de la filtración. El flujo lento de una corriente, en una gran distancia, puede llevar a los mismos resultados. Si, por otro lado, la contaminación es intensa, puede llegarse a condiciones indeseables, porque el oxígeno se consume en mayores cantidades. En general la autopurificación logra eliminar la materia orgánica dependiendo el grado de eliminación de la dilución, de la efectividad de la aireación, de la sedimentación y principalmente del tiempo disponible para que se verifique las acciones bioquímicas. Las bacterias que se introducen con las aguas negras quedan sujetas a condiciones enteramente distintas, los factores que regulan la destrucción de estas son: temperatura del agua, alimento, efecto germicida de la luz del sol, sedimentación y consumo de bacterias. Por desgracia, los efectos del reposo y el tiempo no son todo lo benéfico que uno quisiera, con respecto a ciertas características del agua, pues por ejemplo la purificación bioquímica induce el desarrollo de algas y otras formas de vida microscópicas animal y vegetal; aunque estos organismos pueden afectar ligeramente a la salud de una población son generalmente los responsables de causar olores y sabores.¹¹

11 DIRECCIÓN DE INGENIERÍA SANITARIA DE SALUD Y ASISTENCIA., Manual de saneamiento: agua vivienda y deshechos., Edición original., México D.F. – México., Editorial Limusa; 1987., pp. 79-80

1.3.2. AERACIÓN

La aeración se practica en el tratamiento de agua por tres razones:

- Para introducir oxígeno del aire
- Para dejar que escapen los gases disueltos como el bióxido de carbono y el ácido sulfhídrico. Así también bicarbonatos.
- Para eliminar las sustancias volátiles que causan olor y sabor.

La introducción de oxígeno constituye la primera etapa en el proceso de eliminación de hierro y manganeso. La eliminación del bióxido de carbono mediante la aeración es un método para hacer que la acción corrosiva de las aguas de un abastecimiento sea mínima. Es difícil disminuir la concentración del gas por debajo de 5 ppm, debido a la presencia normal de este gas en la atmósfera. También es limitada la efectividad de la aeración para eliminar olores y sabores. La aeración puede llevarse a cabo por métodos muy diversos. El más eficaz consiste en usar aspersores por medio de los cuales el agua se pulveriza en la atmósfera, hasta formar una neblina o gotas muy pequeñas. Otro método consiste en descargar el agua por una tubería elevada que la lleve a una serie de artesas de las que caiga el agua, a través de pequeños agujeros del fondo o derramándose por los bordes. Otro método consiste en forzar el paso de aire comprimido dentro del agua que se va a tratar. El control de laboratorio del proceso de aeración consiste en llevar a cabo determinaciones de la concentración del oxígeno disuelto, del bióxido de carbono y del ácido sulfhídrico, así como el pH. Si la concentración del oxígeno disuelto es de 7-10 ppm, la del bióxido de carbono es de 3-5 ppm y no hay ácido sulfhídrico, el proceso de aeración puede clasificarse como eficaz.¹²

12 DIRECCIÓN DE INGENIERÍA SANITARIA DE SALUD Y ASISTENCIA., Manual de saneamiento: agua vivienda y deshechos., Edición original., México D.F. – México., Editorial Limusa; 1987., pp. 81-82

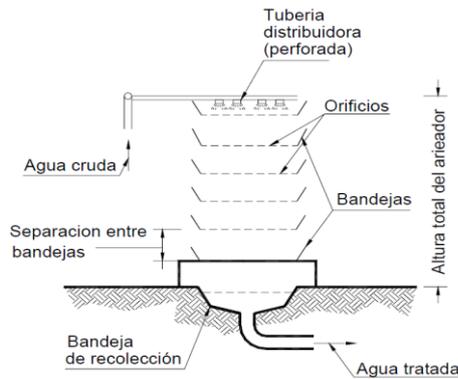
1.3.2.1. TIPOS DE AIREADORES

1.3.2.1.1. AIREADORES DE BANDEJAS

Corresponden a un sistema de bandejas con perforaciones en su parte inferior, colocadas en forma sucesiva con intervalos de 30 a 75 cm. El ingreso de agua es por la parte superior, a través de una tubería perforada, debiendo caer a la primera bandeja y así sucesivamente. Los orificios con diámetros de 5 a 12 mm, con separación de 2.5 cm.

Figura: 1.3.2.1.1-1

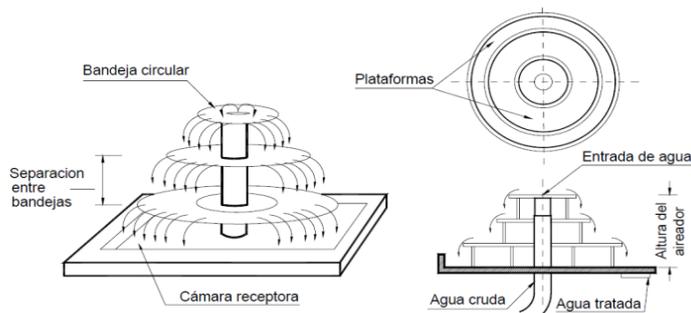
Aireadores de bandejas



Una variante de los aireadores de plataformas son los de forma circular, que colocadas las bandejas sobre un eje vertical en forma decreciente en sus diámetros de abajo arriba, dejan caer el agua de la bandeja superior hacia la inferior formando láminas expuestas al aire.

Figura: 1.3.2.1.1-2

Aireadores de bandeja circulares



1.3.2.1.2. AIREADORES DE CASCADA

Son aireadores en los que una altura disponible se subdivide en varias caídas para incrementar la cantidad de oxígeno al agua que atraviese ésta estructura o por el contrario disminuir el contenido de los gases no deseables. Los bordes de los peldaños actúan como vertederos, los mismos que producen una lámina de agua que favorece la exposición con el aire.

Figura: 1.3.2.1.2-1

Aireador de cascada tipo A

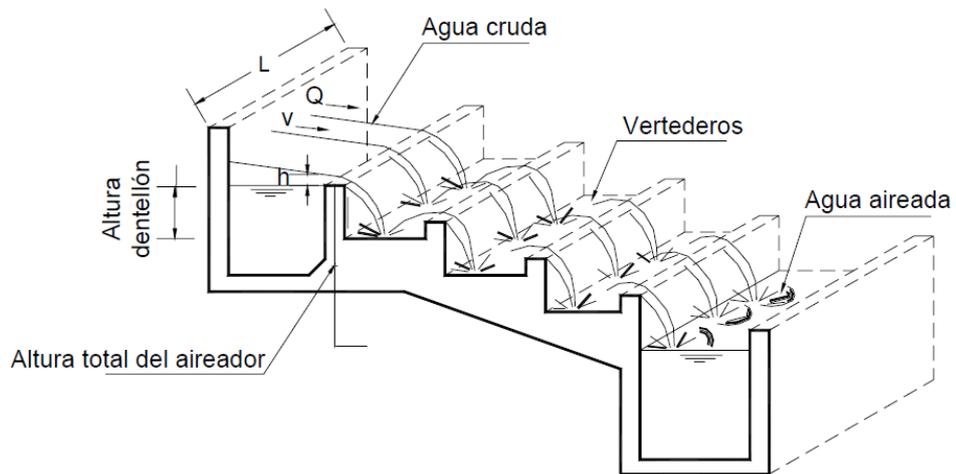
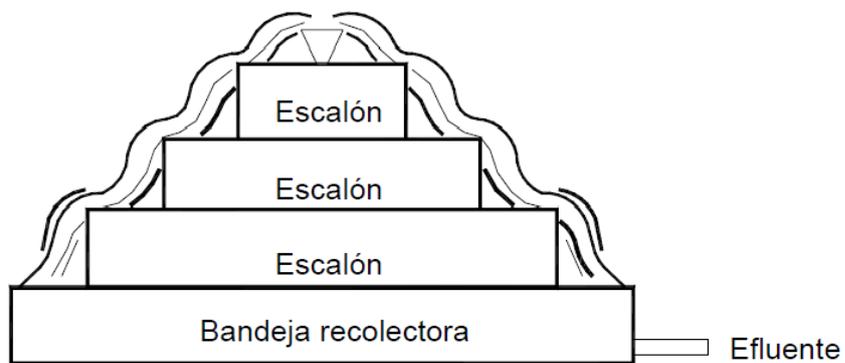


Figura: 1.3.2.1.2-2

Aireador de cascada tipo B



1.3.3.MEZCLADO, COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN

El detalle de las etapas del proceso de coagulación-sedimentación han cambiado durante los últimos años, y por ello persiste cierta confusión con respecto al empleo de términos tales como: mezclado, coagulación, floculación sedimentación y otros. En lo referente a la presente discusión, se entiende por:

- **Mezclado:** distribución uniforme y rápida de un coagulante u otro producto químico, en el agua que se esté tratando, antes de que se verifiquen reacciones químicas en proporción notable.
- **Coagulación:** se refiere a la formación de flóculos precipitados o insipientes mediante los cambios físico- químicos que tiene lugar entre los coagulantes soluble y la alcalinidad del agua.
- **Floculación:** consiste en agitar suavemente el agua tratada con coagulante, durante un período de tiempo apreciable, para completar las reacciones de coagulación, hasta alcanzar condiciones que permitan que el material floculento se junte y adhiera formando grandes masas de flóculos.
- **Sedimentación:** se refiere finalmente al depósito de los flóculos en estanques especialmente diseñados para tal propósito.

1.3.3.1. Aplicación de coagulantes químicos

Hay cierto número de sustancias químicas que se pueden usar como coagulantes para el agua, pero el que más generalmente se usa es el sulfato de aluminio, comúnmente llamado alumbre. El alumbre es una sustancia fácilmente soluble en el agua, que se aplica bien en forma de solución o como material seco. Las reacciones entre el alumbre

y los constituyentes naturales de diversas aguas son influidas por muchos factores; por ello, se considera como buena práctica de operación determinar por tanteos o por experimentación las cantidades de coagulante que se requieran.

1.3.3.2. COAGULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN

Por lo general se logran los mejores resultados en la coagulación, con dosificaciones de alumbre que varían desde 10 hasta 50 ppm, determinándose la dosificación correcta mediante la llamada **PRUEBA DE JARRAS**. Esta prueba consiste en añadir cantidades conocidas de coagulantes a varias jarras de agua que se va a tratar, agitando suave a las mezclas durante un período de tiempo definido y observando después la calidad y características de sedimentación de los flóculos.

Algunas veces se especifica la cantidad de coagulante en gramos por galón (grpg) o en libras por millón de galones (lbs/mgal) o más conveniente mente en mg/l.

1.3.3.2.1. Mezclado

Esta operación puede hacerse mecánica o hidráulicamente en tanques especiales, en secciones de otros tanques, o en sistemas de tuberías. Se basa en el principio fundamental de agitar violentamente el agua que se va a tratar, con el producto químico que se aplique, durante un corto tiempo, pudiéndose llevar a cabo por agitadores de hélices accionados por motor, o mediante canales con deflectores, creándose condiciones turbulentas por cualquiera de estos dos métodos. Contra lo que comúnmente se cree, las bombas centrífugas por sí mismas no llevan a cabo un buen mezclado, ya que la eficiencia de su funcionamiento depende de que sea mínima la turbulencia del agua que pase por ella. No obstante, las válvulas, codos y otros

dispositivos que ordinariamente se usan en conjunto para las operaciones de bombeo, puede causar una turbulencia adecuada para mezclar satisfactoriamente.

1.3.3.2.2. Coagulación y Floculación

Estas operaciones se realizan después del mezclado, usualmente en un solo tanque, con un tiempo de retención que varía entre 15 y 45 minutos. Este lapso depende de las dimensiones de la unidad y de la velocidad a la que pasa el agua a través de ella.

“Teóricamente se puede calcular el tiempo de retención dividiendo: el volumen del tanque entre el gasto”.

Durante el lapso el agua es agitada suavemente para ayudar a que se pongan en contacto íntimo las partículas coaguladas, las bacterias y la materia suspendida “hasta que se adhieran entre sí formando grandes masas de flóculos”, y así se puedan depositar fácilmente en el tanque de sedimentación.

Podemos decir que se determina coagulación al proceso en el cual se forman partículas floculantes en el seno de un líquido, por el aumento de una sustancia química como el **alumbre** (sulfato de aluminio hidratado). La sustancia química se mezcla con el agua turbia dejándola permanecer en reposo. Las partículas suspendidas que causan la turbiedad se mezclarán físicamente y formaran un floculo.

El floculo es decir una partícula de mayor tamaño se asentara en la parte inferior del recipiente esto puede conseguirse ya sea en un tanque de mezclado separado o bien en el mismo tanque. Algunos colores pueden eliminarse del agua, con la utilización de técnicas de coagulación adecuadas. Con todo ello, la asesoría competente desde el punto de vista técnico es necesaria en problemas específicos de coagulación.¹³

13 CENTRO REGIONAL DE AYUDA TECNICA A.I.D., MANUAL SOBRE PEQUEÑOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, Editorial C_{VLTVRA}, T.G.S.A., México D.F., pp 70.

1.3.3.2.3. Sedimentación

La sedimentación sigue a la coagulación y a la floculación para disminuir la carga en los filtros de arena. La filtración es la etapa final de la remoción física de las impurezas del agua. Es seguro que se puede producir un efluente satisfactorio del filtro, mediante una coagulación eficaz, sin emplear la sedimentación, pero los filtros se taponarían muy rápidamente y los costos de operación serían tan altos que el proceso no sería práctico.

Por lo general un tanque de sedimentación es una estructura a través de la cual fluye el agua a tan baja velocidad que el material suspendido caerá depositándose en el fondo del tanque, saliendo de este un agua relativamente clara. Es obvio que, para una cierta capacidad de una planta de tratamiento, la proporción de material suspendido que se elimine será mayor mientras más grande sea el tanque de sedimentación. La determinación de las dimensiones que debe tener un tanque para lograr una buena sedimentación es un problema muy complejo, e incluye, entre otras cosas, el hacer un balance entre el aumento de costo debido a los tanques de sedimentación más grandes y la reducción del costo de operación del filtro. Además se debe recalcar que el tanque de sedimentación que elimine mejor al material no es precisamente el más adecuado, porque debe depositarse algo del floculo en la superficie del filtro para que este opere satisfactoriamente. Sin embargo se tiende a tener una clarificación completa, hasta donde sea posible, ya sea que se logre por el diseño o detalles de operación. Generalmente se especifican periodos de **retención de 3 a 6 horas** y velocidades horizontales **menores a 0.9 m/min**.

Probablemente los factores de operación son:

- Que el agua al entrar en el tanque provoque la mínima turbulencia.
- El impedir corrientes en corto circuito o directas entre la entrada y la salida.

- Que el efluente salga sin generar disturbios para evitar que salga fuera del recipiente el material sedimentado.

Si no hay grandes cantidades de material suspendido el tanque de sedimentación puede limpiarse primero vaciándolo y después limpiando el material que está en el fondo.

La sedimentación es un proceso de decantación o asentamiento por gravedad, así como la deposición de materiales suspendidos pesados en el agua.

Esta acción de asentamiento puede conseguirse en una laguna de aguas tranquilas o en un tanque de depósito. La entrada del tanque debe estar situada en tal forma que el agua que entra con materias suspendidas sea distribuida de una manera uniforme a través de todo el ancho del tanque, de manera que fluye hasta llegar a la salida localizada en el extremo opuesto.

Generalmente se colocan mamparas para reducir las altas velocidades de entrada y el tiempo de traslación del agua al interior del tanque.

Con el objeto de facilitar la limpieza y reparación de una instalación de este tipo, se puede proyectar un tanque con dos secciones separadas, cada una de las cuales puedan utilizarse separadamente.

1.3.3.2.4. Control de Laboratorio

El control del laboratorio de los procesos combinados de sedimentación, floculación y coagulación en hacer determinaciones de turbiedad, color, alcalinidad, pH, y alumbre residual junto con el recuento de bacterias en placa. Estas determinaciones se hacen antes de cada proceso del tratamiento y después del mismo.¹⁴

¹⁴DIRECCIÓN DE INGENIERÍA SANITARIA DE SALUD Y ASISTENCIA., Manual de saneamiento: agua vivienda y deshechos., Edición original., México D.F. – México., Editorial Limusa; 1987., pp. 85-92

1.3.4.FILTRACIÓN

Es el proceso que separa la materia suspendida del agua a su paso a través de lechos de material poroso. El grado de separación depende de las características y tamaño del medio filtrante, del espesor de las capas o lechos y del tamaño o cantidad de los sólidos en suspensión como las bacterias pueden recorrer grandes distancias a través de materiales granulares no puede confiarse en los filtros para obtener agua bacteriológicamente buena, aun cuando si logran mejorar grandemente su calidad. Cuando un agua presenta mucha turbiedad, una porción de ella puede eliminarse en un principio por sedimentación, esta acción reducirá la carga de trabajo de los filtros.

Los tipos de filtros que pueden utilizarse incluyen:

- **Filtros lentos de arena:** El agua pasa lentamente a través de los lechos de arena fina en proporciones menores a los 0.05 galones por minuto y por pie cuadrado de superficie del filtro (0.0165 litros por minuto y por metro cuadrado de superficie)
- **Filtros de presión, de arena:** El agua se aplica en una proporción superior a los 2 galones por minuto y por pie cuadrado por superficie de filtración.
- **Filtros de tierra diatomácea:** los sólidos suspendidos se eliminan al paso del agua al través de una capa medio filtrante de diatomácea, en proporciones aproximadas a los filtros de presión.
- **Filtros de piedra porosa, cerámica o porcelana sin vidriar** (filtros de Pasteur). Estos son pequeños filtros caseros que se acoplan con las aguas de llave o filtros.

Los filtros de arena bien construidos requieren un mantenimiento mínimo y pueden adaptarse fácilmente a sistemas particulares de agua.

El intervalo de limpieza variará desde una semana hasta un mes dependiendo de la turbiedad del agua. Después de cada intervalo, es necesario limpiar el filtro quitando simplemente una pulgada de la arena de la superficie, la cual se puede descartar o amontonar para después de lavarla utilizarla nuevamente, esta acción de ir quitando capas de arena del filtro requiere el aumento periódico de arena ya sea nueva o lavada.

La arena para los filtros lentos debe reunir características de dureza, granos resistentes libres de arcilla, tierras negras, suciedad y materia orgánica.¹⁵

De acuerdo a los datos que se indican en la tabla:

A continuación se detalla con mayor precisión los tipos de filtro más importantes y recomendados:

1.3.4.1. FILTRACIÓN LENTA POR ARENA

Aunque la tendencia general se dirige hacia la construcción de plantas de tratamiento que usen la filtración rápida por arena, hay ya instalada muchas plantas que usan la filtración lenta por arena y que son eficaces para proporcionar una agua segura y potable, sin embargo, existe limitaciones en este tipo de plantas de tratamiento. Generalmente, la turbiedad media está limitada a 10 ppm y aun máximo de 30 ppm. Dentro de estos límites puede llevarse a cabo eficazmente la eliminación de la turbiedad y de las bacterias lográndose una disminución del color de cerca el 40%.

