



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

***“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE
AGUA PARA LA ELABORACIÓN DE REFRESCOS EN LA
EMPRESA PROALIM”***

Tesis de grado previa a la obtención del título de
INGENIERO QUÍMICO

AUTOR:
KLEBER GUSTAVO AGUIRRE LOZANO

RIOBAMBA – ECUADOR

2015



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

***“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE
AGUA PARA LA ELABORACIÓN DE REFRESCOS EN LA
EMPRESA PROALIM”***

**Tesis de grado previa a la obtención del título de
INGENIERO QUÍMICO**

AUTOR: KLEBER AGUIRRE
TUTOR: ING. CÉSAR AVALOS

RIOBAMBA – ECUADOR

2015

AGRADECIMIENTO

De todo corazón a Dios, a mis padres y a los ingenieros de la escuela de Ingeniería Química gracias a su apoyo y consejos, he llegado a realizar una de mis metas lo cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir.

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

El Tribunal de Tesis certifica que el trabajo de investigación **OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA PARA LA ELABORACIÓN DE REFRESCOS EN LA EMPRESA PROALIM**, de responsabilidad del señor egresado Kleber Gustavo Aguirre Lozano, ha sido prolijamente revisado por los miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dra. Nancy Veloz	-----	-----
DECANA FAC. CIENCIAS		
Dr. Juan Ramos DIRECTOR DE ESCUELA	-----	-----
Ing. César Ávalos DIRECTOR DE TESIS	-----	-----
Ing. Mónica Andrade MIEMBRO DE TRIBUNAL	-----	-----
COORDINADOR SISBIB ESPOCH	-----	-----

Yo, KLÉBER GUSTAVO AGUIRRE LOZANO soy responsable de los procedimientos, ideas y resultados obtenidos en esta investigación de tesis y el esfuerzo realizado es por la formación intelectual recibido en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

KLÉBER GUSTAVO AGUIRRE LOZANO

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Ppm	Partes por millón.
cm³	Centímetros cúbicos.
mg/L	Miligramos por litro.
UFC/g	Unidades formadoras de colonia por gramo.
UPC/g	Unidades propagadoras de colonias por gramo.
UVG	Ultravioleta Germicida.
min	Minutos.
BPM	Buenas prácticas de manufactura.
dm³	Decímetros cúbicos.
Q_{max}	Caudal Máximo.
ml	Mililitros.
pH	Potencial de hidrogeno.
nm	Nanómetros.
u	Micras.
UV	Ultravioleta.
nm	Nanómetros.
m³	Metros cúbicos.
Sp	Ancho entre barras.
Sr	Espesor de barras.
hw	Profundidad de las aguas arriba de las rejas.
Pr	Remoción de la partícula por cernido.
Dc	Diámetro del lecho filtrante.
RB	Estimación Ancho de canal (m)
Q_{max}	Caudal Máximo.
Sp	Ancho entre barras.
Sr	Espesor de barras.
hw	Profundidad de las aguas arriba de las rejas.
Vs	Velocidad de sedimentación.
As	Área superficial de la zona de sedimentación.
L₂	Longitud de sedimentación.
VH	Velocidad horizontal.
To	Tiempo de retención.

H	Altura máxima.
Ao	Orificios de la pantalla difusora.
N	Normalidad.
M	Molaridad.
u	Micras.
A	Angstroms.
min	Minutos.
h	Horas.
Q	Caudal.
v	Velocidad máxima.
n	Factor de restricción.
d	Diámetro de la partícula.
v	Velocidad máxima.
n	Factor de restricción.
B	Ancho.
n	Número de orificios.
nf	Número de las filas.
nc	Número de columnas.

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS	13
INDICE DE GRAFICOS Y FIGURAS	13
RESUMEN	14
SUMMARY	15
ANTECEDENTES	16
JUSTIFICACIÓN	17
OBJETIVOS	18
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	1
1.1. Presión	2
1.2. Caudal.....	2
1.2.1. Medidor de Caudal:	2
1.3. Coagulación.....	3
1.3.1. Coagulantes	3
1.4. Floculación	4
1.4.1. Práctica de la Floculación.....	4
1.4.2. Cámara de Rejas	5
1.5. Sedimentación	5
1.5.1. Criterios de Diseño	6
1.6. Cálculo del Sedimentador	5
1.6.1. Sólidos sedimentables:	9
1.7. Filtración	12
1.7.1. Mecanismos de filtración	12
1.7.2. Filtración a través de un Lecho Filtrante	12
1.7.3. Tipos de Filtros.....	13
1.8. Ablandamiento y Desmineralización del Agua.....	15
1.8.1. Intercambiadores Iónicos	15
1.8.2. Regeneración de Resina	16
1.9. Cloración	16
1.9.1. Cloración del agua destinada a la bebida	17
1.9.2. Reacciones del cloro en el agua	18
1.10. Luz Ultravioleta.....	20
1.10.1. Características de la desinfección con luz UV.....	20

1.11. Análisis Físico-Químicos	21
1.11.1. Agua Potable.....	21
1.11.2. Color	21
1.11.3.Olor	22
1.11.4.Sabor	22
1.11.5.Determinación de pH	22
1.11.6.Amonio	23
1.11.7.Nitritos	23
1.11.8.Nitratos.....	23
1.11.9.Cloruros	23
1.11.10.Alcalinidad.....	23
1.11.11.Dureza.....	24
1.11.12.Turbidez	24
1.11.13.Sólidos totales	25
1.11.14.Sólidos disueltos	25
1.11.15.Sólidos en suspensión	25
1.11.16.Fósforo	26
1.11.17.Sulfatos	26
1.11.18.Hierro	26
1.19. Manganeseo	26
1.11.19.Conductividad.....	27
1.12. Análisis Microbiológico	27
1.12.1.Envío de muestras	28
1.12.2.Análisis Bacteriológico.....	29
1.12.3.Determinación del número más probable (nmp) / 100 ml de bacterias de Coliformes Totales (Método de Wilson)	29
1.13. Refrescos	30
1.13.1.Tipos	31
1.13.2.Ingredientes.....	31
1.13.3.Proceso de Producción.....	33
1.13.4.Proceso de Fabricación	34
CAPÍTULO II	37
PARTE EXPERIMENTAL	37
2. MUESTREO	37
2.1. Localización de la Investigación.....	37

2.2. Método de recolección de la Investigación.....	37
2.3. Metodología	38
2.3.1. Sistemática del Trabajo.....	38
2.3.2. Método de tratamiento de Muestras.....	38
2.3.3. Equipos y Reactivos.....	38
2.4. Métodos y Técnicas	39
2.4.1. Métodos	40
2.4.1.1. Determinación de Cloruros	40
2.4.1.2. Determinación de la Dureza	40
2.4.1.3. Determinación del Calcio	40
2.4.1.4. Determinación de la Alcalinidad	40
2.4.1.5. Determinación de Amonios	41
2.4.1.6. Determinación de Fosfatos	41
2.4.1.7. Determinación de Sulfatos.....	41
2.4.1.8. Determinación de Sulfuros	41
2.4.1.9. Determinación del Hierro	41
2.4.1.10. Determinación de Nitritos.....	42
2.4.1.11. Determinación de Nitratos	42
2.4.1.12. Determinación de sólidos Totales.....	42
2.5. Análisis del estado inicial del tratamiento de agua en la empresa PROALIM.....	43
2.6. Descripción del proceso de tratamiento de agua de la empresa PROALIM	44
2.6.1. Captación	44
2.6.2. Ablandamiento.....	44
2.6.3. Envasado.....	44
2.6.4. Almacenado	44
2.7. Balance de Masa	45
2.7.1. Etapa de Mezclado.....	45
2.7.2. Etapa de preparación de Jarabe.....	46
2.8. Caracterización del agua procedente del proceso de tratamiento de agua de la empresa PROALIM	47
2.8.1. Cloro Residual	48
2.8.2. Dureza.....	48
2.8.3. Nitritos	49
2.8.4. Fosfatos.....	49
2.8.5. Color	49

2.8.6. pH.....	50
2.8.7. Conductividad.....	50
2.8.8. Turbiedad.....	50
2.8.9. Calcio.....	50
2.8.10. Magnesio.....	51
2.8.11. Sulfatos.....	51
2.8.12. Amonios.....	51
2.8.13. Hierro.....	51
2.8.14. Sólidos Totales.....	51
2.8.15. Sólidos Disueltos.....	52
2.9. Análisis Microbiológico.....	52
2.10. Puntos de control para la optimización del proceso de Tratamiento de Agua.....	55
CAPÍTULO III.....	56
CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	56
3. PROCEDIMIENTO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA.....	56
3.1. Volumen de abastecimiento para la elaboración de refrescos.....	56
3.2. Cálculo del caudal.....	56
3.3. Cámara de Rejas.....	57
3.3.1. Cálculo de rejas.....	57
3.4. Sedimentador.....	58
3.4.1. Velocidad de Sedimentación.....	58
3.4.2. Área superficial de la zona de Sedimentación.....	58
3.4.3. Longitud de Sedimentación.....	59
3.4.4. Altura Máxima.....	60
3.4.5. Cálculos de los oricios de la Pantalla Difusora.....	60
3.5. Filtrado.....	61
3.6. Ablandamiento.....	62
3.7. Cloración.....	63
3.8. Desinfección UV.....	64
CAPÍTULO IV.....	¡Error! Marcador no definido.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	¡Error! Marcador no definido.
4. CONCLUSIONES.....	65
5. RECOMENDACIONES.....	66
BIBLIOGRAFÍA.....	67

ANEXOS	69
--------------	----

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO RÁPIDO.....	14
TABLA 1.2 CONCENTRACIÓN DE LA LEJÍA.....	17
TABLA 1.3 CONSTANTE DE IONIZACIÓN	19
TABLA 2.1 TÉCNICA DEL MUESTRO.....	37
TABLA 2.2 EQUIPOS Y REACTIVOS.....	39
TABLA 2.3 VARIABLES REQUERIDOS DE LA EMPRESA.....	43
TABLA 2.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA	47
TABLA 2.4 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL PRODUCTO TERMINADO DE LA EMPRESA PROALIM	53
TABLA 2.4 PUNTOS DE CONTROL.....	55
TABLA 3.1 CAUDAL.....	57
TABLA 3.2 CÁLCULO DE REJAS	57
TABLA 3.3 VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN	58
TABLA 3.4 CONCENTRACIÓN DE LA LEJÍA.....	63
TABLA 3.5 DESACTIVACION DE MICROORGANISMOS	64

INDICE DE GRAFICOS Y FIGURAS

FIGURA 1.1 PANTALLA DIFUSORA DEL SEDIMENTADOR (A) Y (B).....	7
FIGURA 1.2 VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN VS DIÁMETRO	8
GRAFICO 2.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LA EMPRESA PROALIM	48

RESUMEN

Se realizó la optimización del proceso de tratamiento de agua para la elaboración de refrescos en la empresa PROALIM de la ciudad de Riobamba provincia de Chimborazo. Los resultados de las muestras tomadas del agua tratada en la empresa PROALIM, se analizaron en los laboratorios de análisis técnico de la Facultad de Ciencias y en el laboratorio “SAQMIC”, mediante la evaluación de las características físico-químicas del agua y el análisis microbiológico del producto terminado. Debido a la gran demanda en los diferentes productos como son refrescos, agua purificada; se planteó la creación y ejecución del plan de mantenimiento de equipos, además de un correcto control en el cambio de consumibles utilizados para el proceso de tratado de agua, realizando un monitoreo continuo y controlando los valores de las variables de dureza, fosfatos, nitritos y microorganismos que están fuera de la norma. En el análisis físico-químico del agua provenientes de la empresa se obtuvo valores fuera de la norma de fosfatos 1,836 mg/L, dureza 208 mg/L, nitritos de 0,034 mg/L causantes de incrustaciones y corrosión a equipos. Los análisis microbiológicos del producto terminado donde se determinó la existencia de agentes patógenos con valores de 3294 UPC/g de mohos y levaduras productores de daños gastrointestinales. Mediante los resultados obtenidos, con la optimización del proceso de tratamiento de agua y basándose en la norma para aguas de consumo humano se reduce un 60% los valores de las variables nocivas para la salud humana, optimizando el proceso de tratado de agua, con el ahorro de coagulantes químicos, además de omitir las etapas de cloración y ablandamiento en dicho proceso; consiguiendo llegar a los valores aceptables para las variables físico-químicas y microbiológicas requeridas para la elaboración de productos aptos para el consumo.

Para el cumplimiento en los estándares de calidad para la elaboración de productos de consumo humano se sugiere ejecutar el estudio de optimización del proceso de tratamiento de agua para la elaboración de refrescos en la empresa PROALIM y en otras empresas productoras de bebidas refrescantes

SUMMARY

The water treatment process optimization was made for the manufacture of soft drinks in PROALIM Company in Riobamba city, Chimborazo province. The sample of treated water taken from PROALIM Company was analyzed in the laboratories of technical analysis in the Science Faculty and “SAQMIC” laboratory, through the evaluation of physico-chemical characteristics of the water and microbiological analysis of the finish product. Due to the high demand in different products such as soft drinks, purified water; the creation and execution of equipment maintenance plan was proposed, as well as a proper control of the fuels changing used for the water treatment process, performing continuous monitoring and controlling the values of the water harness variables such as phosphates, nitrites and microorganisms which are non-standard. In the water physical-chemical analysis from the company, values outside the norm of phosphates 1,836 mg/ L, nitrite 0,034 mg/ L were obtained which are the cause for fouling and equipment corrosion. The microbiological testing of the finished product which determined the existence of pathogens whit values 3294 UPC/ g molds and yeasts producer of gastrointestinal damage was also performed. The obtained results, whit the optimization of water treatment and based on the standard for the human consumption water the percentage of harmful variables for human health are reduced to 60%, optimizing the water treatment process, whit chemical coagulants savings and it also skip coloration and softening stages in the process; as a result acceptable values for the physic-chemical and microbiological variables are reached to manufacture suitable products for human consumption.

In order to meet the quality standard for the manufacture of products for human consumption it is a recommended to run the optimization study of the water treatment process for the manufacture of soft drinks in the PROALIM Company and the other soft drinks manufacture companies.

ANTECEDENTES

Debido a la gran demanda en los diferentes productos alimenticios como son refrescos, yogurt, naranjadas, agua purificada, etc., un joven emprendedor decide servir a la provincia de Chimborazo, por medio de la elaboración de los mismos, desarrollando nuevas tecnologías para mejorar la calidad de vida de las personas y del buen vivir.

