

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN DE PRODUCTOS
DE UNA PLANTA CERVECERA**

Realizado:

Rosinic Concepción López Cova

Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial
para optar al título de:

INGENIERO QUÍMICO

Puerto La Cruz, junio de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN DE PRODUCTOS
DE UNA PLANTA CERVECERA**

ASESORES

Ing. Quím. Alexis Cova., M.Sc
Asesor académico

Ing. Quím. Beatriz Yegres
Asesora industrial

Puerto La Cruz, junio de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN DE PRODUCTOS
DE UNA PLANTA CERVECERA**

JURADO

Ing. Quím. Alexis Cova., M.Sc
Asesor académico

Ing. Quím. Lucas Alvarez, PhD
Jurado principal

Ing. Quím. Milena Amundaraín, M.Sc
Jurado principal

Puerto La Cruz, junio de 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo con el reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente en su artículo 41 establece “Los trabajos de grado son propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

A mis padres Rosa y Hugo, por ser pilares fundamentales en mi vida; sin ustedes este logro no se hubiera hecho realidad. Los amo.

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso, por estar siempre conmigo y ser guía incondicional en mi camino y llenarme de fortaleza cuando más lo necesitaba.

A mis papás, Rosa y Hugo, seres incondicionales en mi vida; a ustedes todo y sin ustedes nada. Ejemplos a seguir y fieles acompañantes en mi vida. Gracias por su orientación, consejos, comprensión. Gracias a ustedes soy la mujer que hoy en día soy. Este logro también es de ustedes. Los amo.

A un ser que por cosas de la vida me tuvo que abandonar pero que con el tiempo que estuvo conmigo me enseñó que en la vida hay que tener mucha fortaleza y sobre todo fe para lograr lo que se quiere. Abuelo (Timoteo) estés donde estés, siempre te amaré.

A mi padrino Pablo López, gracias por sus consejos y orientación. Eres gran ejemplo a seguir.

A mi tía Damelis, apoyo incondicional en toda mi vida, sobre todo en mi formación como estudiante. Tus consejos, apoyo y comprensión nunca me faltaron. Gracias, mil gracias mi Angelita (mi segunda mamá).

A mi tía Dionisia, por extenderme la mano y acogerme en su casa en gran parte de mis estudios, gracias por tus consejos, ayuda y tolerancia.

A mis tías (Eulides, Yudith, Yaritza, Mary, Agueda, Eugenia (negra), Leonides e Ismaira), por su apoyo, ayuda, compañía y orientación, tanto en mi vida profesional como personal. A ustedes mil gracias.

A mis primos y primas, en especial a: Ramona, Eugenia (geña), María E, Isismar, Carmelis, Grelitza, Yárfé, Josmary, Fabián, Ángel David, Eulibeth, Paola, Pablo, Carlos Luis, Nicolle, Carlos Manuel, quienes me brindaron su apoyo y su alegría en los momentos más tristes de mi carrera.

A mi primo Luis Centeno y su esposa Andris, por aceptarme en su casa al inicio de mis estudios, por extenderme su mano y darme sus consejos en todo momento.

A mi primo Félix Bejarano, a ti muchas gracias, por llenarme de alegría en muchos momentos y por tu gran ayuda en la recta final de mis estudios.

A mis tíos por estar siempre allí llenándome de fortaleza y alegría. Gracias.

A Armira Rodríguez, por extenderme la mano y brindarme sus consejos cuando más lo necesité.

A Gerardo Roa, ser que compartió conmigo parte de mi vida y a quien le debo muchas cosas; gracias a ti por estar siempre ahí cuando te necesité.

A mis compañeros (Marycarmen, Zulmarys, Anita, Nelcarlys, Carlos Malavé, Daneva, Mariángel, Eucarina, Kardelys, Christian, Anmaris, Yolimar, Julio, Luis Salazar, Sairen, María G, David); en especial a Natalia por ser la amiga que en todo momento estuvo allí cuando más lo necesité. Por brindarme su apoyo y sus consejos. A ti y tu familia, amiga ,mil gracias.

A mis asesores Alexis Cova y Beatriz Yegres, por los momentos que me dedicaron, me enseñaron y corrigieron cuando era necesario para llevar a cabo este trabajo. Gracias.

A Giovanni López, Arquímedes Rojas, José Luis Barrios, Ronal Salazar, Carlos Moya, Pedro Farfán, Yohan, Carlos Blanco, Efrén, Tomás, Erasmo, por brindarme su ayuda, conocimientos y apoyo cuando era necesario. Gracias compañeros. A todo el personal de Cervecería Polar, y en especial al Sr Tamas Pesti, por brindarme su apoyo y colaboración durante mi estadía en la Planta.

A la Universidad de Oriente, lugar donde cursé mis estudios y me brindó la oportunidad de ser una profesional.

RESUMEN

En Cervecería Polar C.A. Planta Oriente, se ha registrado últimamente presencia de microorganismos en el agua con que son tratados los productos durante el proceso de pasteurización. Esto trae como consecuencia contaminación de la superficie externa de los envases a la salida de los pasteurizadores, afectando así el índice único de calidad de la planta, en el cual el 40% está representado por el índice de calidad del proceso de envasado; incluyendo en éste la microbiología en los pasteurizadores. Para cumplir con este objetivo, se realizó un estudio detallado de todo el sistema de pasteurización, donde se conoció que el agua utilizada en esos equipos, es un agua tratada con productos químicos a base de bromo cloro y fosfato que inhiben el crecimiento microbiano y la corrosión del sistema respectivamente, y aún así el agua tiene un significativo grado de corrosión, encontrándose un Índice de Langelier promedio de -1,60. Se realizó una prueba, que consistió en la dosificación de otros productos químicos para la inhibición de la flora microbiana en el agua de uno de los pasteurizadores, utilizando concentraciones bastante bajas con respecto a la usada en los demás equipos, y agua de recirculación y no filtrada para la dosificación del producto. Se realizaron análisis microbiológicos, en los cuales se registró 1 unidad formadora de colonia por envase muestreado (1ufc/envase) una sola vez, debido a la baja concentración de cloro registrada en el agua del pasteurizador al momento del muestreo. Se realizó un estudio económico, el cual arrojó un costo inferior al tratamiento usado actualmente. En los recorridos por el área se detectaron fallas en los equipos como: deficiente operabilidad de las bombas de los tanques recibidores, falta de flotadores en los tanques de los pasteurizadores, los cuales influyen en el índice de consumo de agua filtrada del área de envasado, encontrándose en 1,59 l/l durante el año operativo 2008-2009, aún cuando el consumo promedio debería ser 1,20 l/l. Además se observó fallas en el funcionamiento del sistema de control de unidades de pasteurización (UP's), conllevando a subpasteurización y sobrepasteurización de los productos.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN.....	viii
CONTENIDO	ix
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 OBJETIVOS	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
CAPÍTULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1 ANTECEDENTES.....	5
2.2 CONCEPTOS BÁSICOS	6
2.2.1 Cerveza.....	6
2.2.2 Malta	6
2.3 MATERIAS PRIMAS	7
2.3.1 Cebada malteada	8
2.3.2 Hojuelas de maíz.....	9
2.3.3 Agua.....	9
2.3.4 Lúpulo	10
2.3.5 Levadura.....	11
2.4 ELABORACIÓN.....	11
2.4.1 Elaboración I.....	11
2.4.1.1 Recepción de cebada malteada y adjuntos cerveceros (hojuelas de maíz).....	12

2.4.1.2 Molienda	13
2.4.1.3 Mezcla y maceración.....	14
2.4.1.4 Filtración	14
2.4.1.5 Ebullición	14
2.4.2. Elaboración II.....	15
2.4.2.1 Fermentación y maduración.....	16
2.4.2.2 Filtración de la Cerveza	16
2.4.2.3 Tanques de Gobierno	17
2.5 ENVASADO.....	17
2.5.1 Recepción de vacío	18
2.5.2 Despaletizadora.....	18
2.5.3 Desembaladora.....	18
2.5.4 Lavadora de botellas	18
2.5.5 Inspector de botellas vacías.....	19
2.5.6 Llenadora - taponadora	19
2.5.7 Inspector de botella llenas.....	20
2.5.8 Pasteurizadora	20
2.5.9 Embaladora	20
2.5.10 Paletizadora.....	20
2.6 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS BLANCAS (PTAB).....	22
2.6.1 Sistema de clarificación	22
2.6.2 Sistema de filtración.....	23
2.6.3 Sistema de agua de proceso.....	23
2.6.4 Sistema de agua suave.....	24
2.6.5 Sistema de alimentación de calderas.....	25
2.6.6 Sistema de agua recuperada	25
2.6.7 Sistema de agua caliente	26
2.7 PASTEURIZACIÓN.....	26
2.7.1 Unidades de pasteurización (up's)	27

2.7.2 Medidor de unidades de pasteurización (comúnmente denominado viajero)	28
2.7.3 Limpieza 0 km	28
2.8 CALIDAD DEL AGUA RECUPERADA.....	29
2.9 TIPOS DE ANÁLISIS QUE SE REALIZAN AL AGUA RECUPERADA Y ENVASES A LA SALIDA DE LOS PASTEURIZADORES	29
2.9.1 Análisis microbiológicos.....	30
2.14.2 Análisis fisicoquímicos	31
2.10 PRODUCTOS QUÍMICOS SUMINISTRADOS AL AGUA DE LOS PASTEURIZADORES PARA EL CONTROL MICROBIOLÓGICO.....	35
2.10.1 Bromo cloro (Aquacid) (inhibidor de microorganismos)	35
2.10.2 Fosfato (WCS-7611P) (inhibidor de corrosión).....	35
2.11 CORROSIVIDAD DEL AGUA TRATADA	36
2.11.1 Índice de estabilidad.....	36
2.11.2 Índice de langelier	36
2.12 DETERMINACIÓN DE LA TASA DE CORROSIÓN POR MEDIO DE CUPONERAS.....	38
2.13 ÍNDICE DE CONSUMO DE AGUA FILTRADA EN EL TANQUE 2 (REPOSICIÓN)	39
2.14 ÍNDICE DE COSTO.....	39
2.15 TORRES DE ENFRIAMIENTO	39
2.15.1 Balance de materia y energía en una torre de enfriamiento	40
2.15.2 Evaporación en una torre de enfriamiento	43
 CAPÍTULO III DESARROLLO DEL PROYECTO.....	 44
3.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN EN EL ÁREA DE ENVASADO.....	45
3.1.1 Partes del pasteurizador.....	46

3.1.2 Descripción de los aspectos básicos del funcionamiento de los pasteurizadores.....	47
3.1.2.1 Principios de operación.....	47
3.1.3 Zonas regenerativas.....	50
3.1.4 Control de temperatura.....	50
3.1.5 Control de nivel de agua	51
3.1.6 Reboses	51
3.1.7 Válvulas del tanque de compensación	51
3.1.8 Bombas centrífugas.....	52
3.1.9 Inyección de agua fresca	52
3.1.10 Inyección de agua caliente	53
3.1.11 Intercambiadores de calor	53
3.1.12 Movimiento de la cama transportadora.....	53
3.1.13 Paradas de las camas del pasteurizador.....	54
3.1.14 Situación actual del sistema de pasteurización	54
3.1.15 Sistema de agua recuperada	56
3.1.16 Balance de masa y energía en el sistema de agua recuperada.....	58
3.1.16.1 Consumo de agua de los pasteurizadores.....	58
3.1.17. Porcentaje de recuperación de agua de pasteurizadores	69
3.1.18 Índice de reposición	70
3.2 REVISIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL Y CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LOS PASTEURIZADORES	70
3.2.1 Productos dosificados al agua para el control microbiológico de los envases a la salida de los pasteurizadores y corrosión del sistema	71
3.2.2 Control de las unidades de pasteurización (UP's).....	74
3.2.3 Calidad del agua recuperada (agua de pasteurizadores)	74
3.2.4 Análisis microbiológicos de los envases a la salida de los pasteurizadores.....	83

3.3 ANÁLISIS DE TRATAMIENTOS ALTERNOS A LOS USADOS ACTUALMENTE.....	85
3.3.1 Dosificación de productos químicos al agua del pasteurizador 7	85
3.3.2 Determinación de la tasa de corrosión del agua tratada en el sistema	87
3.3.3 Comparaciones cualitativas del producto usado actualmente y del tratamiento evaluado	89
3.3.4 Comparaciones cuantitativas del producto usado actualmente y del tratamiento evaluado	89
3.3.4.1 Índice de costo	90
3.4 CREACIÓN DE PROPUESTAS QUE GARANTICEN MEJORAS DE CALIDAD DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN	90
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
4.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN EN EL ÁREA DE ENVASADO.....	92
4.1.1 Balance de masa y energía en el sistema de agua recuperada.....	92
4.2 REVISIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CONTROL Y CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE LOS PASTEURIZADORES	95
4.2.1 Productos dosificados al agua para el control microbiológico de los envases a la salida de los pasteurizadores y corrosión del sistema	95
4.2.2 Control de las unidades de pasteurización (UP's).....	101
4.2.3 Parámetros de control de calidad del agua recuperada (agua de pasteurizadores)	102
4.2.3.1 Análisis Físicoquímicos	102
4.2.3.2 Análisis microbiológicos.....	112
4.2.4 Análisis microbiológicos de la superficie externa de los envases a la salida de los pasteurizadores	113

4.3 ANÁLISIS DE TRATAMIENTOS ALTERNOS A LOS USADOS ACTUALMENTE.....	116
4.4 CREACIÓN DE PROPUESTAS QUE GARANTICEN MEJORAS DE CALIDAD DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN	124
4.4.1 Dotación de equipos.....	124
4.4.2 Falta de supervisión	124
4.4.3 Procesos no adaptados	125
4.4.4 Realizar prueba de dosificación de anticorrosivo con otras casas proveedoras de productos químicos.....	126
4.4.5 Garantizar limpieza 0 Km a las doce semanas de operación	126
4.5 CONCLUSIONES	128
4.6 RECOMENDACIONES.....	129
BIBLIOGRAFÍA	131
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:.....	134