Evidentemente se requiere algo más que esta acción filtrante para eliminar concentraciones bajas de turbiedad, bacterias y color. La adsorción que es la retención de substancias sobre la superficie de una partícula, es indudablemente es un factor importante. Por este motivo, la operación de los filtros lentos de arena debe hacerse a un

¹⁵ CENTRO REGIONAL DE AYUDA TÉCNICA A.I.D., MANUAL SOBRE PEQUEÑOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, Editorial C_{VLTVRA}, T.G.S.A., México D.F., pp. 71.

gasto relativamente bajo, no mayor de unos 47 000 m³ por día por hectárea de superficie de lecho de arena. La arena limpia es relativamente poco eficaz, hasta que se forma una película adsorbente en la superficie de las partículas de arena, así que, normalmente se desecha el agua proveniente de lechos en los que se acaba de cargar arena limpia, durante unos días hasta que se forma dicha película. La velocidad de filtración de lechos limpios debe ser inicialmente muy baja y aumentarse gradualmente hasta que se alcance el gasto deseado, y la calidad del efluente sea satisfactoria.

Una planta de filtros lentos de arena consiste en un estanque de concreto, cubierto de unos 3 a 4 metros de profundidad, se colocan líneas de tubos para drenaje, de juntas abierta, distanciadas a 1.8 m aproximadamente, conectadas a un tubo central o colector principal. Las líneas de tubo de drenaje se cubren con unos 30 a 45 cm de gravas clasificadas por tamaños, poniendo los tamaños más gruesos en el fondo y cubriéndolos gradualmente con los más chicos hasta que la grava se cubre a su vez con unos 90 cm de arena. La cubierta de la estructura debe estar cuando menos a 1.80 m sobre la superficie de la arena para que pueda haber una capa de agua de profundidad adecuada, sobre la arena, y suficiente espacio para llevar a cabo la limpieza. La cubierta consiste usualmente de una losa de concreto sostenida por columnas con una capa de tierra de un metro o más, sobre ella, para evitar la congelación.

1.3.4.1.1. Material filtrante

Es de extrema importancia el que la calidad y el tamaño de las partículas de este material sean adecuados. La arena debe estar libre de arcilla, polvo, raíces y otras impurezas para todo uso práctico debe ser insoluble en ácido clorhídrico anhidro. Para que se pueda garantizar una determinada eficiencia de la filtración y ciertas

características hidráulicas, el tamaño de las partículas y la uniformidad de las mismas debe estar dentro de los límites determinados. Se define como:

- **Tamaño efectivo:** Al tamaño de la abertura de la malla que deja pasar el 10% en peso de los granos de la arena en cuestión.
- **Coefficiente de uniformidad:** La relación que existe entre los tamaños de que mallas dejan pasar un 60 y un 10% respectivamente.

La experiencia ha demostrado que los filtros lentos de arena deben tener una arena cuyo tamaño efectivo sea de 0.25 a 0.35 mm y un coeficiente de uniformidad del 2.5 y 3.5. Actualmente hay la tendencia de utilizar arenas de mayor tamaño, para lograr mejores características hidráulicas siempre y cuando sea satisfactoria la calidad de agua que se vaya a tratar y permita el uso de arena más gruesa.¹⁶

1.3.4.2. FILTRACIÓN RÁPIDA POR ARENA

Los términos filtros rápidos de arena y filtros mecánicos de arena son sinónimos. La primera expresión se basa en el hecho de que la velocidad de filtración es unas 40 veces mayor que la de los filtros lentos de arena, mientras que la segunda se deriva del hecho de que se emplea equipo mecánico de lavado para limpiar los lechos.

1.3.4.2.1. Principio

Se ha intentado disminuir el área de filtración aumentando la velocidad de filtración al tratar aguas turbias, sin que ocurra una obstrucción superficial de los lechos. Esto no dio buenos resultados sino hasta que se descubrió la importancia de la coagulación.

¹⁶ DIRECCIÓN DE INGENIERÍA SANITARIA DE SALUD Y ASISTENCIA., Manual de saneamiento: agua vivienda y deshechos., Edición original., México D.F. – México., Editorial Limusa; 1987., pp. 82-84

Se encontró que el material coagulado o floculo es suficientemente grueso para ser retenido por los granos de arena más grandes, y que la película producida por la acumulación del floculo elimina eficazmente las bacterias y los sólidos finos suspendidos, que originalmente no fueron retenidos a medida que se formaba el floculo.

Una planta de filtración rápida por arena consiste fundamentalmente en un lecho de arena, relativamente gruesa, que elimine previamente los sólidos coagulados arrastrados después de la sedimentación. El tamaño efectivo de la arena es de 0.35 a 0.55 mm, mientras que el de los filtros lentos de arena es de 0.25 a 0.35mm. El espesor del lecho de arena es usualmente de 60 a 75 cm y descansa sobre 25 a 50 cm de grava graduada, o de algún tipo especial de base de filtración patentado.

Además de la grava, o junto con la base especial para filtración, se provee un sistema de desagüe inferior que sea capaz no solamente de captar uniformemente el agua filtrada, sino también de distribuir uniformemente el flujo del agua relativamente grande, cuando el filtro se está limpiando o retrolavado. La disposición común que se está usando, es el sistema de colector central ramificado.¹⁷

1.3.4.3. FILTROS DE DIATOMEAS

Para satisfacer la necesidad de filtros pequeños, compactos y semiportátiles durante la Segunda Guerra Mundial se desarrolló un tipo de filtro completamente diferente. Está pendiente de estimarse su importancia en el campo de abastecimiento público de agua, pero, según parece actualmente, este filtro se usara cada vez más en el transcurso de los próximos años. En lugar de usar arena como medio filtrante, los filtros de diatomeas consisten de armaduras centrales o tubos sobre los cuales se sostiene una capa delgada

¹⁷DIRECCIÓN DE INGENIERÍA SANITARIA DE SALUD Y ASISTENCIA., Manual de saneamiento: agua vivienda y deshechos., Edición original., México D.F. – México., Editorial Limusa; 1987., pp. 93-100

de un material poroso llamado tierra de diatomeas, a través del cual se hace pasar el agua que se va a filtrar.¹⁸

1.3.5. ABLANDAMIENTO DE AGUA

Por lo general la dureza del agua es causada por la presencia de iones calcio Ca^{2+} y magnesio Mg^{2+} disueltos en el agua. Otros cationes como el aluminio Al^{3+} y el hierro Fe^{3+} pueden contribuir a la dureza, sin embargo su presencia es menos crítica.

La forma de dureza más común y problemática es la causada por la presencia de bicarbonato de calcio $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. El agua la adquiere cuando la lluvia pasa por piedra caliza CaCO_3 . Cuando el agua de lluvia cae disuelve dióxido de carbono CO_2 del aire y forma ácido carbónico H_2CO_3 , por lo que se acidifica ligeramente.

Existen tres maneras básicas para ablandar el agua:

- Forzar la precipitación de las sustancias insolubles, como el carbonato de calcio CaCO_3 y el hidróxido de magnesio $\text{Mg}(\text{OH})_2$, antes que entren al sistema de agua.
- Remover los iones
- Evitar que los iones de calcio Ca^{2+} del carbonato de calcio CaCO_3 se precipiten por medio de la formación de complejos.

1.3.5.1. ABLANDAMIENTO CAL- SODA-LIME SOFTENING

Se agrega cal (hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$) y soda ash (carbonato de sodio Na_2CO_3) al agua para causar la precipitación del carbonato de calcio CaCO_3 y magnesio $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

En sistemas municipales se agrega el hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ al agua y el sólido

¹⁸DIRECCIÓN DE INGENIERÍA SANITARIA DE SALUD Y ASISTENCIA., Manual de saneamiento: agua vivienda y deshechos., Edición original., México D.F. – México., Editorial Limusa; 1987., pp. 100-101

precipitado se remueve por medio de la sedimentación. Algunas pequeñas partículas permanecen por lo que se burbujea dióxido de carbono para convertir estas pequeñas partículas en bicarbonatos solubles. Debido a que alguna de esta dureza se conserva este proceso es conocido como ablandamiento parcial.

1.3.5.2. FORMACIÓN DE COMPLEJOS

Otro de los métodos usados en los ablandadores domésticos de agua es la adición de polifosfatos al agua. Estos iones rodean los iones calcio Ca^{2+} disueltos y evitan que estos se precipiten como carbonato de calcio CaCO_3 . Este proceso es conocido como formación de complejos.

1.3.5.3. INTERCAMBIO IONICO

Antes de analizar en qué consiste el intercambio iónico se aclarará dos términos importantes.

- **DUREZA**

En química, se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales, en particular sales de magnesio y calcio. Son estas las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales metálicas.

La dureza del agua tiene una distinción compartida entre dureza temporal y dureza permanente.

- **ALCALINIDAD**

El valor de alcalinidad es utilizado en la interpretación y control del tratamiento de aguas claras y aguas usadas. Aguas usadas crudas de origen domestico tienen una alcalinidad menor de o ligeramente mayor que el suministro de agua potable.

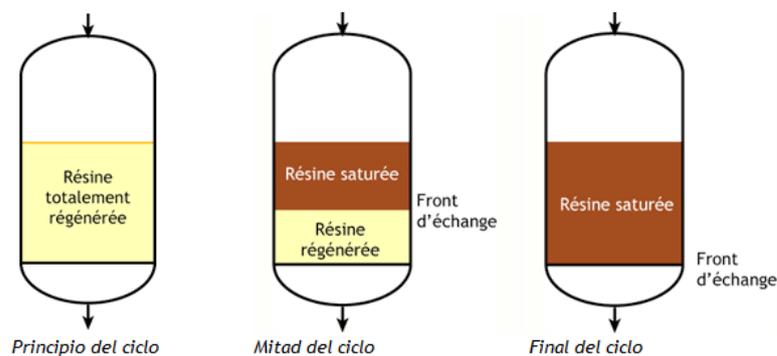
El sobrenadante de digestores anaerobios que funcionan adecuadamente presenta valores de alcalinidad en el rango de 2000 a 4000 mg de carbonato de calcio por litro. Dado que la alcalinidad varía con la concentración de bicarbonatos y carbonatos y estos incluyen en la dureza del agua, es un indicador importante en el tratamiento de aguas.

INTERCAMBIO IONICO

El intercambio iónico es una operación de separación basada en la transferencia de materia líquido - sólido. Implica la transferencia de uno o más iones de la fase líquida al sólido por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga, que se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales. La eficacia del proceso depende del equilibrio sólido - líquido y de la velocidad de transferencia de materia. Los sólidos suelen ser de tipo polimérico, siendo los más habituales los basados en resinas sintéticas. Una resina de intercambio iónico puede considerarse como una estructura de cadenas hidrocarbonadas a las que se encuentran unidos de forma rígida grupos iónicos libres.

Figura 1.3.5.3-1

Ciclo de Operación Intercambio Iónico



Las resinas de intercambio iónico están destinadas a varios usos, des calcinación, des nitración, deionización, des nitración. Dependiendo de la aplicación a la que se destinen existen diferentes tipos.

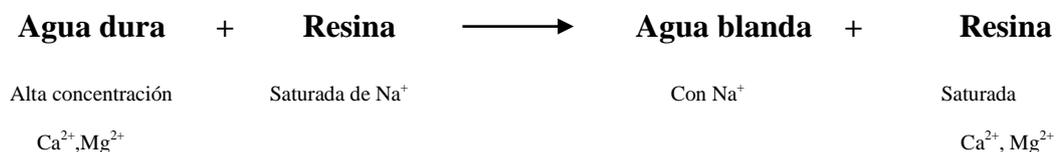
- **Resinas Catiónicas de Acido Fuerte:**

- Intercambian iones positivos (cationes).
- Funcionan a cualquier pH.
- Es la destinada a aplicaciones de suavizado de agua, como primera columna de deionización en los des mineralizadores o para lechos mixtos. Elimina los cationes del agua y necesitan una gran cantidad de regenerante, normalmente ácido clorhídrico (HCl).

- **Resinas Catiónicas de Ácido Débil:**

- Tienen menor capacidad de intercambio.
- No son funcionales a pH bajos.
- Elevado hinchamiento y contracción lo que hace aumentar las pérdidas de carga o provocar roturas en las botellas cuando no cuentan con suficiente espacio en su interior.
- Se trata de una resina muy reciente, requiere menos ácido para su regeneración, aunque trabajan menores que las de ácido fuerte.
- Es habitual regenerarlas con el ácido de desecho procedente de las de ácido fuerte.

Ecuación química de las resinas cationicas:



- **Resinas Aniónicas de Base Fuerte**

- Intercambian iones negativos (aniones).
- Es destinada a aplicaciones de suavizado de agua, como segunda columna de deionización en los des mineralizadores o para lechos

mixtos. Elimina los aniones del agua y necesitan una gran cantidad de regenerante, normalmente sosa (hidróxido sódico - NaOH).

- **Resinas Aniónicas de Base Débil**

- Se trata de una resina muy reciente, requiere menos sosa para su regeneración.
- No se puede utilizar a pH altos.
- Pueden sufrir problemas de oxidación o ensuciamiento.

1.3.5.3.1. DESIONIZACIÓN COMPLETA

El proceso de deionización del agua consiste en reducir la concentración de iones presentes en ella a niveles muy bajos, proceso que puede llevarse a cabo mediante intercambio iónico.

En este proceso se emplea una resina catiónica de intercambio para eliminar los cationes (sodio, calcio, magnesio, etc.) y dos resinas aniónicas, una básica débil que absorberá los ácidos fuertes y otra básica fuerte para intercambiar los aniones (cloruro, sulfato, bicarbonato etc.).

Como la concentración de iones en el agua determina su capacidad de conducir la electricidad, la efectividad del proceso de ionización se determina midiendo los parámetros resistividad o conductividad.

1.3.5.3.2. REGENERACIÓN DE UNA RESINA

La regeneración de las resinas de intercambio iónico es el proceso inverso del proceso de intercambio iónico y tiene por objeto devolverle a la resina de intercambio iónico su capacidad inicial de intercambio. Esto se realiza haciendo pasar soluciones que

contengan el ion móvil original, el cual se deposita en la resina y desaloja los iones captados durante el agotamiento.

Para la regeneración de las resinas de intercambio iónico se usa:

- Sal común (cloruro de sodio) para regenerar resinas catiónicas de ácidos fuertes.
- Ácido clorhídrico o ácido sulfúrico (depende del costo y de la eficiencia) para regenerar resinas catiónicas de ácidos fuertes y resinas catiónicas de ácidos débiles.
- Hidróxido de sodio o hidróxido de amonio para regenerar resinas aniónicas de bases fuertes y resinas aniónicas de bases débiles.

Una vez regenerada la resina está lista para un nuevo ciclo de intercambio iónico.

1.3.6. DESINFECCIÓN

El proceso que reviste mayor importancia en la potabilización del agua es el de desinfección. La desinfección es necesaria para la destrucción de todas las bacterias patógenas o de otros organismos dañinos que se encuentran en el agua para bebida. Después de la desinfección y para evitar que el agua pueda volver a contaminarse, es necesario almacenarlas en tanques adecuados o instalaciones que reúnan buenas condiciones de almacenamiento.

1.3.6.1. CLORACIÓN

La cloración de los abastecimientos públicos de agua presenta el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitaria adecuada. Por los motivos señalados más adelante el proceso será tan efectivo como lo sea el control que se ejerza

para asegurarse de que todo el abastecimiento recibe cloro continuamente y en una cantidad proporcional al gasto, para que produzca una desinfección eficaz.¹⁹

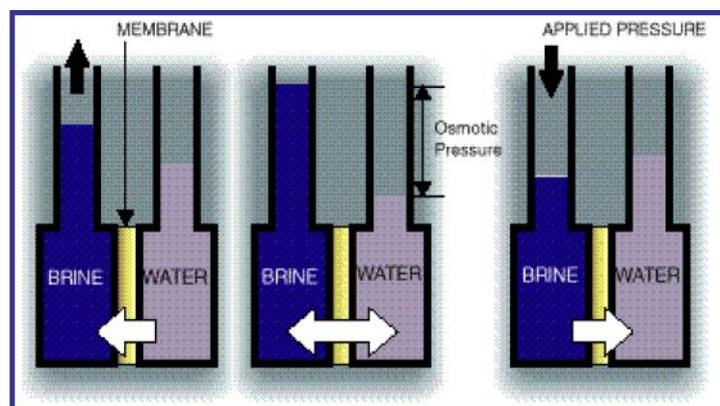
El cloro se lo puede abastecer en forma de gas o como solución, ya sea solo o con otras sustancias químicas. Independientemente de su forma de aplicación, la aplicación o dosificación se regula mediante aparatos especiales llamado cloradores o en su caso hipocloradores.

1.3.6.2. OSMOSIS INVERSA

Forma parte de las tecnologías de membrana junto con la nanofiltración, ultrafiltración y la microfiltración, La membrana funciona como una pared de separación selectiva. La osmosis es un fenómeno físico-químico que tiene lugar cuando dos soluciones acuosas de diferente concentración entran en contacto a través de una membrana semipermeable. Esta membrana permite sólo el paso del agua. Así, el agua tiende a atravesar la membrana en el sentido de menor a mayor concentración, para igualar ambas. La presión que hace que este fenómeno tenga lugar es la presión osmótica.

Figura: 1.3.6.2 - 1

Osmosis inversa



19 DIRECCIÓN DE INGENIERÍA SANITARIA DE SALUD Y ASISTENCIA., Manual de saneamiento: agua vivienda y deshechos., Edición original., México D.F. – México., Editorial Limusa; 1987., pp. 117

La ósmosis inversa (OI) es el paso forzado de agua a través una membrana en contra de la presión osmótica natural con el objeto de separar iones. Este proceso se ilustra en la Figura 6.21, donde una delgada capa de acetato de celulosa (0.1 a 0.15 mm) separa dos soluciones. El agua del lado de la baja concentración de sales fluye a través de la membrana hacia la solución de alta concentración para tratar de igualar el contenido. Si se aplica una presión en el sentido contrario, el agua invierte el sentido natural del flujo. Esta presión es la osmótica y para el agua de mar tiene un valor aproximado de 2.4 MPa. Los equipos de ósmosis inversa operan entre 2,4 a 10 MPa con un intervalo típico de 4.1 a 5.5 MPa. La tasa de transferencia de agua depende básicamente de la concentración, las características de la membrana y la presión aplicada.