La empresa PROALIM “Productos Alimenticios Muñoz”, creada en 1997 en la ciudad de Riobamba, que cuenta con más de 15 trabajadores operativos y administrativos, ha expandido a través del tiempo su gama productiva que consiste en las líneas de Refrescos, Jugos y derivados Lácteos, las mismas que han logrado impacto en el mercado debido a su Marketing y calidad.

En la Empresa PROALIM, realiza la actividad empresarial con un proceso productivo elaborado, aplicando su propio ingenio, lo que determina que no cuente con un estudio acorde al proceso, con una estructura eficiente, y no optimice la producción y productividad; que hagan posible mantenerse en el mercado con éxito frente a la competencia y demanda, por lo antes mencionado, la empresa se ve en la necesidad de realizar dicho estudio para conseguir una adecuada optimización en el proceso de tratamiento de agua para la fabricación de Refrescos, buscando mejorar las condiciones de trabajo de todos los que conforman su actividad productiva

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación comprende realizar una optimización del proceso de tratamiento de agua para la línea de Refrescos, las actuales condiciones de operación en el tratamiento de agua en la empresa PROALIM hacen al proceso vulnerable a circunstancias como contaminación del agua como; cambie las características fisicoquímicas en el transcurso hasta llegar a la empresa, porque el proceso de tratamiento primario dado por la empresa pública de agua de la ciudad de Riobamba es de menor eficiencia, ocasionadas también como la suspensión del servicio, lo que produce en la empresa pérdidas y menor calidad en el producto.

La optimización del proceso de tratamiento de agua en la empresa PROALIM permitirá el ajuste de variables, el dimensionamiento de equipos, el estudio para la adición de nuevos equipos generando así la mejora en la calidad del agua para el proceso de elaboración de refrescos en todas sus etapas y nos permitirá la obtención de un producto de mejor calidad y sujeto a las normas establecidas.

Con la optimización en el tratamiento de agua, disminuiríamos los problemas expuestos en el proceso. Generando así la mejora de los equipos que intervienen en el proceso y disminuyendo las pérdidas y calidad del producto. Además, se pretende proponer el diseño de un sedimentador para la época de lluvias y arrastre, implementación de lámpara ultravioleta para la reducción de microorganismos, procesos que no afectan tanto a la naturaleza como al ser humano.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Realizar la optimización del proceso de tratamiento de agua para la fabricación de refrescos en la empresa PROALIM.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Efectuar el diagnóstico de la situación actual del proceso de tratamiento de agua mediante el monitoreo, detectando cuales son los puntos de control y las variables que están fuera de las norma establecida.
- Realizar el análisis de caracterización del agua proveniente del proceso de tratamiento de agua de la empresa PROALIM.
- Determinar el análisis microbiológico del producto terminado (refresco).
- Determinar cuáles son las variables fuera del rango para aguas de consumo y establecer los puntos de control existentes en el proceso de tratamiento de agua
- Realizar el dimensionamiento del equipo sedimentador para la época de lluvias y arrastre y flujos altos de agua.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA

El agua natural puede contener una variedad de impurezas, características que ha experimentado previamente. El agua llega a la industria a través de la red de suministro entrega al agua con modificaciones en su composición natural.

La acción de optimización es ser más eficientes en el uso del agua y obtener conocimiento acerca del proceso de tratamiento de agua en la empresa PROALIM, con el objetivo de reducir costos, minimizar riesgos y beneficiar a la empresa donde operamos.

Con la optimización del proceso de tratamiento del agua se lograra la concientización del operador al realizar las actividades requeridas para mejorar la calidad de la misma, como es la calibración de la balanza para el pesaje correcto de los ingredientes en la etapa de preparación de jarabe, realizar el lavado de los tanques después de cada producción para la eliminación de residuos, malos olores o presencia de color, utilización de la lámpara de luz ultravioleta destinada reducción de microorganismos.

El presente trabajo muestra los resultados tanto físico-químicos como análisis microbiológico de los estudios realizados para la optimización del tratamiento de agua. Los resultados incluyen tablas y gráficos sobre la determinación de la dureza, determinación de cloro, determinación del nitritos, determinación de fosfatos, determinación de contaminantes microbianos.

Acciones en ejecución

- Control, mantenimiento y seguimiento, con evaluaciones de las desviaciones en el proceso, para determinar si hay anomalías en el consumo.
- Utilización de un sistema de rejillas y de filtro para la reducción de partículas.
- Empleo de luz ultravioleta para la eliminación de agentes microbianos en el proceso de envasado.
- Reducción de tiempos de enjuague.

1.1. Presión

Todas las presiones representan una medida de la energía potencial por unidad de volumen en un fluido.

La presión en un fluido es la fuerza por unidad de área, al hacer cálculos que involucran la presión de un fluido, se deben efectuar en relación con alguna presión de referencia. Así la presión que arroja la medición del fluido se llama presión manométrica.

Una ecuación sencilla que relaciona los dos sistemas de medición de la presión.

1.2. Caudal

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

1.2.1. Medidor de Caudal:

Es un dispositivo que, instalado en una tubería, permite conocer el flujo volumétrico o caudal que está circulando por la misma, parámetro éste de muchísima importancia en aquellos procesos que involucran el transporte de un fluido. La mayoría de los medidores de caudal se basan en un cambio del área de flujo, lo que provoca un cambio

de presión que puede relacionarse con el caudal a través de la ecuación de Bernoulli.
(1)¹

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{(Ecuación 1.1)}$$

Donde:

- V= Volumen (m³)
- t= Tiempo (s)

1.3. Coagulación

Es el proceso por que los componentes de una disolución o suspensión estable son desestabilizados por superación de las fuerzas que mantienen su estabilidad.

La coagulación se logra por la introducción en el agua de un producto químico capaz de:

- Neutralizar las cargas de los coloides presentes en el agua.
- Formar un precipitado.

1.3.1. Coagulantes

Trataremos aquí solamente el sulfato de aluminio como coagulante, si bien existen otros a saber: cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso, etc. cuya acción es semejante a la del sulfato de aluminio.

- **Sulfato de aluminio:**

El sulfato de aluminio sólido o líquido previamente se diluye en agua, para luego ser introducido en la corriente de agua natural. De un modo simplificado se puede decir que

¹ **MOTT, Robert.** Mecánica de fluidos., Juárez-México. Pearson Education. 2006. Pp. 52-53

las cargas positivas de la solución de coagulante anularán las cargas negativas de las partículas coloidales, siendo el tiempo en que se produce esta reacción del orden de los segundos.

La desestabilización de un coloide por un electrolito indiferente es realizada por los contraniones y la eficacia del proceso de coagulación por estos iones aumenta mucho con la carga.

La coagulación se produce por compresión de la capa difusiva que rodea a las partículas coloidales. (2)²

1.4. Floculación

Es el proceso por el que las partículas desestabilizadas se unen para formar grandes partículas estables o aglomeradas.

El coagulante introducido da lugar a la formación del flóculo. A los efectos de facilitar los procesos siguientes y mejorar la calidad del agua tratada, es necesario aumentar su volumen, peso y consistencia.

- Se mejora la calidad del flóculo mediante:
- Una coagulación tan perfecta como sea posible.
- Un aumento de la cantidad de flóculos.

Una agitación controlada con la finalidad de que las partículas coloidales descargadas choquen entre sí y se unan aumentando de peso.

El correcto agregado de los denominados floculantes.

1.4.1. Práctica de la Floculación

En la medida que el proceso de coagulación sea más completo, más eficiente será la floculación.

²RIGOLA, Miguel. Tratamiento de aguas industriales., Barcelona-España. Marcombo. 1990. pp. 26-36

Como se dijo anteriormente, se trata de hacer chocar a las partículas descargadas para que al unirse entre sí aumenten su peso y precipiten más fácilmente.

Las partículas coloidales tienen adheridas a su superficie microorganismos, en consecuencia al unirse las partículas coloidales entre sí y luego precipitar, indirectamente se estará produciendo una reducción de la concentración de microorganismos en el agua, facilitando el posterior proceso de cloración (desinfección) (2)³

1.4.2. Cámara de Rejas

Este sistema incluye una Reja Fina con paso de sólidos de 5 μm y diseñada para los caudales máximos.

$$\mathbf{RB} \text{ ————— } \mathbf{(Ecuación 1.2)}$$

Donde:

- RB= Estimación Ancho de canal (m)
- Q_{max} =Caudal Máximo
- Sp= Ancho entre barras
- Sr= Espesor de barras
- hw= Profundidad de las aguas arriba de las rejas
- v= Velocidad máxima
- n= Factor de restricción

1.5. Sedimentación

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua. Los términos decantación se utilizan para la sedimentación inducida, siendo la sedimentación de partículas coloidales cuya coagulación ha sido inducida previamente por agentes químicos.

³ RIGOLA, Miguel. Tratamiento de aguas industriales., Barcelona-España. Marcombo. 1990. pp. 26-36

Las impurezas naturales pueden encontrarse en las aguas según tres estados de suspensión en función del diámetro. Éstos son:

- Suspensiones hasta diámetros de 10^{-4} cm.
- Coloides entre 10^{-4} y 10^{-6} cm.
- Soluciones para diámetros aún menores de 10^{-6} cm.

1.5.1. Criterios de Diseño

La información básica para el diseño es la siguiente:

- Caudal de Diseño: Las unidades en una planta de tratamiento serán diseñadas para el caudal máximo diario.
- Calidad fisicoquímico del agua: Dependiendo de la calidad del agua cruda, se seleccionarán los procesos de pretratamiento y acondicionamiento previo.
- Deberá cumplir las relaciones.

El tiempo de retención será entre 1 - 6 horas.

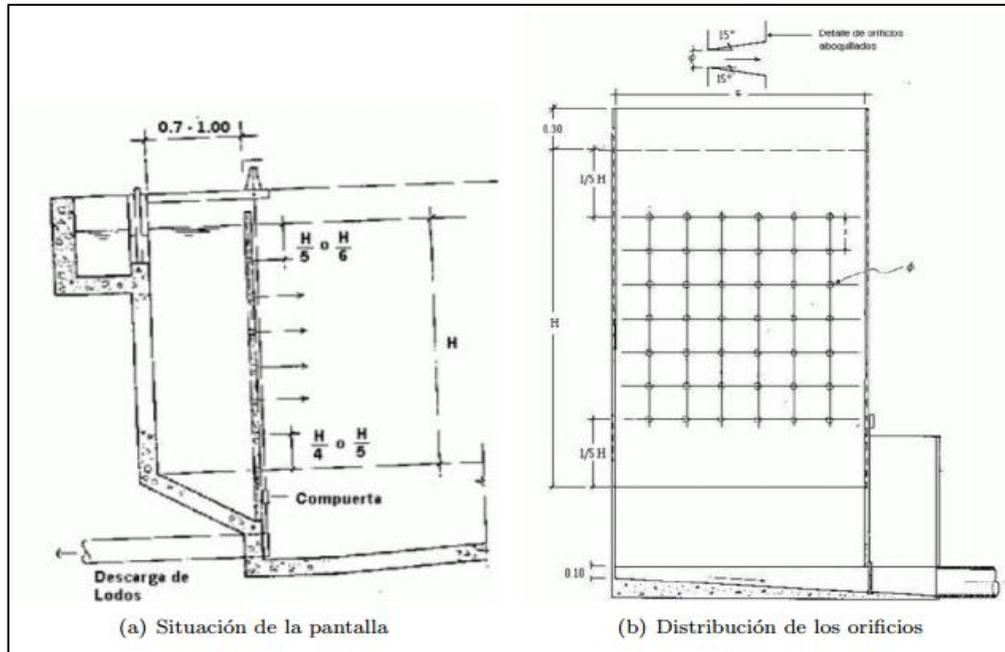
$$3 < - < 6 \text{ y } 5 < - < 20$$

Si la partícula en el límite más alto y se retiene la partícula quedara en el fondo, la partícula tendrá una velocidad de sedimentación (V_s) y la velocidad con la que entra el fluido, la relación se dará si el tiempo de caída es menor al tiempo de paso o el tiempo que la corriente le tardaría en pasar el tanque y salir, si se cumple la relación tendremos el cien por ciento de partículas retenidas, pero si el tiempo de caída es mayor que el tiempo de paso habrá un porcentaje retenido y un porcentaje que no se retenga, con régimen laminar y aplicando la ley de Stokes, la velocidad de sedimentación dependerá del diámetro de la partícula.

La ubicación de la pantalla difusora debe ser entre 0,7 a 1,00 m de distancia de la pared de entrada (figura 1.1)

Los oricios más altos de la pared difusora deben estar a $1/5$ o $1/6$ de la altura (H) a partir de la superficie del agua y los más bajos entre $1/4$ o $1/5$ de la altura (H) a partir de la superficie del fondo (figura 1.1)

FIGURA 1.1 PANTALLA DIFUSORA DEL SEDIMENTADOR (A) Y (B)



Fuente: www.gits.ws/08cyd/pdfs/A1-SedimentadorSanLuis.pdf

El agua para el abastecimiento de la empresa PROALIM proviene de la red de distribución de la ciudad de Riobamba Así que el agua a tratar es de tipo desinfectada. En estos casos el agua tiene un elevado contenido de cloro, alta dureza, porcentaje de nitritos, de materia en estado de suspensión, siendo necesaria su remoción previa mediante una optimización del sistema de tratamiento, especialmente en temporada de lluvias. Así que se va tratar de explicar los procesos de sedimentación y los cálculos realizados para diseñarlo.