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis fisicoquímicos de control de calidad del agua recuperada (agua de pasteurizadores). [7-9]	31
Tabla 2. Clasificación del agua según su dureza [7].....	33
Tabla 3.1. Pasos para control de UP's [10].....	49
Tabla 3.1.1 Capacidades de los pasteurizadores [10]	59
Tabla 3.2.1.Datos de la muestra de agua recuperada para la fecha de (24/11/2009).....	73
Tabla 3.3.1. Datos de los productos ensayados.....	85
Tabla 3.3.2. Datos del cupón de corrosión instalado en el pasteurizador 7 (Acero inoxidable).	87
Tabla 3.3.3. Pesos específicos de cupones.....	88
Tabla 3.3.4. Comparaciones cualitativas.....	89
Tabla 4.3. Velocidades de corrosión.	121
Tabla 4.4. Resultados microbiológicos de la superficie externa de los envases para el mes de enero 2010.....	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama general del área de envasado.[9].....	21
Figura 2.2. Esquema de torre de enfriamiento.	41
Figura 3.1 Pasteurizador Barry Wehmler [10].....	44
Figura 3.2. Diagrama general del sistema de un pasteurizador.....	45
Figura 3.3 Sistema de agua recuperada [9].	55
Figura 3.4 Diagrama de corrientes de entrada y salida de agua al sistema de pasteurización.....	57
Figura 3.5 Diagrama de bloque del sistema de agua recuperada.	60
Figura 3.6 Corrientes de entrada y salida de agua de los pasteurizadores.	61
Figura 3.7 Corrientes de entrada y salida de agua de las torres de enfriamiento.....	64
Figura 3.8. Aspectos que afectan al sistema de agua recuperada.....	91
Figura 4.1. Reposición de agua filtrada para agua recuperada y porcentaje de recuperación.	93
Figura 4.2 Influencia de la producción (l) sobre el índice de reposición (l/l).....	94
Figura 4.3 Concentraciones de cloro libre en los pasteurizadores 1 y 4, y en agua recuperada.	96
Figura 4.4 Concentraciones de cloro libre en los pasteurizadores 6 y 7, y en agua recuperada.	97
Figura 4.5 Concentraciones de cloro libre en los pasteurizadores 8, 9 y 10, y en agua recuperada.	98
Figura 4.6 Variación de fosfato vs. Hierro total en al agua recuperada.....	99
Figura 4.7 Fosfato en agua recuperada (Ecolab).....	100
Figura 4.8 Resultados de alcalinidad en el agua recuperada.....	102
Figura 4.9 Resultados de cloro libre en el agua recuperada.....	103
Figura 4.10 Resultados de conductividad en el agua recuperada.....	105
Figura 4.11 Resultados de dureza total en el agua recuperada.	106
Figura 4.12 Resultados de fosfato en el agua recuperada.	107

Figura 4.13 Resultados de hierro total en el agua recuperada.....	109
Figura 4.14 Resultados de pH en el agua recuperada.	110
4.15 pH fuera de norma en agua recuperada (día 07/01/2010).	111
Figura 4.16 Resultados de turbidez en el agua recuperada.	112
Figura 4.17 Resultados microbiológicos en la superficie externa de los envases (cerveza).....	114
Figura 4.18 Resultados microbiológicos en la superficie externa de los envases (malta).	115
Figura 4.19 Concentraciones de cloro libre en el agua recuperada y pasteurizadores durante la presencia de microorganismos.	116
Figura 4.20 Concentraciones de cloro libre en el tanque 1 del pasteurizador 7.....	117
Figura 4.21 Resultados de pH en el agua recuperada por parte de Nalco.....	118
Figura 4.22 Resultados de cloro libre en el agua recuperada por parte de Nalco.	119
Figura 4.23 Resultados microbiológicos de la superficie externa de los envases a la salida del pasteurizador 7.	120
Figura 4.24 Índice de costo de los productos evaluados en el pasteurizador 7 vs. producción.	122
Figura 4.25 Índice de costo del producto usado en el pasteurizador 9 vs. producción.	123

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Cervecería Polar C.A. Planta Oriente se fundó el 15 de septiembre de 1948, en Barcelona y comenzó sus operaciones el 23 de noviembre del mismo año. El 28 de marzo de 1.950 se iniciaron las actividades de producción, siendo su capacidad inicial de 250.000 litros mensuales de cerveza y su primera dotación de personal de 57 trabajadores. Para entonces, se contaba solamente con una línea de envasado. Con estos recursos comenzó a producir cerveza tipo pilsen en envases de botellón y un tercio. En sus comienzos Cervecería Polar Planta Oriente C.A. producía y distribuía sus productos, y su despacho inaugural de cerveza se destinó a la Isla de Margarita. Desde su misma fundación, la empresa aceleró su desarrollo que se intensificó cuando la demanda comenzó a agotar toda su producción. Así fue aumentando progresivamente su producción, a la vez que se incrementó el número de trenes de envasado.

Actualmente la cervecería tiene una capacidad instalada de 60 millones de litros mensuales entre cerveza y malta; cuenta con siete trenes de producción y produce un promedio de 30 millones de litros mensuales entre ambos productos, pudiendo variar según la demanda de los productos.

Cervecería Polar se ha impuesto la más estricta gestión de proceso de aseguramiento de la calidad y así mantenerse completamente a la vanguardia tecnológica del proceso cervecero. Para ello, cuenta con un avanzado laboratorio de calidad, en el cual se realizan análisis a las muestras de productos, subproductos y envases de la planta, y de esa manera garantizar su calidad. Aunado a esto, Polar cuenta en la actualidad con una planta embotelladora de refrescos la cual genera un aumento de su capacidad productiva, posicionándola como una de las principales plantas cerveceras del país y de Latinoamérica, en lo que respecta a producción y tecnología.

Los productos elaborados por Cervecería Polar de Oriente C.A, llegan a los estados Nueva Esparta, Sucre, Anzoátegui, Monagas, Bolívar, Amazonas, Delta Amacuro y parte de los estados Miranda y Guárico.

1.1 Planteamiento del problema

En Cervecería Polar, tal como en otras cervecerías grandes, el control de calidad de envasado nace de la necesidad de verificar el mantenimiento de la calidad de sus productos. No es posible mejorar la cerveza y la malta durante el envasado; a lo sumo se logra mantenerla tal como está almacenada en las cavas. Al envasar esos productos en botellas o en latas, se manipula a través de una serie de procesos que pueden afectar su calidad, por lo que se requiere de una unidad independiente que certifique la calidad de la cerveza y la malta envasada. El control no puede quedarse en el hecho de comprobar o verificar la calidad de lo ya envasado, sino de prevenirla o dominarla.

De acuerdo a las exigencias de la empresa, el departamento de envasado mantiene una actitud de alerta constante ante cualquier eventualidad que pueda afectar la calidad de sus productos. Se toman decisiones al momento, ya que las fallas tienen muy poca oportunidad de ser corregidas y normalmente implican un costo adicional. Para ser verdaderamente productivos, se debe mantener la calidad, de lo contrario, ello generaría una mala imagen, lo cual redundaría en un menor consumo y a una menor producción.

Con el objetivo de garantizar la estabilidad organoléptica prolongada de los productos, estos se someten a un proceso de pasteurización, cuya eficiencia depende principalmente de la calidad del agua y la temperatura. En Cervecería Polar Planta Oriente C.A., el agua utilizada en los pasteurizadores es extraída del río Neverí y sometida a diferentes procesos para su uso, los cuales son realizados por la Planta de Tratamientos de Aguas Blancas (PTAB) de la empresa. Además de esos tratamientos al agua, se le dosifican productos químicos, uno de ellos es a base de fosfato, que

tiene como función controlar la corrosión en tuberías y equipos. Otros son cloro gas que actúa como desinfectante del agua y bromo-cloro, el cual es un agente oxidante que, en bajas concentraciones, posee una alta eficacia microbiológica en contra de las bacterias comunes en el agua; a su vez garantiza el buen funcionamiento y mejor calidad de operación.

Con la finalidad de garantizar la ausencia de bacterias contaminantes en la superficie externa de los envases (botellas y latas), se realizan análisis microbiológicos de los mismos a la salida de los pasteurizadores para asegurar que los productos estén libres de microorganismos y evitar que el consumidor llegue a estar en contacto con aquellas bacterias que puedan quedar adheridas a dicha superficie.

La dosificación de los productos químicos al agua, el control de la temperatura, la calidad del aire y el mantenimiento de los pasteurizadores, contribuyen a su buen funcionamiento y garantizan la calidad microbiológica del envase. Sin embargo, en los primeros meses (octubre, noviembre y diciembre) del año operativo 2008-2009 se han presentado problemas de microbiología en esos equipos, encontrándose presencia de microorganismos, aún cuando no debe registrarse ningún tipo de contaminación; lo que trajo como consecuencia disminución del índice de calidad del área de envasado. Aunado a esto, se han visto en la necesidad de adelantar las limpiezas OKm de los equipos; siendo ésta una limpieza detallada y profunda de todas las partes que componen el pasteurizador con la finalidad de remover cualquier acumulación de sucio y vidrio, que impidan el buen funcionamiento del equipo o altere la estabilidad microbiológica del agua pudiendo afectar el proceso de; estando establecido que dicha limpieza se debe realizar cada doce semanas. Es por ello que se hace necesario estudiar los factores anteriormente nombrados para determinar cuáles son los causantes del problema. Por consiguiente, se planteó la evaluación del sistema de pasteurización, con la finalidad de eliminar en su totalidad el efecto microbiológico de la superficie de los envases; mediante un levantamiento de la situación de los equipos, la revisión de los parámetros de control y calidad

microbiológica, y el análisis de tratamientos alternos a los usados actualmente, para finalmente crear propuestas que garanticen mejoras en la calidad del proceso.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el sistema de pasteurización de productos de Cervecería Polar C.A. Planta Oriente.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Describir el funcionamiento y situación actual del sistema de pasteurización en el área de envasado.
2. Revisar los parámetros de control y calidad microbiológica de los pasteurizadores.
3. Analizar tratamientos alternos a los usados actualmente.
4. Crear propuestas que garanticen mejoras de calidad del proceso de pasteurización.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Antecedentes

En el año 2008, Montenegro [1] desarrolló e implementó un proceso de pasteurización en la elaboración de bebidas, donde determinó los beneficios que presentó el proceso en cuanto a la calidad, económicamente. Durante el desarrollo propuso un producto terminado con mejores características, tanto para su manejo por parte de la organización como para el consumo por parte del cliente. Concluyó que, de los diferentes tipos de pasteurización el más eficiente para el tipo de bebida a pasteurizar es el tratamiento térmico a alta temperatura y corto tiempo (HTST).

En el año 2007, Zambrano y colaboradores [2] realizaron un estudio para determinar la efectividad del control químico y microbiológico del agua del equipo de pasteurización de una planta cervecera. Para ello evaluaron las condiciones físicas del equipo haciendo una inspección visual de cada una de sus partes, el índice de estabilidad del agua mediante análisis fisicoquímicos, el período de activación de un biocida oxidante y la velocidad de corrosión mediante instalaciones de cuponerías. En vista de los resultados, concluyeron que los tratamientos químicos son efectivos cuando el equipo está en operación y la velocidad de corrosión se acelera con altas temperaturas.

En el año 2006, Cerna [3] determinó el efecto combinado del tiempo y la temperatura durante el proceso de pasteurización sobre el color, aroma y sabor del producto, utilizando análisis sensoriales. Por medio del análisis evaluó el efecto de 5, 10, 15 y 25 unidades de pasteurización (UP's) en muestras de cervezas sin pasteurizar, obtenidas de la línea de producción de la cervecería. Asimismo modificó la temperatura externa en la zona de retención, manteniendo 5 UP's a temperaturas de 60, 70 y 75 °C, y demostró que al aumentar la temperatura y disminuir el tiempo de

pasteurización no son afectadas las características sensoriales del producto, estudiadas respecto a un proceso tradicional de 60 °C.

El presente proyecto tiene como finalidad la evaluación del sistema de pasteurización de productos de Cervecería Polar Planta Oriente C.A, puesto que en los primeros meses del año operativo 2008-2009 se encontró presencia de microorganismos en los envases a la salida de los pasteurizadores.

2.2 Conceptos básicos

2.2.1 Cerveza

La cerveza es una mezcla compleja, donde han sido caracterizados más de 400 componentes distintos. Algunos de los constituyentes de la cerveza son derivados de las materias primas y permanecen sin cambiar durante el proceso de fabricación. Otros son el resultado de transformaciones químicas y bioquímicas de las materias primas durante la elaboración. En conjunto, todos esos constituyentes crean el carácter de la cerveza; pero en general, diferentes cervezas contienen proporciones distintas de los mismos componentes, más que constituyentes nuevos. No obstante, contaminación accidental o deliberada de la cerveza con microorganismos, aparte de la levadura, bien podría producir nuevos metabolitos [11].

2.2.2 Malta

Es un producto natural, refrescante, sin alcohol, que resulta de la maceración y cocción de una mezcla conformada por agua potable, cebada malteada y lúpulo. Parte del proceso de elaboración incluye azúcar refinada y caramelizada la cual, junto al gas carbónico, convierten a la malta en una bebida agradable y nutritiva. La malta contiene vitaminas como la tiamina, la riboflavina, la niacina y la piridoxina. Es una

excelente fuente de carbohidratos, entre los que se cuentan la maltosa y la glucosa. Tiene un alto contenido de minerales como el potasio y el magnesio.[11]

Gracias a su proceso tecnológico y método de conservación de la malta, no requiere preservativos. Al ser su materia prima de origen vegetal no requiere saborizantes ni otros aditivos.

Características

- No tiene alcohol
- Carácter aromático a malta.
- Dulzor balanceado
- El CO₂ y elimina la sensación de empalagoso.
- Carácter efervescente y refrescante.
- Color oscuro debido al caramelo.

2.3 Materias primas

Según la Ley de Pureza Alemana de 1516, la cerveza se elabora únicamente con malta, lúpulo, agua y levadura. Con la industrialización, una serie de países incorporaron las hojuelas de cereales, como el maíz y obtuvieron una bebida más refrescante y suave capaz de adaptarse a las exigencias climáticas de cada región.

[11]

En sus inicios Polar fabricó cerveza muy similar a las europeas, específicamente a la Alemana, es decir, con 100% de cebada malteada; pero el consumidor sentía la sensación de llenura que no le provocaba seguir tomando cerveza. En 1942 con la llegada de Carlos Roubicek a la empresa, se decidió reemplazar entre un 15 y un 25 % el uso de malta por el de hojuelas de maíz.

Cada uno de los ingredientes que se utilizan en la fabricación de cerveza y malta, Polar contribuye de manera particular a la obtención de los productos con cualidades muy estimadas. Las materias primas son:

2.3.1 Cebada malteada

La cebada malteada, es la materia prima por excelencia utilizada para la elaboración de la cerveza.

La cebada, tal y como se cosecha, no es apta para la producción cervecera; debe ser sometida a un proceso de transformación conocido como malteo, el cual se realiza en tres etapas:

Remojo: la cebada ya limpia y clasificada es sumergida en agua hasta alcanzar un nivel de humedad apropiado para poder germinar, proceso que se cumple en dos días.

Germinación: este proceso es considerado el más importante del malteo, pues la cebada comienza a germinar, desarrollando y activando así las enzimas necesarias para el proceso de elaboración bajo condiciones controladas durante 5 a 9 días.

Tostado: se realiza con aire caliente que detiene la actividad enzimática. En esta etapa se genera el color y el aroma.

Dos son los tipos de cebada de malteo que se utilizan mayormente: hexística de seis (6) hileras y Dística de dos (2) hileras. En general, entre el 75% y el 80% del total de cebada malteada usada por cervecerías es hexística. [11]. La cebada se produce en países fríos. Existen vastos cultivos de este cereal en Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, Alemania, España, Francia, Checoslovaquia y Bélgica. Previo al despacho de la malta adquirida en el exterior, Cervecería Polar inicia el control de calidad de la materia prima. Una muestra preliminar es recibida en el laboratorio de calidad de la facultad de la Universidad Técnica de Berlín y por el Laboratorio Corporativo del Centro Tecnológico Polar, que realiza un detenido análisis de la pureza, de la variedad, extractos, aminoácidos y poder enzimático. De acuerdo con

los resultados de laboratorio se determina su aceptación en el despacho. Luego de comprobada que la malta presenta las excelentes condiciones con la que fue comprada, parte del país de origen.