La ósmosis inversa retiene especies tan pequeñas como de 0.0001 μm , que están en el intervalo de tamaños iónicos o moleculares. Aunque las especies orgánicas de bajo peso molecular, tales como, alcoholes, azúcares, ácidos y a veces tintes, son también usadas para catalogar membranas de ósmosis inversa, éstas son evaluadas normalmente contra soluciones de cloruro de sodio y sulfato de magnesio. Dentro de sus ventajas más relevantes destacan:

La operación continua y el poco espacio para sus instalaciones

Su diseño modular.

1.3.6.3. LUZ ULTRAVIOLETA

La desinfección del agua es una práctica muy antigua, la primera patente en Estados Unidos data de 1898. La mayoría de las plantas de potabilización a nivel mundial utilizan cloro como desinfectante por su simplicidad de aplicación y bajo costo. Sin embargo, tiene la desventaja de generar productos secundarios denominados organoclorados que se consideran carcinógenos. Como una alternativa existe la luz

ultravioleta (UV), la cual sin generar subproductos es efectiva para inactivar organismos patógenos.

La desinfección con luz UV fue utilizada en agua de suministro a principios de 1900 pero se abandonó por sus altos costos de operación, los problemas de mantenimiento y la falta de disponibilidad de equipo. Sin embargo, la razón más importante fue que la cloración resultó ser más eficiente y rentable (Rajeshwar e Ibañez, 1997). Paradójicamente, hoy en día, la desinfección con luz UV es un proceso que está ganando terreno con respecto a la cloración debido a la estricta reglamentación de los organoclorados que esta última produce. En los últimos 20 años, el uso de la UV se ha incrementado incluso en plantas de tratamiento de aguas residuales. Comparada con la cloración, la luz UV desinfecta el agua residual sin la necesidad de almacenar o manejar reactivos químicos peligrosos y, por sus cortos tiempos de contacto (del orden de segundos o minutos), reduce el tamaño de los tanques de tratamiento y con ello el costo. Actualmente, se han construido o planeado gran número de sistemas de desinfección con luz UV y que por lo mencionado, han resultado ser económicos y competitivos con respecto a la cloración.

CAPÍTULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. MUESTREO

El muestreo se lo realizara de la siguiente manera:

- 1.** Como el diseño de la planta potabilizadora es exclusivamente para la empresa el agua a ser analizada se la captará antes de que ingrese a la empresa. Se tomara muestra cuando el clima varíe es decir un día de lluvia, un día soleado y un día normal, para observar si las características físico-químicas, microbiológicas y organolépticas del agua varían. De esta manera estaremos realizando un control adecuado de la calidad de agua con la que se va a trabajar.
- 2.** Al momento de ingresar a la empresa lo haremos con la ropa adecuada y con todos los materiales a utilizar para la reelección de las muestras.
- 3.** Las muestras las colectaremos usando guantes quirúrgicos y embaces esterilizados con tapa rosca, para evitar contaminar y alterar las muestras que van ser analizadas.
- 4.** Como el agua ingresa a la empresa por una sola tubería en este lugar es donde se colectará la muestra.
- 5.** La muestra de agua colectada se almacenara en un contendor apropiado, que mantenga las condiciones ambientales de temperatura, para que la muestra se mantenga impecable y obtener así resultados reales.
- 6.** Después de que la muestra haya sido colectada se la llevara al laboratorio, en el menor tiempo posible, para su análisis y caracterización.

2.2. METODOLOGIA

- **Metodología de trabajo**

Las muestras se colectaron como estuvo previsto, se las nombró con la letra “M”. Trasladamos al laboratorio las muestras colectadas en el lapso de una hora, para su respectivo Análisis Físico-Químico y Microbiológico en el laboratorio de ANÁLISI TÉCNICO Y MICROBIOLÓGICO en la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

- **Tratamiento de las muestras**

Las muestras recolectadas “M₁, M₂, M₃” fueron analizadas tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- **Físico-Químicos:** pH, temperatura, turbiedad, conductividad, alcalinidad, dureza, calcio, magnesio, cloruros, sulfatos, amonios, bicarbonatos, sólidos totales y disueltos, hierro, nitritos y nitratos.
- **Microbiológicos:** Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

2.2.1. MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.2.1.1. MÉTODOS

2.2.1.1.1. Análisis Físico-Químicos

Los análisis de las muestras se los efectuó basándonos en los métodos adaptados del manual “Standard Methods for the Eximination of Water and Wastewaret” (Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potables y Residuales), y son:

Tabla 2.2.1.1.1-1

Métodos de Caracterización Físico-Químicas de de las Muestras

DETERMINACIONES	PARÁMETRO	UNIDAD MEDIDA	MÉTODOS
FÍSICAS	pH	—	Electrométrico
	Turbiedad	UTN	Nefelométrico
	Conductividad	mS	Electrométrico
	Sólidos Totales	mg/L	Gravimétrico
	Sólidos Disueltos	mg/L	Gravimétrico
	Color		Comparativo
	Alcalinidad		Volumétrico
	Dureza		Volumétrico
	Caudal	m ³ /s	Práctico
	Temperatura	C	Práctico
	Presión		Práctico
QUÍMICAS	Hierro	mg/L	Espectrofotométricos
	Sulfatos	mg/L	Espectrofotométricos
	Calcio	mg/L	Volumétrico
	Cloruros	mg/L	Volumétrico
	Amonios	mg/L	Espectrofotométricos
	Fosfatos	mg/L	Espectrofotométricos
	Nitritos y Nitratos	mg/L	Espectrofotométricos

Fuente: Autor

2.2.1.1.2. Análisis microbiológicos

Tabla 2.2.1.1.2-2

Métodos Microbiológicos de Caracterización de las Muestras

DETERMINACIONES	PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODOS
MICROBIOLÓGICAS	Coliformes	nmp/100 ml	Sembrado
	Totales		
	Coliformes	nmp/100 ml	Sembrado
	Fecales		

Fuente: Autor

2.2.1.2. TÉCNICAS

La técnica se basara en el TULAS, esta Norma Oficial Ecuatoriana se fundamenta en los métodos establecidos en el manual “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, en su más reciente edición. Además deberán considerarse las siguientes Normas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN):

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras y la NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo.
- Norma Técnica Ecuatoriana la NTE INEN 1108:2006. Agua potable: Requisitos.

A continuación se presenta la descripción de cada técnica, según las caracterizaciones realizadas en cada muestra analizada.

2.2.1.2.1. Caracterizaciones Físico-Químicos

Tabla 2.2.1.2.1-1

Resumen de la Descripción de las Técnicas de Caracterización Físico-Químicas

PARÁMETRO	MÉTODOS	DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA	EQUIPO
pH	Electrométrico	En este análisis se hace uso del electrodo de cristal	pH-metro
TURBIEDAD	Nefelométrico	Utilizar el turbidímetro para el análisis	Turbidímetro
CONDUCTIVIDAD	Electrométrico	Tomar el dato luego de la lectura con el conductímetro	Conductímetro
SÓLIDOS TOTALES	Gravimétrico	Pesar una caja petri, colocar 25ml de muestra, someter a baño María hasta sequedad, introducir en la estufa, colocar en el desecador 15min., pesar la caja.	Conductímetro
COLOR	Comparativo	Observar a través del comparador del color	
ALCALINIDAD	Volumétrico	25ml de muestra + 2gtt de Fenolftaleína (rosado), titular con H ₂ SO ₄ hasta incoloro (pH=6.1) + 3gtt de Naranja de Metilo con H ₂ SO ₄ , cambia de naranja a rosado (pH=8)	
DUREZA	Volumétrico	25ml de muestra + 1ml de KCN + 2ml de buffer pH= 10 + indicador Negro de Eriocromo, titular con EDTA (0.02 M), cambia de rojo a azul.	

<p>HIERRO</p>	<p>Espectrofotométrico</p>	<p>50ml de muestra colocar en un Erlenmeyer de 125ml + 1ml de de Cloruro de hidroxil-amina + HCl conc., someter a reducción hasta un volumen de 15 a 20ml aproximadamente y dejar enfriar. Una vez frio añadir 5ml de buffer pH= 5.5 + 2ml de fenantrolina y agregar 50ml de muestra, dejar reposar durante 30 min. Medir en el espectrofotómetro a 510 nm.</p>	<p>Espectrofotómetro</p>
<p>SULFATOS</p>	<p>Espectrofotométrico</p>	<p>50ml de muestra colocar en un balón de 100ml + 2ml de solución acondicionadora + 1g de BaCl₂, aforar con la muestra medir en el espectrofotómetro a 410 nm.</p>	<p>Espectrofotómetro</p>
<p>CALCIO</p>	<p>Volumétrico</p>	<p>25ml de muestra + 1ml de KCN +1ml de NaOH (1N) + Indicador Murexida, titular con EDTA (0.02 N), cambio de rosado a lila.</p>	
<p>CLORUROS</p>	<p>Volumétrico</p>	<p>25ml de muestra + 4gtt de K₂CrO₇, Titular con AgNO₃ (0.01N), cambio de amarillo a ladrillo</p>	

AMONIOS	Espectrofotométrico	25ml de muestra colocar en un balón de 50 ml, +1ml de Tartrato de NaK + 2mlde solución Nessler (amarillo), aforar con la muestra, medir a 425 nm.	Espectrofotómetro
FOSFATOS	Espectrofotométrico	50ml de muestra colocar en un balón de 100ml + 4ml de Molibdato de amonio + 0.5ml Cloruro estañoso (glicerina), cambia a azul, aforar con la muestra medir a 650 nm.	Espectrofotómetro
NITRITOS Y NITRATOS	Espectrofotométrico	25ml de muestra colocar en un balón de 50ml + 2ml de solución A + 2ml de reactivo B, aforar con la muestra, dejar reposar 30 min., medir en el espectrofotómetro a 520 nm.	Espectrofotómetro
RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	Práctico	Recoger la muestra en el lugar ya especificado con un volumen igual a 1000 ml	
CAUDAL	Práctico	En un balde plástico con medida coleccionar una cierta cantidad de líquido, medir el tiempo en el que se coleccionó y dividir el volumen para el tiempo.	Cronómetro
TEMPERATURA	Práctico	Se toma el dato registrados por el termómetro.	Termómetro
PRESIÓN	Práctico	Se toma el dato registrados por el manómetro.	Manómetro

Fuente: Técnicas de Laboratorio de Análisis Técnico

2.2.1.2.2. Caracterizaciones Microbiológicas

Tabla 2.2.1.2.2-1

Descripción de la Técnica de Caracterización Microbiológicas

PARÁMETRO	MÉTODOS	DESCRIPCIÓN	EQUIPO
CONTAMINACIÓN	Sembrando	Luego de esterilizar el equipo microbiológico de filtración por membrana, se siembra y se toma la lectura a las 24 horas, se realiza el conteo de las colonias si las hubiere.	Equipo Microbiológico de filtración por membrana

Fuente: Técnicas de Laboratorio de Análisis Técnico

Algunos aspectos básicos a considerar en la técnica “Filtración de Membrana” son:

- a) Diluyente
- b) Preparación y esterilización del equipo
- c) Preparación de muestras
- d) Filtración por la membrana
- e) Incubación
- f) Selección del volumen a filtrar
- g) Preparación de las placas Petri
- h) Detección y recuento de e-coli y bacterias coliformes.²⁰

²⁰ Fuente: [http:// manual.milipore.com](http://manual.milipore.com)

2.2.1.2.3. Norma de Calidad Ambiental: Recurso Agua

Las especificaciones en las que nos basaremos, para saber si el agua cumple o no con los requerimientos necesarios para ser considerada como agua potable y apta para su consumo son: los límites permisibles establecidos tanto en la Norma INEN como en el TULAS.

Nos basaremos en la norma INEN ya que el laboratorio en el que se realizan los análisis del agua están regidos según la: Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006 Segunda Revisión. Agua Potable: Requisitos.

Y en el TULAS ya que la empresa trabaja según las especificaciones en la: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA del TULAS en el libro VI Anexo 1, en la página 295 tenemos los siguientes criterios:

4.1.1.1 Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se emplea en actividades como:

- a) Bebida y preparación de alimentos para consumo,
- b) Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios,
- c) Fabricación o procesamiento de alimentos en general.

En la siguiente Tabla se muestra los límites máximos permisibles según el TULAS para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

TABLA 2.2.1.2.3-1

Límites Máximos Permisibles

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,2
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/l	1,0
Amonio	NH ₄	mg/l	0,05
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cianuro (total)	CN	mg/l	0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Totales		nmp/100 ml	3 000
Coliformes Fecales		nmp/100 ml	600
Color	color real	unidades de color	100
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2,0
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500

Bifenilo policlorados/PCBs	Concentración de PCBs totales	µg/l	0,0005
Fluoruro (total)	F	mg/l	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante		Ausencia	
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sólidos disueltos totales		mg/	1 000
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	400
Temperatura		°C	Condición Natural ⁺ o – 3 grados

Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	100
Zinc	Zn	mg/l	5,0
*Productos para la desinfección		mg/l	0,1
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C_6H_6	$\mu g/l$	10,0
Benzo(a) pireno		$\mu g/l$	0,01
Etilbenceno		$\mu g/l$	700
Estireno		$\mu g/l$	100
Tolueno		$\mu g/l$	1 000
Xilenos (totales)		$\mu g/l$	10 000
Pesticidas y Herbicidas			
Carbamatos totales	Concentración decarbamatos	mg/l	0,1
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Dibromocloropropano (DBCP)	Concentración de DBCP	$\mu g/l$	0,2
Dibromoetileno (DBE)	Concentración total de DBE	$\mu g/l$	0,05
Dicloropropano (1,2)	Concentración total de	$\mu g/l$	5

	dicloropropano		
Diquat		µg/l	70
Glifosato		µg/l	200
Toxafeno		µg/l	5
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		µg/l	3
Dicloroetano (1,2-)		µg/l	10
Dicloroetileno (1,1-)		µg/l	0,3
Dicloroetileno (1,2-cis)		µg/l	70
Dicloroetileno(1,2-rans)		µg/l	100
Diclorometano		µg/l	50
Tetracloroetileno		µg/l	10
Tricloroetano (1,1,1-)		µg/l	200
Tricloroetileno		µg/l	30
Clorobenceno		µg/l	100
Diclorobenceno (1,2-)		µg/l	200
Diclorobenceno (1,4-)		µg/l	5
Hexaclorobenceno		µg/l	0,01
Bromoximil		µg/l	5
Diclorometano		µg/l	50
Tribrometano		µg/l	2

Fuente: TULAS LIBRO VI ANEXO 1. ²¹

21 TULAS LIBRO VI ANEXO 1, NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. , pp 295-298

2.3. DATOS EXPERIMENTALES

2.3.1. DIAGNÓSTICO

El agua que se expende en la parroquia San Luis no reúne las condiciones necesarias para ser utilizada directamente en el proceso de la empresa “PROCESADORA AGROINDUSTRIAL MIS FRUTALES, afectando así su producción. Por este motivo se diseñará una planta potabilizadora de agua, la cual brinde las características necesarias para que el agua pueda ser utilizada en la producción. Se ha realizado análisis de caracterización al agua que ingresa a la empresa, con el fin de saber cuáles son los parámetros que afectan la calidad del agua y así poder diseñar la planta de tratamiento de agua potable.

2.3.2. DATOS

2.3.2.1. Caracterización del Agua que ingresa a la Empresa

Las muestras de agua fueron tomadas antes de que ingresen a la empresa. Los datos de temperatura, caudal se realizaron en la empresa y los análisis de caracterización del agua tanto Físico-Químicos como Microbiológicos se los realiza en el Laboratorio de Análisis Técnicos y Análisis Microbiológicos de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Después de realizar los análisis a las muestras colectadas “M₁, M₂ y M₃”, lo más factible es trabajar con el promedio de los datos obtenidos ya que muchos de estos no difieren entre sí en gran proporción.

2.4. DATOS ADICIONALES

2.4.1. Tabla de caracterización del agua

2.4.1.1. Análisis Físico-Químico del agua que ingresa a la empresa

Tabla: 2.4.1.1-1

Promedio de Análisis de Caracterización Físico-Química de las Muestras

PARÁMETROS	UNIDAD	LÍMITES	M ₁	M ₂	M ₃	PROMEDIO	OBSERVACIÓN
pH	Unit	6,5-8,5	7,17	7,25	7,24	7,22	Dentro del Limite
Conductividad	µSeims/cm	< 1250	832	832	838	834,00	Dentro del Limite
Turbiedad	UNT	1	0,3	0,2	1	0,50	Dentro del Limite
Cloruros	mg/L	250	28,4	25,5	28,4	27,43	Dentro del Limite
Dureza	mg/L	200	260	240	232	244,00	Fuera del Limite
Calcio	mg/L	70	54,4	51,2	35,2	46,93	Dentro del Limite
Magnesio	mg/L	30 – 50	30,1	27,2	35	30,77	Dentro del Limite
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	320	340	360	340,00	Fuera del Limite
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	326,4	346,8	367,2	346,80	Fuera del Limite
Sulfatos	mg/L	200	96,3	107,8	78,3	94,13	Dentro del Limite
Amonios	mg/L	< 0,50	0,347	0,612	0,408	0,46	Dentro del Limite
Nitritos	mg/L	0,01	0,007	0,005	0,004	0,0053	Dentro del Limite
Nitratos	mg/L	< 40	6,4	6,8	7,6	6,93	Dentro del Limite
Hierro	mg/L	0,30	0,148	0,07	0,059	0,09	Dentro del Limite
Fosfatos	mg/L	< 0,30	1,386	0,525	0,651	0,85	Fuera del Limite
Sólidos totales	mg/L	1000	576	600	604	593,33	Dentro del Limite
Sólidos disueltos	mg/L	500	515,8	515,8	519,6	517,07	Dentro del Limite

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Técnicos y Microbiológicos.

2.4.1.2. Análisis Microbiológico del Agua que Ingresa a la Empresa

Tabla: 2.4.1.2-1

Promedio de Análisis de Caracterización Microbiológica de las Muestras

PARÁMETROS	UNIDAD	M₁	M₂	M₃	PROMEDIO	OBSERVACIÓN
Coliformes Totales	UFC/100ml	52	1000	400	484,00	Fuera del Limite
Coliformes Fecales	UFC/100ml	4	1	1	2,00	Fuera del Limite

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Análisis Técnicos y Microbiológicos.

CAPÍTULO III

3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

El DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA EMPRESA “PROCESADORA AGROINDUSTRIAL MIS FRUTALES”, se realizará desde el momento en que el agua ingresa a la empresa, no necesitaremos realizar cálculos del sistema de captación ni de aducción, sino desde el almacenamiento del agua cruda y su tratamiento de potabilización.