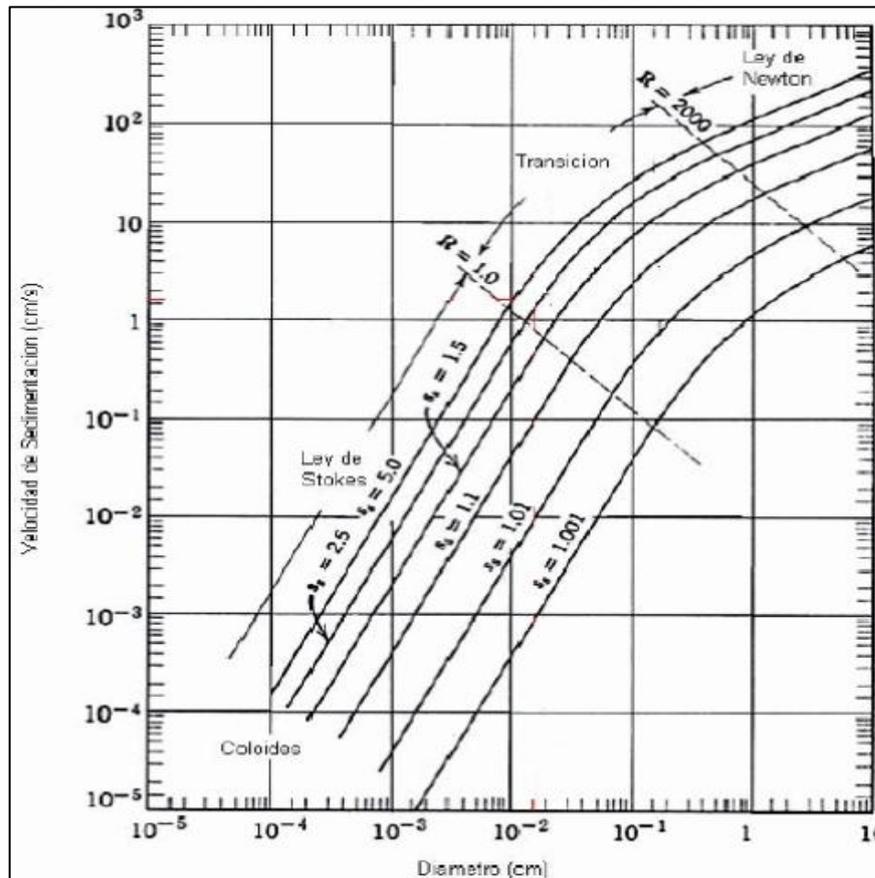
La operación más usada en el tratamiento de aguas es la sedimentación mediante el asentamiento gravitacional de las partículas en suspensión más pesadas que el agua. Este proceso se llama sedimentación simple y es el que se utilizara en este proceso.

El sedimentador tiene por objeto separar del agua cruda partículas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm, es decir que nos encontramos en régimen laminar, tal y como se refleja en la Figura (1.2) y la ecuación que lo preside es la ley de Stokes.

$$V_s = \frac{g \cdot d^2}{18 \cdot \nu}$$

(Ecuación 1.3)

FIGURA 1.2 VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN VS DIÁMETRO



Fuente: Fair et al. (1979) Velocidad de sedimentación.

Zona de entrada. Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.

Zona de sedimentación. Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.

Zona de salida. Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.

Zona de recolección de lodos. Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.

1.6. Cálculo del Sedimentador

Los datos de partida son:

- Caudal de diseño
- Ancho del sedimentador: B

1.6.1. Sólidos sedimentables:

La velocidad de sedimentación se ha encontrado a partir de los ensayos realizados en la empresa PROALIM. En el ensayo físico se determinó que el 90 % de los sólidos sedimentables lo hacían en una hora. De esta manera invirtiendo el cálculo que se detalla a continuación se obtuvo la velocidad de sedimentación de las partículas más finas, $V_s = 1.3 \times 10^{-2}$ cm/s. Dato que es necesario para empezar a realizar el cálculo.

El primer paso es calcular el área superficial de la zona de sedimentación, de acuerdo a la relación donde V_s es la velocidad de sedimentación (m/s) y Q es el caudal de diseño (m^3/s) obteniendo el valor de:

$$A_s = \frac{Q}{V_s} \quad \text{(Ecuación 1.3)}$$

Donde V_s es la velocidad de sedimentación (m/s) y Q es el caudal de diseño (m^3/s) obteniendo el valor de: A_s

Una vez ya tenemos el área superficial necesaria podemos determinar con la relación (ecuación 1.4) las dimensiones de largo L_2 (m) determinando así la longitud de sedimentación partiendo del ancho B (m) del sedimentador que tomamos como dato de partida (1,5 m).

$$L_2 = \frac{A_s}{B} \quad \text{(Ecuación 1.4)}$$

Que teniendo en cuenta que la pantalla difusora se tiene que ubicar a 0,7 m como poco obtenemos una longitud total de la unidad según se muestra en (ecuación 1.5)

$$L = 0,7 + L_2 \quad \text{(Ecuación 1.5)}$$

Este es el momento de comprobar que se cumple la relación $3 < \frac{L}{B} < 6$.

Y que también se cumple la relación $5 < \frac{L}{H} < 20$.

Una vez vemos que se cumplen las relaciones de forma del sedimentador podemos calcularla velocidad horizontal con la relación.

$$VH = \frac{100 \cdot Q}{B \cdot H} \quad \text{(Ecuación 1.6)}$$

Obteniendo el valor de VH.

Y a continuación obtenemos el tiempo de retención mediante

$$T_o = \frac{\text{volumen}}{\text{caudal}} \quad \text{(Ecuación 1.7)}$$

Obteniendo un valor de: T_o

Este valor es muy importante, ya que como se ha comentado según el análisis físico del agua de la empresa PROALIM el 90 % de los sólidos sedimentan en menos de 2 horas. De esta manera la turbidez que tendrá que tratar el filtro ya es un valor muy asumible para este tipo de tratamiento.

El fondo de la unidad tendrá una pendiente del 10 % para poder evacuar los fangos para limpiar el sedimentador. De esta manera la altura máxima se obtiene mediante (ecuación 1.8)

$$H = H + 0,1 \cdot L_2 \quad \text{(Ecuación 1.8)}$$

Por ultimo nos faltara saber cuál será el pelo de agua de salida del vertedero que lo obtendremos mediante la relación (ecuación 1.9)

$$H_2 = \left[\frac{Q}{1,84 \cdot B} \right]^{2/3} \quad \text{(Ecuación 1.9)}$$

Con este cálculo valor hemos analizado los cálculos para la caja del sedimentador, faltando el estudio de la pantalla difusora. Las dimensiones finales del sedimentador son; L_{total} , B, H

A continuación vamos a proceder a calcular los oricios de la pantalla difusora que va a obligar el agua a moverse por la caja del sedimentador con flujo pistón. La pantalla debe ubicarse a 0,7 m de la entrada de agua en el sedimentador y está compuesta por un número de orificios que cumplen que el área total de todos ellos cumple la relación (E11), asumiendo que la velocidad de paso entre los orificios será de $V_0 = 0,1$ m/s.

$$A_o = \frac{Q}{v_o} \quad \text{(Ecuación 1.10)}$$

EL paso siguiente es adoptar un diámetro de orificio, $d_0 = 0,025$ m en nuestro caso y se determina el área de cada orificio que da como resultado $a_0 = 0,0005$ m. Con estos datos somos capaces de obtener el número de orificios a partir de (ecuación 1.11)

$$n = \frac{A_o}{a_0} \quad \text{(Ecuación 1.11)}$$

Seguidamente determinamos la porción de altura de la pantalla difusora con orificios con la relación $h = H - 2/5.H$ obteniendo el valor de h . Una vez conocemos la parte que van a ocupar los orificios en la pantalla difusora y el número de oricios solo nos queda ubicarlos homogéneamente en esta zona. De manera que tenemos que decidir las filas y columnas que habrá en la pantalla. Asumimos el número de las filas, $n_f = 4$ y el número de columnas $n_c = 7$ y mediante las relaciones (ecuación 1.12) y (ecuación 1.13). (3)⁴⁵

$$a_1 = \frac{h}{n_f} \quad \text{(Ecuación 1.12)}$$

$$a_2 = \frac{B - a_1(n_c - 1)}{2} \quad \text{(Ecuación 1.13)}$$

⁴ Fair et al.(1979) Velocidad de sedimentación

⁵ CÁLCULO DEL SEDIMENTADOR. Sedimentación. 2008 <http://www.gits.ws/08cyd/pdfs/A1-SedimentadorSanLuis.pdf>.

1.7. Filtración

Es un procedimiento en el que una mezcla sólido-líquido circula a través de un medio poroso (filtro) que retiene los sólidos y deja pasar el líquido filtrado.

Si los materiales en suspensión que deben separarse tienen una dimensión superior a la de los poros, quedarán retenidos en la superficie del filtro -filtro de bujía (la filtración se denomina en superficie).

En caso contrario las partículas quedarán retenidas en el interior de la masa porosa - filtros rápidos- (y se denomina filtración en profundidad).

1.7.1. Mecanismos de filtración

Son varios los mecanismos que intervienen durante la filtración y la importancia de cada uno de ellos dependerá de las características y tipos de partículas en suspensión, como así también del tipo de filtro empleado.

- Tamizado mecánico
- Depósito sobre material filtrante

1.7.2. Filtración a través de un Lecho Filtrante

Se realiza una filtración sobre lecho filtrante cuando la cantidad de materiales que deben retenerse es grande y la dimensión de las partículas contenidas en el agua es relativamente pequeña.

A los efectos de realizar ésta etapa del proceso en forma eficaz, es indispensable que la arena que compone el lecho sea elegido con sumo cuidado, respondiendo a una cierta granulometría, tamaño y distribución -, y que el manto filtrante posea una determinada profundidad.

Cuando el objetivo es obtener un agua de buena calidad por filtración rápida, es necesario acondicionarla previamente.

En la medida que el filtro cumple su función específica, se va atascando y llega el momento en que la cantidad de agua que entrega es insuficiente, por lo tanto es necesario proceder a su limpieza.

Es indispensable que con la limpieza se devuelva al filtro todas sus cualidades originales, de no ser así, irá perdiendo eficacia.

La eficiencia de la filtración dependerá entre otros factores, de la uniformidad con que se incorpore el agua a tratar, se colecte el agua filtrada y se reparta el agua de lavado, además de evitar los cambios bruscos de caudal.

1.7.3. Tipos de Filtros

Para pequeños suministros de agua potable, el más empleado es el filtro lento (tratado posteriormente). Otro tipo de filtro muy utilizado es el filtro rápido convencional.

Filtro rápido con coagulación y decantación previa. Si el proceso de coagulación-floculación-decantación ha sido bien realizado, al filtro llegarán trazas de flóculos, por lo tanto la filtración es un proceso de acabado, necesario para agua destinada a suministro público. Entre las características más sobresalientes del filtro rápido mencionaremos:

TABLA 1.1 CARACTERÍSTICAS DEL FILTRO RÁPIDO

Velocidad de filtración	4-20 m/h
Altura del lecho	0,70m o menor, no reducible por lavado
Dimensión del filtro	pequeño
Tamaño de la arena	0,45mm. y mayor
Distribución de la arena	estratificada, con los granos más pequeños en la parte superior
Drenaje inferior	Tubos perforados, placas porosas, toberas.
Pérdida de carga	0,30m inicial a 2,50m final
Duración del ciclo de filtración	24-72 hs.
Penetración de la materia suspendida	profunda
Método de limpieza	retrolavado con o sin movimiento adicional del lecho
Costo de la construcción	alto
Costo de operación	relativamente alto

Fuente: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-08a.pdf>

Cernido: actúa en las capas más superficiales del lecho y con partículas relativamente fuertes capaces de resistir los esfuerzos cortantes producidos por el flujo, con la ecuación de Hall considera la remoción de la partícula por cernido Pr este dada por la siguiente ecuación:

$$Pr = \frac{d}{Dc}^{3/2} \quad \text{(Ecuación 1.14)}$$

Donde:

d =diámetro de la partícula

Dc =diámetro del lecho filtrante (4)⁶

⁶ TEORIA, DISEÑO Y CONTROL DE LOS PROCESOS DE CLARIFICACIÓN DEL AGUA
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-08a.pdf>

1.8. Ablandamiento y Desmineralización del Agua

Con el fin de evitar el agua muy dura y mineralizada, el procedimiento básico usado en la industria PROALIM consiste en eliminar o inactivar la dureza o sales de calcio y magnesio que tenderían a producir dichos problemas. Esto se obtiene por:

➤ Ablandamiento químico.

1.8.1. Intercambiadores Iónicos

Un intercambiador iónico es una sustancia insoluble que contiene iones y que puede intercambiar estos iones con otros presentes en una solución que este en contacto sin que se produzca una modificación física aparente de dicho producto.

Se realiza en equipo provisto de resinas de tipo catiónico.

La reacción de ablandamiento puede representarse en la siguiente expresión química:



Sintetiza la forma en que actúa la molécula de resinas catiónicas en el proceso de ablandamiento y regeneración.

La operación de un ablandador consiste en un ciclo que comprende las siguientes etapas:

1. Proceso de ablandamiento hasta saturación de la resina.
2. Retro lavado.- Lavado del ablandador invirtiendo el flujo del agua.
Elimina la suciedad en el ablandador.
3. Regeneración con salmuera.- Restituye la capacidad de ablandamiento.

La resina cambia los iones Ca, Mg., etc., por iones Na.

4. Enjuague.- Para eliminar el exceso de sal que queda en el ablandador, quedando listo para reiniciar el ciclo.

Cuan efectivo sea el ablandamiento conseguido, va a depender de las condiciones en que dicha operación se realice.

Por lo común se considera que en condiciones satisfactorias, el ablandamiento por intercambio iónico retendrá el 98 o 99 % de la dureza contenida en el agua alimentada. Significa que habrá de todas maneras un 1 o 2 % de dureza que se filtrará a través del ablandador la cual deberá tratarse químicamente.

La desmineralización, se realiza en forma muy similar a la forma en que se lleva a cabo el ablandamiento, pero en ella se usan resinas catiónicas y aniónicas en secuencia.

1.8.2. Regeneración de Resina

El ratio o tasa de regeneración se calcula dividiendo la cantidad total de regenerante (en equivalentes) por la carga iónica total (en equivalentes) fijada en la resina durante un ciclo.

Este valor es también igual al número de equivalentes de regenerante por litro de resina dividido por la capacidad útil de la resina en Eq.q/L. (5)⁷

$$\text{Ratio de regeneración} = \frac{\text{Cantidad de regenerante}}{\text{Carga iónica}} \quad (\text{Ecuación 1.15})$$

1.9. Cloración

El compuesto de cloro más práctico utilizado para la desinfección del agua es la solución de hipoclorito sódico preparado comercialmente (lejía). Como estos compuestos se deterioran al estar expuestos al aire, deben adquirirse en pequeños envases, que deben cerrarse bien después del uso. Este producto ha de guardarse en un lugar fresco y oscuro. Debe ser «apta para la desinfección del agua de bebida».

⁷ RAMALHO, Rubbens. Tratamiento de aguas residuales., Barcelona-España. Reverte. 1990. Pp. 637

1.9.1. Cloración del agua destinada a la bebida

Cantidad de las distintas lejías comerciales a base de hipoclorito sódico, según su concentración inicial a la salida de fábrica, es preciso añadir al agua destinada a la bebida o higiene personal:

TABLA 1.2 CONCENTRACIÓN DE LA LEJÍA

CONCENTRACIÓN INICIAL DE LA LEJIA	CANTIDAD DE AGUA A DEPURAR			
	2 litros	10 litros	100 litro	1.000 litros
0,2% (20 gr. cloro/litro lejía)	6 gotas	30 gotas	15 cc.	150 cc.
0,5% (50 gr. cloro/litro lejía)	2 gotas	12 gotas	6 cc.	60 cc.
0,8% (80 gr. cloro/litro lejía)	1 gota	7 gotas	3,5 cc.	35 cc.
1% (100 gr. cloro/litro lejía)	1 gota	6 gotas	3 cc.	30 cc.