2.3.2 Hojuelas de maíz

La cebada malteada no es la única fuente de almidones que se utiliza en el proceso productivo. De 15 a 25 % es sustituida por hojuelas de maíz pregelatinizadas. Mediante su uso se logra impartirle a la cerveza un toque de frescura y cuerpo balanceado, sabor ideal para las condiciones del clima tropical que ha sido aceptado y complace a los consumidores. [11]

Se utiliza maíz selecto que se somete a un complejo proceso de refinación. Se elimina la concha y el germen a objeto de descartar la grasa. En el endospermo se encuentra la fécula necesaria para la elaboración de la bebida.

La cerveza elaborada con 100% cebada malteada posee mucho cuerpo, característica que no se ajusta a las condiciones climáticas de Venezuela, donde se requiere una cerveza más refrescante.

Con la incorporación de las hojuelas de maíz, se logra una cerveza de sabor menos saciador, más vigorizante, de un color más claro, con mayor luminosidad, mejor estabilidad física y organoléptica, y superiores cualidades de aceptación de enfriamiento.

2.3.3 Agua

La pureza biológica del agua y su composición química garantizan la calidad de la cerveza. En cada cervecería los laboratorios de control de calidad, analizan permanentemente las características del líquido que se utilizará en la elaboración. [11]

El agua para elaborar cerveza debe cumplir con requerimientos muy especiales que van más allá de los que normalmente se exigen del agua potable normal. Debe ser totalmente inodora, insípida e incolora. No debe contener cloro, ni iones metálicos como por ejemplo el hierro y el magnesio. Estar en condiciones biológicas óptimas, es decir, libre de bacterias y de sustancias tóxicas como plomo y pesticidas.

A fin de alcanzar estas condiciones se hace necesario tomar considerables medidas técnicas. Para purificar el agua se realizan filtraciones a través de filtros de arena, carbón activo e intercambio iónico. Para eliminar el hierro y el magnesio se realiza una oxidación y las partículas restantes se eliminan por filtración.

2.3.4 Lúpulo

La planta de Lúpulo es trepadora; responsable del sabor que caracteriza a la cerveza. Es interesante saber que sólo se siembra el lúpulo hembra del cual nace un cono de flor sin semilla, considerada como el "Oro verde del cultivador y el cervecero".[11]

Se cultiva en Alemania, Estados Unidos, China, la República Checa e Inglaterra. Al igual que con la cebada, las condiciones climáticas tropicales no han permitido hasta los momentos, obtener cultivos productivos de una planta tan delicada como la del lúpulo.

El cono de la flor contiene una noble sustancia amarga, la lupulina y los aceites volátiles aromáticos que le dan aroma y amargor a la bebida, y que se reconoce muy rápidamente. El lúpulo le proporciona al mosto cervecero y a la cerveza propiedades bacteriostáticas.

Esa materia prima es procesada en forma de pellets (pequeños taquitos compactos en forma de cilindro) y de extracto. En Polar se usa en forma de extracto que permite contar con un producto limpio, sin oxidaciones, homogéneo y de fácil dosificación. Sólo con un buen lúpulo resulta una buena cerveza.

2.3.5 Levadura

Etimológicamente, la palabra levadura es una derivación de la palabra levar que significa levantar. Hacia el año 1830, se declaró a la levadura un ser vivo, responsable de la fermentación y gracias al microscopio se determinó que es un microorganismo perteneciente al reino vegetal y de estructura unicelular. Un científico alemán describió la morfología de la levadura y la nombró Zuckerpilz u hongo del azúcar, de donde se deriva su nombre en latín *Saccharomyces*. Existen más de 500 especies de levadura, agrupadas en 50 géneros, de los cuales el más importante es denominado *Saccharomyces*, donde se incluye el *Saccharomyces cerevisiae* o Levadura de Cerveza, con numerosas variedades. [11]

La selección de una buena levadura se lleva a cabo considerando sus buenas cualidades, tanto de sabor como de reproductividad, pues debe ser genéticamente estable, reutilizable en dos o cinco procesos, y permitir una fermentación considerablemente rápida que facilite la obtención del grado alcohólico y perfil de aromas deseado. Su buen cuidado y manejo, por parte de los maestros cerveceros, es esencial para la calidad de Cerveza Polar.

2.4 Elaboración

El área de elaboración está conformada por dos secciones, identificadas como Elaboración I y Elaboración II.

2.4.1 Elaboración I

La principal labor del área de Elaboración I es la producción eficiente del mosto, de formulación y calidad adecuada. La composición del mosto (producto de la maceración de la cebada malteada) determina las propiedades de la cerveza lista para el consumo [9]. La elaboración de la cerveza y malta comienza con la trituración de

la cebada malteada. Seguidamente se mezcla la malta molida, con agua especialmente tratada, en la paila de maceración, formando una suspensión espesa. Bajo constante agitación y a temperatura entre 50 y 75 °C, las proteínas de la cebada malteada son convertidas en aminoácidos. El almidón de la cebada malteada es transformado en azúcares fermentables. Además se extraen las vitaminas y minerales provenientes de la cebada malteada. Seguidamente se bombea la mezcla hacia la cuba de filtración, a fin de separar el líquido denominado mosto de la fracción insoluble conocida como afrecho.

El afrecho, subproducto rico en proteínas y fibras, tiene aplicación industrial como valioso aditivo para la fabricación de alimentos para animales. El mosto obtenido es transferido a una paila donde es hervido durante hora y media, aproximadamente.

La cocción del mosto tiene las siguientes finalidades:

Inactivar las enzimas de la malta una vez cumplidas sus funciones.

Evaporar una parte del agua para llevar el mosto a la concentración requerida.

Esterilizar el mosto.

Después de la cocción del mosto, éste es bombeado a los rotapools con la finalidad de separar los sedimentos formados durante la cocción (Trub). Luego de 40 minutos de reposo se extrae el mosto del rotapool dosificándosele el azúcar caramelizado. Entonces se procede a enfriar el mosto a una temperatura entre 0 y 1 grado Celsius por medio de enfriadores especiales.

A continuación se describe cada una de las actividades desarrolladas en Elaboración I.

2.4.1.1 Recepción de cebada malteada y adjuntos cerveceros (hojuelas de maíz)

La cebada malteada, proviene de países como Estados Unidos, Alemania, Inglaterra y Francia, entre otros. Es transportada hasta Venezuela en barcos que arriban al puerto de Guanta para abastecer a Cervecería Polar C.A. (Barcelona); luego

a Puerto Cabello para surtir a Cervecería Polar C.A. (San Joaquín) y Cervecería Polar, C.A. (Los Cortijos en Caracas) y por último, al Puerto de Maracaibo, para abastecer a Cervecería Polar, C.A. ubicada en esa ciudad.

Las hojuelas de maíz son materias primas nacionales suministradas por las plantas de la Unidad Estratégica de Negocios de Alimentos.

La cebada malteada y las hojuelas de maíz, antes de ser descargadas en la tolva de recepción, son analizadas en el Laboratorio de Aseguramiento de la Calidad para verificar las características cualitativas de cada una de ellas.

Cumplido el proceso de verificación de calidad, las materias primas son descargadas y enviadas a los silos mediante sistemas de transporte mecánico que incluyen equipos de pesado y limpieza que permiten eliminar las partículas extrañas que puedan contener. Estos equipos deben garantizar una transferencia razonablemente suave de la cebada malteada, para evitar la rotura de la cáscara.

2.4.1.2 Molienda

Para asegurar la formulación apropiada, debe pesarse la cebada malteada y las hojuelas de maíz.

La cebada malteada pasa por un molino donde los granos son triturados para facilitar la extracción de sus componentes solubles, lo que permite el trabajo de las enzimas sobre los almidones y proteínas para dar origen al mosto.

El molino está compuesto por una serie de rodillos que Trituran los granos de cebada malteada transformándola en harina y sémola. Adicionalmente posee un sistema de cedazos que apartan la cáscara, la cual se utiliza como material filtrante en el proceso de cocimiento.

2.4.1.3 Mezcla y maceración

Una vez triturada la cebada malteada se envía a la paila de pre mezcla donde se va a unir con las hojuelas de maíz y el agua previamente tratada.

En esta etapa, los ingredientes permanecen el tiempo necesario para formar una mezcla totalmente homogénea antes de pasar a la maceración.

En la paila de maceración, la mezcla obtenida anteriormente permanece aproximadamente una hora y media en constante agitación a temperaturas que oscilan entre 55 y 78° C.

La maceración permite que las enzimas de la cebada malteada actúen sobre el almidón contenido en ella y en el de las hojuelas de maíz para generar los azúcares fermentables que se requerirán posteriormente, obteniéndose además, vitaminas y minerales provenientes de la cebada malteada.

2.4.1.4 Filtración

Finalizada la maceración, se bombea la mezcla hacia la cuba de filtración, a fin de separar el líquido llamado mosto, de la parte sólida e insoluble conocida como afrecho o nepe.

La cuba de filtración posee un falso fondo con rejillas que permiten retener toda la parte sólida, la cual se mueve con unos brazos giratorios para que el líquido pase a través de él. Este proceso tiene una duración aproximada de 3 horas.

El nepe que se extrae es un subproducto rico en proteínas y fibras que tiene aplicación industrial, como valioso aditivo en la fabricación de alimentos para animales.

2.4.1.5 Ebullición

El mosto cervecero obtenido en la filtración, rico en azúcares, aminoácidos, vitaminas y minerales, es transferido a la paila de cocción donde es llevado a punto

de ebullición para luego adicionarle el extracto de lúpulo, que impartirá el sabor amargo y aroma característico a la cerveza.

Durante ese proceso, que dura aproximadamente una hora y media, se logra inactivar a las enzimas de la cebada malteada una vez cumplidas sus funciones, y evaporar el exceso de agua para lograr un mosto con la concentración requerida.

Además, durante la ebullición, a través de reacciones entre azúcares y proteínas, se obtiene el color típico de la cerveza y se esteriliza el mosto para obtener un líquido puro y biológicamente estable. [11]

2.4.2. Elaboración II

En esa área se efectúa la fermentación, maduración, filtración, carbonatación, clarificación, corrección o normalización del extracto de la cerveza y la malta, y su almacenamiento en los “Tanques de Gobierno”. La maduración de la cerveza y malta se lleva a cabo en tanques cilindro cónicos (TCC) a temperatura de 0°C durante 4 a 8 días. Durante este período se sedimentan sólidos insolubles que son removidos antes de la filtración. Durante la fermentación, la levadura convierte los azúcares producidos en la maceración, en alcohol etílico y gas carbónico. El buen cuidado y manejo de la levadura es esencial para la uniformidad y altísima calidad de la cerveza Polar. En los filtros se clarifica la cerveza y la malta por medio de tierra infusoria, como lecho filtrante, eliminando partículas remanentes de proteínas, dando al producto su brillantez y estabilidad fisicoquímica. Durante la filtración se agrega el volumen necesario de gas carbónico. Este gas da frescura a la bebida, la hace apetecible y promueve la formación de la espuma. La normalización es un proceso mediante el cual se mezcla la cerveza hasta límites precisos de alcohol u otros valores característicos. La elaboración de cerveza de alto extracto original requiere, para mantener su consistencia, la mezcla con agua desaireada para la debida normalización. La calidad de agua que se usa es básica y debe estar libre de sabores objetables [9].

A continuación se describen cada una de las actividades desarrolladas en Elaboración II.

2.4.2.1 Fermentación y maduración

Una vez agregada la levadura al mosto, comienza el proceso más complejo de la elaboración de la cerveza: la fermentación, la cual en la Cervecería Polar de Oriente se lleva a cabo en gigantescos tanques cilindros cónicos de acero inoxidable, con capacidad de hasta 600.000 litros cada uno. Durante la fermentación, cuya duración normal es de 7 días, la levadura transforma los azúcares del mosto en alcohol etílico, gas carbónico y un gran número de compuestos aromáticos adicionales, proporcionándole el sabor característico a la cerveza. Una vez concluida la fermentación, se inicia el proceso de maduración y ya no se habla de mosto, sino de “cerveza joven o verde”. Este proceso es realizado a temperatura entre cero grados y un grado celsius bajo cero, durante dos semanas aproximadamente, lo cual favorece la precipitación de sólidos insolubles y la sedimentación de levadura aún en suspensión. Esta cerveza joven, se madura alcanzando un agradable aroma y sabor característico de una cerveza de óptima calidad.

2.4.2.2 Filtración de la Cerveza

Aunque durante el proceso de maduración se produzca una cierta clarificación natural, la cerveza no es todavía lo suficientemente brillante, por lo que requiere pasar por el proceso de filtración.

La filtración de la cerveza se realiza en tanques que poseen gran cantidad de pequeños cilindros o velas, donde se coloca tierra infusoria o tierra de diatomeas, constituida por microorganismos fósiles, cuyas características permiten realizar la filtración final de la cerveza, garantizando la calidad y brillantez del producto.

Durante la filtración de la cerveza, se agrega el volumen necesario de gas carbónico (CO₂), producido y recuperado durante la fermentación, proporcionándole frescura a la cerveza y la convierte en una bebida refrescante y apetecible además promueve la formación de espuma.

2.4.2.3 Tanques de Gobierno

Finalizada la filtración de la cerveza, ésta pasa directamente a los tanques de gobierno donde permanece fría hasta el momento del envasado.

Estos tanques reciben este nombre ya que en el trayecto entre los filtros y ellos, se encuentran medidores que registran los litros de cerveza producidos diariamente. Basado en estos registros, el Servicio Nacional Integrado de Administración Aduanera y Tributaria (SENIAT) determina los impuestos que Cervecería Polar C.A., debe cancelar al Fisco Nacional por concepto de producción de bebidas con contenido alcohólico.

2.5 Envasado

Un departamento de envasado bien organizado, con una eficiente distribución de la maquinaria, con personal entrenado y un programa de producción bien planeado, puede producir una calidad de envase tal que le permita a la cervecería percibir utilidades. De hecho, puesto que el envase tiene un uso intensivo de mano de obra y las compras para el envase representan uno de los principales rubros de los costos, el funcionamiento eficiente de ese departamento resulta vital para el buen éxito de una cervecera. [9]. El envasado de la cerveza se realiza en botellas, latas, botes, cubas o barriles, en los cuales son importantes dos parámetros: la hermeticidad y el movimiento de los envases.

A continuación se describen las principales etapas llevadas a cabo en el área de envasado.

2.5.1 Recepción de vacío

Los envases de botellas vacías apiladas en torres denominadas paletas, son traídos en gandolas desde los territorios comerciales o agencias, hasta el sitio de recepción para luego ser llevados por montacargas hasta la despaletizadora.

2.5.2 Despaletizadora

Las gaveras recibidas se separan de las paletas usando una máquina con brazos mecánicos conocida como despaletizadora. La despaletizadora se encarga de descargar, camada por camada, las gaveras contenidas en cada paleta y distribuir las en las vías transportadoras para su posterior traslado hacia la desembaladora de botellas. Las paletas vacías son llevadas hasta el arrumador de paletas para ser utilizadas posteriormente en la paletizadora.