Considerando las características físico-químicas y microbiológicas del agua, para lograr obtener un agua potable de calidad, con las características requeridas, y apta para su consumo, se determina el siguiente proceso como mecanismo de tratamiento de potabilización.

- **CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO**

El siguiente diseño de la planta tratamiento de agua potable se ha desarrollado en base a las características Físico-Químicas y Microbiológicas del agua que se va a tratar, para lograr que el agua sea apta para su uso en la empresa.

El tratamiento que se dará al agua en esta planta potabilizadora será capaz de mejorar: los parámetros que están fuera del límite máximo permisible y que son los más importantes como: Dureza, Alcalinidad (fosfatos y bicarbonatos), Coliformes Totales y Coliformes Fecales

- **ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO**

Para mejorar la calidad de agua se realiza los siguientes procesos y se trabajará con las unidades que especifique la bibliografía en cada fórmula:

- **Sistema de almacenamiento:** Se realizara el diseño de un tanque el cual nos ayudara a almacenar el agua que posteriormente será tratada. El tanque tendrá una capacidad de almacenamiento de tres días $3,6m^3$, para

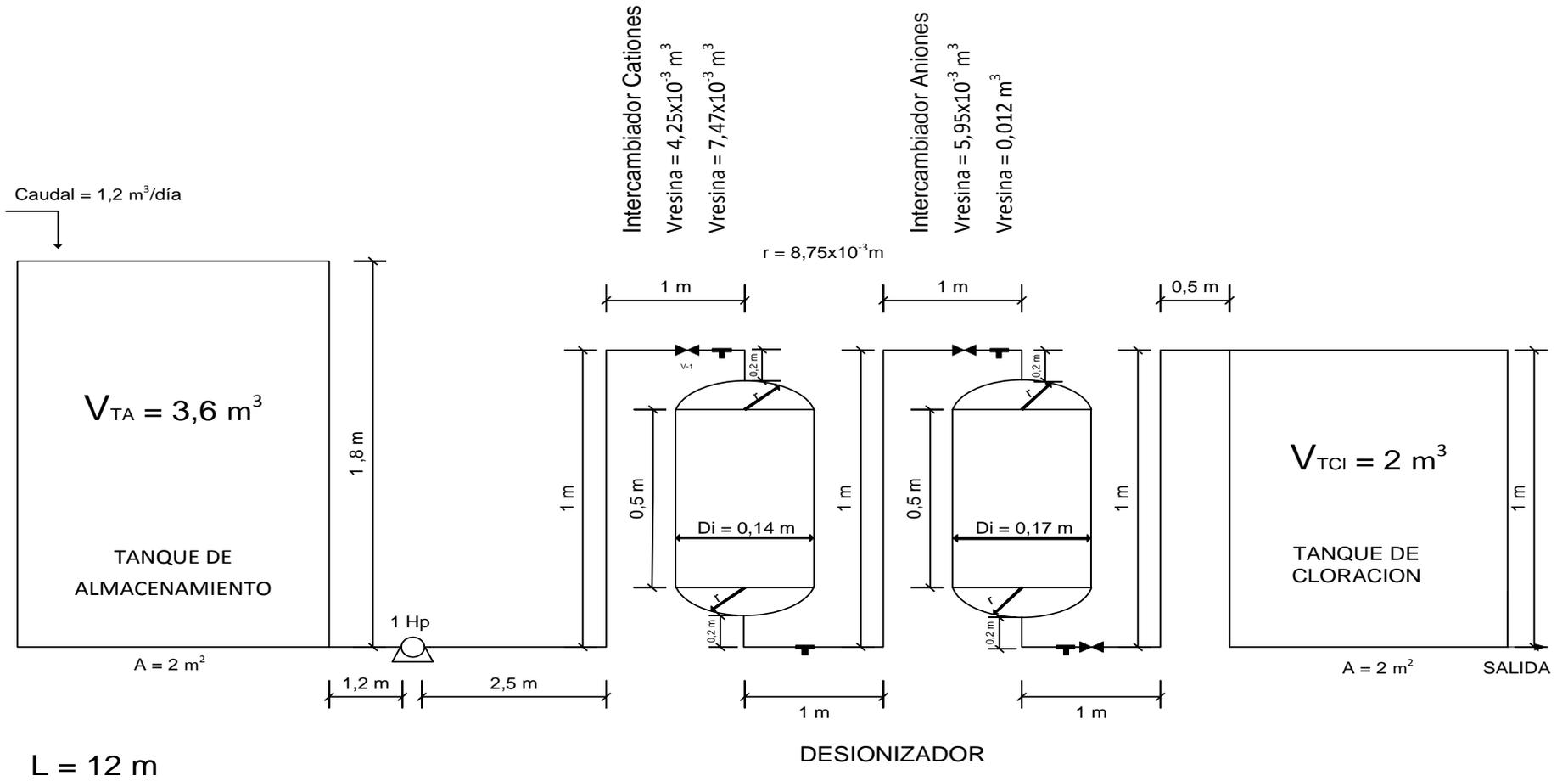
abastecimiento normal de la empresa. El caudal con el que vamos a trabajar es de 1,2 m³/día, se trabaja 10 horas al día, en 2 ciclos cada uno de 5 horas.

- **Desionizador “Intercambiador de Cationes y Aniones”:** Este equipo consta de dos tanques gemelos, que nos van a ayudar a eliminar, los cationes y los aniones presentes en el agua y que son responsables de la elevada dureza y alcalinidad en la misma. Este equipo será una secuencia primero el agua ingresara al tanque para intercambio de cationes y posteriormente al intercambio de aniones. Se consultara las mejores resinas de intercambio y su regeneración, el retrolavado para la regeneración de la resina se lo hará manualmente el tiempo de regeneración es de 30 a 60 segundos, en el intercambiador de cationes se lo hará cada 200m³ es decir cada 4 meses y en el intercambiador de aniones se lo hará cada 100m³ es decir cada 2 meses²². Se recomienda utilizar las siguientes resinas: en el intercambiador de cationes la resina acido fuerte tipo gel KW-8, y en el intercambiador de aniones la resina base fuerte tipo gel AW-4. Como el agua no posee turbiedad, el agua pasara directamente a la etapa de desinfección. Se trabajara con el mismo caudal.
- **Desinfección:** Se lo hará con hipoclorito en un tanque de cloración se trabajara con el mismo caudal. Se considera como dosis necesaria 1,5 mg/L para que la desinfección sea eficaz, la solución será al 5%.²³

22 La regeneración se hizo en base a las investigaciones de la empresa RHOM AND HASS, fabricante de resinas. http://www./intercambio/contenidos_mo.php.htm

23 **Fuente:** Muños M. Balarezo A., (1992)

- Diagrama de flujo del sistema propuesto para la potabilización del agua



3.1. CÁLCULOS

3.1.1. DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

- **Volumen del tanque de almacenamiento**

$$V_{TA} = Q \times tr \quad \text{Ec. 3.1.1-1}$$

Dónde:

V_{TA} : Volumen del Tanque de almacenamiento

Caudal de diseño $\left(\text{m}^3/\text{día} \right)$ $Q = 1,2 \text{ m}^3/\text{día}$

Tiempo de retención (día) $tr = 3 \text{ días}$ 24

$$V_{TA} = 1,2 \times 3$$

$$V_{TA} = 3,6 \text{ m}^3$$

- **Área del tanque**

Asumimos un área de base cuadrada de:

$$A_{TA} = 2 \text{ m}^2$$

A_{TA} : área del tanque de almacenamiento

- **Altura del tanque**

$$h_{TA} = \frac{V_{TANQUE}}{A_{TANQUE}} \quad \text{Ec. 3.1.1-2}$$

Dónde:

h_{TA} : altura del tanque de almacenamiento

$$h_{TA} = \frac{3,6}{2}$$

$$h_{TA} = 1,8 \text{ m}$$

24 Se toma El $t_r=3$ días, Para que el volumen calculado sea capaz de abastecer y mantener la planta funcionando si se requiere realizar alguna reparación.

3.1.2. Dimensionamiento de la Bomba del Tanque de Almacenamiento

- **Diseño de la bomba**

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q_i}{v \times \pi}}$$

Dónde:

D = Diámetro de la tubería = m

v = Velocidad = 1,5 m/s 25

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 1,4 \times 10^{-5}}{1,5 \times \pi}}$$

$$D = 3,4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

De acuerdo al caudal con el que estamos trabajando es suficiente utilizar la tubería de 1/2 pulgada = 0,013m.

- **Altura estática del bombeo**

H_{TA} : Altura del tanque de almacenamiento. = 1,8 m

H_{TC} : Altura del tanque de cloración. = 1,0 m

H_1 : Altura estática de bombeo. = 1,8 m

- **Pérdidas por fricción H_2 en tuberías “impulsión”**

$$H_2 = 10,674 \left(\frac{Q^{1,852}}{C^{4,871} \times D^{1,852}} \right) L$$

Dónde:

L = Longitud de la tubería = 13 m

C = Coeficiente Hazzen Williams = 125 26

D = Diámetro de la tubería = 0,013 m

$$H_2 = 10,674 \left(\frac{1,4 \times 10^{-5} 1,852}{125^{4,871} \times 0,013^{1,852}} \right)^{12}$$

$$H_2 = 2,5 \times 10^{-14} m$$

- **Pérdidas por accesorios**

Tabla: 3.1.2-1

Constante de accesorios utilizados

Accesorio	Cantidad	Constante “k”	Total
Válvula Check	03	1,40	4,20
Válvula Compuerta	04	0,19	0,76
Codo 90°	11	0,81	8,91
Conexión en T	04	1,8	7,20
PERDIDA POR ACCESORIOS			21,07

Fuente: Acero Galvanizado ²⁷

26 Dato tomado de tablas acero galvanizado. <http://HidraulicadeTuberias.pdf>

$$H_3 = 10,674 \left(\frac{Q^{1,852}}{C^{4,871} \times D^{1,852}} \right) H_2$$

Dónde:

$$H_{PA} = \text{Pérdida por accesorios} = 13,11 \text{ m}$$

$$C = \text{Coeficiente Hazzen Williams} = 125 \quad 28$$

$$D = \text{Diámetro de la tubería en impulsión.} = 0,013 \text{ m}$$

$$H_3 = 10,674 \left(\frac{1,4 \times 10^{-5 \cdot 1,852}}{125^{4,871} \times 0,013^{1,852}} \right) 21,07$$

$$H_3 = 4,38 \times 10^{-14} \text{ m}$$

- **Cálculo de la altura total de bombeo**

$$ADT = H_1 + H_2 + H_3 + P_{EQUIPO}$$

Dónde:

ADT: Cálculo de la altura total de bombeo

P_{EQUIPO}: Presión a la que trabajan los equipos (desionizador y descationizador)

$$ADT = 1,8 + 2,5 \times 10^{-14} + 4,4 \times 10^{-14} + 2(9,2 \times 10^{-4}) \quad 29$$

27 Datos de accesorios tomados de tablas acero galvanizado. <http://HidraulicadeTuberias.pdf>

28 Dato tomado de tablas acero galvanizado. <http://HidraulicadeTuberias.pdf>

$$ADT = 1,8 \text{ m}$$

- **Cálculo del flujo másico**

$$W = \rho \times Q$$

Dónde:

$$\rho: \text{Densidad del agua} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

W: flujo másico

$$W = 1000 \times 1,4 \times 10^{-5}$$

$$W = 0,014 \text{ Kg/s}$$

- **Cálculo de la potencia de la bomba**

$$Hp = \frac{W \times ADT}{75 \times 0,75}$$

Dónde:

Hp= potencia de la bomba

$$Hp = \frac{0,014 \times 1,8}{75 \times 0,75}$$

$$Hp = 4,48 \times 10^{-4} \text{ kg m/s}$$

Se comprara una bomba de 1Hp, esta será capaz de bombear el flujo a través de toda la planta y además será capaz de atravesar todo el sistema de tratamiento sin problema.

3.1.3. DISEÑO DEL DESIONIZADOR

3.1.3.1. DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CATIONES

- Consideraciones previas:

Caudal del agua $Q = 1,2 \text{ m}^3/\text{día} = 317 \text{ gal}/\text{día}$

Horas de operación $t = 10 \text{ h}/\text{día}$

Dureza total del agua $Dureza = 244 \text{ mg}/\text{L}$

- Consumo de agua diaria

$$Q = 317 \text{ gal}/\text{día}$$

- Dureza total expresada en granos por galón (GPG)

Dureza promedio = 244 mg/L

$$Dureza = \frac{244}{17,1} = 14,27 \text{ GPG} \quad 30$$

- Granos necesarios en un día

$$317 \times 14,27 = 4524,2 \text{ GPD}$$

- Volumen de resina necesaria

$$V_{\text{resina}} = \text{GPG} \times \text{lb de sal} \quad \text{Ec. 3.1.3.1-1}$$

Usando el factor de conversión

$$V_{\text{resina}} = \frac{4524,2}{30\,000} = 0,15 \text{ ft}^3 \quad 31$$

$$0,15 \text{ ft}^3 \frac{0,02832 \text{ m}^3}{\text{ft}^3} = 4,27 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{resina}} = 4,25 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

30 Transformamos la dureza; 17,1GPG = ppm ó mg/L

31 Se recomienda 15 lb sal/ft³. Factor de conversión: 1ft³ = 30 000 granos x 15 lb de sal

- **DISEÑO DEL TANQUE INTERCAMBIADOR DE CATIONES**

- **Volumen del tanque**

$$V_{TC} = V_{resina} \times E \quad \text{Ec. 3.1.3.1-2}$$

Dónde:

V_{TC} : Volumen del tanque intercambiador de cationes

V_{resina} : Volumen de la resina necesaria

E: Expansión de la resina al retrolavarla

$$V_{TC} = 4,27 \times 10^{-3} \times 1,75 \quad 32$$

$$V_{TC} = 7,47 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

- **Altura del tanque asumida**

Asumimos una altura de:

$$h_{TC} = 0,5 \text{ m}$$

Dónde:

h_{TC} : altura del tanque intercambiador de cationes

- **Área del tanque**

$$A_{TC} = \frac{V_{TANQUE}}{h_{TANQUE}} \quad \text{Ec. 3.1.1-3}$$

Dónde:

A_{TC} : área del tanque intercambiador de cationes

$$A_{TC} = \frac{7,47 \times 10^{-3}}{0,5}$$

$$A_{TC} = 0,015 \text{ m}^2$$

32 Se recomienda en resinas catiónicas E= 1.75 es decir el 75%

○ **Diámetro**

$$D_i = \sqrt{\frac{4 A_{TC}}{\pi}} \quad \text{Ec. 3.1.1-4}$$

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \times 0,015}{\pi}}$$

$$D_i = 0,14 \text{ m}$$

○ **Altura de los difusores**

$$h_{di} = \frac{V_{RESINA} \times I}{A_{TC}} \quad \text{Ec. 3.1.1-5}$$

$$h_{di} = \frac{4,25 \times 10^{-3} \times 1,05}{0,015} \quad 33$$

$$h_{di} = 0,30 \text{ m}$$

• **Diseño mecánico del tanque**

○ **Espesor de las tapas torio-esféricas**

$$E_t = \frac{0,885 \times P \times D_i}{S E - 0,1 P} + 0,625 \quad \text{Ec. 3.1.1-6}$$

Dónde:

$$P = \text{Presión máxima} = 9 \text{ Kg/cm}^2$$

$$E_s = \text{Factor de soldadura} = 1,0$$

$$D_i = \text{Diámetro interno} = 0,14 \text{ m}$$

$$S = \text{Resistencia del material} = 966,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Factor por formado de tapas} = 0,625 \text{ plg} = 0,016 \text{ m}$$

34

33 Se recomienda en resinas catiónicas I= 1,05

$$Et = \frac{0,885 \times 9 \times 0,14}{966,9 (1) - 0,1(9)} + 0,016$$

$$Et = 0,017 \text{ m} = 0,63 \text{ plg}$$

○ **Cálculo del radio**

$$r = \frac{Di}{16} \quad \text{Ec. 3.1.1-7}$$

$$r = \frac{0,14}{16} = 8,75 \times 10^{-3} \text{ m}$$

○ **Espesor del falso fondo**

$$Ff = 10^{-2} \times a \times (0,514 P)^{1/2} \quad \text{Ec. 3.1.1-8}$$

Dónde:

$$a = r = 0,34 \text{ plg}$$

$$P = (1 \text{ psi/pie} \times r) = 0,029 \text{ psi}$$

$$Ff = 10^{-2} \times 0,34 \times (0,514 (0,029))^{1/2}$$

$$Ff = 4,16 \times 10^{-4} \text{ plg}$$

$$Ff = 0,068 \text{ plg} \quad 35$$

$$Ff = 1,7 \times 10^{-3} \text{ m} = 1,7 \text{ mm}$$

○ **Deflexión del falso fondo**

$$\Delta = \frac{P' \times r^4}{32 \times Em \times Ff^3} \quad 36 \quad \text{Ec. 3.1.1-9}$$

34 Los valores asumidos son recomendados para tanques de intercambia iónico.

<http://Cap.7/ingenieria/procesos/intercambio/ionico.pdf>

35 t= se lleva a espesor comercial. t= 0,068 para sistemas de ½ plg. Fuente: [http:// tuberías/ A53MP.pdf](http://tuberías/A53MP.pdf)

Dónde:

Δ = Deflexión

r = radio = 0,34 plg

P' = (1psi/pie x Di) = 0,054 psi

E_m = Módulo de elasticidad = 30×10^6 lbs/ plg²

F_f = Espesor comercial del falso fondo = 0,068 plg

$$\Delta = \frac{0,054 \times 0,34^4}{32 \times 30 \times 10^6 \times 0,068^3}$$

$$\Delta = 2,4 \times 10^{-9} \text{ plg}$$

o **Espesor del envolvente**

$$E_e = \frac{P \times D_i / 2}{S E_s - 0,6 P} \quad \text{Ec. 3.1.1-10}$$

Dónde:

P = Presión máxima = 9 Kg/cm²

E_s = Factor de soldadura = 1,0

D_i = Diámetro interno = 0,14 m

S = Resistencia del material = 966,6 kg/cm²

Factor por formado de tapas = 0,625 plg = 0,016m

$$E_e = \frac{9 \times 0,14 / 2}{966,6 (1) - 0,6 (9)}$$

$$E_e = 6,55 \times 10^{-4} \text{ m}$$

3.1.3.2. DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE ANIONES

- **Consideraciones previas:**

Caudal del agua $Q = 1,2 \text{ m}^3/\text{día} = 317 \text{ gal}/\text{día}$

Horas de operación $t = 10 \text{ h}/\text{día}$

Alcalinidad total del agua $\text{Alcalinidad} = 340 \text{ mg}/\text{L}$

- **Consumo de agua diaria**

$$Q = 317 \text{ gal}/\text{día}$$

- **Alcalinidad total expresada en granos por galón (GPG)**

Alcalinidad promedio = 340 mg/L

$$\text{Alcalinidad} = \frac{340}{17,1} = 19,88 \text{ GPG} \quad 37$$

- **Granos necesarios en un día**

$$317 \times 19,88 = 6\,302,9 \text{ GPD}$$

- **Volumen de resina necesaria**

$$V_{\text{resina}} = \text{GPG} \times \text{lb de sal} \quad \text{Ec. 3.1.3.2-1}$$

Usando el factor de conversión

$$V_{\text{resina}} = \frac{6\,302,9}{30\,000} = 0,21 \text{ ft}^3 \quad 38$$

$$0,21 \text{ ft}^3 \frac{0,02832 \text{ m}^3}{\text{ft}^3} = \text{m}^3$$

$$V_{\text{resina}} = 5,95 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

37 Transformamos la alcalinidad ; 17,1GPG = ppm ó mg/L

38 Se recomienda 15 lb sal/ft³. Factor de conversión: 1ft³ = 30 000 granos x 15 lb de sal

- **DISEÑO DEL TANQUE INTERCAMBIADOR DE ANIONES**

- **Volumen del tanque**

$$V_{TA} = V_{resina} \times E \quad \text{Ec. 3.1.3.2-2}$$

Dónde:

V_{TC} : Volumen del tanque intercambiador de aniones

V_{resina} : Volumen de la resina necesaria

E : Expansión de la resina al retrolavarla

$$V_{TA} = 5,95 \times 10^{-3} \times 2 \quad 39$$

$$V_{TA} = 0,012 \text{m}^3$$

- **Altura del tanque asumida**

Asumimos una altura de:

$$h_{TA} = 0,5 \text{ m}$$

h_{TC} : altura del tanque intercambiador de cationes

- **Área del tanque**

$$A_{TA} = \frac{V_{TANQUE}}{h_{TANQUE}} \quad \text{Ec. 3.1.2-3}$$

Dónde:

A_{TC} : área del tanque intercambiador de cationes

$$A_{TA} = \frac{0,012}{0,5}$$

$$A_{TA} = 0,024 \text{ m}^2$$

- **Diámetro**

$$D_i = \sqrt{\frac{4 A_{TC}}{\pi}} \quad \text{Ec. 3.1.2-4}$$

39 Se recomienda en resinas aniónicas E= 2 es decir el 100%

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \times 0,024}{\pi}}$$

$$D_i = 0,17 \text{ m}$$

○ **Altura de los difusores**

$$h_{di} = \frac{V_{RESINA} \times I}{A_{TC}} \quad \text{Ec. 3.1.2-5}$$

$$h_{di} = \frac{5,95 \times 10^{-3} \times 1,2}{0,024} \quad 40$$

$$h_{di} = 0,30 \text{ m}$$

● **Diseño mecánico del tanque**

○ **Espesor de las tapas torio-esféricas**

$$E_t = \frac{0,885 \times P \times D_i}{S E - 0,1 P} + 0,625 \quad \text{Ec. 3.1.1-6}$$

Dónde:

P = Presión máxima = 9 Kg/cm²

Es = Factor de soldadura = 1,0

Di = Diámetro interno = 0,14 m

S = Resistencia del material = 966,6 kg/cm²

Factor por formado de tapas = 0,625 plg = 0,016m 41

$$E_t = \frac{0,885 \times 9 \times 0,14}{966,9 (1) - 0,1(9)} + 0,016$$

$$E_t = 0,017 \text{ m} = 0,63 \text{ plg}$$

40 Se recomienda en resinas aniónicas I= 1,2

41 Los valores asumidos son recomendados para tanques de intercambia iónico.

<http://Cap.7/ingenieria/procesos/intercambio/ionico.pdf>

○ **Cálculo del radio**

$$r = \frac{D_i}{16} \quad \text{Ec. 3.1.1-7}$$

$$r = \frac{0,14}{16} = 8,75 \times 10^{-3} \text{ m}$$

○ **Espesor del falso fondo**

$$Ff = 10^{-2} \times a \times (0,514 P)^{1/2} \quad \text{Ec. 3.1.1-8}$$

Dónde:

$$a = r = 0,34 \text{ plg}$$

$$P = (1 \text{ psi/pie} \times r) = 0,029 \text{ psi}$$

$$Ff = 10^{-2} \times 0,34 \times (0,514 (0,029))^{1/2}$$

$$Ff = 4,16 \times 10^{-4} \text{ plg}$$

$$Ff = 0,068 \text{ plg} \quad 42$$

$$Ff = 1,7 \times 10^{-3} \text{ m} = 1,7 \text{ mm}$$

○ **Deflexión del falso fondo**

$$\Delta = \frac{P' \times r^4}{32 \times E_m \times Ff^3} \quad 43 \quad \text{Ec. 3.1.1-9}$$

Dónde:

$$\Delta = \text{Deflexión}$$

$$r = \text{radio} = 0,34 \text{ plg}$$

42 t= se lleva a espesor comercial. t= 0,068 para sistemas de ½ plg. Fuente: [http:// tuberías/ A53MP.pdf](http://tuberías/A53MP.pdf)
43 Debe ser menor a ¼´´. Se toma el valor calculado del falso fondo. Normalmente esto ocurre. Fuente : <http://Cap.7/ingenieria/procesos/intercambio/ionico.pdf>

$$P' = (1\text{psi/pie} \times Di) = 0,054 \text{ psi}$$

$$Em = \text{Módulo de elasticidad} = 30 \times 10^6 \text{ lbs/plg}^2$$

$$Ff = \text{Espesor comercial del falso fondo} = 0,068 \text{ plg}$$

$$\Delta = \frac{0,054 \times 0,34^4}{32 \times 30 \times 10^6 \times 0,068^3}$$

$$\Delta = 2,4 \times 10^{-9} \text{ plg}$$

○ **Espesor del envolvente**

$$Ee = \frac{P \times Di/2}{S Es - 0,6 P} \quad \text{Ec. 3.1.1-10}$$

Dónde:

$$P = \text{Presión máxima} = 9 \text{ Kg/cm}^2$$

$$Es = \text{Factor de soldadura} = 1,0$$

$$Di = \text{Diámetro interno} = 0,14 \text{ m}$$

$$S = \text{Resistencia del material} = 966,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Factor por formado de tapas} = 0,625 \text{ plg} = 0,016 \text{ m}$$

$$Ee = \frac{9 \times 0,14/2}{966,6 (1) - 0,6 (9)}$$

$$Ee = 6,55 \times 10^{-4} \text{ m}$$

3.1.4. DISEÑO DEL TANQUE DE CLORACIÓN

3.1.4.1. Dosificación

- Cálculo del peso de hipoclorito de

$$P_{Cl} = Q \times d \quad \text{Ec. 3.1.4-1}$$

Dónde:

P_{Cl}: Peso del cloro en g/h

Q: Caudal de diseño $= 1,2 \text{ m}^3 / \text{día} = 0,12 \text{ m}^3 / \text{h}$

d: Dosis de cloro necesario $= 1,5 \text{ mg} / \text{L} = 1,5 \text{ g} / \text{m}^3$

$$P_{Cl} = 0,12 \times 1,5$$

$$P_{Cl} = 0,18 \text{ g/h}$$

- Cálculo del peso del producto comercial

$$P_C = \frac{P \times 100}{r} \quad \text{Ec. 3.1.4-2}$$

Dónde:

P_C: Peso del producto comercial g/h

r: Porcentaje de cloro activo q contiene el producto comercial $= 75\%$

$$P_C = \frac{0,18 \times 100}{75}$$

$$P_C = 0,24 \text{ g/h}$$

- **Cálculo de la demanda horaria de la solución**

$$q_s = \frac{P_C \times 100}{C_s} \quad \text{Ec. 3.1.4-2}$$

Dónde:

P_C: Peso del producto comercial Kg/h

q_s: Demanda horaria de la solución en l/h ⁴⁴

C_s: Concentración de la solución = 5% ⁴⁵

$$q_s = \frac{2,4 \times 10^{-4} \times 100}{5}$$

$$q_s = 0,0048 \text{ l/h}$$

Se requiere 0,0048 litros de solución de hipoclorito de sodio por hora para desinfectar el agua con una dosis de 1,5 mg/l. la solución preparada es al 5%.

- **Cálculo del volumen de la solución**

$$V_s = q_s \times t \quad \text{Ec. 3.1.4-3}$$

Dónde:

tr: Tiempo de retención. **tr = 0,5 h** ⁴⁶

$$V_s = 0,0024 \times 0,5$$

$$V_{HCl} = 9 \times 10^{-3} \text{ l}$$

44 Asumiendo que la densidad de 1litro de solución pesa un kg

45 Fuente Jaramillo. C (2009), concentración de hipoclorito de sodio similar al cloro domestico.

46 Para tener un volumen suficiente que abastezca las necesidades de la empresa.

3.1.4.2. Dimensionamiento del tanque de contacto para la mezcla de cloro

- Cálculo del volumen del tanque de hipoclorador

$$V_{HCl} = Q \times tr \times fs \quad \text{Ec. 3.1.4-3}$$

Dónde:

V_{HCl} : Volumen del tanque hipoclorador de almacenamiento

Q : Caudal de diseño $Q = 1,2 \text{ m}^3/\text{día}$

tr : Tiempo de retención. $tr = 1,5 \text{ días}$ ⁴⁷

fs : Factor de Seguridad $fs = 10\%$

$$V_{HCl} = 1,2 \times 1,5 \times 1,10$$

$$V_{HCl} = 2 \text{ m}^3$$

Asumimos un área:

- Área del tanque

$$A_{TC} = 2 \text{ m}^2$$

Dónde:

A_{TC} = área del tanque tanque Hipoclorador de almacenamiento

- Altura del tanque

$$h_{TC} = \frac{V_{TANQUE}}{A_{TANQUE}} \quad \text{Ec. 3.1.1-3}$$

Dónde:

h_{TANQUE} = altura del tanque hipoclorador de almacenamiento

$$h_{TC} = \frac{2}{2}$$

$$h_{TC} = 1 \text{ m}$$

⁴⁷ Para tener un volumen suficiente que abastezca las necesidades de la empresa.

3.2. RESULTADOS

Tabla 3.2-1

Características principales del diseño

CÁLCULO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Caudal	Q	1,2	m ³ /día
Horas de operación	t	10	h/día

Fuente: Autor

Tabla 3.2-2

Dimensiones del tanque de almacenamiento

CÁLCULO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Volumen	V _{TA}	3,6	m ³
Área	A _{TA}	2	m ²
Altura	h _{TA}	1,8	m

Fuente: Autor

Tabla 3.2-3

Dimensiones del sistema de bombeo

CÁLCULO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Diámetro de tubería	D	3,4 x10 ⁻³	m
Altura estática de bombeo	H ₁	1,8	m
Perdidas por fricción	H ₂	2,70 x10 ⁻¹⁴	m
Perdidas por accesorios	H ₃	4,38 x10 ⁻¹⁴	m
Altura total de bombeo	ADT	1,8	m
Flujo másico	W	0,014	Kg/s
Potencia de la bomba	H _p	1	Kg/ms

Fuente: Autor

Tabla 3.2-4

Dimensiones del intercambiador de cationes

CÁLCULO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Dureza	GPG	14,27	GPG
Dureza	GPD	4524,2	GPD
Volumen de la resina	V_{resina}	$4,25 \times 10^{-3}$	m^3
Volumen del tanque	V_{TC}	$7,47 \times 10^{-3}$	m^3
Altura del tanque	h_{TC}	0,5	m
Área del tanque	A_{TC}	0,015	m^2
Diámetro	D_i	0,14	m

Fuente: Autor

Tabla 3.2-5

Dimensiones del intercambiador de aniones

CÁLCULO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Alcalinidad	GPG	19,88	GPG
Alcalinidad	GPD	6 302,9	GPD
Volumen de la resina	V_{resina}	$5,95 \times 10^{-3}$	m^3
Volumen del tanque	V_{TC}	0,012	m^3
Altura del tanque	h_{TC}	0,5	m
Área del tanque	A_{TC}	0,024	m^2
Diámetro	D_i	0,17	m
Altura de los difusores	h_{di}	0,30	m

Fuente: Autor

Tabla 3.2-6

Dimensiones del Diseño Mecánico de los Tanques

Altura de los difusores	h_{di}	0,30	m
Espesor de las tapas	E_t	0,017	m
Cálculo del radio	r	$8,75 \times 10^{-3}$	m
Espesor del falso fondo	F_f	1,7	mm
Deflexión del falso fondo	Δ	$6,1 \times 10^{-8}$	mm
Espesor del envolvente	E_e	$6,55 \times 10^{-4}$	m

Fuente: Autor

Tabla 3.2-7

Dosificación del Sistema de Cloración

CÁLCULO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Peso del Cloro	P_{Cl}	0,18	g/h
Peso producto comercial	P_c	0,24	g/h
Demanda horaria	q_s	0,0048	l/h
Volumen de la solución	V_s	9×10^{-3}	m
Dosis		1,5	mg/l
Concentración	C_s	5	%

Fuente: Autor

Tabla 3.2-8

Dimensiones del Tanque de Hipocloración

CÁLCULO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Volumen del hipoclorador	V_{HCl}	2	m^3
Área del hipoclorador	A_{HCl}	2	m^2
Altura del hipoclorador	h_{HCl}	1	m

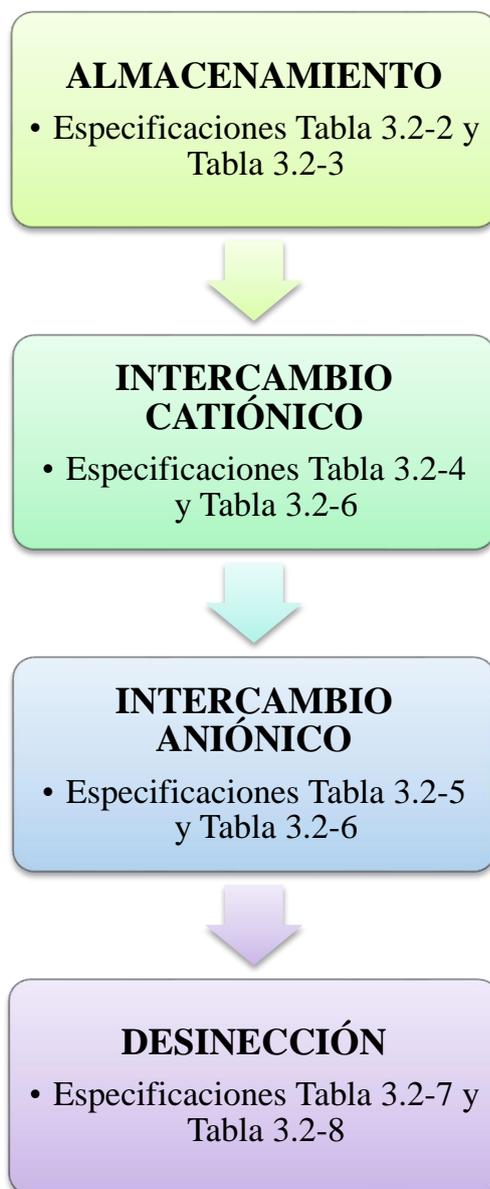
Fuente: Autor

3.3. PROPUESTA

Después de realizadas las caracterizaciones Físico-Químicas y Microbiológicas de las muestras de agua tomadas se plantea como diseño de potabilización de agua más eficiente la siguiente propuesta:

Figura 3.3-1

Propuesta del sistema de tratamiento de potabilización



3.4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.4.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

3.4.1.1. Determinación de pH del Agua que Ingresa a la Empresa

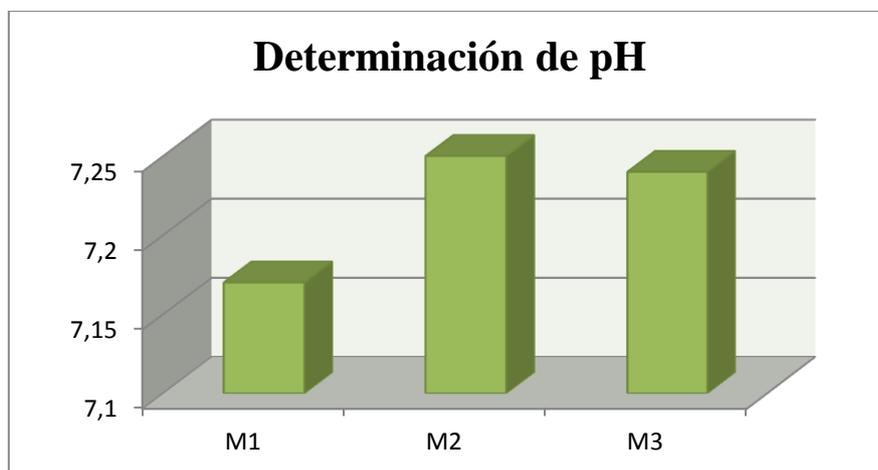
TABLA 3.4.1.1-1

Determinación de pH del agua que ingresa a la empresa

CODIGO	pH	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	7,17	Unit	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
M2	7,25	Unit		
M3	7,24	Unit		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de pH del agua que ingresa a la empresa



El valor de pH nos indica el grado de acidez o alcalinidad que posee una solución, la normativa para agua potable nos dice que el valor de pH debe estar entre 6,5 y 8,5 unid. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de pH esta dentro de la norma, además podemos decir que posee un pH casi neutro.