Fuente: Guía sanitaria., Cloración del agua.,
http://www.segsocial.es/ism/gsanitaria_es/ilustr_anexos/anexo8.htm

El poder desinfectante del cloro o sus compuestos radica en su capacidad de oxidación. En presencia de agua el cloro, bien sea en forma gaseosa (Cl_2) o como hipoclorito (NaOCl), reacciona para dar ácido Hipocloroso (HOCl), la forma con mayor potencial de óxido-reducción y más activa como desinfectante

El tiempo de contacto es otro factor importante a tener en cuenta, ya que durante este tiempo tienen lugar las reacciones entre el cloro y el agua y las sustancias en ella presentes. El tiempo de contacto mínimo suficiente para una cloración eficaz es, a su vez, función de la temperatura, pH, concentración y naturaleza de los organismos y sustancias presentes en el agua, así como de la concentración y estado en que se halle el cloro. Como mínimo, el tiempo de contacto deber de ser de diez a quince minutos.

Para que la acción de un desinfectante sea eficaz, hay que mantener una determinada concentración del desinfectante durante un período de tiempo, es decir, la expresión C.t, representaría la concentración del desinfectante final en mg/l. (C)

durante el tiempo mínimo de exposición en minutos (t). La expresión que nos muestra el efecto de la concentración del desinfectante sobre la velocidad de destrucción de bacterias, se expresa más correctamente por $C^n \cdot t = \text{Constante}$.

El exponente n para el cloro varía entre 0.5 y 1.5, dependiendo de la temperatura y del pH.

El pH juega un papel de suma importancia y nos detendremos en él cuando tratemos de las reacciones del cloro en el agua. Por ahora diremos que el poder bactericida del cloro es menor para un pH superior a 7, que para otros valores de pH más bajos a éste.

El tiempo de contacto para lograr un determinado grado de desinfección disminuye al aumentar la concentración y también como se acaba de indicar, al disminuir el pH. En el gráfico siguiente se observa lo indicado, relacionando el tiempo de contacto necesario para destruir el 90 % de coliformes a diferentes pH.

1.9.2. Reacciones del cloro en el agua

Las reacciones que tienen lugar entre el cloro y el agua, aunque en principio parecen muy simples, no siempre lo son, ya que el agua objeto de la cloración no sólo es H_2O , sino que en ella hay diversas sales y materias orgánicas en solución y suspensión. Pero trataremos en principio sólo de las reacciones de equilibrio que tienen lugar al reaccionar el cloro con el agua, que son reacciones de hidrólisis, se originan ácidos hipocloroso y clorhídrico :



El ácido clorhídrico es neutralizado por la alcalinidad del agua y el ácido hipocloroso se ioniza, descomponiéndose en iones hidrógeno e iones hipoclorito:



La constante de ionización es:

$$\frac{H^+ \cdot ClO^-}{ClOH} = K_i \quad \text{(Ecuación 1.16)}$$

La constante de ionización K_i varía con la temperatura como se indica en la siguiente tabla:

TABLA 1.3 CONSTANTE DE IONIZACIÓN

Temperatura °C	Ki (Moles/l)
0	1,5.10 ⁻⁸
5	1,5.10 ⁻⁸
10	2,0.10 ⁻⁸
15	2,2.10 ⁻⁸
20	2,5.10 ⁻⁸
25	2,7.10⁻⁸

Fuente: http://www.constantes.de.ionizacion.a.diferente.temperatura.es/ism/gsanitaria_es/ilustr_anexos/anexo.htm

Debido a que la molécula de ClOH es un desinfectante más fuerte que el ión hipoclorito, la distribución relativa de estas especies según el pH es el interés práctico para las operaciones de desinfección. Por tanto, se puede decir que según sea el pH del agua, se obtendrán unos porcentajes diversos de ClOH y ClO⁻, porcentajes que pueden calcularse mediante la ecuación 1.9.2.3 y la tabla 1.9.2.1 en la que figuran los valores de Ki partiendo de la relación:

$$\frac{ClOH}{ClOH + ClO^-} = 1 \div \left(1 + \frac{ClO^-}{ClOH} \right) \quad \text{(Ecuación 1.17)}$$

Y deduciendo de la ecuación 1.17: $\frac{ClO^-}{ClOH} = \frac{Ki}{H^+}$

Sustituyendo en la ecuación 1.17 resulta:

$$\frac{ClOH}{ClOH + ClO^-} = 1 \div \left(1 + \frac{Ki}{H^+} \right) \quad \text{(Ecuación 1.18)}$$

En resumen, la eficacia de la desinfección con cloro depende del, pH, de la temperatura, de la presencia de partículas en suspensión, de la composición química del agua, de la concentración del desinfectante y del tiempo de contacto.

La capacidad de desinfección mejora al aumentar la temperatura, aunque el cloro es más inestable a altas temperaturas y el ácido hipocloroso se disocia algo más rápidamente.

(6)⁸

⁸ TEORIA, DISEÑO Y CONTROL DE LOS PROCESOS DE CLARIFICACIÓN DEL AGUA
<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-08a.pdf>

1.10. Luz Ultravioleta

La desinfección con luz UV es uno de los métodos de desinfección en aguas para bebidas más práctico que es capaz de inactivar bacterias, virus, esporas y quistes de protozoos.

El efecto germicida de la luz UV se vincula a la energía asociada a la longitud de onda o frecuencia asociada a la luz UV que es capaz de producir daños fotoquímicos en los ácidos nucleicos de los microorganismos.

La dosis necesaria suministrada al microorganismo por esta lámpara para desactivarlo se calcula de la siguiente manera:

$$D=I*t \quad \text{(Ecuación 1.19)}$$

Donde:

I= Intensidad

t= Tiempo de exposición

D=Dosis efectiva (uWs/cm²)

La inactivación del número de microorganismo depende de la dosis pudiéndose compensar a menor tiempo de exposición con una mayor irradiación. Las dosis necesarias para conseguir inactivaciones del 99,99% son,

La desinfección con luz UV tiene un período de contacto más corto en comparación con otros desinfectantes (aproximadamente de 20 a 30 segundos con la utilización de las lámparas de baja presión). El equipo de desinfección con luz UV requiere menos espacio que otros métodos.

1.10.1. Características de la desinfección con luz UV

- Desinfección instantánea y eficiente
- Segura

- Limpia
- El mejor costo-beneficio
- Ambientalmente adecuada
- Se trata de un tratamiento físico, sin necesidad de almacenamiento de stock de ningún producto químico peligroso.
- No cambia las propiedades del agua tratada.
- No tiene peligro o efectos negativos sobre el agua en caso de sobredosificación.
- Simple y barato de mantenimiento de las instalaciones.
- Sencilla instalación sobre canalizaciones de agua ya existentes.
- Posibilidad de uso para aguas destinadas a distintos usos: consumo humano, industria alimentaria, procesos industriales, laboratorios, agricultura, etc (7)⁹¹⁰.

1.11. Análisis Físico-Químicos

1.11.1. Agua Potable

Significa que debe estar libre de microorganismos patógenos, de minerales y sustancias orgánicas que puedan producir efectos fisiológicos adversos. Debe ser estéticamente aceptable y, por lo tanto, debe estar exenta de turbidez, color, olor y sabor desagradable.

Puede ser ingerida o utilizada en el procesamiento de alimentos en cualquier cantidad, sin temor por efectos adversos sobre la salud.

1.11.2. Color

El color de las aguas naturales se debe a la presencia de sustancias orgánicas disueltas o coloidales, de origen vegetal y, a veces, sustancias minerales (sales de hierro, manganeso, etc.). Como el color se aprecia sobre agua filtrada, el dato analítico no corresponde a la coloración comunicada por cierta materia en suspensión.

⁹ OSORIO, Francisco., TORRES, Juan., SANCHEZ, Mercedes., Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes patógenos. 2. ed. Madrid-España. Díaz de Santos. 2010. Pp. 22, 24, 30.

¹⁰ ENERGIA GERMICIGA. Ozono Valencia. 2012.

<http://www.ozonovalencia.com/ioDocEnergiaGermicida.html>

El color de las aguas se determina por comparación con una escala de patrones preparada con una solución de cloruro de platino y cloruro de cobalto. El número que expresa el color de un agua es igual al número de miligramos de platino que contiene un litro patrón cuyo color es igual al del agua examinada.

1.11.3. Olor

Está dado por diversas causas. Sin embargo los casos más frecuentes son:

- debido al desarrollo de microorganismos,
- a la descomposición de restos vegetales,
- olor debido a contaminación con líquidos cloacales industriales,
- olor debido a la formación de compuestos resultantes del tratamiento químico del agua.

Las aguas destinadas a la bebida no deben tener olor perceptible.

Se entiende por valor umbral de olor a la dilución máxima que es necesario efectuar con agua libre de olor para que el olor del agua original sea apenas perceptible.

1.11.4. Sabor

Está dado por sales disueltas en ella. Los sulfatos de hierro y manganeso dan sabor amargo. En las calificaciones de un agua desempeña un papel importante, pudiendo ser agradable u objetable.

1.11.5. Determinación de pH

El pH es una medida de la concentración de iones hidrogeno y se define como: $pH = \log(1/[H^+])$. Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua. El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5, es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9. Las aguas de pH menor de 6,5, son corrosivas, por el anhídrido carbónico, ácidos o sales ácidas que tienen en disolución. Para determinarlo usamos métodos colorimétricos o potenciométricos.

1.11.6. Amonio

Este ion tiene escasa acción tóxica por sí mismo, pero su existencia aún en bajas concentraciones, puede significar contenido aumentado de bacterias fecales, patógenos etc., en el agua. La formación del amonio se debe a la descomposición bacteriana de urea y proteínas, siendo la primera etapa inorgánica del proceso.

1.11.7. Nitritos

Estos representan la forma intermedia, metaestable y tóxica del nitrógeno inorgánico en el agua. Dada la secuencia de oxidación bacteriana: proteínas → amonio → nitritos → nitratos, los nitritos se convierten en importante indicador de contaminación, advirtiendo sobre una nitrificación incompleta.

1.11.8. Nitratos

El ión nitrato forma sales muy solubles y bastante estables, aunque en medio reductor puede pasar a nitrito, nitrógeno o amoniaco. Concentraciones elevadas en las aguas de bebidas puede causar cianosis infantil.

Se elimina por intercambio iónico pero no es un método económico en los procesos de potabilización de grandes volúmenes.

1.11.9. Cloruros

El ión cloruro forma sales en general muy solubles, suele ir asociado al ión sodio. El contenido en cloruros afecta la potabilidad del agua y su potencial uso industrial. A partir de 300 ppm el agua empieza a adquirir un sabor salado, se separa por intercambio iónico.

1.11.10. Alcalinidad

Es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos, constituyen a la alcalinidad de los iones bicarbonato y carbonatos. Los carbonatos y bicarbonatos pueden producir espumas provocando el arrastre de sólidos por vapor y fragilizando el acero. Se mide en las mismas unidades que la dureza.

1.11.11. Dureza

La dureza del agua se debe a la presencia de sales disueltas como: calcio, magnesio, mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones.

Si la cantidad de calcio y magnesio es muy alta, cuando el agua se evapora o cuando cambian sus condiciones, se satura la solución y se forma un precipitado de carbonato de calcio y de hidróxido de magnesio que causan formación de corrosión en equipos y tuberías y en algunos equipos industriales dañan éstos irreversiblemente.

Para disminuir la dureza pueden someterse a procesos de ablandamiento y desmineralización, se emplean resinas de intercambio iónico o se emplea el proceso de precipitación química de calcio y magnesio., como se describirá posteriormente.

Se suele expresar como mg/l de CaCO_3 o como grados franceses, teniendo en cuenta que 10 mg/l es igual que un grado francés.

1.11.12. Turbidez

Es la capacidad que tiene la materia finamente dividida o en estado coloidal de dispersar la luz. La turbidez es una característica que se relaciona con el contenido de sólidos finamente divididos que se presentan en el agua. Sus unidades son NTU's (Nephelometric Turbidity Units).

Un agua turbia estéticamente es desagradable y es rechazada por el consumidor. La turbidez del agua es un parámetro de importancia no solo porque es una característica de pureza en el agua a consumir. También la turbidez interfiere en procesos de tratamiento de las aguas como es en la desinfección con agentes químicos o con radiación ultravioleta, disminuyendo la efectividad biocida de éstos lo cual representa un riesgo en el consumidor.

1.11.13. Sólidos totales

Los sólidos totales es la suma de los sólidos disueltos y en suspensión que la muestra de agua pueda contener. Se puede decir que las aguas naturales son un conjunto de agua con sólidos disueltos y suspendidos.

1.11.14. Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos lo constituyen las sales que se encuentran presentes en el agua, determinada por evaporación de un volumen de agua previamente filtrada

Analíticamente se miden pesando la cápsula con las sales residuales, una vez que el agua ha sido evaporada, y conociendo el peso neto de la cápsula es posible determinar la cantidad de sólidos disueltos por diferencia de peso.

1.11.15. Sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión es una medida de los sólidos sedimentables que pueden ser retenidos en la filtración.

A diferencia de los sólidos disueltos, estos pueden separarse con mayor o menor grado de dificultad por procesos mecánicos como son la sedimentación y la filtración.

Analíticamente se determinan pasando un volumen medido de una muestra de agua a través de una cápsula la cual tiene una membrana o filtro con poros de 0.2 micrones dónde son retenidos los sólidos suspendidos, cuando se filtra la muestra de agua.

Las partículas o sólidos suspendidos se componen de material orgánico e inorgánico. El material orgánico es principalmente algas o microorganismos y el inorgánico son: arcillas, silicatos, feldespatos, etc.

1.11.16. Fósforo

El fósforo forma sales poco solubles, no presenta toxicidad en los seres vivos, la presencia de fosfatos en aguas potables indica la posibilidad de contaminación del

Aunque el fósforo no representa toxicidad o daño alguno, los herbicidas o pesticidas organofosforados que también están presentes en las aguas de riego agrícola son una advertencia de la calidad del agua ya que la presencia de fósforo en el agua puede ser debida a los agroquímicos fosforados.