2.5.3 Desembaladora

Esta máquina tiene como función retirar mediante un sistema neumático, las botellas vacías contenidas en cada gavera y colocarlas en la mesa transportadora que las trasladarán hasta la lavadora de botellas. Además, separa las gaveras vacías dirigiéndolas hacia las vías que las transportarán hasta la máquina lavadora de cajas.

2.5.4 Lavadora de botellas

En ese equipo los envases son lavados a temperaturas que oscilan entre 60° C y 80° C, con una solución entre 2,5% y 3% de soda cáustica y agua debidamente tratada.

A la entrada de la lavadora, las botellas son rociadas con agua a fin de eliminar desperdicios grandes y facilitar su posterior lavado. Finalizada esa etapa los envases son sumergidos en tanques con la solución indicada y se les inyecta soda cáustica

caliente. Luego se sumergen en tanques de agua fresca, con disminución progresiva de temperatura, para eliminar los residuos internos y externos de soda cáustica. Finalmente las botellas son inyectadas con agua desmineralizada, conocida también como agua suave, con el objeto de asegurar un mejor enjuague. El proceso de lavado dura aproximadamente 30 minutos, al final de cuyo lapso se obtiene un envase perfectamente limpio, microbiológicamente estéril y apto para ser llenado.

2.5.5 Inspector de botellas vacías

Al salir de la lavadora, las botellas son colocadas en hileras antes de ser revisadas por el equipo inspector electrónico que detecta si cada una de esas botellas presenta las condiciones adecuadas para ser llenadas, rechazando aquellas que no cumplan tales requerimientos. Este equipo verifica la presencia de aquellos elementos extraños, tales como pitillos y papel, que puedan estar en el fondo del envase o adheridos a sus paredes. Además inspecciona los picos de las botellas rechazando aquellas que puedan presentar roturas.

2.5.6 Llenadora - taponadora

La llenadora es una máquina giratoria de forma similar a la de un carrusel que envasa los productos de acuerdo con el nivel establecido para cada presentación a una velocidad que oscila entre 500 y 1.000 unidades por minuto. Los envases llenos pasan a la máquina taponadora anexa, donde son cerrados herméticamente. A los envases, antes de ser llenados, se les hace un vacío de 80% del volumen total y luego son presurizados con gas carbónico (CO₂), con el fin de eliminar el oxígeno que pudiesen contener.

El producto se envasa frío a una temperatura aproximada de 4° C, lo cual evita la formación de espuma en exceso.

2.5.7 Inspector de botella llenas

Una vez llenas y tapadas, las botellas pasan por un inspector que verifica el nivel de llenado previsto y que se encuentren debidamente tapadas. Las que tengan algún defecto son descartadas del proceso y las que pasen la prueba siguen hacia la pasteurización.

2.5.8 Pasteurizadora

En la pasteurizadora los envases son rociados mediante duchas de agua. El producto entra a una temperatura de 4 °C aproximadamente; la temperatura del agua se eleva progresivamente hasta 60, 61, 62,5°C (dependiendo del punto de ajuste del equipo cuando se pasteuriza cerveza) y luego baja hasta alcanzar la temperatura ambiente. Cuando se pasteuriza malta, la temperatura mínima a alcanzar es 68 °C. Eso le da la suficiente protección organoléptica a los productos al momento de salir al mercado.

2.5.9 Embaladora

Cuando el producto ya ha sido pasteurizado, los envases se dirigen hasta la embaladora y se introducen en las gaveras para ser despachadas. Esas gaveras son igualmente inspeccionadas para garantizar que salgan con la cantidad completa de botellas. En caso de faltar alguna, la gavera es rechazada de la línea.

2.5.10 Paletizadora

La máquina paletizadora, efectúa el proceso inverso al de la despaletizadora; es decir, ensamblar las cajas camada por camada en pilas o paletas, para ser cargadas en gandolas que llevarán el producto en condiciones ideales hasta los depósitos de las agencias encargadas de su distribución.

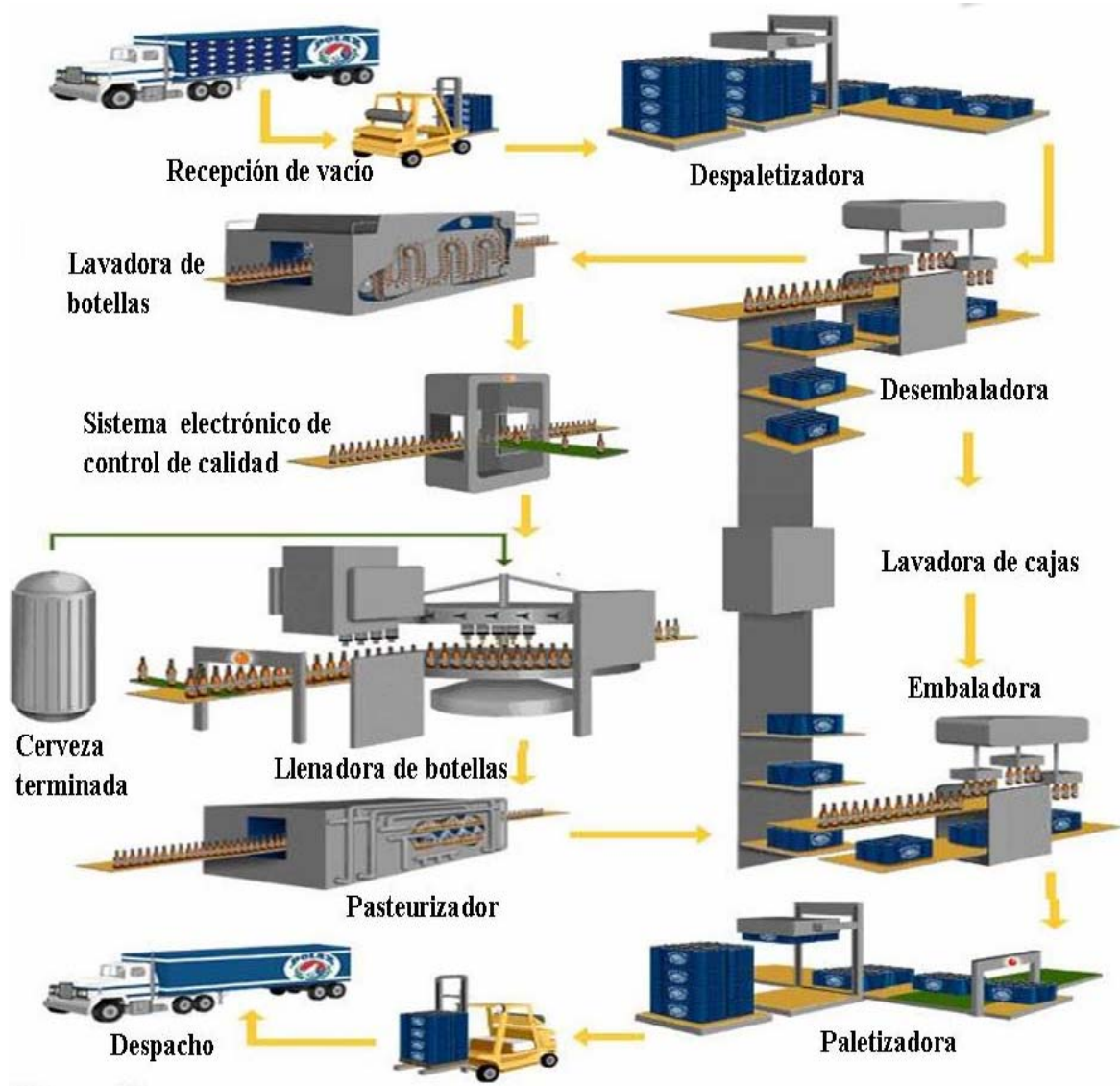


Figura 2.1. Diagrama general del área de envasado.[9]

2.6 Planta de tratamiento de aguas blancas (ptab)

La Planta de Tratamiento de Aguas Blancas (PTAB) de la Cervecería Polar de Oriente, C. A., es la encargada de suministrar y satisfacer la demanda de agua para el proceso de elaboración de cerveza, malta y refrescos, así como el acondicionamiento del agua utilizada en los servicios de la planta (sistema de generación de vapor, sistema de enfriamiento, servicios generales y limpieza). Una vez procesada, el agua es almacenada en diferentes tanques de acuerdo a sus características. El agua clarificada proveniente del sistema de recepción es almacenada en un tanque de concreto denominado tanque “B”, el agua filtrada en un tanque de concreto denominada tanque “C”, el agua suave en el tanque “D”, y el agua de proceso se sub divide en dos tanques denominados tanque “E”, del cual se alimenta el tanque “P”, además de reponer el “Sistema de agua caliente” y también se alimenta el tanque de “Agua hiperclorinada”, como tanque pepsi; este último tanque surte agua hacia la planta de refrescos. El “Sistema de agua recuperada” también se alimenta con agua filtrada y es llamado Tanque “2”. Estos sistemas son explicados a continuación:

2.6.1 Sistema de clarificación

La clarificación es uno de los métodos más empleados de separación sólido – líquido. El agua es suministrada al proceso de acuerdo a las necesidades de la planta. El primer paso es la dosificación del coagulante al agua, posteriormente pasa a un tanque desestabilizador, cuya función es la de agitar la mezcla; eso con el fin de lograr la energía necesaria para desestabilizar las partículas. Después de desequilibrarlas se les suministra el floculante, el cual promueve el choque entre ellas para formar partículas de mayor peso, lo que conlleva a la sedimentación de las mismas; este proceso se lleva a cabo en dos floculadores. El agua, ya clarificada en la superficie del floculador, pasa a un anillo concéntrico donde se le dosifica cloro gaseoso como agente desinfectante, a la vez es canalizada a un orificio de salida para

pasar por caída libre al tanque de almacenamiento de agua clarificada (tanque B de capacidad 500 m³). [7]

2.6.2 Sistema de filtración

Dependiendo del uso final del agua, ésta va a tener unos parámetros de calidad específicos entre los que se destaca la turbidez y el color. En la mayoría de los casos es necesario filtrar agua para obtener los parámetros de calidad exigidos. Es por ello que la filtración se utiliza para optimizar la calidad del agua cuyo uso final puede ser: agua potable, agua para la suavización y/o desmineralización, agua de enfriamiento, procesos especiales, etc. [7]. La primera filtración se lleva a cabo en filtros de antracita, donde el agua del tanque “B” pasa por lechos arena-antracita; en dicha filtración se retienen las partículas en suspensión presentes en el agua clarificada. Luego, el agua pasa a través de filtros rápidos de carbón activado granulado, cuya función es eliminar mediante el fenómeno de adsorción cualquier sustancia productora de olores y sabores extraños, así como también cualquier vestigio de color que pudiera tener el agua. Posteriormente el agua es enviada hacia el tanque “C”, de donde es suministrada a diferentes áreas de la planta. En este tanque también se le dosifica cloro para la desinfección del agua, específicamente dióxido de cloro arrastrado con agua filtrada.

2.6.3 Sistema de agua de proceso

Se encarga de acondicionar y suministrar el agua como materia prima para la elaboración de cerveza y malta. Está conformada por una serie de intercambiadores iónicos, tales como filtros removedores y filtros descarbonatadores. [7]

- a) *Filtros removedores*: remueven compuestos orgánicos empleando una resina sintética macrorreticular con un carácter aniónico, con un grupo de intercambio de amina cuaternaria en forma de sal neutra, y permitiendo la retención de

grandes moléculas de materia orgánica presentes en el agua, principalmente los ácidos húmicos, los cuales interfieren en la calidad del agua aportándole sabor y olor no deseados. El lecho de resina es regenerado con soda cáustica al 4% y ácido sulfúrico al 2%.

- b) *Filtros descarbonatadores*: consiste de cuatro filtros de resina catiónica débil del mismo nombre, cuya función es eliminar la alcalinidad en el agua por remoción de los iones calcio y magnesio contenidos en el agua como bicarbonatos. Este tipo de agua es el empleado para la elaboración de la cerveza. Para el intercambio de iones se emplea resina tipo hidrógeno débilmente catiónica, la cual es regenerada con ácido sulfúrico al 0,8% para restaurar su eficiencia. A la salida de esos equipos se inyecta una corriente de agua denominada blending, cuya finalidad es la corrección de las características del agua ya procesada. La desinfección del tanque de agua hiperclorinada se realiza con cloro gas y la del tanque “E” con dióxido de cloro, dosificados con agua filtrada.

2.6.4 Sistema de agua suave

Elimina la dureza presente en el agua por medio de una resina fuertemente catiónica tipo sodio. Está conformada por tres suavizadores “suavizadores de llena”, cuya función consiste en eliminar el contenido de dureza (esencialmente calcio y magnesio) presente en el agua proveniente del tanque “C”; para ser utilizada en el proceso de envasado de cervecería y refrescos en el lavado de botellas. A la salida de los suavizadores se inyecta a la corriente de agua un blending, para corrección de las características de ésta. Para garantizar la inocuidad del agua se le inyecta dióxido de cloro. Al saturarse de impurezas, el lecho de resina es regenerado con una solución de cloruro de sodio al 10%.

2.6.5 Sistema de alimentación de calderas

Consta de dos filtros suavizadores encargados de suministrar el agua suave para la producción de vapor y la dosificación de lubricantes de cadenas en el área de envasado. El agua proveniente de esos equipos pasa directamente hacia el tanque “F” que alimenta a “sala de máquinas” para la generación de agua grado plato, es decir, agua desaireada.

- a) *Sistema de agua grado plato*: este sistema es alimentado con agua de procesos, en el cual el agua es desaireada; es decir, se le retira la mayor cantidad de oxígeno posible. Para ello el agua de proceso es bombeada hacia un calentador que tiene como función elevar la temperatura del agua para posteriormente hacerla pasar por una torre desgasificadora, donde se pone en contra corriente con CO₂ para retirar el oxígeno contenido en el agua; se disminuye la temperatura del agua al ponerla en contacto con el líquido de entrada al calentador y es llevada a una temperatura de 2 °C en un enfriador de placas. Finalmente se hace pasar por un carbonatador para ser enviada al tanque de almacenamiento a baja temperatura. Este tipo de agua se utiliza para el complemento de la cerveza, la cual está constituida en aproximadamente 90 % de agua, y para enfriar las llenadoras en el área de envasado. [7-9]

2.6.6 Sistema de agua recuperada

Consiste en un circuito cerrado donde se recicla el agua proveniente de los pasteurizadores. Esta agua posee las siguientes características [9]:

- Alto porcentaje de sólidos.
- Alta temperatura.
- Alta carga orgánica, debido a la rotura de botellas dentro de estos equipos.

El sistema consta esencialmente de dos filtros de arena - antracita, dos torres de enfriamiento, dos tanques de almacenamiento, y el suministro de agua para reponer la cantidad de agua perdida en la unidad. El agua proveniente de los pasteurizadores pasa por dos filtros de arena – antracita; luego es enviada a las torres de enfriamiento para lograr una mayor eficiencia en la disminución de temperatura. De acuerdo a la cantidad de agua de reposición suministrada, se dosificada al sistema cierta cantidad de cloro gas, para garantizar los parámetros microbiológicos. La reposición de agua se hace en el tanque de la segunda torre de enfriamiento para compensar las pérdidas que pueden ocurrir en el sistema por reboses, evaporación, etc. El sistema de reposición consta de una válvula neumática que se rige por el nivel del tanque; si es menor de 1,71m el sistema se activa hasta alcanzar 2,40 m de altura. El mínimo nivel que puede alcanzar el tanque es de 0,50 metros; en este nivel se detiene el suministro de agua al área de envasado por bajo nivel en los tanques.