3.4.1.2. Determinación de Conductividad en el Agua que Ingresa a la Empresa

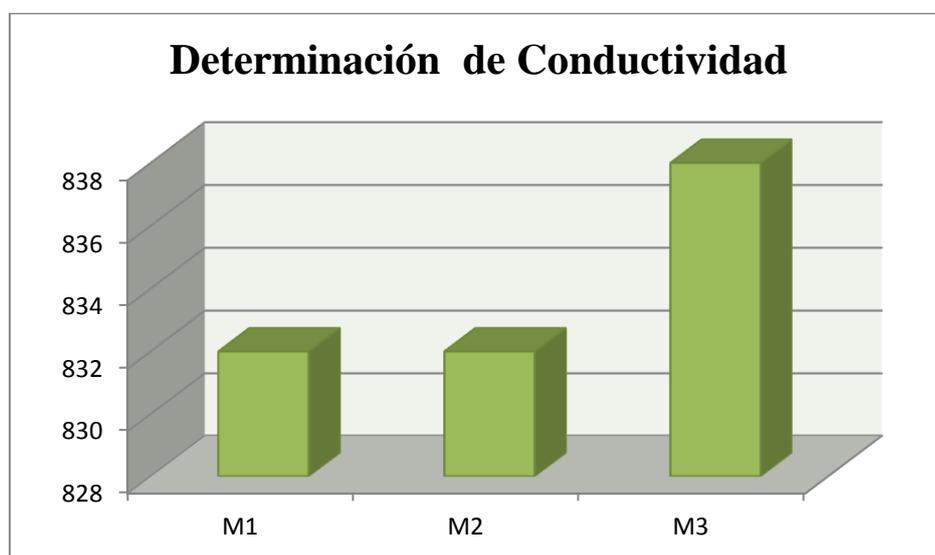
TABLA3.4.1.2-1

Determinación de conductividad en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	CONDUCTIVIDAD	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	832	μ Seims/cm	< 1250	< 1250
M2	832	μ Seims/cm		
M3	838	μ Seims/cm		

Grafico 3.4.1.2-1

Determinación de conductividad en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de conductividad debe ser < 1250 μ Siems/cm. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de conductividad esta dentro de la norma, aunque el valor del último dato es más elevado que los dos anteriores.

3.4.1.3. Determinación de Turbiedad en el Agua que Ingresa a la Empresa

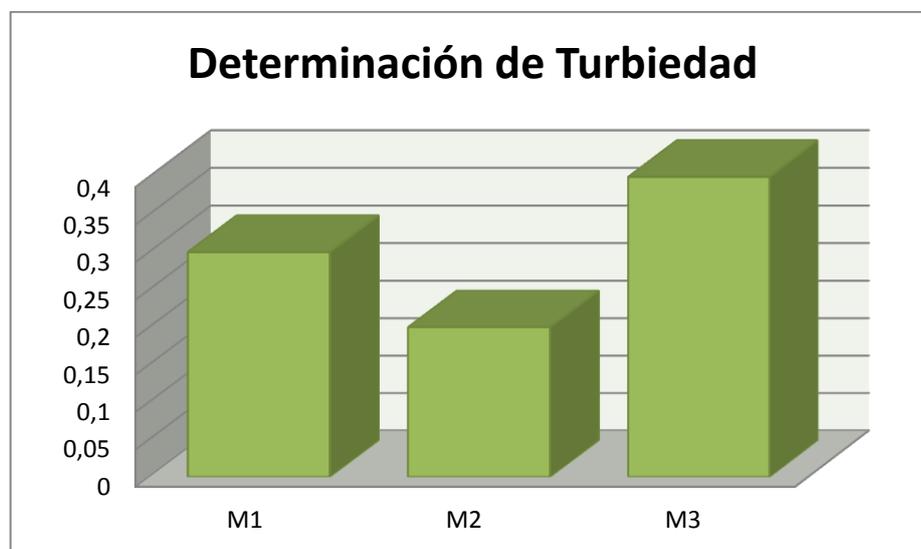
TABLA3.4.1.1-1

Determinación de turbiedad en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	TURBIEDAD	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	0,3	UNT	0,7 – 0,8	1
M2	0,2	UNT		
M3	1,0	UNT		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de turbiedad en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de turbiedad es 1 UNT.

Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de turbiedad está dentro de la norma, el valor de los datos es mucho menor al límite deseable de la norma.

3.4.1.4. Determinación de Cloruros en el Agua que Ingresa a la Empresa

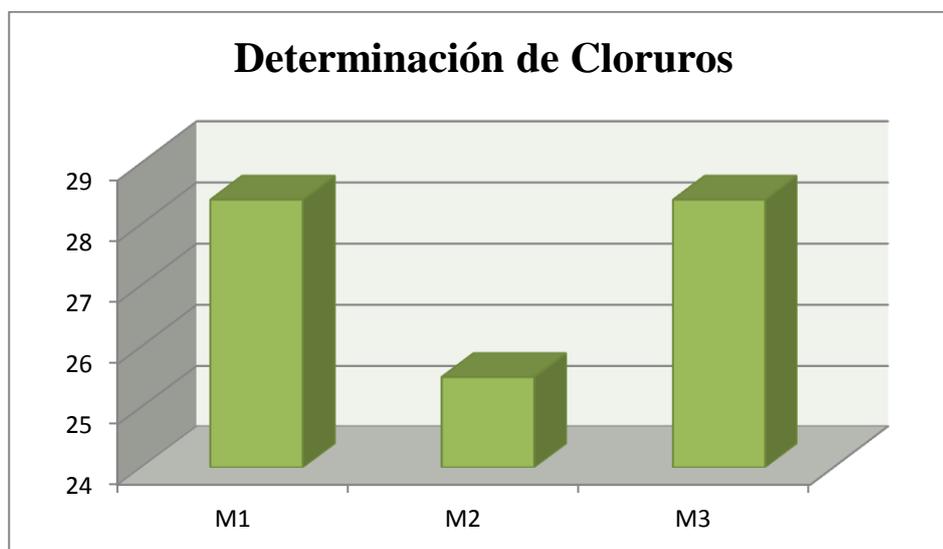
TABLA3.4.1.1-1

Determinación de cloruros en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	CLORUROS	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	28,4	mg/L	20 - 25	250
M2	25,5	mg/L		
M3	28,4	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de cloruros en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de cloruros debe ser de 250 mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de cloruros está dentro de la norma, El segundo dato es el más bajo.

3.4.1.5. Determinación de Dureza del Agua que Ingresa a la Empresa

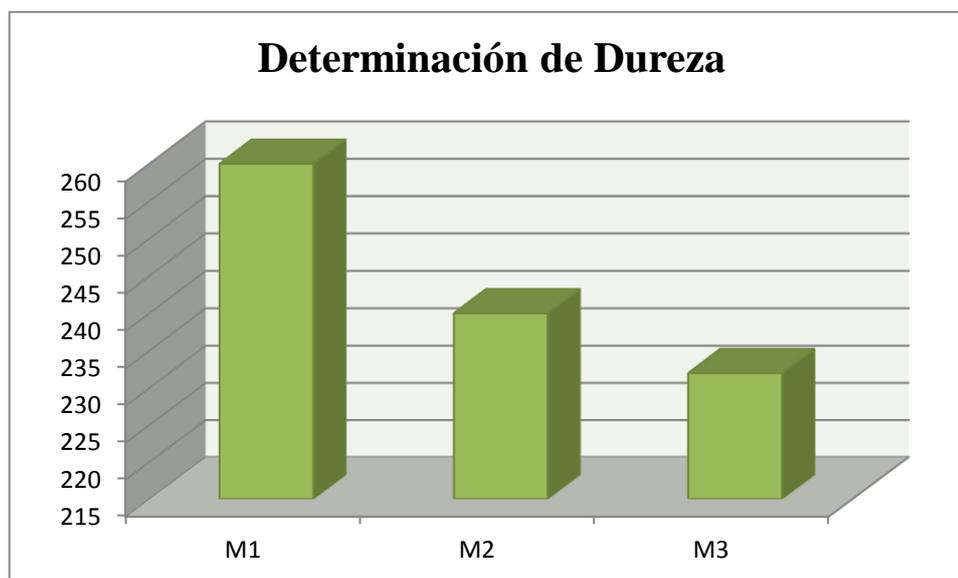
TABLA3.4.1.1-1

Determinación de dureza del agua que ingresa a la empresa

CODIGO	DUREZA	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	260	mg/L	200	300
M2	240	mg/L		
M3	232	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de dureza del agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de dureza es de 200mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de dureza en los tres casos esta fuera del valor deseable pero dentro de los valores de la norma.

3.4.1.6. Determinación de Calcio en el Agua que Ingresa a la Empresa

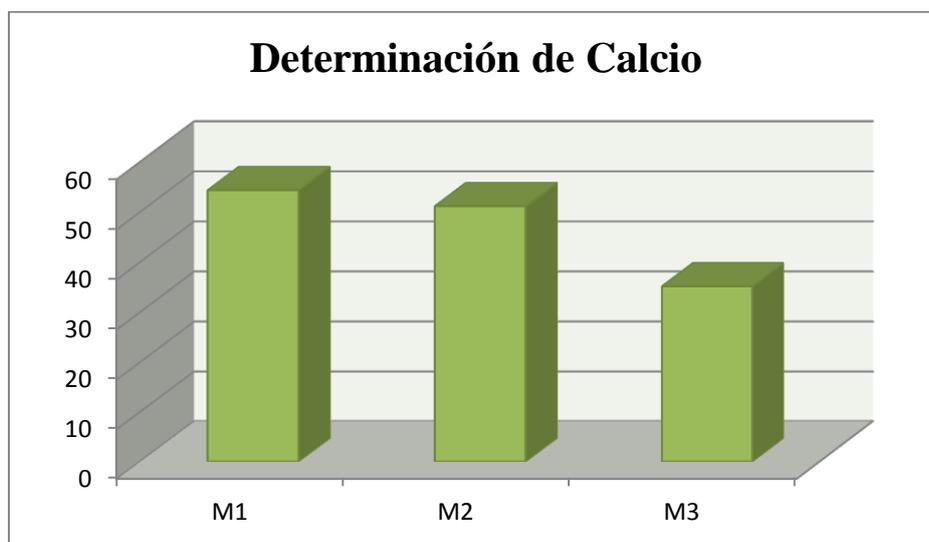
TABLA3.4.1.1-1

Determinación de calcio en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	CALCIO	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	54,4	mg/L	70	250
M2	51,2	mg/L		
M3	35,2	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de calcio en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de calcio debe ser 70mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de pH está dentro de la norma, el tercer dato es el más bajo.

3.4.1.7. Determinación de Magnesio en el Agua que Ingresa a la Empresa

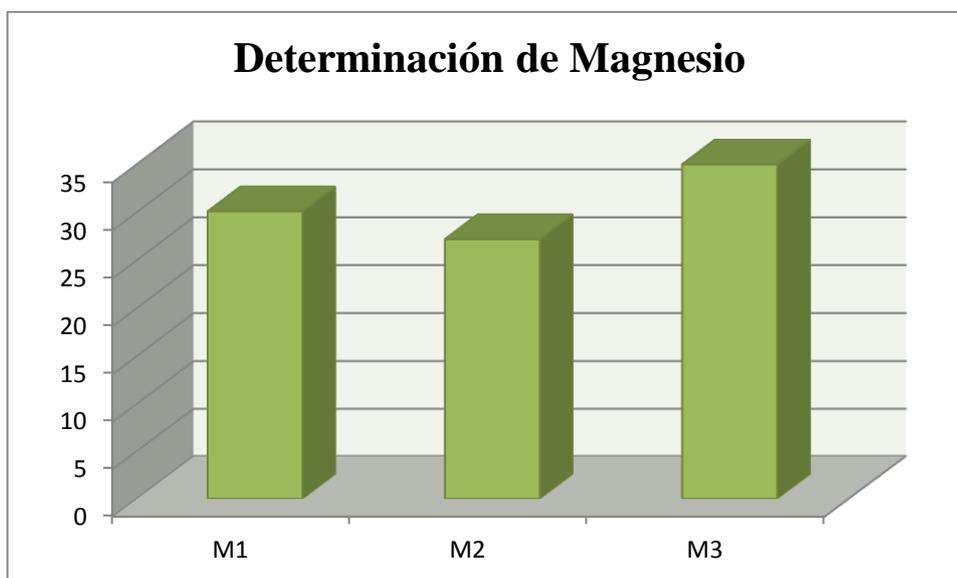
TABLA3.4.1.1-1

Determinación de magnesio en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	MAGNESIO	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	30,1	mg/L	30 - 50	50
M2	27,2	mg/L		
M3	35,0	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de magnesio en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de magnesio debe estar entre 30 – 50 mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de pH está dentro de la norma y no existe gran variación entre estos.

3.4.1.8. Determinación de Alcalinidad del Agua que Ingresa a la Empresa

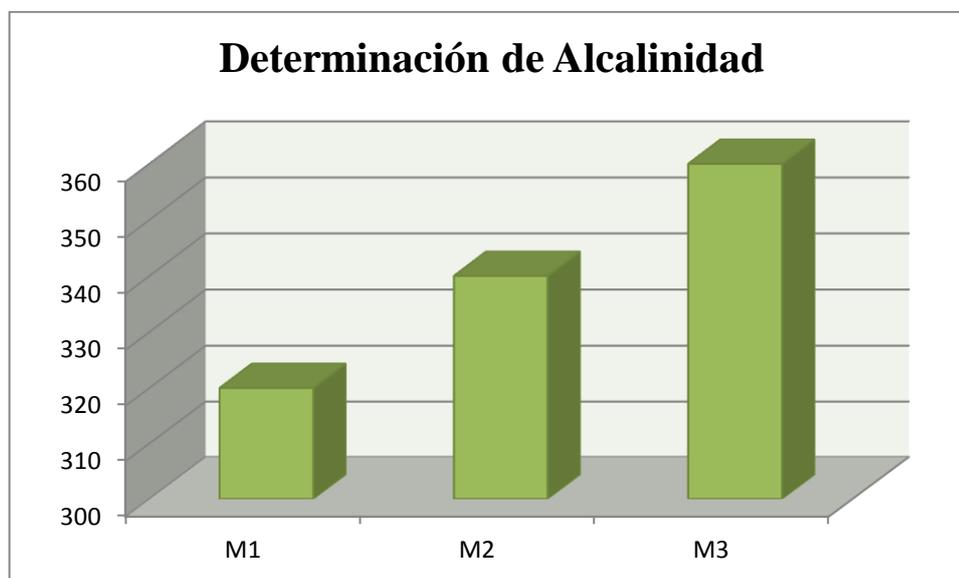
TABLA 3.4.1.1-1

Determinación de alcalinidad del agua que ingresa a la empresa

CODIGO	ALCALINIDAD	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	320	mg/L	250 - 300	300
M2	340	mg/L		
M3	360	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de alcalinidad del agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de alcalinidad debe estar entre 250 – 300 mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de alcalinidad esta fuera de la norma, y que los valores van en ascenso.

3.4.1.9. Determinación de Bicarbonatos en el Agua que Ingresa a la Empresa

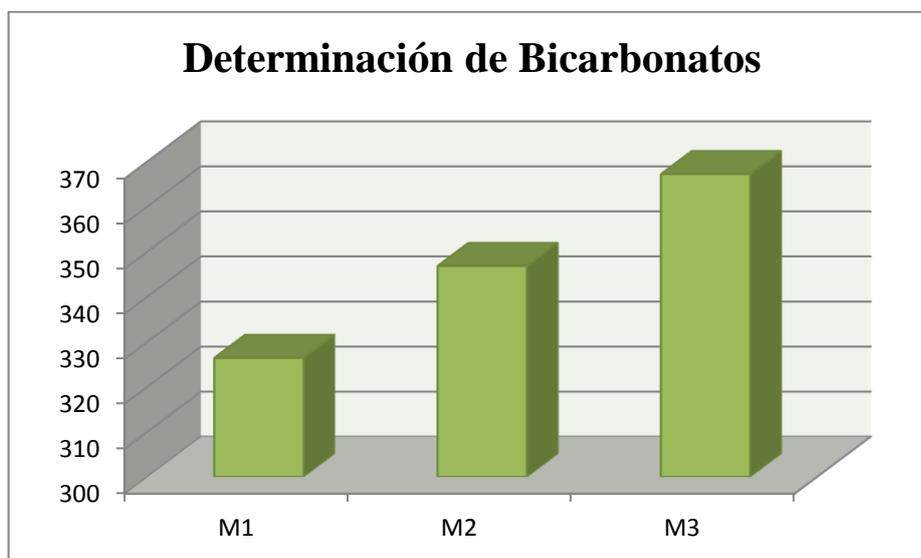
TABLA3.4.1.1-1

Determinación de bicarbonatos en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	BICARBONATOS	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	326,4	mg/L	250 - 300	300
M2	346,8	mg/L		
M3	367,2	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de bicarbonatos en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de bicarbonatos debe estar entre 250-300 mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de bicarbonatos esta fuera de la norma, podemos decir que es una causa de la dureza en el agua.

3.4.1.10. Determinación de Sulfatos en el Agua que Ingresa a la Empresa

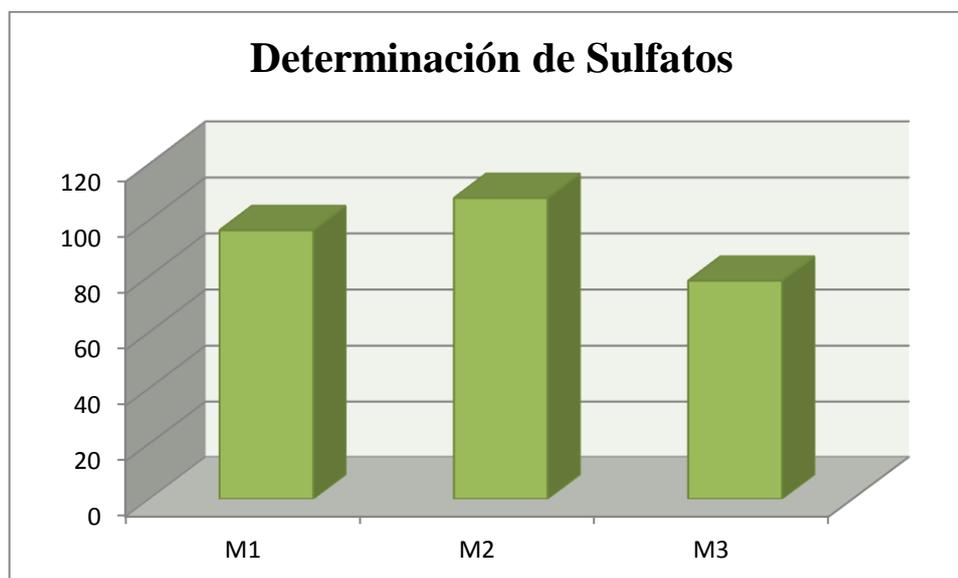
TABLA 3.4.1.1-1

Determinación de sulfatos en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	SULFATOS	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	96,3	mg/L	200	200
M2	107,8	mg/L		
M3	78,3	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de sulfatos en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de sulfatos debe ser de 200 mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de sulfatos está dentro de la norma, podemos decir que los valores no difieren en gran proporción entre sí.