1.11.17. Sulfatos

El ión sulfato corresponde a sales solubles o muy solubles. La determinación analítica por gravimetría con cloruro de bario es la más segura. Industrialmente es importante porque en presencia de iones calcio se combina para formar incrustaciones de sulfato de calcio.

1.11.18. Hierro

El ión hierro se puede presentar como ión ferroso o en la forma más oxidada ión férrico. La estabilidad de estos compuestos depende del pH, la presencia de hierro puede afectar a la potabilidad del agua. Se determina analíticamente por colorimetría y espectrofotometría de absorción atómica.

1.19. Manganeso

Manganeso casi siempre se encuentran presentes en forma conjunta, por lo que si en el agua se tienen niveles relativamente altos de hierro, seguramente el manganeso estará presente en concentraciones problemáticas para el uso del agua.

Ni el hierro ni el manganeso representan un problema de toxicidad, pero la calidad del agua no es la deseada cuando se tienen altos valores de estos elementos.

Cuando estos metales precipitan del agua dónde originalmente se encuentran disueltos, forman depósitos color amarillo o café oscuro, o una lama negra sumamente desagradable. Esta precipitación ocurre cuando el agua tiene contacto con el aire y se oxidan los metales ocurriendo la precipitación.

También el consumo de agua con hierro y manganeso por arriba de la norma de calidad establecida, causa problemas de sabor en el consumidor no acostumbrado, por lo que si esta agua se emplea en la formulación de bebidas, refrescos y alimentos en general los resultados pueden ser muy desagradables.

1.11.19. Conductividad

La conductividad es una medida indirecta de la cantidad de sales ó sólidos disueltos que tiene un agua natural. Los iones en solución tienen cargas positivas y negativas; esta propiedad hace que la resistencia del agua al flujo de corriente eléctrica tenga ciertos valores. Si el agua tiene un número grande de iones disueltos su conductividad va a ser mayor. Cuanto mayor sea la conductividad del agua, mayor es la cantidad de sólidos o sales disueltas en ella.

1.12. Análisis Microbiológico

Existe un grupo de enfermedades conocidas como enfermedades hídricas, pues su vía de transmisión se debe a la ingestión de agua contaminada. Es entonces conveniente determinar la potabilidad desde el punto de vista bacteriológico.

Buscar gérmenes como Salmonella, Shigella, trae inconvenientes, pues normalmente aparecen en escasa cantidad. Por otra parte su supervivencia en este medio desfavorable y la carencia de métodos sencillos y rápidos, llevan a que su investigación no sea satisfactoria, máxime cuando se hallen en número reducido.

En vista de estos inconvenientes se ha buscado un método más seguro para establecer la calidad higiénica de las aguas, método que se basa en la investigación de bacterias coliformes, levaduras, mohos como indicadores de contaminación.

- Toma de muestra:

La muestra para análisis bacteriológico debe efectuarse con el mayor cuidado.

- Envase:

Se deben utilizar frascos esterilizados y con envoltura externa. La capacidad debe ser de 200 a 250 cc.

1.12.1. Envío de muestras

Debe transcurrir el menor tiempo entre la extracción y la llegada al laboratorio, y que durante ese tiempo se mantenga entre 4 y 10 °C. De lo contrario se producen modificaciones cuali - cuantitativas de la flora bacteriana.

Toma de muestra de un grifo en una cañería de agua corriente:

- Se elige un grifo que esté conectado directamente con una cañería de distribución, es decir, que el ramal del grifo no este comunicado con tanques domiciliarios, filtros, ablandadores u otros artefactos similares. Tampoco conviene extraer muestras de grifos colocados en puntos muertos de la cañería.
- Estas precauciones no se tienen en cuenta cuando se desea conocer la calidad del agua que suministra un determinado grifo, en lugar de la que conduce la cañería principal.
- Se quitan del grifo los dispositivos destinados a evitar salpicado. Luego se limpia la boca del grifo, cuidando de eliminar la suciedad que a veces se acumula en la parte interna del orificio. Después se deja salir agua en forma abundante durante 2 o 3 minutos y se cierra perfectamente el grifo para esterilizarlo.
- Se esteriliza el grifo calentándolo durante un par de minutos con un hisopo embebido en alcohol.
- Se abre con cuidado y se deja salir agua durante medio minuto en forma tal que el chorro no sea intenso y se llene el envase. (8)¹¹¹²

¹¹ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD., Guía para la calidad del agua., Washington D C., EEUU., 1998., Pp. 4-6., 15-27

¹² ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICO DE AGUAS
<http://www.microinmuno.qb.fcen.uba.ar/SeminarioAguas.ht>

1.12.2. Análisis Bacteriológico

Límites permisibles para aguas de consumo:

- Bacterias mesófilas viables: en agar Plate Count 24 hs. a 37°C, no mas de 500 UFC/ml
- Bacterias coliformes: NMP a 37°C – 48 hs. (Caldo Mc Conckey o Lauril. Sulfato), en 100 ml; igual o menor a 3.
- Ausencia de *Escherichia coli*: en 100 ml
- Ausencia de *Pseudomona aeruginosa*: por 100 ml de muestra

1.12.3. Determinación del número más probable (nmp) / 100 ml de bacterias de Coliformes Totales (Método de Wilson)

➤ **Bacterias coliformes:**

Son bacterias aerobias o anaerobias facultativas, Gram negativas, no esporuladas, que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas.

➤ **Siembra:**

Se puede hacer por triplicado en tubos que tengan caldo Mc Conckey o Lactosa bilis verde brillante (LBVB), con la Campana de Durham.

De la muestra de agua se sembrarán:

- 3 tubos de caldo Mc Conckey o LBVB 2% doble concentración: 10 ml
- 3 tubos de caldo Mc Conckey o LBVB simple concentración: 1 ml
- 3 tubos de caldo Mc Conckey o LBVB simple concentración: 0,1 ml

Incubar los tubos a 32 - 35 °C durante 48 horas.

El líquido permanece verde claro si no ha habido desarrollo, virando al azulado si el citrato ha sido utilizado por las bacterias. Simultáneamente con el desarrollo se produce cambio de pH. (7)¹³¹⁴

1.13. Refrescos

Los refrescos son bebidas sin alcohol compuestas fundamentalmente por agua a la que se pueden añadir distintos ingredientes para darles sabor, como zumos, aromas, azúcar, anhídrido carbónico, etc. Esta combinación da lugar a diversas categorías de productos, con o sin gas, con o sin azúcar, bebidas para deportistas y de distintos sabores como cola, naranja, limón, gaseosa, bebidas refrescantes de té, etc.

Una definición legal que engloba una categoría de bebidas sin alcohol dentro de la cual existe variedad de sabores y productos, que pueden contener algunos de los siguientes ingredientes:

- Agua potable o agua mineral
- Jarabe compuesto o preparado básico
- Anhídrido carbónico
- Azúcares
- Zumos, purés y disgregados de frutas y vegetales
- Extractos de frutas y vegetales
- Cafeína y quinina
- Aromas autorizados
- Edulcorantes, colorantes y otros aditivos autorizados
- Vitaminas y minerales

¹³ OSORIO, Francisco., TORRES, Juan., SANCHEZ, Mercedes., Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes patógenos. 2. ed. Madrid-España. Díaz de Santos. 2010. Pp. 22, 24, 30.

¹⁴ ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO
<http://www.bvsde.paho.org/bvsast/e/fulltext/enciclopedia/65.pdf>

1.13.1. Tipos

El sector de bebidas refrescantes es uno de los más dinámicos de la industria alimentaria. Cada año surgen nuevos sabores y combinaciones de ingredientes que dan lugar y una gran variedad de productos que permiten satisfacer de un modo más completo las necesidades que surgen en grupos específicos de población.

Hay una gran variedad de sabores, se agrupa en diez tipos de bebidas, según sus ingredientes:

- Agua carbonatada
- Aguas aromatizadas
- Gaseosas
- Bebidas refrescantes aromatizadas
- Bebidas o refrescos
- Bebidas refrescantes de zumos de frutas.
- Bebidas refrescantes de disgregados de frutas
- Bebidas refrescantes mixtas
- Bebidas refrescantes para diluir

1.13.2. Ingredientes

Saborizante

Los saborizantes para las bebidas gaseosas se preparan por empresas especializadas. Con cada sustancia se suministran instrucciones claras y la forma exacta para la preparación del jarabe. Los saborizantes son extractos alcohólicos, emulsiones soluciones alcohólicas o jugos de frutas.

Los extractos alcohólicos se preparan por lixiviación de drogas secas con soluciones alcohólicas, o bien lavando aceites esenciales con mezclas de agua y alcohol y dejando que se separe el aceite.

Las emulsiones se preparan con aceites esenciales, goma arábica y jarabe espeso de azúcar o de glicerina; la mezcla se pasa por un homogeneizador. Ejemplo de estas emulsiones la de naranja y la llamada cerveza de raíces.

Algunos saborizantes, como el de cereza, fresa y helado con soda son solubles en soluciones alcohólicas diluidas, y se suelen prepara disolviendo los aceites esenciales en el alcohol y agregando agua hasta obtener la dilución conveniente.

Ácidos

- **Ácido Cítrico:** Se extrae de los limones, limas y piñas. Como el ácido cítrico es un ingrediente natural de todos los frutos cítricos, todas las bebidas que tienen estos sabores se acidifican con dicho ácido, que se usa en solución de 48% .
- **Ácido fosfórico:** Es el acidulante más económico, no sólo por su bajo costo, sin también porque es muy potente. Se usa principalmente en los refrescos tipo “cola”.
- **Ácido tartárico:** En uno de los subproductos de la elaboración del vino. El sabor ácido de la bebida depende de la concentración de iones de hidrógeno, pues tienen el mismo sabor ácido las soluciones de los ácidos cítricos, tartáricos o fosfóricos de igual pH. Se añaden ácidos a los refrescos para modificar la dulzura del azúcar y como preservativo. Todos los ácidos que se agreguen a los refrescos han de ser “grado para alimentos “.

Colores

- **Caramelo:** Es un color vegetal que se prepara quemando azúcar de maíz, generalmente con una sal amónica como catalizador. Es el color vegetal más usado y se añade a los refrescos estilo “cola “, cerveza de raíces, refrescos de jengibre, helado con soda, etc. En la industria de refrescos se conocen dos clases de caramelo: el espumoso y el no espumoso
- **Colores sintéticos:** Hay 18 colores sintéticos aprobados para alimentos, de los cuales sólo siete son recomendables para refrescos. Como el Amarillo FD&C #5 , tartracina ; Amarillo FD&C #6 , amarillo sunset ; Rojo FD&C #1 punzó 3R; Rojo FD&C # 2 , amaranto; Rojo FD&C # 4 ,punzó SX ; Azul FD&C # 1 ,azul brillante FCF ; Verde FD&C # 3, verde fijo FCF.

Preservantes

La mayoría de las bebidas gaseosas se conservan bien con el ácido que lleva el refresco y con el gas carbónico. El gas carbónico ayuda a evitar el desarrollo de hongos. Los refrescos que contienen zumos de frutas y los que se embotellan sin gas o con poco gas se conservan con benzoato de sodio. La solución de benzoato se agrega durante la preparación del jarabe.

1.13.3. Proceso de Producción

Lo primero que debe saber, es que los refrescos se hacen con agua tratada por plantas de purificación. Una vez tratada el agua, se mezcla con azúcar y se crea lo que se denomina jarabe simple.

Cuando el jarabe simple está terminado, se mezcla con el jarabe concentrado, es decir, con la esencia del sabor de cada tipo de refresco que existe. Todo esto está almacenado en unos enormes tanques con capacidad de 30.000 litros, rigurosamente controlados con la más alta tecnología y estudios de calidad.

Desde aquí, se distribuye la mezcla hasta otros tanques, junto a las máquinas llenadoras, donde se mezcla y se inicia el proceso de envasado.

Todo lo que tiene que ver con la elaboración de los refrescos se encuentra rigurosamente controlado. Los envases, por ejemplo, son sometidos a un impecable control de calidad, para que el consumidor reciba el mejor producto posible.

Para el envasado se utilizan tres tipos de envase: metal (latas), plástico y vidrio. En estos momentos, el más fabricado es el producto que se consume en la empresa es plástico. Por último, se procede al embalaje y al control de calidad posterior.

1.13.4. Proceso de Fabricación

La elaboración de una bebida refrescante se lleva a cabo a través de las siguientes etapas:

➤ Suministro y tratamiento de agua potable

El agua que se utiliza para la elaboración de las bebidas procede, generalmente, de la red de abastecimiento municipal o de un pozo privado. Esta agua, que es ya potable antes de su entrada a la planta de elaboración, se somete a diversos tratamientos sanitarios. En ocasiones, también se utiliza agua mineral natural o de manantial.

Las industrias analizan el agua de entrada a la planta y frecuentemente, la tratan con el fin de adecuar sus características a la fabricación de bebidas.

➤ Preparación del jarabe simple de azúcar

La elaboración del jarabe simple se inicia con la dilución del azúcar -en forma cristalina o líquida- en agua. Posteriormente, ese jarabe simple es filtrado, decolorado -dependiendo de la calidad del azúcar- y tratado térmicamente (proceso de pasteurización).

En el caso de las bebidas de bajo contenido calórico, se reemplaza el azúcar del jarabe por edulcorantes intensos.

➤ Recepción y preparación de envases (lavado e inspección)

Una vez en la planta, las bolsas de plásticos son seleccionadas y sometidas a un proceso de lavado y desinfección. Esto se realiza mediante un sistema de remojo.

Después de su lavado, las bolsas son inspeccionadas individualmente para comprobar la eliminación de líquidos y cuerpos extraños y asegurarse de que no existen defectos de ningún tipo. Esta operación se realiza bien a través de una inspección visual del personal entrenado para ello.

Los envases nuevos que serán reutilizados o aquellos que no son reutilizables, se enjuagan con agua potable antes de llenarlos. Posteriormente, estos envases también son sometidos a inspección.

➤ **Llenado y cerrado**

El llenado es el proceso mediante el cual las bebidas se dispensan automáticamente desde la máquina llenadora a los envases individuales antes de cerrarlos.

En la máquina de cerrado los envases se cierran mediante los tapones, cápsulas o tapas dependiendo de sus características.

Una vez cerrados, los envases se inspeccionan para asegurar que el nivel de llenado es el correcto y, en el caso de las bebidas con gas, se atemperan para evitar condensaciones, ya que éstas se envasan a temperatura inferior a la ambiental. Cuando se trata de bebidas sin gas, éstas también se atemperan tras su tratamiento térmico, evitando así el deterioro sensorial del producto por las altas temperaturas.