2.6.7 Sistema de agua caliente

El sistema de agua caliente está compuesto por dos tanques, uno denominado “Recibidor” o tanque “12”, y otro denominado “tanque a temperatura controlada” o “13”. El tanque “12” recibe agua de proceso procedente del retorno de las líneas de elaboración, las cubas de filtro y retorno de refrigerio; además de cierta cantidad de agua de reposición para compensar la que se desecha. El tanque “12” alimenta al tanque “13”, el cual se mantiene a 85 °C y es el encargado de suministrarle agua caliente a las áreas que así la requieran.

2.7 Pasteurización

Es un proceso u operación térmica al que se someten ciertos productos con el objeto de reducir los elementos patógenos presentes en los mismos, tales como: bacterias, protozoos, mohos y levaduras. Este proceso se diferencia de la

esterilización en que no destruye todos los organismos presentes en los referidos productos.

En la pasteurización no es el objetivo primordial la “eliminación de los elementos patógenos” sino la disminución de sus poblaciones, hasta niveles que no causen intoxicaciones alimentarias (suponiendo que el producto pasteurizado se ha refrigerado correctamente y que se consume antes de la fecha de caducidad) sin alterar su estructura física, química y propiedades organolépticas. La pasteurización es una etapa crucial del proceso de la elaboración de la malta y cerveza, puesto que de ella depende tanto su calidad microbiológica como organoléptica, así como su estabilidad a través del tiempo. Por tal motivo debe evitarse en todo momento la subpasteurización ya que de ésta forma no se garantiza la calidad microbiológica del producto; así como la sobrepasteurización, puesto que está demostrado que el incremento de una unidad en el valor de las unidades de pasteurización (UP's) reduce el tiempo de vida útil del producto en 3 semanas, además de afectar considerablemente las propiedades organolépticas de éstos.

2.7.1 Unidades de pasteurización (up's)

Se define como la letalidad de las bacterias alcanzadas cuando el producto es mantenido a 60 °C por un minuto. Al lograr UP's letales se puede garantizar la ausencia de microorganismos y que la vida del producto se extienda; no hay otra forma de garantizarlo. Sin embargo, la calidad microbiológica del producto y de sus envases también está influenciada por la calidad del agua utilizada durante ese proceso. Generalmente las unidades de pasteurización se pueden empezar a contar a partir de los 25 °C, pero esas temperaturas no son lo suficientemente altas para lograr un buen pasteurizador. Las unidades de pasteurización a alcanzar para la cerveza está comprendida entre 7 y 15 UP's, mientras que para la malta se toma en cuenta el tiempo que permanezca el producto a la temperatura de 68 °C como mínimo. Para mayores detalles sobre la definición matemática de una UP, ver anexo C.

2.7.2 Medidor de unidades de pasteurización (comúnmente denominado viajero)

Es un instrumento utilizado para medir las UP's, el cual registra la temperatura máxima alcanzada por el producto y el tiempo de exposición durante el recorrido en el pasteurizador. Este es introducido en los pasteurizadores una vez por turno por parte del personal del laboratorio de envasado. [10]

2.7.3 Limpieza 0 km

Es una limpieza detallada y profunda de todas las partes que componen el pasteurizador con la finalidad de remover cualquier acumulación de sucio y vidrio, que impidan el buen funcionamiento del equipo o altere la estabilidad microbiológica del agua, pudiendo afectar al proceso de pasteurización.

La limpieza 0 Km de los pasteurizadores se realiza cada 12 semanas; requiere de 4 personas por equipo para realizar el trabajo y comienza por el vaciado de los tanques, limpieza mecánica de filtros y tanques, llenado del pasteurizador con agua recuperada, aplicación de químico especial (P3-15 Líquido- BK) a los tres primeros y tres últimos tanques, y recirculación del agua por 3 horas. Seguidamente, se vacían los tanques y se continúa con la limpieza profunda con cepillo y esponjas en áreas donde la solución no hizo efecto; tapar y llenar los tanques con agua; aplicar (P3-Oxi-pack) al 2% a los tres primeros y tres últimos tanques, y dejar recircular por 1 hora. Luego, se vacían los tanques y se llenan con agua filtrada con 2 ppm mínimo de cloro. Una vez lleno el pasteurizador, se debe recircular el agua y dosificar bromo cloro, llevándolo a 5 ppm. Para finalizar, dejar el pasteurizador en modalidad de fin de semana. [9]

2.8 Calidad del agua recuperada

La calidad del agua recuperada debe velar para que su red de distribución se mantenga de forma correcta, que el agua llegue con la calidad adecuada, y que no haya fugas que provoquen su pérdida innecesaria. Si el agua está contaminada, hay que tratarla para que pueda ser de nuevo aprovechable en el uso que se le quiera dar. Además, de esa manera se evita en gran parte que los consumidores de los productos puedan contraer enfermedades, directa o indirectamente por el agua contaminada.

2.9 Tipos de análisis que se realizan al agua recuperada y envases a la salida de los pasteurizadores

El proceso de pasteurización debe eliminar todos aquellos microorganismos que carecen de mecanismos para resistir temperaturas de 60-70°C. Entre ellos se tienen la mayoría de las bacterias, levaduras y mohos.

La dosificación de productos químicos en el agua de los pasteurizadores es indispensable, con la finalidad de garantizar la ausencia de bacterias contaminantes en la superficie externa de los envases (botellas y latas). A pesar de que los microorganismos presentes en el agua del último enjuague de los pasteurizadores no entran en contacto directo con el producto, porque el recipiente ha sido cerrado previamente, existe la posibilidad de que el consumidor llegue a estar en contacto directo con aquellas bacterias que quedan adheridas a la superficie externa de los envases.

Entre los requisitos establecidos en las buenas prácticas de manufactura se incluye la necesidad de garantizar “los principios básicos y las prácticas dirigidas a eliminar, prevenir y reducir hasta niveles aceptables los peligros para la inocuidad y salubridad que ocurren durante el envasado de los alimentos destinados al consumo humano”; es decir, garantizar que el consumidor final no sea expuesto al contacto con bacterias contaminantes. [9]

El control microbiológico en el producto pasteurizado permite visualizar la correcta operación de los túneles de pasteurización, lo que se traduce en una garantía de la estabilidad microbiológica de la cerveza y malta. [9]. Los análisis son:

2.9.1 Análisis microbiológicos

Procedimiento indirecto que permite obtener la información necesaria sobre la probable presencia de microbios patógenos. Uno de esos procedimientos es el índice de coliformes, que consiste en la determinación de coliformes totales y fecales en un número estadísticamente significativo de muestra, además de la probable presencia de enterococos (envases a la salida de los pasteurizadores). El análisis microbiológico es la fase final en la identificación de los agentes patógenos que producen la infección en los seres vivos. Los métodos de análisis suelen ser complejos y necesitan de una cierta experiencia profesional.

Los coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo a los humanos. La presencia de bacterias coliformes en el suministro de agua es un indicio de que ésta puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.

- a) *Coliformes totales*: conjunto de bacterias que incluyen bacterias de origen intestinal, bacterias naturales del agua y bacterias del suelo. La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. En la superficie del medio de cultivo agar-endo-less esas bacterias forman colonias verdes con brillo verde intenso metálico. [24]
- b) *Coliformes fecales*: constituyen un subgrupo de los coliformes totales, y se diferencian de los anteriores por ser tolerantes a temperaturas más altas, creciendo

a 44,5 °C. Se denominan termotolerantes por su habilidad de soportar temperaturas más elevadas. En la actualidad los coliformes fecales o termotolerantes son los indicadores por excelencia de la contaminación fecal. Su presencia debe ser interpretada como indicadora de la probable presencia de bacterias patógenas, y en cuanto mayor es su número, mayor es la probabilidad de encontrar patógenos en esa agua. [24]

- c) *Enterococos fecales*: son bacterias esféricas que forman sus colonias en grupos o cadenas. Se encuentran de manera natural en muchos organismos, incluidos los humanos, como parte de su flora intestinal. Son microorganismos muy resistentes, capaces de tolerar concentraciones relativamente altas de sales y ácidos.

2.9.2 Análisis fisicoquímicos

Son análisis que se hacen para determinar el sabor, olor, temperatura, turbidez y color de una muestra dada; además miden las cantidades de metales (cobre, plomo, zinc, hierro), dureza, acidez o alcalinidad, nitrógeno, cloruros, entre otros. Es un conjunto de técnicas y procedimientos empleados para identificar y cuantificar la composición química de una sustancia. En un análisis cualitativo se pretende identificar las sustancias de una muestra, mientras que en el análisis cuantitativo lo que se busca es determinar la cantidad o concentración en que se encuentra una sustancia específica en una muestra.

Tabla 1. Análisis fisicoquímicos de control de calidad del agua recuperada (agua de pasteurizadores). [7-9]

TIPOS DE ANÁLISIS	RANGO	UNIDADES
Alcalinidad	0 – 250	mg CaCO ₃ /l
Cloro en Cl ₂	2 – 5	mg/l
Conductividad	0 – 1000	µs/cm

Dureza total	0 – 200	mg CaCO ₃ /l
Fosfato total	1 – 4	mg PO ₄ ³⁻ /l
Hierro total	0 – 0,3	mg/l
pH	6,50 – 8,00	-
Turbiedad	0 – 10,0	NTU

- a) **Alcalinidad:** es una medida de cantidades titulables de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos y normalmente se expresa en términos de cantidades equivalentes de carbonato de calcio. La determinación se hace por medio de una titulación ácido-base y no diferencia entre iones de oxhidrilo, de carbonatos y de bicarbonatos. Los bicarbonatos son los principales iones en la mayoría de las aguas naturales de la tierra y en la mayor parte del agua que se usa para suministros públicos. La fuerza de la alcalinidad (o acidez) representa una guía hacia la corrosividad de un agua determinada.[7]
- b) **Cloro:** es el desinfectante de agua más comúnmente usado en aplicaciones que varían desde la higienización del agua potable y residual, piscinas y balnearios, hasta el procesado y esterilización de los alimentos. El cloro presente en el agua se aglutina con las bacterias, dejando solo una parte de la cantidad original (cloro libre) para continuar su acción desinfectante.
- c) **Conductividad:** es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayoría de los ácidos, bases y sales presentan coeficientes de conductividad relativamente adecuados. A la inversa, las moléculas de los compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas tienen una conductividad muy escasa o nula. La unidad de la conductividad es microsiemens/centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).[7]

- d) **Dureza total:** se define como el contenido total de los iones alcalinotérreos: magnesio, calcio, estroncio y bario, y se expresa como mg/L de CaCO₃. La tabla 2 muestra la clasificación del agua según el contenido de dureza total.[7]

Tabla 2. Clasificación del agua según su dureza [7]

TIPO DE AGUA	MILIGRAMOS POR LITRO DE CARBONATO DE CALCIO (mg/L de CaCO₃)
Muy duras	> 300
Duras	150 a 300
Moderadas	50 a 150
Suaves	< 50

Las aguas con durezas muy bajas son agresivas o corrosivas, mientras que las de durezas altas son depositantes, causando incrustaciones en tuberías o consumo excesivo de jabón. Por tal motivo, se debe controlar este parámetro mediante procesos de endurecimiento en el primer caso y de ablandamiento en el segundo.

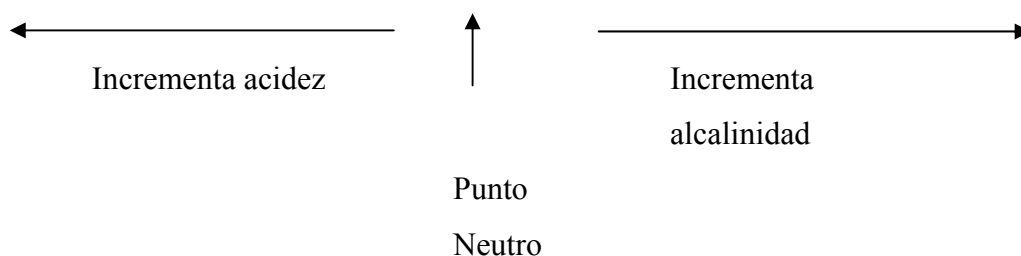
- e) **Fosfatos:** son las sales o los ésteres del ácido fosfórico. Tienen en común un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica, y en estado natural se hallan en combinación con el magnesio y el calcio. Actúan como agente anticorrosivo de tuberías y equipos.
- f) **Hierro:** puede estar presente en solución, en estado coloidal, combinado medianamente con materia orgánica, en forma de complejos orgánicos, complejos minerales o en forma de partículas en suspensión. La mayoría de las aguas naturales tienen pH comprendidos entre 5,5 y 8,6; condiciones en las que el hierro soluble presente en el agua está generalmente en estado ferroso. Bajo la acción del aire o por adición de cloro, el hierro se oxida pasando al estado férrico, pudiendo hidrolizarse para dar un hidróxido de hierro insoluble de color rojizo

que enturbia el agua, mancha la ropa y los aparatos sanitarios; así como también altera notablemente el sabor del agua. La cantidad de hierro aceptado por el control de calidad para evitar el sabor desagradable y el manchado de la ropa es de $\leq 0,3$ mg/L.

- g) **pH**: la escala de pH indica si una solución es alcalina, neutra o ácida. La escala varía de 0 a 14. Donde 7 es el punto medio e indica que una solución es neutra. Los valores de pH entre 7 y 14 denotan alcalinidad, mientras que los valores menores indican acidez, aumentando diez veces la intensidad por cada variación de una unidad de pH. El pH se define como el logaritmo del número recíproco de la concentración ion hidrógeno.

$$\text{pH} = \log\left(\frac{1}{\text{H}^+}\right) \quad (\text{Ec 2.1})$$

El agua contiene moléculas de H₂O, iones de hidrógeno (H⁺) e iones de oxhidrilo (OH⁻). La acidez o alcalinidad de una solución dependerá de si hay más iones H⁺ o más OH⁻.