3.4.1.11. Determinación de Amonios en el Agua que Ingresa a la Empresa

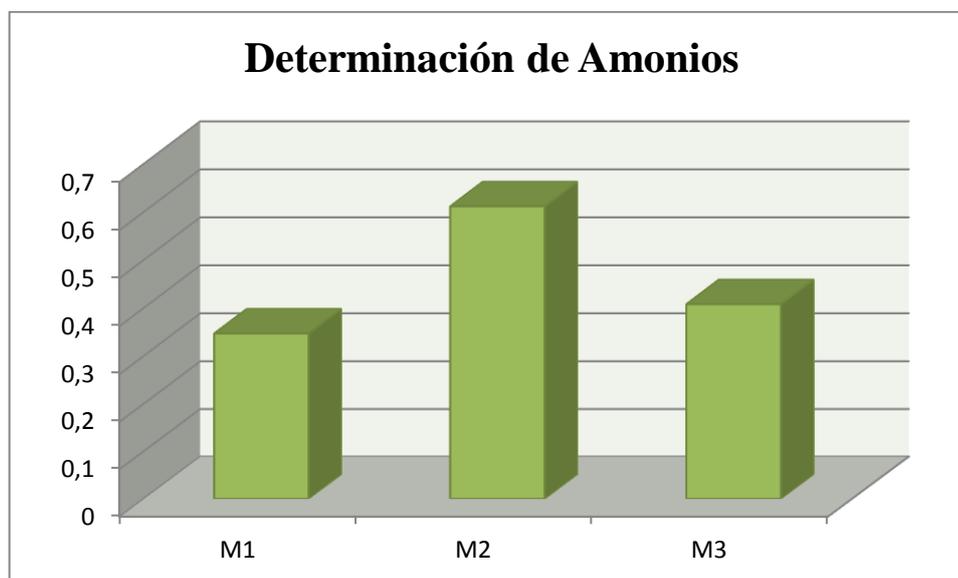
TABLA 3.4.1.1-1

Determinación de amonios en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	AMONIOS	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	0,347	mg/L	< 0,50	1
M2	0,612	mg/L		
M3	0,408	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de amonios en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de amonios debe ser < 0,50 mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de la primera y tercera muestra de amonios está dentro de la norma y tercera muestra es la que está fuera de la misma.

3.4.1.12. Determinación de Nitritos en el Agua que Ingresa a la Empresa

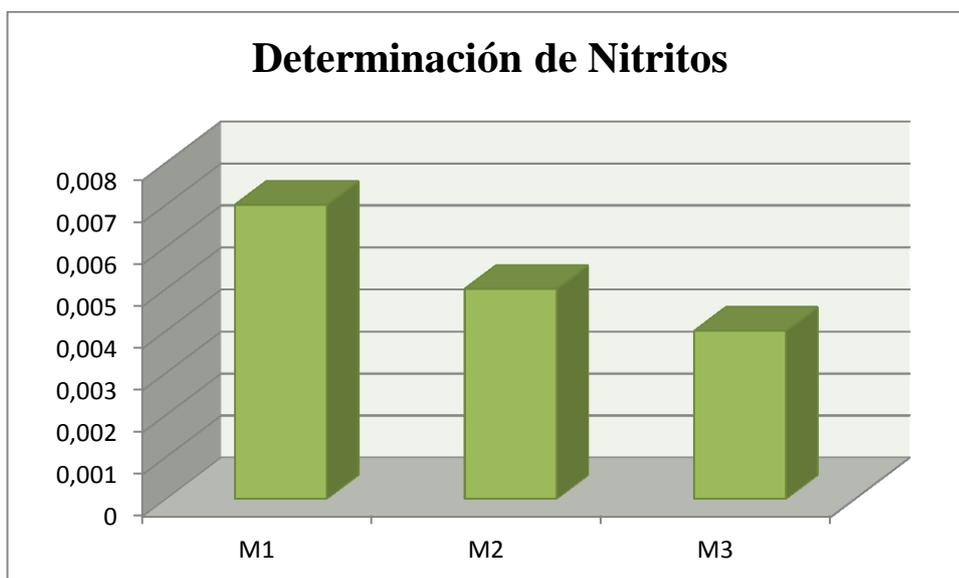
TABLA 3.4.1.1-1

Determinación de Nitritos en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	NITRITOS	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	0,007	mg/L	0,01	0,01
M2	0,005	mg/L		
M3	0,004	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de nitritos en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de nitritos debe ser de 0.01 mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de nitritos está dentro de la norma, los valores van decreciendo.

3.4.1.13. Determinación de Nitratos en el Agua que Ingresa a la Empresa

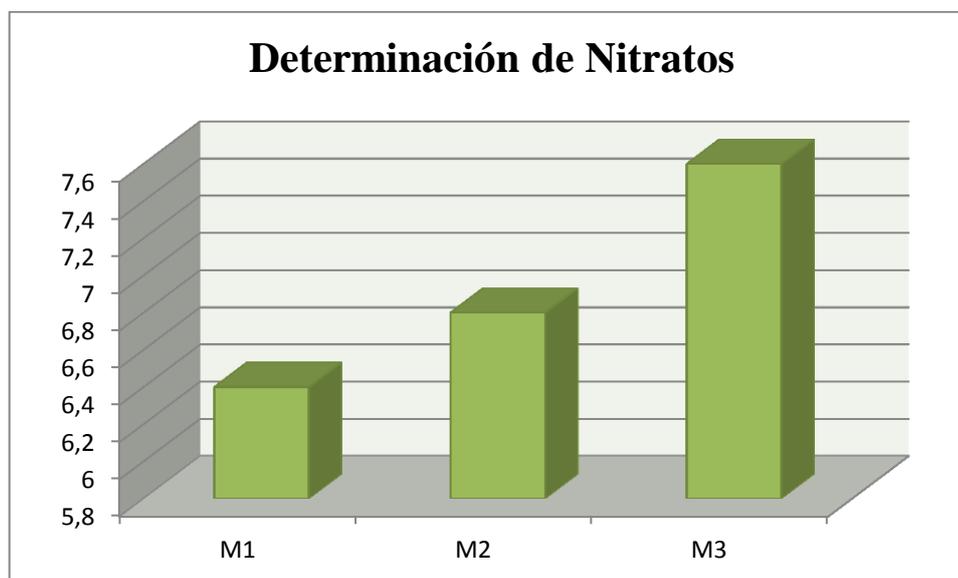
TABLA 3.4.1.1-1

Determinación de nitratos en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	NITRATOS	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	6,4	mg/L	< 40	10
M2	6,8	mg/L		
M3	7,6	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de Nitratos en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de nitratos debe ser <40mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de sulfatos está dentro de la norma, podemos decir que los son bajos.

3.4.1.14. Determinación de Hierro en el Agua que Ingresa a la Empresa

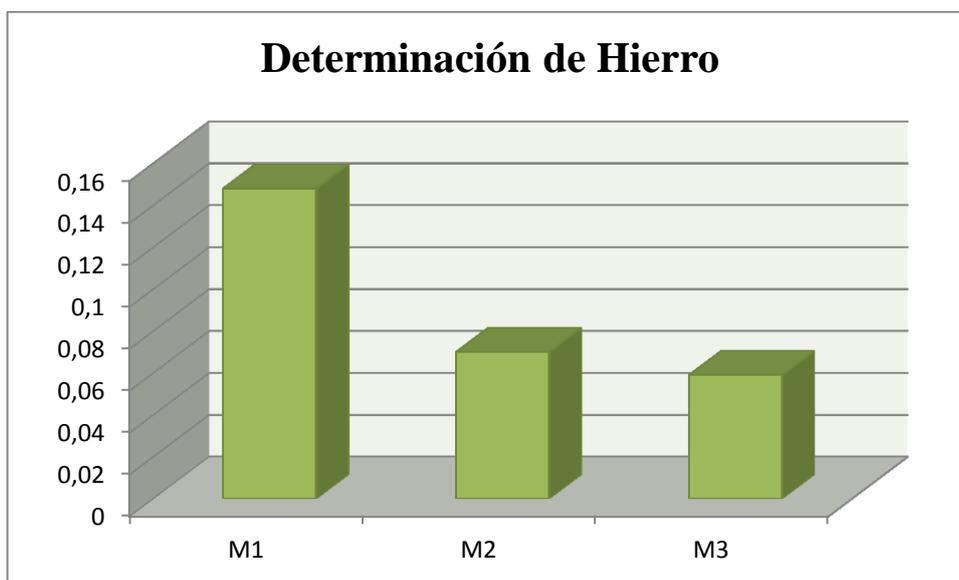
TABLA 3.4.1.1-1

Determinación de hierro en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	HIERRO	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	0,148	mg/L	0,30	0,30
M2	0,07	mg/L		
M3	0,059	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de hierro en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de hierro debe ser de 0.3 mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de hierro está dentro de la norma.

3.4.1.15. Determinación de Fosfatos en el Agua que Ingresa a la Empresa

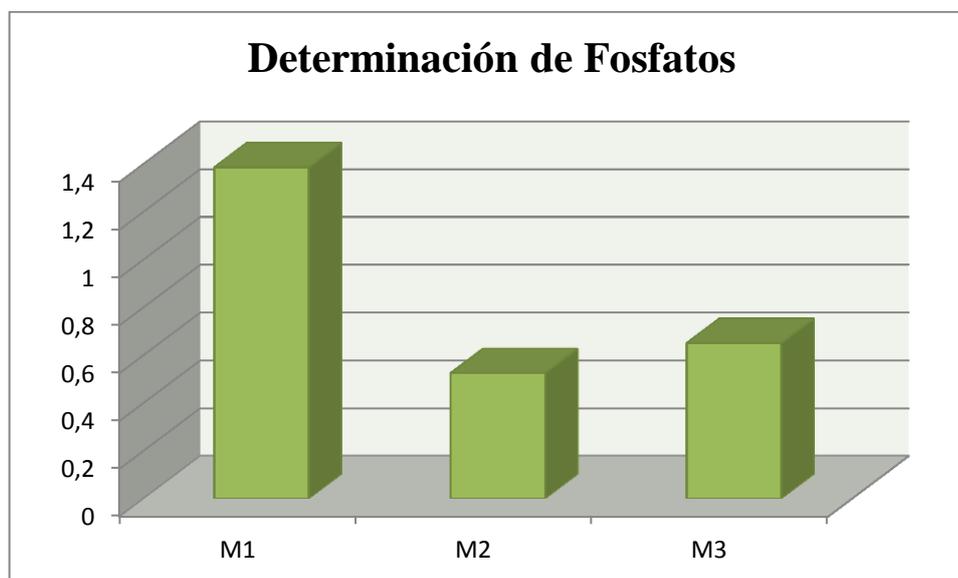
TABLA 3.4.1.1-1

Determinación de fosfatos en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	FOSFATOS	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	1,386	mg/L	0,30	0,30
M2	0,525	mg/L		
M3	0,651	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de fosfatos en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de fosfatos debe ser <0,30 mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de fosfatos esta fuera de la norma, los niveles son muy elevados, superan al doble y hasta el triple del límite, esto puede ser un efecto de la gran cantidad de coliformes en el agua.

3.4.1.16. Determinación de Sólidos Totales en el Agua que Ingresa a la Empresa

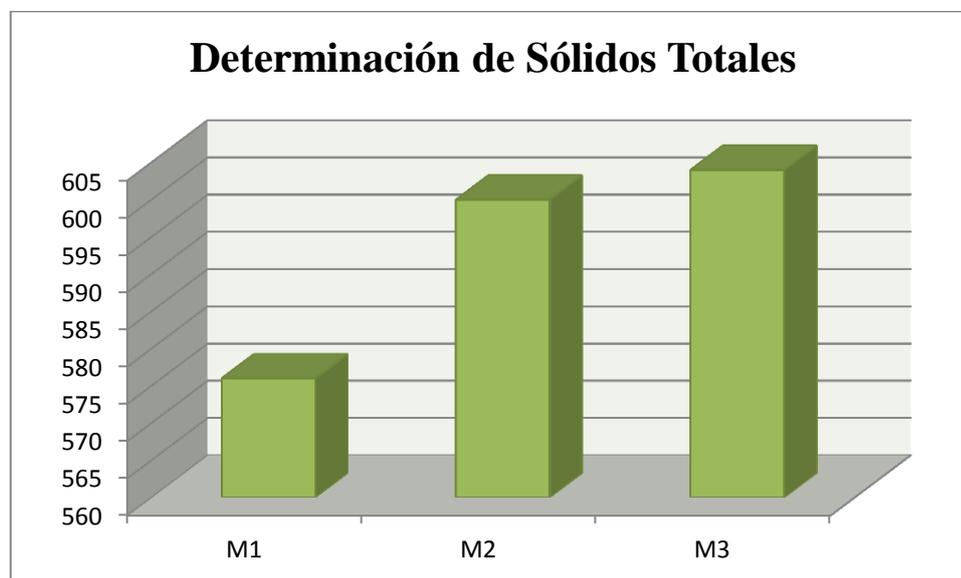
TABLA 3.4.1.1-1

Determinación de sólidos totales en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	SÓLIDOS TOTALES	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	576	mg/L	1000	1000
M2	600	mg/L		
M3	604	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de sólidos totales en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de sólidos totales debe ser de 1000 mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de sólidos totales está dentro de la norma.

3.4.1.17. Determinación de Sólidos Disueltos en el Agua que Ingresa a la Empresa

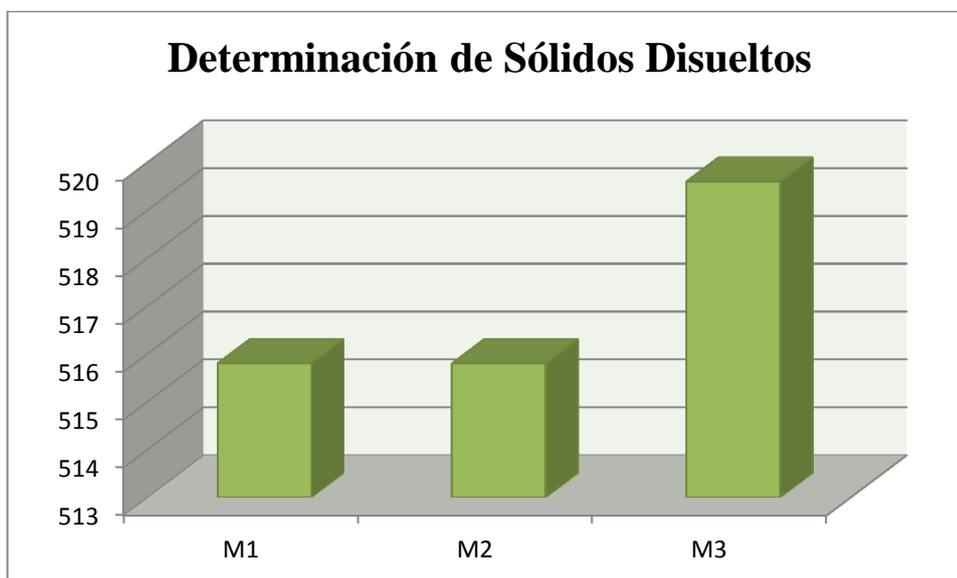
TABLA 3.4.1.1-1

Determinación de sólidos disueltos en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	SÓLIDOS DISUELTOS	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	515,8	mg/L	1000	1000
M2	515,8	mg/L		
M3	519,6	mg/L		

Grafico 3.4.1.1-1

Determinación de sólidos disueltos en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de sólidos disueltos debe ser de 500 mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de sólidos totales está dentro de la norma.

3.4.2.DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS

3.4.2.1. Determinación de Coliformes Totales

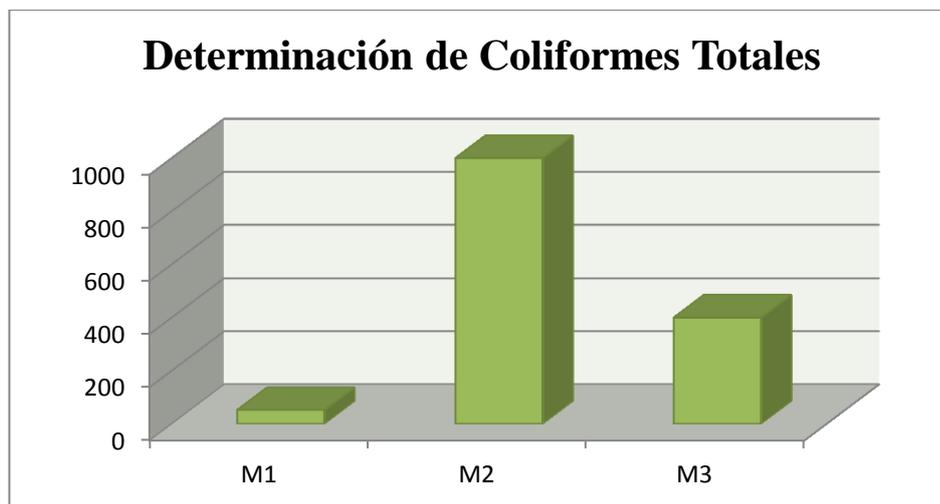
TABLA 3.4.2.1-1

Determinación de Coliformes totales en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	COLIFORMES TOTALES	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	52	UFC/100ml	< 1,1	< 2
M2	1000	UFC/100ml		
M3	400	UFC/100ml		

Grafico 3.4.2.1-1

Determinación de Coliformes totales en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de Coliformes totales debe ser <1,1 mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de Coliformes totales esta fuera de la norma y el más elevado es la segunda muestra.

3.4.2.2. Determinación de Coliformes Fecales

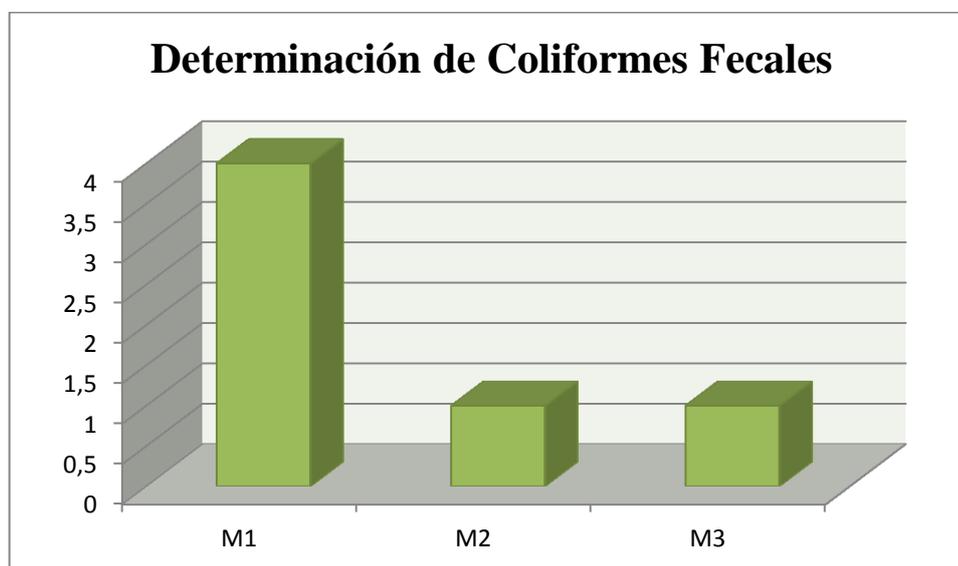
TABLA 3.4.2.2-1

Determinación de Coliformes Fecales en el agua que ingresa a la empresa

CODIGO	COLIFORMES FECALES	UNIDAD	LÍMITE DESEABLE	LÍMITE MAXIMO PERMISIBLE
M1	4	UFC/100ml	< 1,1	< 2
M2	1	UFC/100ml		
M3	1	UFC/100ml		

Grafico 3.4.2.2-1

Determinación de Coliformes Fecales en el agua que ingresa a la empresa



La normativa para agua potable nos dice que el valor deseable de Coliformes fecales debe ser <1,1 mg/L. Al analizar las muestras de agua nos damos cuenta que el valor de Coliformes fecales esta fuera de la norma y el más elevado es la primera muestra.