➤ **Codificado, etiquetado y encajado o empaquetado**

Durante la etapa de etiquetado -salvo en el caso de las latas-, los productos se codifican sobre la etiqueta. Esto asegura su trazabilidad antes de pasar a las máquinas donde se agruparán (encajado o empaquetado) en cajas, palets u otras presentaciones para su posterior almacenamiento y distribución.

A su vez, los embalajes secundario y terciario también se codifican para garantizar la trazabilidad del producto.

➤ **Almacenamiento, transporte y distribución**

Tras el envasado y etiquetado, las bebidas pasan al almacén de la fábrica, donde permanecerán hasta su distribución. Allí la temperatura se mantiene fresca para una mejor conservación del producto; además, el almacén debe estar correctamente ventilado.

Normalmente los envases se guardan en cajas o palets debidamente identificados, apilados en superficie y altura adecuados al movimiento, recepción, manipulación y expedición. Estas existencias se rotan periódicamente para evitar un almacenamiento prolongado. Además se realizan inspecciones, tanto de los productos como de las condiciones del local, para evitar que los envases y las bebidas se deterioren.

Con respecto al transporte desde la fábrica a los lugares de distribución o locales comerciales, éste se efectúa normalmente por carretera, en camiones de la propia empresa envasadora o contratados por ésta. Durante esta etapa, los envases suelen

mantenerse en las mismas cajas o palets en las que han sido almacenados, para evitar su rotura. (9)¹⁵¹⁶¹⁷

¹⁵ ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO

<http://www.bvsde.paho.org/bvsast/e/fulltext/enciclopedia/65.pdf>

¹⁶ COELLO M, Diana., GUALI A, Adriana., MURGUEITIO A, Nazre., PAZMIÑO P, Natalie., SAJINEZ F, Lena. Diseño de una planta de fabricación de bolos. (Tesis). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Ingeniería en Alimentos. Guayaquil-Ecuador. 2012. <http://www.slideshare.net/dicoello/diseo-de-una-planta-de-tratamiento-de-agua-potable>

¹⁷ CRESPO R, Luis M. Reingeniería del sistema de limpieza y sanitización por el método cip para las envasadoras de bebidas gaseosas. (Tesis). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Ingeniería en Alimentos. Guayaquil-Ecuador. 2009. http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-39740.pdf

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

2. MUESTREO

2.1. Localización de la Investigación

La presente investigación se desarrolló en la empresa PROALIM de la ciudad de Riobamba ubicada en la provincia de Chimborazo, esta empresa está localizada en la Avenida Circunvalación s/n y Tucumán, barrio Sector Industrial.

2.2. Método de recolección de la Investigación

Toda la información adquirida en la empresa PROALIM se recopilara y se registrara en cuadros con el fin de realizar un método de análisis comparativo entre cada uno de los procedimientos para determinar en la condición que se encuentra el tratamiento de agua que realiza para l elaboración de refrescos.

Procedimiento de recolección de la información

TABLA 2.1 TÉCNICA DEL MUESTRO

LUGAR DEL MUESTREO	NÚMERO DE MUESTRAS A ANALIZAR	DÍAS DE MUESTREO	TOTAL DE MUESTRAS
planta	2	3	6

Fuente: Autor

2.3. Metodología

2.3.1. Sistemática del Trabajo

Se trabajó con seis muestras de agua y refresco de diferente sabor y tamaño recolectado después del tratamiento de agua y del producto terminado. Las muestras se llevaron al laboratorio de Análisis Técnicos ubicado en la Facultad de Ciencias para el respectivo análisis tanto físico-químico, mientras que el análisis microbiológico se realizó en el laboratorio de Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos (SAQMIC) ubicado en la Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes en la ciudad de Riobamba.

2.3.2. Método de tratamiento de Muestras

A las muestras se realizó la caracterización físico-químico comprendido con los parámetros de: color, temperatura, pH, turbiedad, conductibilidad, alcalinidad total, dureza, calcio, hierro, sulfatos, nitratos, nitritos, cloruros, amonios. También se realizó el análisis microbiológico.

2.3.3. Equipos y Reactivos

TABLA 2.2 EQUIPOS Y REACTIVOS

Materiales	Equipos	Reactivos
Pipetas volumétricas 5, 10 mL.	pHmetro	Solución de dicromato de potasio 0,25 Normal
Buretas de 10, 25, 50 mL.	Conductímetro	Solución de ácido sulfúrico.
Probetas 10, 25, 50 mL.	Fotómetro.	Solución de sulfato ferroso amoniacal 0,25 Normal
Erlenmeyer.	Turbidímetro	Solución patrón de fosfato ácido de sodio.
Espátula.	Hatch	Solución de Hidróxido de sodio 6 Normal.
Balones aforados 50, 100, 250 mL.	Potenciómetro	Indicador de ferriina.
Vasos de precipitación 100, 250, 500 mL.	Equipo de reflujo	Sulfato de magnesio.
Matraz.	Baño María	Sulfato manganoso.
Embudo.	Balanza	Solución de cloruro férrico.
Papel filtro.	Reverbero	Cloruro de calcio.
Pipeta volumétrica		Ácido sulfúrico concentrado.
Cápsula de porcelana		Tío sulfato de sodio
Estufa		Ácido sulfúrico (0,05 Normal)
Balanza.		Fenolftaleína.
Desecador.		Naranja de metilo.
Espectrofotómetro		

Fuente: Autor

2.4. Métodos y Técnicas

El muestreo se cumplirá in situ, en el cual, se efectuará el diagnóstico del proceso de tratamiento de agua para la elaboración de refrescos, identificando los respectivos puntos de control y variables presentes.

Con el análisis de las muestras tanto la caracterización del agua como el análisis microbiológico tendré resultados para saber el estado inicial del tratamiento de agua,

estos resultados se tabularán y se procede a los cálculos de ingeniería para la optimización del tratamiento, el cuál cumplirá los objetivos propuestos.

Por último se recopilara toda la información, que brindara las mejoras para la fabricación de refrescos señalando los resultados obtenidos del presente proyecto de tesis.

2.4.1. Métodos

2.4.1.1. Determinación de Cloruros

Tomar 25 mL de muestra + 4 gotas de Cromato de Potasio (K_2CrO_7).

Titular con nitrato de plata ($AgNO_3$) (0.01N). Paso de color amarillo a ladrillo.

2.4.1.2. Determinación de la Dureza

Coger 25 mL de muestra + 1 mL de cianuro de potasio (KCN) + 2 mL de solución buffer pH 10 + una pizca de indicador Negro de Eriocromo Titular con EDTA (0.02M). Paso de color rojo a azul

2.1.4.2. Determinación del Calcio

Tomar 25 mL de muestra + 1 mL de cianuro de potasio (KCN) + 1 mL de hidróxido de sodio (NaOH) (1N) + pizca de indicador Murexida.

Titular con EDTA (0.02M). Paso de color rosado a lila.

2.4.1.3. Determinación de la Alcalinidad

Tomar 25 mL de muestra + 2 gotas de Fenolftaleína (rosado) titular con ácido sulfhídrico (H_2SO_4) hasta que pase a incoloro con un (pH = 6.1) + 3 gotas de Naranja de Metilo.

Titular con ácido sulfhídrico (H_2SO_4). Paso de color naranja a rosado (pH = 8).

2.4.1.4. Determinación de Amonios

En un balón de 50 mL, colocamos 25 mL de muestra + 1 mL de tartrato de sodio y potasio (NaK) + 2 mL de sol. Nessler, se afora con la muestra.

Medir en el fotómetro a 425 nm.

2.4.1.5. Determinación de Fosfatos

En un balón de 100 mL, colocamos 50 mL de muestra + 4 Amonio molibdato + 0.5 de Cloruro estannoso, se cambia a color azul, aforar con la muestra.

Medir en el fotómetro a 650 nm.

2.4.1.6. Determinación de Sulfatos

En un balón de 100 mL, colocamos una porción de muestra + 2 mL de solución buffer + 1 g de cloruro de bario (BaCl_2), aforar con la muestra.

Medir en el fotómetro a 410 nm.

2.4.1.7. Determinación de Sulfuros

Tomar 25 mL de muestra + 0.5 mL de ácido clorhídrico (HCl) (6N) + 5 mL de solución patrón de yodo, pasa a un color amarillo.

Titular con Tiosulfato de sodio 0.025 N hasta un color amarillo pálido, adicionar solución de almidón se vuelve azul y seguir titulando con Tiosulfato hasta color transparente y anotar el volumen total.

2.4.1.8. Determinación del Hierro

En un erlenmeyer de 125 mL colocamos 50 mL de muestra + 1 mL de Cloruro de hidroxil-amina + 2 mL de ácido clorhídrico concentrado y llevar al reverbero hasta que quede un volumen de 15 a 20 mL aproximadamente y dejar enfriar

Una vez frío añadir 8 mL de solución buffer pH 5.5 + 2 ml de solución fenantrolina y agregar 50 mL de la misma muestra, dejar descansar por 15 minutos, medir en el fotómetro a 510 nm.

2.4.1.9. Determinación de Nitritos

En un balón de 50 mL, colocar 25 mL de muestra + 2 mL de solución A + 2 mL de reactivo B, aforar con la misma muestra, dejar reposar durante 30 minutos, medir en el fotómetro a 520 nm.

2.14.1.10. Determinación de Nitratos

En una caja Petri, colocar 10 mL de muestra + 1 mL de solución de salicilato de sodio (10 mL de agua destilada + 0.05 g de salicilato de sodio), someter a baño María hasta sequedad, dejar enfriar.

Añadir 2 mL de ácido sulfhídrico (H_2SO_4) concentrado + 8 mL de agua destilada y mezclar bien, luego añadir 7 mL de hidróxido de sodio (NaOH) (10N) pasar con cuidado a un recipiente, lavar la caja con hidróxido de sodio (NaOH) (2.5N), hasta obtener un volumen de aproximadamente 25 mL y medir en fotómetro a 420 nm.

2.4.1.11. Determinación de sólidos Totales

Pesar una caja Petri previamente tarada, agitar la muestra de agua, colocar 25 mL de muestra en la caja, someter a baño María hasta sequedad, introducirla en la estufa, colocarla en el desecador por aproximadamente 15 minutos y pesarla

2.5. Análisis del estado inicial del tratamiento de agua en la empresa PROALIM

El tratamiento de agua en la empresa PROALIM consta de un proceso de ablandamiento y el agua pasa directamente al proceso de elaboración del jarabe y de refrescos.

Mediante el monitoreo del tratamiento de agua de la empresa PROALIM se recopiló información como los valores que están fuera de la norma para aguas de consumo y los análisis microbiológicos, con esta información se realizara la optimización del proceso del tratamiento de agua.

Los parámetros a considerar se refieren mayormente a las condiciones de la empresa PROALIM y que están incorporados a los datos o valores referenciales de aguas para consumo:

TABLA 2.3 Variables requeridos de la empresa

CARACTERISTICAS	SIMBOLO	UNIDAD	CANTIDAD
Volumen	V	L	900
Caudal	Q	L/s	0.25
Temperatura	T	° C	22
Resina		ml	12

Fuente: Autor

➤ Volumen:

El tanque donde se receipta el agua tratada tiene una capacidad de 1000 litros, debido a que la empresa tiene un gasto diario de 900 litros por día.

➤ Caudal:

El caudal se determinó en la llegada del agua al tanque de almacenamiento de la empresa PROALIM.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = 0.25 \frac{L}{s}$$

2.6. Descripción del proceso de tratamiento de agua de la empresa PROALIM

La empresa PROALIM realiza el tratamiento de agua para la elaboración de refrescos que consiste en el llenado del tanque (reposo del agua) y después pasa por el ablandador para la preparación del jarabe y la elaboración del refresco.

2.6.1. Captación

El agua proveniente de la red de distribución de la ciudad de Riobamba es recolectada en un tanque con una capacidad de 1000 litros ya que la empresa tiene un requerimiento de 900 litros para la elaboración de refrescos.

2.6.2. Ablandamiento

Este proceso consiste en intercambiadores de iones que son diseñados para eliminar iones, los cuales están cargados positivamente. Los ablandadores mayormente eliminan los iones de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) reduciendo así la dureza del agua, evitando daños de corrosión en las tuberías y equipos.

2.6.3. Envasado

El envasado se realiza a través de dos máquinas con una capacidad de 3000 fundas/minuto en fundas para refrescos con un contenido de 100 mililitros.

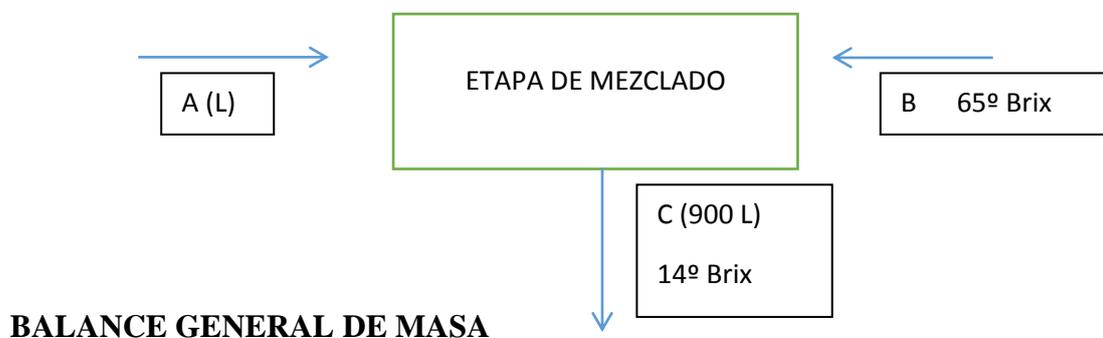
2.6.4. Almacenado

El producto terminado se embala y se lo lleva a la bodega para su respectiva distribución.

2.7. Balance de Masa

Con el cálculo del balance de masa se conoce el volumen de agua requerida para la elaboración de refrescos.