- h) **Turbiedad**: (también llamada turbidez) es la propiedad óptica que tiene una sustancia líquida o sólida de diseminar un haz luminoso. Se manifiesta en la reducción de claridad, transparencia y brillantez del agua. Ésta puede ser de naturaleza inorgánica (causada por arena, arcilla, carbonato de calcio, hidróxido férrico, azufre y rocas pulverizadas) o puede ser de naturaleza orgánica (causada

por materia vegetal o animal, aceites, grasas y microorganismos). Los métodos analíticos de interferencia luminosa se clasifican como nefelométricos, y un sistema de medición de la turbidez utiliza las Unidades de Turbidez Nefelométricas (UTN o como se denomina comúnmente, según sus siglas en inglés, NTU).[9]

2.10 Productos químicos suministrados al agua de los pasteurizadores para el control microbiológico

2.10.1 Bromo cloro (Aquacid) (inhibidor de microorganismos)

Es un biocida utilizado para el tratamiento de agua en circuitos de enfriamiento y de pasteurizadores. Es un derivado exclusivo de hidantoina que libera bromo y cloro activos para así proporcionar un control del crecimiento microbiológico. Cada pasteurizador posee su sistema de dosificación, el cual consta de un cilindro que contiene el químico inhibidor y una válvula solenoide que suministra agua de acuerdo a las necesidades del proceso.[9]

2.10.2 Fosfato (WCS-7611P) (inhibidor de corrosión)

Es una mezcla líquida de fosfato diseñada para inhibir la corrosión de acero carbono en sistemas de agua potable y en sistemas de enfriamiento de un solo paso. El fosfato proporciona una protección adicional contra la corrosión, promoviendo la formación de una película protectora en los sitios anódicos. Si la corrosión del agua no se controla, los productos de corrosión del hierro introducidos en el sistema pueden llevar a numerosos problemas. Entre éstos se incluyen un agua rojiza, transferencia de calor reducida, flujo de agua restringido y disminución de la eficacia de la bomba. Al ser inhibida la corrosión de forma eficaz, se puede minimizar la

formación de productos corrosivos y consecuentemente mejorar las condiciones en toda la planta.[9]

2.11 Corrosividad del agua tratada

La tendencia corrosiva del agua clarificada se debe básicamente al consumo de alcalinidad de la misma y a la disminución del pH. Por otra parte, el incremento de iones sulfatos promueve tal proceso. Ello obliga a usar un tratamiento con inhibidores de corrosión para reducir tal agresividad. Los principios en que se basan tales tratamientos son variados; sin embargo los más comunes son los que forman una película sobre la superficie de las tuberías para evitar el contacto entre el agua y las mismas; y por tanto reducen la probabilidad de que ocurran reacciones de corrosión. Esos productos pueden ser a base de fosfatos, zinc, etc. [21]

Para evaluar la eficiencia de un tratamiento inhibidor de corrosión, lo más común es la utilización de cupones de corrosión, cuyo principio fundamental es la pérdida de peso de una pieza metálica introducida en la línea por acción del agua. Eso se expresa como velocidad de corrosión en mpy (del inglés, mils per year- micras por años, donde mils = plg./1000) [14]. Sin embargo, se puede predecir la agresividad del agua basado en resultados de laboratorio mediante cálculos de índices de estabilidad.

2.11.1 Índice de estabilidad

Son valores empíricos basados en interpretaciones experimentales que predicen la tendencia corrosiva o incrustante del agua a ciertas condiciones.

2.11.2 Índice de langelier

Es una medida comparativa entre el pH de la muestra tratada y su pH de equilibrio. Por definición, el pH de equilibrio o de saturación (pHs), es el pH de una

solución saturada de CaCO_3 en contacto con mármol (CaCO_3 en estado sólido); es decir, donde no ocurre ni precipitación del CaCO_3 ni disolución del mármol. El pH_s se ve afectado por la alcalinidad del agua, por la concentración de Ca^{+2} y por la fuerza iónica total aportada por las sales disueltas (sólidos disueltos), que a su vez se ve afectada por la temperatura. De manera que se puede escribir:

$$\text{pH}_s = f(\text{alcalinidad, dureza cálcica, sólidos disueltos, temperatura})$$

El Índice de Langelier indica el grado de saturación del carbonato de calcio en el agua, el cual se basa en el pH, la alcalinidad y la dureza; o sea que si el índice es negativo indica que el agua es corrosiva, pero si el índice de Langelier es positivo, el carbonato de calcio puede precipitar y formar escamas ó “sarro” en el recipiente o cañería de agua. Refleja el equilibrio del pH del agua con respecto al calcio y la alcalinidad; y es usado en la estabilización del agua para controlar tanto la corrosión como la escala de deposición. Se define como:

$$I_{Ls} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (\text{Ec 2.2})$$

donde:

I_{Ls} : índice de Langelier

pH: pH de la muestra

pH_s : pH de saturación que se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$\text{pH}_s = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad (\text{Ec 2.3})$$

$$A = \frac{1}{10} (\log[\text{TDS}] - 1) \quad (\text{Ec 2.4})$$

$$B = -13,12 \log[T(^{\circ}C) + 273] + 34,55 \quad (\text{Ec 2.5})$$

$$C = \log[TH] - 0,4 \quad (\text{Ec 2.6})$$

$$D = \log[TAC] \quad (\text{Ec 2.7})$$

pH: grado de acidez o alcalinidad del agua

TH: dureza, expresada en mg/l de CaCO₃

TAC: alcalinidad en mg/l CaCO₃

TDS: sólidos disueltos mg/l de CaCO₃

T: temperatura en °C

2.12 Determinación de la tasa de corrosión por medio de cuponeras

La forma de instalación de los cupones está de acuerdo con lo establecido en el manual del agua de Nalco [14]. La tasa de corrosión se calcula usando la siguiente ecuación:

$$\text{Velocidad de corrosión (mpy)} = \frac{143800 * (P_1 - P_3)}{A * TE * ME} \quad (\text{Ec 2.8})$$

donde:

P1 : peso inicial del cupón (gr)

P3 : peso final de del cupón (gr)

A: área del cupón (cm²)

TE: tiempo de exposición (días)

ME: peso específico del cupón

143800: factor de corrección

2.13 Índice de consumo de agua filtrada en el tanque 2 (Reposición)

Es un valor utilizado en las cervecerías para relacionar la cantidad de agua que se utiliza en función de los litros producidos.

Para Cervecería Polar, específicamente en el área de envasado, el índice de consumo de agua filtrada debe ser $\leq 2,4$ l/l [9]. Donde el mayor porcentaje de ese consumo está representado por: bombas de vacío, limpieza y reposición de agua filtrada al tanque 2. La forma de calcularlo es la siguiente:

$$I = \frac{\text{litros de agua filtrada que ingresan a } tq2}{\text{litros de cerveza producida}} \quad (\text{Ec 2.9})$$

2.14 Índice de costo

Es un valor utilizado por cervecería Polar para determinar el costo de los tratamientos. [9]. La forma de calcularlo es la siguiente.

$$I_c = \frac{\text{consumo de producto (Kg)} * \text{costo del producto (Bs/Kg)}}{\text{producción (Hl)}} \quad (\text{Ec 2.10})$$

2.15 Torres de enfriamiento

Cuando un líquido caliente se pone en contacto con un gas no saturado, parte del líquido se evapora, lo que disminuye su temperatura. La aplicación más importante de este principio se da en el uso de las torres de enfriamiento para disminuir la temperatura del agua circulada, por cualquier equipo generador de calor en plantas químicas, plantas de energía y unidades de aire acondicionado. Las torres

de enfriamiento son columnas de gran diámetro con tipos especiales de empaque diseñados para proporcionar un buen contacto gas-líquido con una baja caída de presión. El agua caliente se distribuye sobre el empaque por medio de boquillas de aspersión o por una rejilla de muescas a través de las tuberías. El aire circula a través del empaque mediante ventiladores de corriente de aire forzado o inducido, mientras que en algunos diseños la circulación es por convección natural. Las torres de tiro mecánico pueden ser de [16]:

- a) **Tiro forzado:** el aire es empujado en la torre mediante un ventilador colocado en el fondo de la misma. Estas torres están sujetas particularmente a la recirculación del aire caliente y húmedo que es descargado dentro de la toma del ventilador, debido a la baja velocidad de descarga y que materialmente reduce la efectividad de la torre.
- b) **Tiro inducido:** el aire se succiona a través de la torre mediante un ventilador situado en la parte superior de la torre. Tienen una velocidad de descarga del aire de 3 a 4 veces mayor que la velocidad del aire de entrada, evitándose la recirculación del aire húmedo y caliente, permitiendo una distribución interna más uniforme del aire.

2.15.1 Balance de materia y energía en una torre de enfriamiento

En la figura 2.2 el aire con una humedad y_1 y temperatura T_{g1} entra por el fondo de la torre y se pone en contacto con el agua (L2) que entra por la parte superior. El agua pierde calor por acción de la transferencia de materia y energía con el aire, el cual aumenta su temperatura y sale de la torre con temperatura y humedad mayor que la de entrada. Un balance de materia no es otra cosa que un conteo de flujo y cambio de masa en el inventario de materiales de un sistema. Para el caso donde no se aplica balance con reacción química, la ecuación queda:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Entrada de} \\ \text{masa a trav\u00e9s} \\ \text{de los l\u00edmites} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Salida de} \\ \text{masa a trav\u00e9s} \\ \text{de los l\u00edmites} \end{array} \right\} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Un balance de materia en la figura 2 para el agua es:

$$L_2 + G_S \cdot y_1 = L_1 + G_S \cdot y_2 \quad (\text{Ec 2.12})$$

En la misma forma, un balance de energ\u00eda es:

$$L_2 \cdot H_{L2} + G_S \cdot H_{g1} = L_1 \cdot H_{L1} + G_S \cdot H_{g2} + Q \quad (\text{Ec 2.13})$$

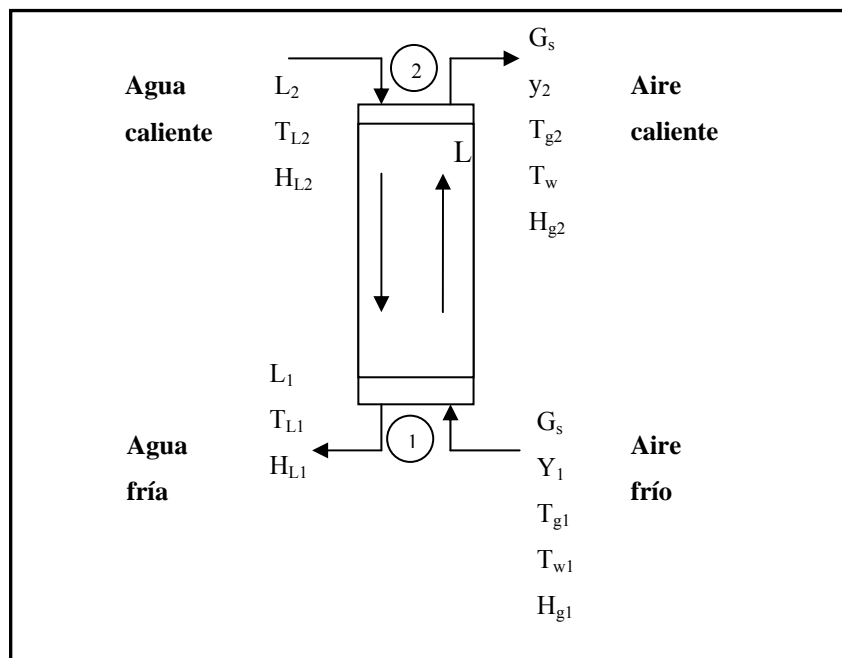


Figura 2.2. Esquema de torre de enfriamiento.

donde:

L: velocidad m\u00e1sica del agua en el punto correspondiente (kg agua/h)

TL: temperatura del agua (°C)

HL: entalpía del agua (kJ/kg agua °C)

Gs: velocidad másica del aire seco (A.S) [kg A.S/h]

y: humedad absoluta másica del aire (kg vapor/ kg A.S)

Tg: temperatura de bulbo seco del aire (°C)

Tw: temperatura de bulbo húmedo del aire (°C)

Hg: entalpía del aire (kj/kg A.S)

Las torres de enfriamiento son equipos adiabáticos, por lo tanto $Q = 0$, quedando la ecuación 2.13:

$$L2 \cdot HL2 + GS \cdot Hg1 = L1 \cdot HL1 + GS \cdot Hg2 \quad (\text{Ec 2.14})$$

La entalpía del líquido (HL) es igual al calor sensible del mismo, siempre y cuando no exista cambio de fase en la sustancia. El calor sensible del líquido es igual a la capacidad calorífica promedio de la sustancia a presión constante en un rango indicado de trabajo, por la temperatura a la cual se encuentra el líquido, menos una temperatura de referencia (Tr); en la mayoría de los problemas agua – aire la $Tr = 0$ °C. La entalpía relativa de una mezcla vapor – gas (Tg) es la suma de las entalpías relativas del contenido en gas y en vapor. La entalpía del gas solo, es igual a su calor húmedo por la temperatura del gas menos una temperatura de referencia, y el calor latente del vapor es igual al calor latente de la sustancia a la temperatura de referencia por la humedad absoluta másica del gas. El calor húmedo es el calor que se requiere para elevar la temperatura de la masa unitaria del gas y su vapor acompañante en 1 °C a presión constante; es decir, la suma de la capacidad calorífica del aire más la capacidad calorífica del vapor de agua, por la respectiva humedad absoluta másica del gas.

2.15.2 Evaporación en una torre de enfriamiento

El enfriamiento de agua en una torre tiene su fundamento en el fenómeno de evaporación. La evaporación es el paso de un líquido al estado de vapor y solo se realiza en la superficie libre de un líquido. [16]

La evaporación en una torre de enfriamiento se determina mediante:

$$E = L2 - L1 \quad (\text{Ec 2.15})$$

donde:

E: evaporación de la torre (m³/h)

L2: flujo de agua que alimenta a la torre (m³/h)

L1: flujo de agua que sale de la torre (m³/h)

2.15.3 Reposición

Todo sistema sufre pérdidas, por consiguiente es necesario compensarlas. Esta compensación se hace mediante la reposición. [16]

Las pérdidas están comprendidas por:

$$\text{Pérdidas} = \text{purga} + \text{arrastre} + \text{fugas} \quad (\text{Ec 2.16})$$

$$\text{Reposición} = \text{pérdidas} + \text{evaporación} \quad (\text{Ec 2.17})$$

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

Este trabajo consistió en la evaluación del sistema de pasteurización de productos de Cervecería Polar C.A. Planta Oriente. Para cumplir con los objetivos planteados, se inició con la búsqueda y revisión de información referente a pasteurización de cerveza y malta. También se hicieron recorridos por el área de envasado para determinar las condiciones actuales del proceso. Además, se realizaron entrevistas no estructuradas a los supervisores y operadores del área para conocer de manera más detallada las diferentes etapas del sistema estudiado. En la figura 3.1 se observa el esquema general de un pasteurizador Barry Wehmiller.

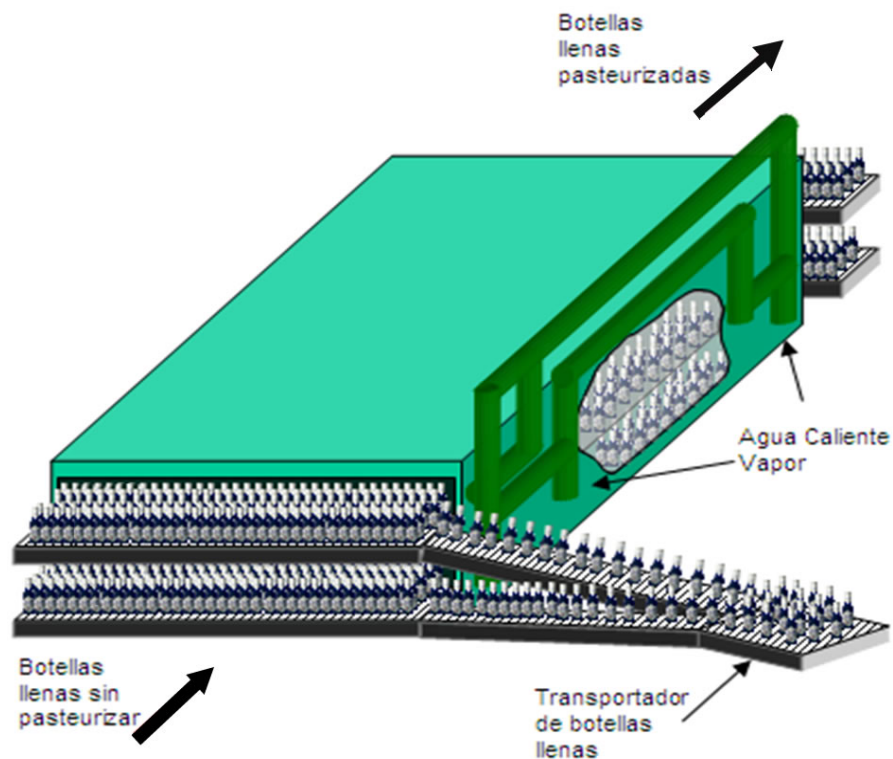


Figura 3.1 Pasteurizador Barry Wehmiller [10].