3.4.3. Evaluación de los parámetros microbiológicos después de la desinfección

3.4.3.1. Coliformes Totales

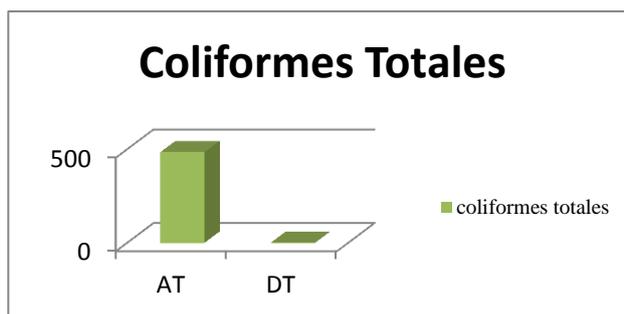
Tabla 3.4.3.1-1

Coliformes Totales

Valor	Coliformes Totales
AT	484
DT	1

Gráfico 3.4.3.1-1

Coliformes Totales



3.4.3.2. Coliformes Fecales

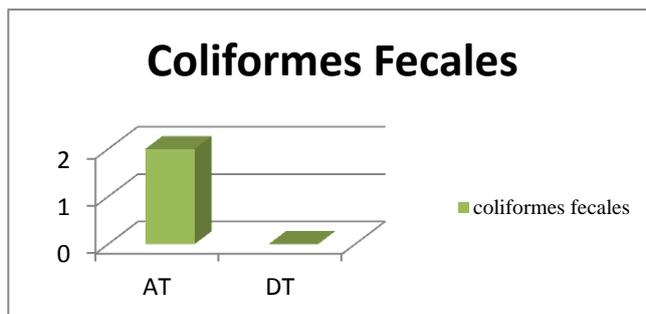
Tabla 3.4.3.1-1

Coliformes Fecales

Valor	Coliformes Fecales
T	2
DT	0

Gráfico 3.4.3.1-1

Coliformes fecales



Al analizar los dos gráficos nos damos cuenta que la dosificación es la correcta ya que se eliminan los coliformes fecales y se disminuyen los coliformes totales de tal forma que está dentro de los límites. Además al analizar el cloro residual tenemos como resultado 0.98 mg/L y es un valor adecuado, ya que los límites están entre 0,3 – 1,5 mg/L

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Después de la identificación del problema, determinación y estudio del diseño más adecuado de tratamiento de agua, se puede concluir lo siguiente:

- La mayoría de los parámetros analizados están dentro de la norma INEN NTE 1108, excepto la dureza, alcalinidad relacionada con los bicarbonatos, Coliformes Totales y Fecales relacionados con los fosfatos.

- En base a los métodos de potabilización investigados, se pudo determinar que el proceso más adecuado para potabilizar el agua es:
 - ✓ Almacenamiento
 - ✓ Eliminación de Cationes: Disminución de dureza.
 - ✓ Eliminación de Aniones: Disminución de alcalinidad.
 - ✓ Desinfección: Eliminación de Coliformes Totales y Fecales.

Se optó por este tratamiento ya que es el más factible, soluciona directamente los problemas presentes en el agua y optimiza espacio en la empresa. El sistema potabilizador será capaz de eliminar y reducir alcalinidad, dureza y Coliformes. El caudal con el que se trabajará es de 1,2 m³/día.

- Se comprobó a nivel laboratorio que la dosis es la correcta, el valor de cloro residual es de 0.98mg/L, está dentro de los parámetros establecidos, los cálculos de dosificación determinan que se requiere 0,0048 litros de solución

de hipoclorito de sodio por hora para desinfectar el agua con una dosis de 1,5 mg/L. la solución preparada es al 5%.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la construcción de la planta potabilizadora debe ser con las especificaciones dadas en las tablas de resultados para que la planta pueda funcionar correctamente y no presente problemas en el momento de su funcionamiento.
- Se recomienda realizar mantenimiento en la planta periódicamente para así evitar daños graves en el mismo.
- La regeneración de la resina debe ser en el tiempo señalado ya que así la resina recuperará su capacidad y se evitarán problemas en los desionizadores.
- Se recomienda que la dosificación de Cloro debe ser la propuesta ya que esta es capaz de eliminar la carga microbiana.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ARBOLEDA., J.**, Teoría y Práctica de la purificación del agua., 3a. ed., México., Mc Graw-Hill., 5-18, 35-38, 44-50, 70-74.
2. **CENTRO REGIONAL DE AYUDA TÉCNICA A.I.D.**, Manual Sobre Pequeños Sistemas De Abastecimiento De Agua., México D.F – México., Editorial CVLTVRA, T.G.S.A., 1998., pp. 7-12, 69-71.
3. **INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN “INEN”.**, Técnicas para el análisis del agua (Norma N° 1108 Agua Potable Requisitos)., Segunda Revisión., Quito – Ecuador., 2006.
4. **MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE REPÚBLICA DEL ECUADOR.**, TULAS Libro VI Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua., Quito - Ecuador., 2002., pp. 295-298.
5. **PERRY., R.H. y CHILTON., C.**, Manual del Ingeniero Químico Volumen II, 2001., 5a. ed., McGraw-Hill. Madrid- España., pp., 12.45-12.53.
6. **RODRIGUEZ., J.M.**, Físico – Química de Aguas., Ed. Díaz de Santos., Madrid – España., Edición original., 1999., pp. 29-56.

7. **SKOOG., D.**, Principios de Química Instrumental., 5a. ed., Barcelona – España., Mac Graw-Hill., 2001., pp. 19-22, 55-56.
8. **BARRAQUE., CH., y OTROS AUTORES.**, Manual técnico del agua., 4a. ed., Ed. Degremont., Madrid - España., 1979., pp.: 24 – 30, 313 – 340.
9. **WHITTEN., K.**, Química General., 5a. ed., Barcelona – España., Mac Graw-Hill., 1999., pp. 12-14, 27-29, 40-56.

- **BIBLIOGRAFÍA INTERNET**

1. **AGUA**

Biblioteca de Consulta Microsoft ® Encarta ® 2005. © 1993-2004 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

2009-06-29

2. **AGUA POTABLE**

http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable

212-04-03

3. **AGUA POTABLE EN ECUADOR**

http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable_y_saneamiento_en_Ecuador

2012-02-26

4. **AGUA POTABLE LABORATORIO**

<http://labquimica.wordpress.com/2009/06/24/la-potabilizacion-del-agua>

2011-12-16

5. AGUAS

http://mimosa.pntic.mec.es/~vgarci14/agua_potable.htm

2012-01-30

6. AGUAS INTERAGUA

[http://www.interagua.com.ec/extranet/modules.php?name=News
&file=article&sid=97](http://www.interagua.com.ec/extranet/modules.php?name=News&file=article&sid=97)

2011-10-09

7. CONSUMIR AGUA POTABLE

<http://potabilizacion-del-agua.oaxaka.net/>

2010-05-25

8. CONSUMO DE AGUA

<http://www.construsur.com.ar/Noticias-article-sid-109.html>

2011-11-23

9. DISEÑO DESIONIZADOR

[http://www.ingenieria/pricesos/intercamnio/ionico/CAP7.co
m.html](http://www.ingenieria/pricesos/intercamnio/ionico/CAP7.com.html)

2012-03-23

10. PASOS PARA LA POTABILIZACION

[http://www.construsur.com.ar/News-sid-109-file-article-
pageid-2.html](http://www.construsur.com.ar/News-sid-109-file-article-pageid-2.html)

2011-12-16

11. PLANTAS POTABILIZADORAS

<http://www.construsur.com.ar/Noticias-article-sid-109.html>

2012-03-26

12. POTABILIZACION DEL AGUA

<http://potabilizacion-del-agua.oaxaka.net/potabilizacion-el-agua.html>

2011-12-26

13. POTABILIZACION DEL AGUA MICROORGANISMOS

<http://potabilizacion-del-agua.oaxaka.net/microbiologia-del-agua.html>

14. NUEVAS TECNOLOGÍAS

<http://www.codesolar.com/Energia-Solar/Energias-Renovables/Potabilizacion-Agua-Ozono-Uso-HumanoIndustrial.html>

1

2012-02-06

15. PROCESOS DE POTABILIZACION

<http://www.hagalepues.net/universidades/49938-pasos-proceso-de-potabilizacion-del-agua.html>

2012-02-09

ANEXOS

ANEXO A

NORMA INEN ECUATORIANA

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1108 (primera Revisión)
AGUA POTABLE REQUISITOS

PARÁMETRO	UNIDAD	Límite máximo Permissible
Características físicas		
Color	Unidades de color verdadero (UTC)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	--	no objetable
Sabor	--	no objetable
pH	--	6,5 – 8,5
Sólidos totales disueltos	mg/L	1000
Inorgánicos		
Manganeso, Mn	mg/L	0,1
Hierro, Fe	mg/L	0.3
Sulfatos, SO ₄	mg/L	200
Cloruros, Cl	mg/L	250
Nitratos, N – NO ₃	mg/L	10
Nitritos, N – NO ₂	mg/L	0.0
Dureza Total, CaCO ₃	mg/L	300
Arsénico, As	mg/L	0.01
Cadmio, Cd	mg/L	0.003
Cromo, Cr como hexavalente	mg/L	0.05
Cobre, Cu	mg/L	1.0
Cianuros, CN	mg/L	0.0
Plomo, Pb	mg/L	0.01
Mercurio, Hg.	mg/L	0.0
Selenio, Se	mg/L	0.01
Cloro libre residual*	mg/L	0.3 – 1.5
Aluminio, Al	mg/L	0.25
Amonio, (N – NH ₃)	mg/L	1.0
Antimonio, Sb	mg/L	0.005
Bario, Ba	mg/L	0.7
Boro, B	mg/L	0.3
Cobalto, Co	mg/L	0.20
Estaño, Sn	mg/L	0.1
Fósforo, (P – PO ₄)	mg/L	0.1
Litio, Li	mg/L	0.2
Molibdeno, Mo	mg/L	0.07
Níquel, Ni	mg/L	0.02
Plata, Ag	µg/l	0.13
Potasio, K	mg/L	20
Sodio, Na	mg/L	200
Vanadio, V	µg/l	6
Zinc, Zn	mg/L	3
Flour, F	mg/L	1.5
Radioactivos		
Radiación Total α**	Bq/l	0.1
Radiación Total β***	Bq/l	1.0 PENDIENTE

* Cuando se utiliza cloro como desinfectante y luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos.

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ^{210}Po , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{234}U , ^{238}U , ^{239}Pu .

*** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{129}I , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{228}Ra .

Orgánicos

Tensoactivos ABS (MBAS)	mg/L	0.0
Fenoles	mg/L	0.0

Sustancias Orgánicas

	Límite máximo $\mu\text{g/l}$
Alcanos clorinados	
- tetracloruro de carbono	2
- Diclorometano	20
- 1,2 dicloetano	30
- 1,1,1 – tricloetano	2000
Etanos clorinados	
- Cloruro de vinilo	5
- 1,1 dicloroetano	30
- 1,2 dicloroetano	50
- tricloroetano	70
- Tetracloroetano	40
Hidrocarburos Aromáticos	
- Benceno	10
- Tolueno	170
- Xileno	500
- Etilbenceno	200
- Estireno	20
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	0.3
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)	
- benzo (a)pireno	0.01
- benzo (a)fluoranteno	0.03
- benzo (k)Fluoranteno	0.03
- benzo (ghi)pirileno	0.03
- indeno (1,2,3-cd)pireno	0.03
Bencenos clorinados	
- monoclorobenceno	300
- 1,2-diclorobenceno	1000
- 1,3-diclorobenceno	
- 1,4-diclorobenceno	300
- triclorobenceno (total)	20
di(2-etilhexil)adipato	80
di(2-etilhexil) ftalato	8
acrylamida	0.5
epiclorohidrin	0.4
hexaclorobutadieno	0.6
Ácido etilendiaminatetracético EDTA	200
Ácido nitrotriácético	200
Dialquil	
Oxido tributiltin	2

Pesticidas

	Límite máximo $\mu\text{g/l}$
Alaclor	20
Aldicarb	10
Aldrin/dieldrin	0.03
Atrazina	2
Bentazona	30
Carbofuran	5
Clordano	0.2
Clorotoluron	30
Dicloro difenil tricloroetano DDT	2
1,2-dibromo-3-cloropropano	1
2,4-ácido diclorofenoxiacético 2,4-D	30
1,2- dicloropropano	20
1,3-dicloropropano	
1,3-dicloropropeno	20
Heptacloro y heptacloro epoxi de etilen dibromide	0.03
Hexaclorobenceno	1
Isoproturon	9
Lindano	2
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxiacético MCPA	2
Metoxycloro	10
Molinato	6
Pendimetalin	20
Pentaclorofenol	9
Permetrin	20
Propanil	20
Piridato	100
Simazina	2
Trifluralin	20
Herbicidas Clorofenoxi, diferentes a 2,4-D y MCPa 2,4-DB	90
Dicloroprop	100
Fenoprop	9
Ácido 4-cloro-2-metilfenoxibutírico MCPB	2
Mecoprop	10
2,4,5-T	9

Residuos de Desinfectantes

	Límite máximo $\mu\text{g/l}$
Monocloramina, di y tricloramina	3
Cloro	5

Subproductos de desinfección

	Límite máximo $\mu\text{g/l}$
Bromato	25
Clorito	200
Clorofenoles	
- 2,4,6-triclorofenol	200
Formaldehído	900
Trihalometanos	
- bromoformo	100
- diclorometano	100
- bromodiclorometano	60
- cloroformo	200
Ácidos acéticos clorinados	
- ácido dicloroacético	50
- ácido tricloroacético	100

Hidrato clorado		
- Tricloroacetaldeido		10
Cloroacetona		
Acetonitrilos Halogenados		
- Dicloroacetonitrilo		90
- Dibromoacetonitrilo		100
- Tricloroacetonitrilo		1
Cianógeno clorado (como CN)		70

El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos bacteriológicos:

Requisitos Bacteriológicos

	Máximo	
Microorganismos aerobios mesófilos ufc/ml	30	Pendiente
Coliformes totales (1) NMP/100 ml	< 2*	
Coliformes fecales NMP/100 ml	< 2*	

* < 2 significa que en una serie de 9 tubos ninguno es positivo

(1) En el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95 % de las muestras, tomadas durante cualquier período de 12 meses.

2. Inspección

Muestreo

El muestreo para el análisis bacteriológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Mhetods)

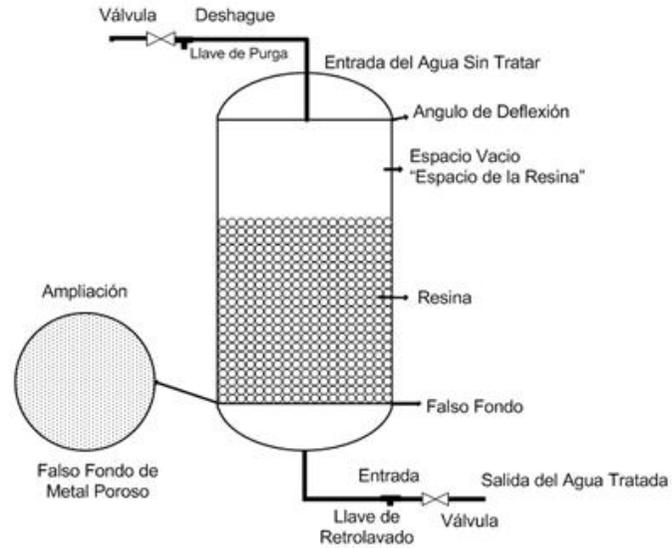
El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo a lo establecido en los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Mhetods).

3. Métodos de Ensayo

Los Métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los Métodos Normalizados para el agua potable y residual (Standard Mhetods) especificados en su última edición.

ANEXO B

VISTA INTERNA Y FRONTAL DEL EQUIPO INTERCAMBIADOR



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Diseño de una planta de tratamiento de agua potable para la
empresa procesadora agroindustrial mis frutales

Vista Frontal del Equipo
Intercambiador de Iones

Ing. Gonzalo Sánchez
Ing. José Usiña

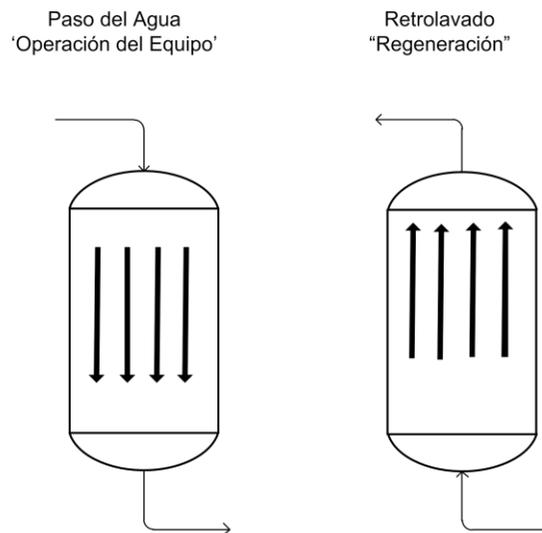
Mayra Hernández

Escala: 1:1

Fecha: 30-06-2012

Lámina N° 1

ANEXO C
OPERACIÓN DEL EQUIPO



	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS		
	ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Diseño de una planta de tratamiento de agua potable para la empresa procesadora agroindustrial mis frutales		
Vista Frontal del Equipo Intercambiador de Iones		Ing. Gonzalo Sánchez Ing. José Usiña	
Mayra Hernández	Escala: 1:1	Fecha: 30-06-2012	Lámina N° 1