2.7.1. Etapa de Mezclado



$$A + B = C$$

$$A + B = 900$$

BALANCE DE SÓLIDOS

$$A (a) + B (b) = C (c)$$

$$A (0) + B (0.65) = 900 (0.14)$$

$$B = 126 / 0.65$$

$$B = 193.84 \text{ L}$$

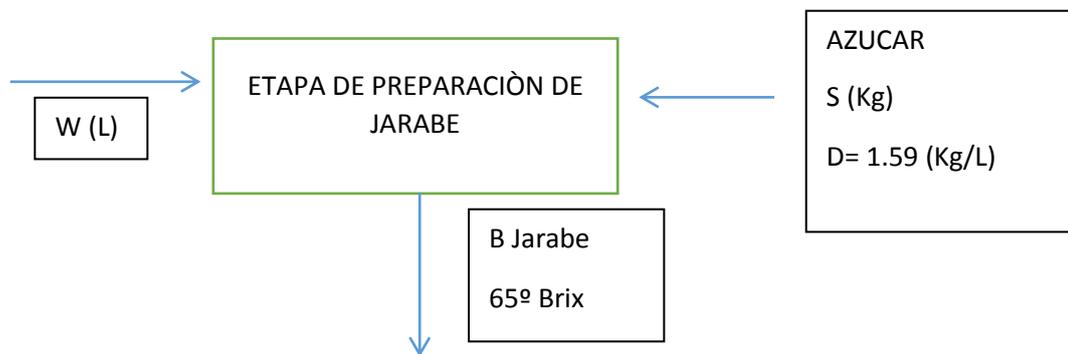
Volumen de agua

$$A = 900 - 193.84$$

$$A = 706.15 \text{ L}$$

2.7.2. *Etapa de preparación de Jarabe*

Mediante el cálculo del balance de sólidos se conoce la cantidad de azúcar y el volumen de agua necesaria para la preparación del jarabe.



BALANCE GENERAL DE MASA

$$W + S = B$$

$$W + S = 193.84$$

BALANCE DE SÓLIDOS

$$W (w) + S(s) = B (b)$$

$$A (0) + S (1) = 193.84 \times 0.65$$

$$S = 125.996 \text{ L}$$

$$S = 125.996 \text{ (L)} \times 1.59 \text{ (Kg/L)}$$

$$S = 200 \text{ Kg}$$

VOLUMEN DE AGUA

$$W = 193.84 - 125.996$$

$$W = 67.84 \text{ L}$$

2.8. Caracterización del agua procedente del proceso de tratamiento de agua de la empresa PROALIM

Con el análisis físico-químico de las muestra del tratamiento de agua de la empresa PROALIM se obtendrá las variables que están fuera de los valores referenciales para agua de consumo.

TABLA 2.3 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA

DETERMINACIONES	UNIDADES	*LIMITES	RESULTADO
Cloro residual	mg/L	<1.5	1.7
Color	Unid.Co/Pt	<5	2
pH	Unid.	6.5 -8.5	7.48
Conductividad	μSiems/cm	<1250	538
Turbiedad	mg/L	1	0.2
Dureza	mg/L	200	208
Calcio	mg/L	70	67.2
Magnesio	mg/L	30-50	9.7
Sulfatos	mg/L	200	136.3
Amonios	mg/L	<0.50	0.156
Nitritos	mg/L	0.01	0.034
Hierro	mg/L	0.30	0.028
Fosfatos	mg/L	<0.3	1.836
Sólidos Totales	mg/L	1000	428
Sólidos Disueltos	mg/L	500	333.6
Caudal	L/s	0.25	0.25
Presión	Unid.	30	30

*Valores referenciales para aguas de consumo.

Fuente: Laboratorio Análisis Técnicos

Caracterización del agua: valores de fosfatos, cloro, nitritos, dureza; los valores están fuera de los valores referenciales para aguas de consumo.

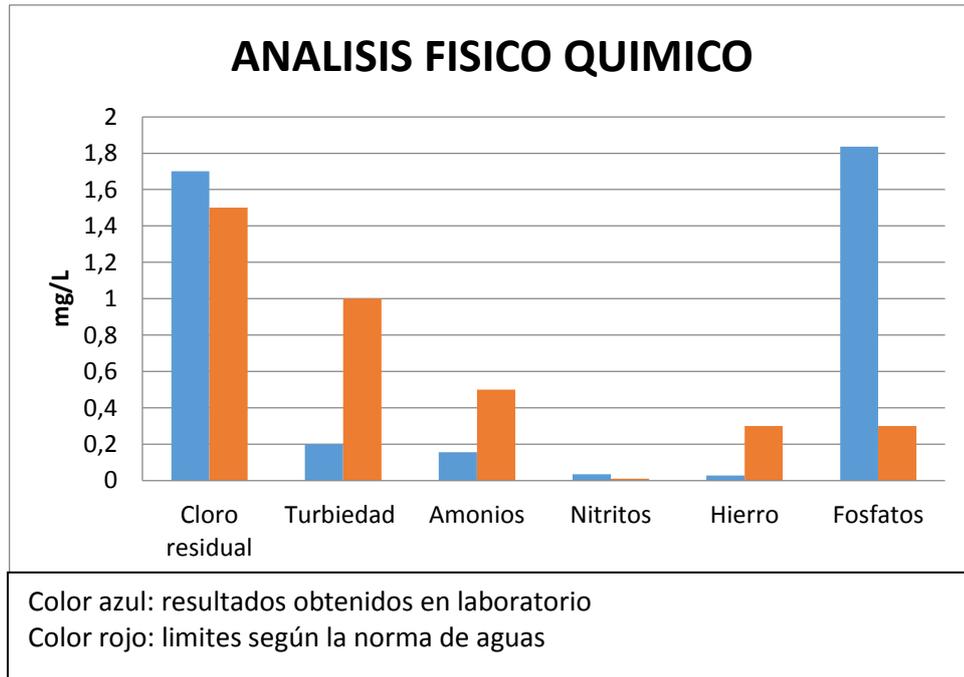


GRAFICO 2.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN LA EMPRESA PROALIM

2.8.1. *Cloro Residual*

Mediante el análisis del agua tenemos datos de cloro que están fuera de los valores referenciales para de agua de consumo. La presencia de cloro residual en el agua nos indica que no realizan una buena cloración en el tratamiento de agua lo que provoca que se forme un cloro combinado cuando el agua tiene amoníaco y productos orgánicos. Esta forma de cloro es un agente oxidante más débil y su acción bactericida es más lenta y para minimizar los efectos adversos es esencial que se apliquen procedimientos de análisis conduciendo a una inspección del sistema de distribución, corrigiendo las deficiencias encontradas.

2.8.2. *Dureza*

En esta actividad tenemos datos referentes a dureza (contenido en calcio y magnesio) de muestra de agua que están fuera de los límites de los valores referenciales para agua de consumo humano, donde dando un monitoreo, mantenimiento y una inspección al

sistema de ablandamiento se reduce la producción de compuestos insolubles de Ca y Mg.

2.8.3. *Nitritos*

Se presentan resultados de los parámetros de nitritos fuera de los límites de valores referenciales para agua de consumo humano. Una consecuencia de la oxidación bacteriana de diversos compuestos orgánicos de procedencia biológica. También, aunque en menor proporción, su existencia puede estar motivada por la disolución de compuestos minerales repartidos sobre la superficie terrestre y que contengan nitrato.

2.8.4. *Fosfatos*

Los valores de fosfatos están fuera de los valores referenciales para aguas de consumo, un contenido elevado modifica las características organolépticas y dificulta la floculación - coagulación en las plantas de tratamiento. Una de las metas de un análisis químico es generar resultados correctos y confiables, en el presente estudio, se hizo la validación de las determinaciones de fosfatos en muestras, el control y la comprobación de la reducción de fósforo y controlar los valores límite son necesarios unos análisis periódicos en varios puntos de medida del proceso de tratamiento del agua. Además, la adición selectiva de precipitantes en función de la carga de fósforo puede conllevar ahorros de costes.

2.8.5. *Color*

Los análisis para la determinación de color proporcionaron valores dentro de la norma para aguas de consumo donde no se ha notado la presencia de materias orgánicas en forma de impurezas de origen natural o como productos de la corrosión.

2.8.6. *pH*

Con la determinación de pH los valores obtenidos están dentro de los valores referenciales para aguas de consumo es decir esta aptos para utilizar en la elaboración de refrescos.

2.8.7. *Conductividad*

Mediante los análisis conseguidos de conductividad los datos están dentro de los valores referenciales para aguas de consumo. Una conductividad elevada indica una salinidad elevada y por tanto un aumento de la agresividad así como fenómenos de arrastre de sólidos produciendo erosión-corrosión. Por ello el valor de salinidad no puede ser cualquiera por los perjuicios que puede ocasionar y deberá por tanto controlarse.

2.8.8. *Turbiedad*

El análisis de turbiedad dio datos que están dentro de los valores referenciales para aguas de consumo donde no hay presencia de sólidos en suspensión, de sustancias inorgánicas finamente divididas o de materiales orgánicos, la transparencia del agua es especialmente importante en el caso de aguas potables y también en el caso de industrias que producen materiales destinados al consumo humano, tales como las de fabricación de bebidas.

2.8.9. *Calcio*

Los datos proporcionados de calcio están dentro de los valores referenciales para aguas de consumo. Concentraciones bajas de calcio, previenen la corrosión de las tuberías metálicas, produciendo una capa delgada protectora. Cantidades elevadas de sales de calcio, se descomponen al ser calentadas, produciendo incrustaciones dañinas en calderas, calentadores, tuberías.

2.8.10. Magnesio

Los valores de magnesio están dentro de la norma para agua de consumo donde no hay la presencia de sales de magnesio que podrían ocasionar daño como la corrosión a los equipos utilizados.

2.8.11. Sulfatos

Los valores están dentro de la norma, los sulfatos no producen un incremento en la corrosión de los accesorios metálicos.

2.8.12. Amonios

Los valores obtenidos en la determinación de amonios aportaron datos dentro de la norma para aguas de consumo, donde la presencia de amonios en el agua es mínima lo que indica que no existe una fuente de contaminación orgánica.

2.8.13. Hierro

En la determinación del hierro los valores están dentro de los parámetros de la norma. Dependiendo de las condiciones del medio, el hierro puede encontrarse en el agua, en estado coloidal, formando complejos orgánicos, inorgánicos o en suspensión.

2.8.14. Sólidos Totales

La determinación de los sólidos totales dio datos que están dentro de los valores referenciales para agua de consumo.

La determinación de sólidos totales permite estimar la cantidad de materia disuelta y en suspensión que lleva una muestra de agua.

La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos).

2.8.15. Sólidos Disueltos

Los valores de sólidos disueltos están dentro de los valores referenciales para aguas de consumo, los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua, con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Por esta razón los análisis de sólidos disueltos son también importantes como indicadores de la efectividad de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas.

2.9. Análisis Microbiológico

TABLA 2.4 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL PRODUCTO TERMINADO DE LA EMPRESA PROALIM

MUESTRA	COLOR	OLOR	ASPECTO	DETERMINACIONES	METODO USADO	VALOR
Beba refresco	Rojo	Característico	Normal, libre de material extraño	*Coliformes Totales (UFC/g) *Escherichia coli(UFC/g)	Vertido en placa Petrifilm	Ausencia Ausencia
	Amarillo	Característico	Normal, libre de material extraño	*Coliformes Fecales (UFC/g) *Mohos y Levaduras (UPC/g)	Siembra vertido en placa Siembra en extensión	Ausencia 32940
Bolo refresco	Rojo	Característico	Normal, libre de material extraño	*Coliformes Totales (UFC/g) *Escherichia coli(UFC/g)	Vertido en placa Petrifilm	Ausencia Ausencia
Bolo largo	Naranja	Carácterístico	Normal, libre de material extraño	*Mohos y Levaduras (UPC/g)	Siembra en extensión	10
Bolo ancho	Amarillo	Característico	Normal, libre de material extraño	*Mohos y Levaduras (UPC/g)	Siembra en extensión	22

Análisis microbiológicos: presencia de mohos y levaduras

La determinación de mohos y levaduras es muy importante en la industria alimenticia ya que estos son agentes que deterioran los alimentos y causan pérdidas materiales y monetarias. Causan malos olores y sabores y la decoloración de las superficies de alimentos. Para la determinación de mohos y levaduras se realizó un análisis microbiológico de siembra por extensión teniendo la presencia de mohos y levaduras.

2.10. Puntos de control para la optimización del proceso de Tratamiento de Agua

TABLA 2.4 PUNTOS DE CONTROL

PUNTO DE CONTROL	INFORMACIÓN OBTENIDA	MEDIDAS CORRECTIVAS	MEDIDAS PREVENTIVAS
PC1	Tratamiento	Reducción de partículas, cloro, dureza, fosfatos.	Mantenimiento del equipo de ablandamiento, rejillas y el de filtración. Implementación de un sedimentador (Variaciones de temperaturas o régimen de lluvias)
PC2	Elaboración del jarabe Lavado de tanque	Color y textura incorrecta del jarabe Mala calibración de la balanza Mal uso de los aditivos Presencia de coloración y olor	Comprobación visual del jarabe Análisis físico-químico, microbiológico Lavar después de cada producción para garantizar la calidad del producto
PC3	Envases	Eliminación de agentes patógenos y microbianos a través de luz ultravioleta	Implementación de la lámpara de luz uv.

Fuente: Autor

CAPÍTULO III

CÁLCULOS Y RESULTADOS

3. PROCEDIMIENTO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUA

Mediante este análisis del estado inicial del tratamiento de agua que realiza la empresa PROALIM, se comprobó que se tiene variables fuera de la norma técnica para los valores referenciales de nitrito, nitrato, dureza y fosfatos para agua de consumo, también se evidenció la formación de colonias de mohos y levaduras en el producto terminado, mediante este análisis realizado se propone realizar la optimización del tratamiento de agua con el dimensionamiento e incorporación de equipos para mejorar la calidad del agua como del producto terminado.

El presente trabajo muestra el dimensionamiento, cálculos y resultados para el diseño que se puede implementar para la optimización del tratamiento de agua en la empresa PROALIM.

3.1. Volumen de abastecimiento para la elaboración de refrescos

El volumen necesario para la elaboración de refrescos en la empresa PROALIM es de 1000 litros por día, utilizando un 90% en la elaboración de refrescos y el 10% en la desinfección del tanque de mezclado y elaboración de jarabe.

3.2. Cálculo del caudal

La determinación del caudal se realizó en situ, tomando el tiempo requerido para el volumen necesario para la elaboración de refrescos, a continuación tenemos el cálculo para la determinación del caudal de entrada.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{L}{s}$$

TABLA 3.1 CAUDAL

MUESTRA	VOLUMEN (L)	TIEMPO (s)	CAUDAL
I	1000	3600	0.27
II	900	3600	0.25

3.3. Cámara de Rejas

Este sistema incluye una Reja Fina con paso de sólidos de 5 mm y diseñada para los caudales máximos. Los criterios de diseño, tanto para el canal como de la reja se desarrollan a continuación

3.3.1. Cálculo de rejas

TABLA 3.2 CÁLCULO DE REJAS

DETALLES	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD
Caudal Máximo	Q_{max}	0.0250	m ³ /s
Ancho entre barras	S_p	0.0004	m
Espesor de barras	S_r	0.005	m
Profundidad de las aguas arriba de las rejas	h_w	0.15	m
Velocidad máxima	v	0.6	m/s
Factor de restricción	n	0.8	
Formula de estimación Ancho de canal (m) $RB = \frac{Q_{max} \times (S_p + S_r)}{h_w \times v \times n \times S_p}$ RB=0.46 m			

Fuente: Autor

3.4. Sedimentador

El sedimentador tiene por objeto separar del agua cruda partículas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm, es decir que nos encontramos en régimen laminar, con un caudal de 25 m³/s y un ancho del sedimentador de 1.5 m.