3.1 Descripción del funcionamiento y situación actual del sistema de pasteurización en el área de envasado

El proceso de envasado cuenta con diversas etapas, las cuales permiten obtener un producto de calidad y microbiológicamente apto para el consumo humano. En Cervecería Polar C.A. Planta Oriente, utilizan pasteurizadores Barry Wehmiller (figura 3.1). Todos los pasteurizadores de la planta son del mismo modelo, cada uno cuenta con 8 tanques, diez bombas y un intercambiador de calor. Para cada tanque existe una bomba (bombas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8), y una bomba para cada intercambiador (bombas 9 y 10), (figura 3.2). El funcionamiento de los pasteurizadores se muestra a continuación:

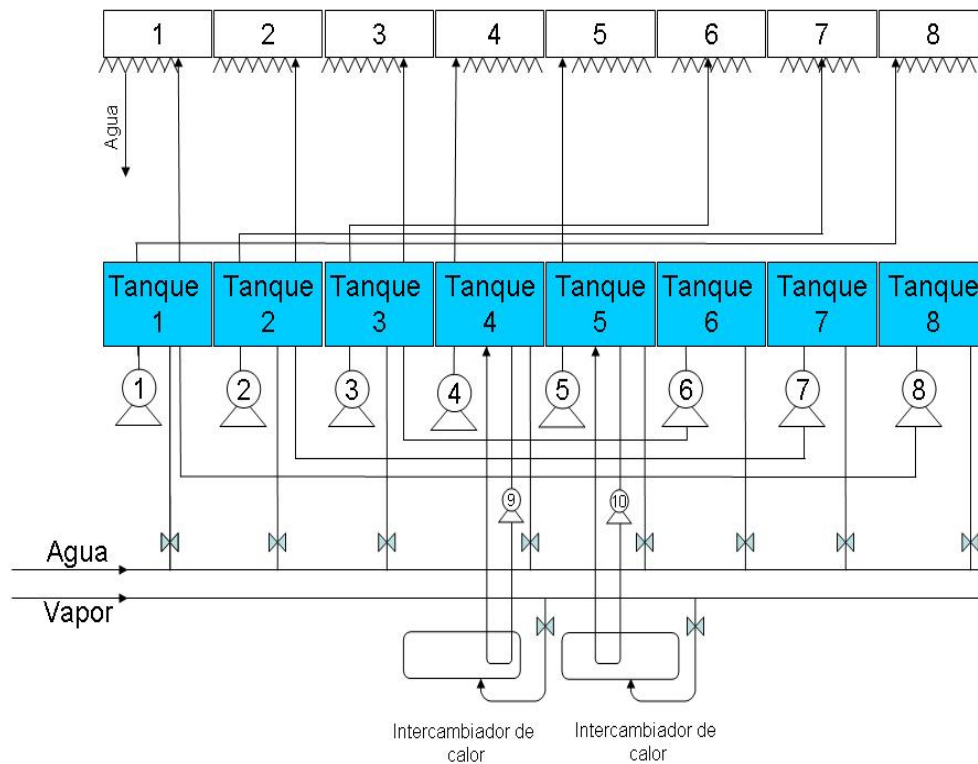


Figura 3.2. Diagrama general del sistema de un pasteurizador.

3.1.1 Partes del pasteurizador

- 1) **Estructura:** la cual sustenta los demás equipos del pasteurizador. Es de dos pisos que están colocados uno sobre otro y que se mueven en forma paralela.
- 2) **Sistema de transporte:** se compone de dos parrillas metálicas paralelas, colocadas de forma intercalada.
- 3) **Sistema motriz-hidráulico:** se encarga de mover el transportador. Está compuesto por un motor, una bomba, un depósito de aceite, seis cilindros hidráulicos y un conjunto de válvulas y tuberías que conectan todos los componentes del sistema.
- 4) **Sistema de duchas de agua:** las botellas son rociadas con este sistema a lo largo del recorrido por la máquina para calentarse y enfriarse. El sistema está compuesto por una serie de tanques (8); cada uno con una bomba centrífuga, tuberías donde están ubicadas las duchas y tuberías de recirculación de agua.
- 5) **Sistema de inyección de agua fresca:** durante el calentamiento el agua de los tanques se evapora parcialmente, a la vez que otra parte se pierde por arrastre y salpicaduras. Para compensar esta pérdida se cuenta con un sistema de reboses, bombas, flotantes y válvulas.
- 6) **Sistema de calentamiento/control automático de temperatura:** compuesto por tuberías de vapor, un controlador/registrador, un bulbo sensor y una válvula de diafragma que regulan el flujo de vapor requerido para el calentamiento de los tanques. El bulbo detecta los cambios de temperatura en el tanque y los transmite al controlador-registrador. Al haber un cambio de temperatura, el controlador envía una señal de aire comprimido a la válvula para que reduzca o aumente el flujo de vapor.

3.1.2 Descripción de los aspectos básicos del funcionamiento de los pasteurizadores

3.1.2.1 Principios de operación

El pasteurizador es una unidad de doble plataforma, movida por una unidad hidráulica, ambas moviéndose en forma simultánea. El vapor y el agua son conservados como resultado de tres zonas regenerativas. Ambos pisos están diseñados para pasteurizar cerveza y malta en botellas o latas, a una velocidad nominal de 1000 botellas por minuto para los pasteurizadores grandes, y 700 botellas por minutos para pasteurizadores pequeños. [10]

Esta descripción cubre cuatro fases de operación:

Fase 1- Calentamiento

La fase de calentamiento prepara el pasteurizador para la producción, llevando el agua de todos los tanques a la temperatura de operación. Todas las válvulas de control no están disponibles en esta fase. Los intercambiadores de calor calientan el agua de los tanques en las zonas de calentamiento y mantenimiento. Las bombas de los rociadores y las bombas de los intercambiadores de calor podrán ser operadas durante esta fase. El calentamiento a temperaturas de operatividad puede tomar dos horas cuando arranca con el servicio de temperatura del agua en todas las zonas. Una vez que todas las zonas han alcanzado sus respectivas temperaturas, una luz de listo se iluminará en el tablero y el equipo se pondrá en funcionamiento.

Fase 2- Operación normal

En esta fase el recorrido normal controla la operación del pasteurizador desde el momento en que el producto entra en la zona de carga hasta que la última unidad del producto sale de la zona de descarga. Un controlador lógico programable (PLC) efectúa las funciones siguientes durante esta fase: monitorea y controla la temperatura de los tanques, monitorea y controla el movimiento de la cama transportadora y su

velocidad, monitorea el funcionamiento de las bombas, y monitorea el avance del producto permitiendo el control en la iniciación del máximo de unidades de pasteurización si fuese necesario.

El ciclo hidráulico está dividido en cuatro segmentos: subida sobre la cama estacionaria, movimiento hacia la descarga, bajada sobre la cama estacionaria, y movimiento hacia el lado de la carga. La plataforma inferior tiene un pequeño atraso con respecto a la superior, de tal forma que cuando se levanta es cuando se requiere la mayor cantidad de fluido hidráulico en galones por minuto; para que esto no ocurra en ambas plataformas al mismo tiempo. El control del tiempo para segmento del ciclo hidráulico es ajustado para maximizar el tiempo de transporte y minimizar los tiempos de levantamiento, de bajada y de retomo. Todos estos ciclos de tiempo varían para cada producto.

Fase 3- Control de las UP's

Cuando la cama se detiene por cualquier razón, el sistema de control de UP's es arrancado. El objetivo del sistema es limitar la cantidad máxima de unidades de pasteurización adquiridas en el producto. Para minimizar el exceso de UP's, se deja de rociar el producto que está siendo calentado completamente. Deteniendo los rociadores inmediatamente, los envases pararán el calentamiento y comenzarán a enfriarse lentamente, pero recibirán una pequeña cantidad de UP's (0,16 UP's/minuto a 130°F (54,4°C)).

El producto que no ha sido completamente calentado continuará el proceso de pasteurización cuando la línea se detiene. Una vez que ese producto esté completamente pasteurizado, será enfriado para prevenir la sobrepasteurización. Si el producto no puede ser movido hacia la zona de rociadores fríos, los rociadores fríos deberán ser movidos hacia el producto. Para poder realizar esto, agua fría es llevada hacia las zonas de calentamiento y mantenimiento. La tabla 3.1 muestra los pasos que se siguen para controlar las UP's.

Tabla 3.1. Pasos para control de UP's [10]

N° DE PASO	SECUENCIA	ACCIÓN
1	t = 0 Seg	Parada por acumulación a la salida del pasteurizador. (Inicio del control)
2	t = 3 Seg	Para el hidráulico.
3	t = 15 Seg	Paran bombas 1-2-4-5-7-8 y cierran válvulas de vapor.(figura 3.1).
4	T = 1 min	Paran bombas 3 y 6. (figura 3.1).
5	T = 3 min	Arranca la bomba del tanque 5 y abre la válvula de agua fresca hasta obtener 50°C aproximadamente.
6	T = 6 min	Finaliza control de UP.

Fase 4- Final de producción

A veces, durante la producción normal no entraba producto al pasteurizador. Durante esos casos se agregó agua, como se requería, a los tanques de pre-calentamiento, para mantener la temperatura de los rociadores en la zona de pre-enfriamiento. El exceso de agua salía por la caja de rebose al final de la tercera zona de pre-calentamiento. Se requiere de agua mientras no existan envases calientes en la descarga y, de la misma forma envases fríos en la zona de entrada.

3.1.3 Zonas regenerativas

Las zonas de precalentamiento (tanques 1, 2 y 3) y preenfriamiento (tanques 6, 7 y 8) forman tres zonas de intercambio. El agua utilizada para calentar el producto no pasteurizado en las zonas de precalentamiento se usa para enfriar el producto pasteurizado en las zonas de preenfriamiento; del mismo modo, el agua tibia resultante del enfriamiento del producto en las zonas de preenfriamiento se usa para calentar el producto entrante sin pasteurizar. El propósito de las zonas de precalentamiento y preenfriamiento, es el de reducir el consumo de agua y vapor como consecuencia de una eficiente conservación térmica; las zonas de calentamiento y mantenimiento no son zonas de intercambio. [10]

3.1.4 Control de temperatura

La temperatura de todos los rociadores son mantenidas usando sensores de temperatura (RTD's) y transmisores que monitorean y envían las temperaturas de la caja de succión al PLC. El PLC compara la señal de entrada para un punto establecido de esa zona y de ser necesario, una señal es enviada al transductor electro neumático (IP) correspondiente. El transductor IP convierte la señal eléctrica a potencia de aire y las válvulas de diafragma operadas por aire lo dirigen o regulan. Las válvulas de diafragma operadas por aire para el enfriamiento del agua adicionan agua fría a las zonas de pre-calentamiento, cuando la temperatura sube en las zonas de pre-enfriamiento. Las válvulas de diafragma operadas por aire proveen inyección directa de vapor a los depósitos de pre-enfriamiento, calentando los rociadores en las zonas de pre-calentamiento. El agua caliente es suministrada por los intercambiadores de calor, siendo añadida a los depósitos de calentamiento y mantenimiento si las temperaturas caen por debajo de lo establecido para esa zona. La temperatura de la zona de mantenimiento es también mantenida por la inyección directa de vapor a través de una válvula de control de vapor.

3.1.5 Control de nivel de agua

El control de nivel del agua es mantenida por flotadores externos ubicados en las siguientes zonas: primer pre-calentamiento, tercer pre-calentamiento, calentamiento, mantenimiento y segundo pre-enfriamiento. Cuando el nivel del tanque baja, el sensor de nivel, ubicado dentro del medidor también baja. Un interruptor se abre y una señal es enviada al PLC. El PLC entonces envía una señal de abrir a la válvula correspondiente de control de agua fría. La válvula de control estará abierta hasta que el nivel del tanque aumente y el interruptor se cierre. El PLC entonces retira la señal activada de cierre de la válvula de control de agua fría. [10]

3.1.6 Reboses

Tabiques con vertederos están ubicados entre la segunda y tercera zona de pre-calentamiento. Estos vertederos permiten que el exceso de agua caída entre las zonas y la salida del pasteurizador, pase a través de un canal interno de rebose al sistema de drenaje.

3.1.7 Válvulas del tanque de compensación

Líneas compensadoras están equipadas con válvulas manuales tipo mariposa, usadas para igualar los niveles de agua en estos tanques: Primer y segundo pre-calentamiento, segundo y tercer pre-calentamiento, primer y segundo pre-enfriamiento, y segundo y tercer pre-enfriamiento. Estas válvulas son abiertas en condiciones normales de operación.

3.1.8 Bombas centrífugas

Los pasteurizadores cuentan con diez bombas centrífugas, las cuales cumplen dos funciones:

1. Recirculación y rocío de agua.
2. Abastecimiento de los intercambiadores de calor.

Todas las zonas requieren las bombas para alimentar los cabezales de rocío. Las bombas 9 y 10 de los intercambiadores de calor, recirculan el agua manteniendo la temperatura adecuada en los tanques. Bajo condiciones normales de operación todas las bombas operan ininterrumpidamente. Si el nivel del agua baja en forma suficiente, la bomba perderá su capacidad de bombeo y un interruptor de presión apagará el motor de la bomba. Las bombas de rociado de la correspondiente zona regenerativa, pre-calentamiento y pre-enfriamiento se apagarán para evitar una condición de sobre flujo (rebose). Si alguna bomba se apaga, el motor del pasteurizador se detiene y una luz de alarma se enciende.

3.1.9 Inyección de agua fresca

La inyección de agua fresca en las zonas de pre-calentamiento es utilizada para mantener las temperaturas de los rociadores en las zonas de pre-enfriamiento. Los sensores de temperatura (RTD's) monitorean la temperatura del agua en las cajas de succión. Los transmisores de temperatura crean una señal representativa (4 a 20 mA), la cual es enviada al PLC. El PLC compara la entrada con el punto de referencia pre-establecido. Si la temperatura está por encima de dicho punto, una señal es enviada a los transductores IP por las válvulas de diafragma de control de agua fría. Esas válvulas abren permitiendo que el agua sea inyectada directamente en la zona de pre-calentamiento. Cuando la salida de la bomba de rociado del pre-enfriamiento alcanza su temperatura apropiada, el PLC finalizará su señal al transductor IP para esa zona.