3.4.1. Velocidad de Sedimentación

La velocidad de sedimentación se ha encontrado a partir de los ensayos realizados en la empresa PROALIM. En el ensayo físico se determinó que el 90 % de los sólidos sedimentables lo hacían en una hora. De esta manera invirtiendo el cálculo que se detalla a continuación se obtuvo la velocidad de sedimentación de las partículas más finas, $V_s = 2 \times 10^{-2}$ cm/s.

$$V_s = \frac{1}{18} \cdot g \cdot \frac{(\rho_s - 1)}{n} \cdot d^2$$

TABLA 3.3 VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

Material	φ Limite de las partículas (cm)	Régimen	Vs (cm/s)
Arena fina	0.010	Laminar	0.8
	0.008		0.6
	0.006		0.4
	0.003		0.13
	0.001		0.02

Fuente: Fair et al. (1979) Velocidad de sedimentación

3.4.2. Área superficial de la zona de Sedimentación

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$

$$A_s = \frac{25 \text{ m}^3/\text{s}}{20 \text{ m/s}}$$

$$A_s = 12.5 \text{ m}^2$$

3.4.3. Longitud de Sedimentación

Partiendo del ancho B (m) del sedimentador que tomamos como dato de partida (1,5 m).

$$L_2 = \frac{As}{B}$$

$$L_2 = \frac{12.5 \text{ m}^2}{1.5 \text{ m}}$$

$$L_2 = 8.3 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta que la pantalla difusora se tiene que ubicar a 0,7 m obtenemos una longitud total de la unidad según se muestra en:

$$L = 0,7 + L_2$$

$$L = 9 \text{ m}$$

Este es el momento de comprobar que se cumple la relación $3 < \frac{L}{B} < 6$:

$$\frac{L}{B} = 6$$

Y que también se cumple la relación $5 < \frac{L}{H} < 20$:

$$\frac{L}{H} = 9$$

Una vez vemos que se cumplen las relaciones de forma del sedimentador podemos calcularla velocidad horizontal con la relación.

$$VH = \frac{100 \cdot Q}{B \cdot H}$$

$$VH = 1.6 \text{ m/s}$$

Y a continuación obtenemos el tiempo de retención mediante

$$T_o = \frac{\text{volumen}}{\text{caudal}}$$

$$T_o = \frac{900 \text{ m}^3}{0.025 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$T_o = 3600 \text{ s}$$

El fondo de la unidad tendrá una pendiente del 10 % para poder evacuar los fangos para limpiar el sedimentador.

3.4.4. *Altura Máxima*

$$\mathbf{H} = \mathbf{H} + \mathbf{0.1} \times \mathbf{L}_2$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{H} + \mathbf{0.1} \quad (8.3)$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{1.83} \text{ m}$$

Por ultimo nos faltara saber cuál será el pelo de agua de salida del vertedero que lo obtendremos mediante la relación

$$\mathbf{H}_2 = \frac{\mathbf{q}}{\mathbf{1.84} \times \mathbf{B}}^{2/3}$$

$$\mathbf{H}_2 = \mathbf{0.04} \text{ m}$$

Con este cálculo valor hemos analizado los cálculos para la caja del sedimentador, faltando el estudio de la pantalla difusora. Las dimensiones finales del sedimentador son;

$$\mathbf{L}_{\text{total}} = \mathbf{9} \text{ m}$$

$$\mathbf{B} = \mathbf{1.5} \text{ m}$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{1} \text{ m}$$

3.4.5. *Cálculos de los oricios de la Pantalla Difusora*

El agua a moverse por la caja del sedimentador con flujo pistón la pantalla debe ubicarse a 0,7 m de la entrada de agua en el sedimentador y está compuesta por un numero de orificios que cumplen que el área total de todos ellos cumple la relación, asumiendo que la velocidad de paso entre los orificios será de $V_0 = 0,1 \text{ m/s}$.

$$\mathbf{A_o} = \frac{\mathbf{Q}}{\mathbf{V_o}}$$

$$\mathbf{A_o} = \mathbf{0.025} \text{ m}^2$$

EL paso siguiente es adoptar un diámetro de orificio, $d_0 = 0,025$ m en nuestro caso y se determina el área de cada orificio que da como resultado $a_0 = 0,0005$ m. Con estos datos somos capaces de obtener el número de orificios:

$$n = \frac{A_0}{a_0}$$

$$n = 50$$

Seguidamente determinamos la porción de altura de la pantalla difusora con orificios con la relación $h = H - 2/5.H$ obteniendo el valor de $h = 0.6$. Una vez conocemos la parte que van a ocupar los orificios en la pantalla difusora y el número de orificios solo nos queda ubicarlos homogéneamente en esta zona. De manera que tenemos que decidir las filas y columnas que habrá en la pantalla. Asumimos el número de las, $n_f = 4$ y el número de columnas $n_c = 7$

$$a_1 = \frac{h}{n_f}$$

$$a_2 = \frac{B - a_1(n_c - 1)}{2}$$

Se llegó a la conclusión que debe haber un espaciamiento:

Entre filas $a_1 = 0.15$ m

Entre columnas $a_2 = 0.30$ m

3.5. Filtrado

Actúa en las capas más superficiales del lecho y con partículas relativamente fuertes producidos por la coagulación, sedimentación, con la ecuación de Hall considera la remoción de la partícula por cernido Pr este dada por la siguiente ecuación:

$$Pr = \frac{d}{D_c}^{3/2}$$

Donde:

d = diámetro de la partícula = 5 μ m

D_c = diámetro del lecho filtrante = 0.33

$$Pr = \frac{d}{D_c}^{3/2}$$

$$Pr = \frac{5}{0.33}^{3/2}$$

$$Pr=58.97$$

Tenemos más del 50% de remover las impurezas del agua por mediante una fina barrera física.

3.6. Ablandamiento

Proceso para la regeneración de la resina.

En la empresa el porcentaje de resina utilizada es del 2% por lo tanto:

➤ **Resina: 2%**

$$20000 \frac{mg \ NaOH}{Litros \ de \ solución} \times \frac{1 \ g \ NaOH}{1000 \ mg \ de \ NaOH} \times \frac{1 \ mol \ NaOH}{40 \ g \ NaOH} \times \frac{1 \ Eq.q}{1 \ mol \ NaOH} = 0.5 \ N.$$

➤ **Regeneración con 20 g NaOH por litro de resina**

Gramos de solución = Volumen x Normalidad x Equivalente-gramo

$$\text{Gramos de solución} = (1L) (0.5N) (40 \frac{g}{Eq.q})$$

Gramos de solución = 20 gramos

➤ **Capacidad útil: 1.10 Eq.q/L**

$$\frac{20 \ g \ NaOH}{Litro} \times \frac{1 \ mol \ NaOH}{40 \ g \ de \ NaOH} \times \frac{1 \ Eq.q}{1 \ mol \ NaOH} = 0.5 \ \frac{Eq.q}{L}$$

➤ **Ratio de regeneración**

$$\text{Ratio de regeneración} = \frac{\text{Cantidad de regenerante}}{\text{Carga iónica}}$$

$$\text{Ratio de regeneración} = \frac{0.5}{1.10}$$

Ratio de regeneración = 0.45= 45% de resina regenerada

3.7. Cloración

A 20 ° C y pH = determinado de cada muestra, el porcentaje de ácido hipocloroso será según (RX₅):

$$\frac{ClOH}{ClOH + ClO^-} = 1 \div \left(1 + \frac{K_i}{H^+} \right)$$

Despejando:

$$\frac{1}{1 + \frac{K_i}{H^+}} = ClOH$$

TABLA 3.4 CONCENTRACIÓN DE LA LEJÍA

° T	[H ⁺]	K _i	%ClOH
20	7.48	2.5 x 10 ⁻⁸	57
20	7.45	2.5 x 10 ⁻⁸	59
20	7.00	2.5 x 10 ⁻⁸	80

Fuente: Autor

Para una concentración del 59 % de ácido hipocloroso se necesita para un volumen de 900 litros una cantidad de 65 centímetros cúbicos para depurar dicho volumen en relación con la tabla 1.2 Concentración inicial de la lejía.

3.8. Desinfección UV

Utilización de luz ultravioleta en los envases de refrescos, proceso germicida que logra erradicar el crecimiento de microorganismos, garantiza la esterilidad del envase.

$$D=I*t$$

TABLA 3.5 DESACTIVACION DE MICROORGANISMOS

Microorganismos	Desactivación de los microorganismos			Con luz Ultravioleta		Reducción de microorganismos
	Sin luz ultravioleta			Tiempo de contacto (s)	Intensidad (mJ/cm ²)	
	05/06/2013	10/06/2013	25/06/2013			
Coliformes Fecales	Ausencia	Ausencia	Ausencia	60	165	99%
Coliformes totales	Ausencia	Ausencia	Ausencia	60	165	99%
E. coli	Ausencia	Ausencia	Ausencia	60	165	99%
Mohos y levaduras	10	32940	22	60	165	99%

Fuente: Autor

CONCLUSIONES

1. Mediante el monitoreo visual se evidencio que los equipos para el tratamiento de agua no se encontraban en buen estado, puesto que no cumplían con un adecuado plan de mantenimiento, ni con el reemplazo de suministros consumibles en los puntos de filtrado y regeneración de resina.
2. Los análisis físico-químicos de las muestras tomadas del agua tratada por la empresa PROALIM, reflejaron un incumplimiento en los estándares de calidad requeridos para la elaboración de productos aptos para el consumo humano, pues presentaba valores elevados para las variables de dureza, nitritos y microorganismos.
3. Posterior al análisis microbiológico del producto terminado, se determinó la existencia de agentes patógenos productores de daños gastrointestinales, presentando valores de 3294 unidades formadoras de colonias de mohos y levaduras.
4. El diseño adecuado de un sedimentador reduce considerablemente los valores de las variables nocivas para la salud humana, mejorando el proceso de tratamiento de agua para su posterior uso en la elaboración de bebidas.
5. Con la implementación de un sedimentador se optimiza el proceso de tratado de agua, mediante el ahorro de coagulantes químicos, además de omitir las etapas de cloración y ablandamiento en dicho proceso; consiguiendo llegar a los valores aceptables para las variables físico-químicas y microbiológicas requeridas para la elaboración de productos aptos para el consumo humano.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la creación y ejecución de un plan de mantenimiento de equipos, además de un correcto control en el cambio de consumibles utilizados para el proceso de tratado de agua.
2. Realizar un monitoreo continuo y controlar los valores de las variables de dureza, nitritos y microorganismos existentes en el agua, para de esta manera garantizar la calidad del producto terminado.
3. Utilizar luz ultravioleta en el proceso de envasado, para erradicar la contaminación microbiológica, logrando una exterminación del 99.99% de microorganismos, aumentando la inocuidad de envase obteniendo un producto libre de contaminantes.
4. Implementar nuevas tecnologías en el tratado de agua, mejorando la rentabilidad y calidad del producto terminado.
5. Se recomienda la implementación del sedimentador debidamente dimensionado, para la época de lluvias, arrastre y flujos altos de agua en la empresa PROALIM, pues permitiera tener el volumen, caudal y calidad de agua necesarios para la elaboración de productos aptos para el consumo humano.

BIBLIOGRAFIA

1. **CÀLCULO DEL SEDIMENTADOR.** Sedimentación. 2008
<http://www.gits.ws/08cyd/pdfs/A1-SedimentadorSanLuis.pdf>.
2014-04-29
2. **CRESPO R, Luis M.** Reingeniería del sistema de limpieza y sanitización por el método cip para las envasadoras de bebidas gaseosas. (Tesis). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Ingeniería en Alimentos. Guayaquil-Ecuador. 2009.
http://www.cib.espol.edu.ec/Digipath/D_Tesis_PDF/D-39740.pdf
2014-04-25
3. **COELLO M, Diana., GUALI A, Adriana., MURGUEITIO A, Nazre., PAZMIÑO P, Natalie., SAJINEZ F, Lena.** Diseño de una planta de fabricación de bolos. (Tesis). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción. Ingeniería en Alimentos. Guayaquil-Ecuador. 2012. <http://www.slideshare.net/dicoello/diseo-de-una-planta-de-tratamiento-de-agua-potable>
2014-04-28
4. **ENERGIA GERMICIGA.** Ozono Valencia. 2012.
<http://www.ozonovalencia.com/ioDocEnergiaGermicida.html>
2014-0428
5. **GOMELA, Cyril., & GUERRE, Henri.** Tratamiento de aguas para abastecimientos públicos., Barcelona-España. Reverte. 1997. Pp. 26, 31, 36, 45.

6. **HENBANDEZ, Francese, SAZ, Salvador, SALA, Ramón.** Eficiencia técnica y estacionalidad en los procesos de tratamiento de aguas. (Tesis). Universidad de Valencia departamento de Estructura Económica y Matemáticas para la Economía y la Empresa. 2007. <http://www.uv.es/asepuma/XVI/703.pdf>
2014-05-10
7. **INDUSTRIA DE LAS BEBIDAS.** Salud y seguridad en el trabajo. 2000.
<http://www.bvsde.paho.org/bvsast/e/fulltext/enciclopedia/65.pdf>
2013-09-15
8. **MOTT, Robert.** Mecánica de fluidos., Juárez-México. Pearson Education. 2006.
Pp. 52-53
9. **OSORIO, Francisco., TORRES, Juan., SANCHEZ, Mercedes.,** Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes patógenos. 2. ed. Madrid-España. Díaz de Santos. 2010. Pp. 22, 24, 30.
10. **RAMALHO, Rubbens.** Tratamiento de aguas residuales., Barcelona-España. Reverte. 1990. Pp. 637
11. **RIGOLA, Miguel.** Tratamiento de aguas industriales., Barcelona-España. Marcombo. 1990. pp. 26-36.
12. **WEBER, Walter.** Control de la calidad del agua., Barcelona-España. Reverte. 2003. Pp. 299

ANEXOS