3.1.10 Inyección de agua caliente

Los intercambiadores de calor son usados para mantener las temperaturas de zona por inyección de agua caliente, dentro de los depósitos de calentamiento y mantenimiento. La temperatura en estas zonas es controlada mediante la regulación de las cantidades de agua caliente que corre en cada zona. La caja de succión de temperatura es medida usando RTD's. Las bombas (9 y 10) localizadas en las zonas de calentamiento y mantenimiento proveen a los intercambiadores de calor con un constante abastecimiento de agua de los depósitos.

3.1.11 Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor suministran agua caliente con temperaturas entre 180° y 190°F (85°C) a los depósitos de las zonas de calentamiento y mantenimiento. Las válvulas de diafragma de control de vapor controlan la cantidad de vapor requerido para calentar el agua que viene hacia el interior de los intercambiadores de calor.

3.1.12 Movimiento de la cama transportadora

Todos los movimientos de la cama transportadora son controlados por un PLC, interruptores de proximidad, válvulas de control direccional, válvulas proporcionales de control direccional y cilindros hidráulicos. El movimiento de la cama transportadora se hace en cuatro fases:

1. Subida sobre la bancada estacionaria,
2. Movimiento hacia el lado de la descarga,
3. Descenso debajo de la bancada estacionaria y
4. Movimiento hacia el lado de la carga.

El ciclo de la cama transportadora hidráulica toma 13,43 segundos de acuerdo con la producción estimada.

3.1.13 Paradas de las camas del pasteurizador

Si existe una situación de acumulación, el pasteurizador empuja el producto hacia el transportador de salida hasta accionar el interruptor tipo límite que se encuentra en la baranda del transportador y este se energizará. La unidad hidráulica se detiene inmediatamente y se activa el sistema de control de UP's.

3.1.14 Situación actual del sistema de pasteurización

Actualmente el área de envasado de Cervecería Polar C.A. Planta Oriente, cuenta con siete líneas de producción. Cada una de ellas posee un pasteurizador, de los cuales sólo uno transporta productos en envases de latas. De los siete pasteurizadores, existen cuatro grandes y tres pequeños, y por lo general están en producción solo seis días de la semana. Inicialmente el agua utilizada para el funcionamiento de los pasteurizadores, es agua filtrada que proviene de PTAB de la empresa, y luego es tratada directamente en los tanques de los equipos para el control microbiológico y en la estación de agua recuperada para el control anticorrosivo. Debido a que los consumos de ese recurso son elevados, el agua que se utiliza se recircula. Se puede decir que es un sistema cerrado (salvo por las evaporaciones y reboses del sistema). El agua de rebose es enviada a la estación de agua recuperada de PTAB. Para asegurar la calidad del agua antes de ser enviada nuevamente a envasado, ésta es sometida a un proceso de: filtración, enfriamiento y desinfección, tal y como se muestra en la figura 3.3.

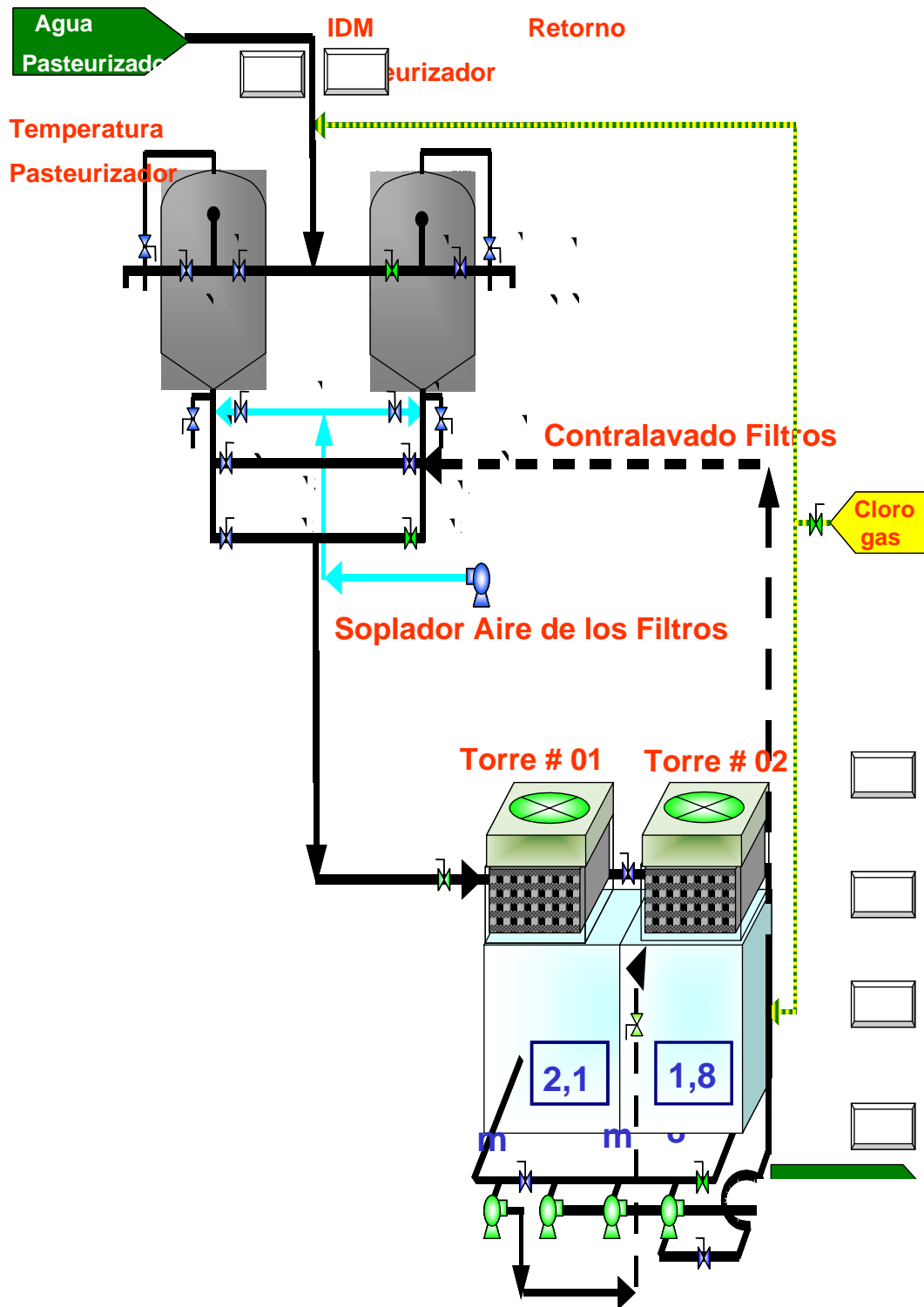


Figura 3.3 Sistema de agua recuperada [9].

3.1.15 Sistema de agua recuperada

El sistema de agua recuperada consta de:

- Dos filtros de arena-antracita.
- Dos torres de enfriamiento de tiro inducido las cuales trabajan en serie para enfriar el agua enviada hacia los pasteurizadores. Cada torre posee un tanque de almacenamiento.
- Cuatro bombas, de las cuales tres suministran agua a envasado y una para recircular el agua de la torre 1 hacia la torre 2 y para el retrolavado de los filtros.

El agua proveniente de los pasteurizadores pasa por dos filtros de arena-antracita, los cuales trabajan en serie para posteriormente pasar por la torre de enfriamiento uno, y llegar al tanque de la misma y es recirculada a la torre dos para lograr una menor temperatura. En vista de las pérdidas por rebose y evaporación, el tanque cuenta con un sistema de reposición; donde se suministra agua filtrada para recompensar dichas pérdidas. El sistema consta de una válvula neumática que se rige por el nivel del tanque; si es menor de 1,71 m el sistema se activa hasta alcanzar 2,38 m de altura; si el tanque 2 alcanza un nivel de 1,50 m el sistema se detiene indicando nivel bajo. La reposición al tanque 2, el retorno y el suministro de agua a envasado son contabilizados por medidores de flujo. Los datos se muestran en la tabla A.12.

Todos los pasteurizadores de la planta cuentan con un sistema para el tratamiento del agua, el cual consiste en la dosificación de un compuesto de bromo cloro en los tanques 6, 7 y 8 de los pasteurizadores. Ese compuesto es un microbicida oxidante (halógeno) que en bajas concentraciones 3-8 ppm posee una alta eficacia microbiológica contra bacterias comunes y patógenas del agua. El objetivo de ese producto es controlar el crecimiento microbiano, el cual contamina el agua del pasteurizador. Adicional al bromo cloro, se incorpora al sistema un químico a base de fosfato que permite prevenir la corrosión, y es dosificado directamente en el

tanque 2. También se cuenta con un medidor de pH y un turbidímetro para evaluar el comportamiento del agua, se dispone de sondas en la entrada y salida del tanque 2 de recuperación, con la finalidad de medir la temperatura del agua.

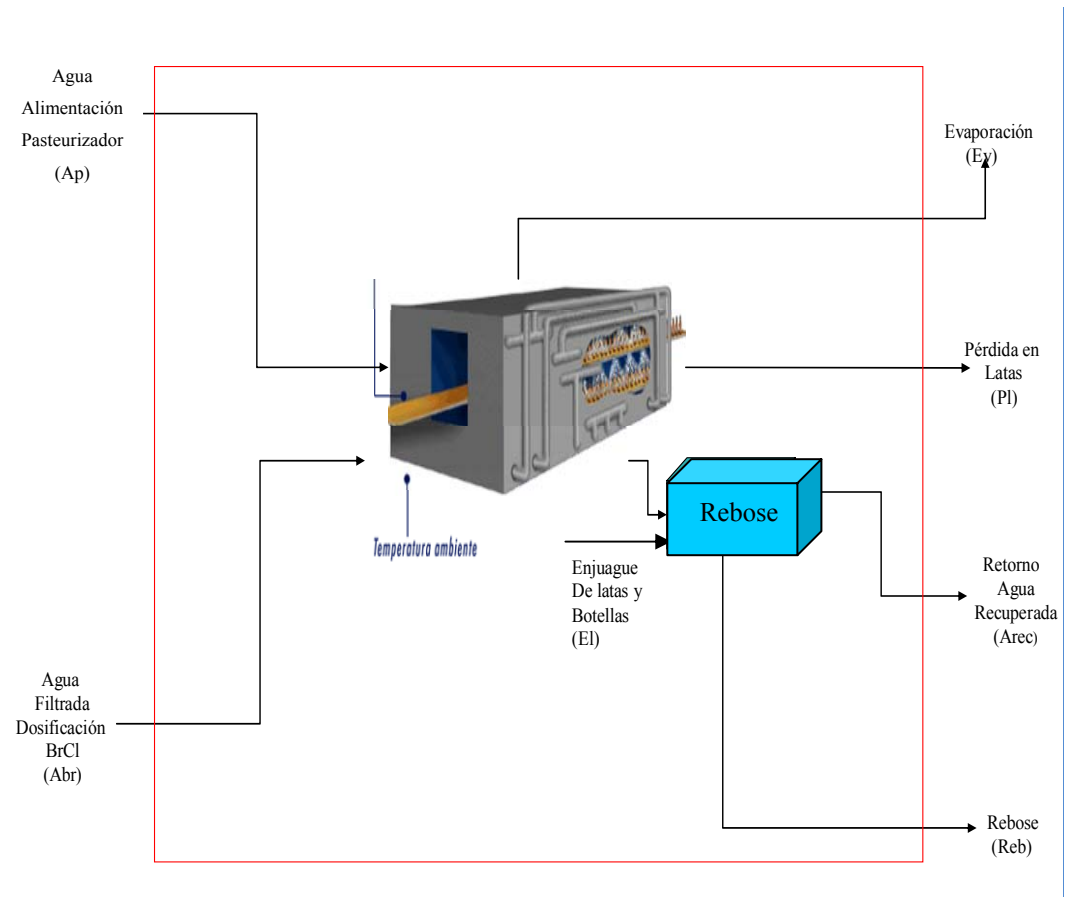


Figura 3.4 Diagrama de corrientes de entrada y salida de agua al sistema de pasteurización.

3.1.16 Balance de masa y energía en el sistema de agua recuperada

3.1.16.1 Consumo de agua de los pasteurizadores.

Para determinar el consumo de agua de los pasteurizadores, fue necesario seguir varias etapas. En la figura 3.4 se muestra el diagrama general de todas las corrientes de entrada y salida del sistema de pasteurización.

a) Dosificación de Aquacid BRC (Br-Cl) en los pasteurizadores

Para determinar el suministro de agua se hicieron corridas experimentales durante la apertura de la válvula que suministra agua al brominador, donde se determinó el tiempo de llenado de un recipiente aforado, cuyos datos se muestran en la tabla A.1. Con la ecuación 3.1 se calculó el flujo de la corriente de agua.

$$Q_d = \frac{V}{t} \quad (\text{Ec } 3.1)$$

En la tabla 3.1.1 se muestran las capacidades de los pasteurizadores que se encuentran operativos en el área. De los siete días de la semana, los pasteurizadores se encuentran en producción durante seis días y un día sin producción. Con la ecuación 3.2 se calculó el consumo de agua para dosificación de Aquacid.:

$$C_d = F \times t_d \quad (\text{Ec } 3.2)$$

donde:

C_d : consumo de agua para dosificación de Aquacid BRC Br-Cl (m³)

F : flujo de la válvula de agua (m³/h)

t_d : tiempo de dosificación (h)

Aplicando la ecuación 3.6 con los datos de la tabla A.1 y tomando en cuenta que la dosificación se hace durante 30 minutos (0,5 h) en los pasteurizadores grandes:

$$C_d = 4,32 \frac{m^3}{h} \times 0,5h = 2,16 m^3$$

Tabla 3.1.1 Capacidades de los pasteurizadores [10]

Tren de llenado	Capacidad del pasteurizador (m3)
1	45118
4	33447
6	33447
7	45118
8	33447
9	45118
10	45118

El mismo procedimiento se realizó para los pasteurizadores de menor capacidad obteniendo un consumo de 1,43 m³ por cada dosificación. Se sabe que las dosificaciones se hacen cada cuatro horas (días de producción), lo que da un total de seis dosificaciones diarias; y en los días sin producción se hacen cada doce horas (dos dosificaciones diarias). Por lo que el consumo diario por dosificación de Aquacid en pasteurizadores es:

$$C_D = N_d \times C_d \quad (\text{Ec 3.3})$$

donde:

CD: consumo diario en pasteurizadores (m³)

Nd: número de dosificaciones diarias

Cd: consumo por dosificación de Aquacid (m³)

Para un pasteurizador grande:

$$C_D = 6 \times 2,16 \text{ m}^3 = 12,96 \text{ m}^3 / \text{día producción}$$

$$C_D = 2 \times 2,16 \text{ m}^3 = 4,32 \text{ m}^3 / \text{día sin producción}$$

El mismo procedimiento se lleva a cabo para los pasteurizadores pequeños. Los resultados se muestran en la tabla A.2.

b) Agua recuperada

Su función es la recirculación del agua utilizada en el funcionamiento de los pasteurizadores. En la figura 3.5 se muestra este sistema.

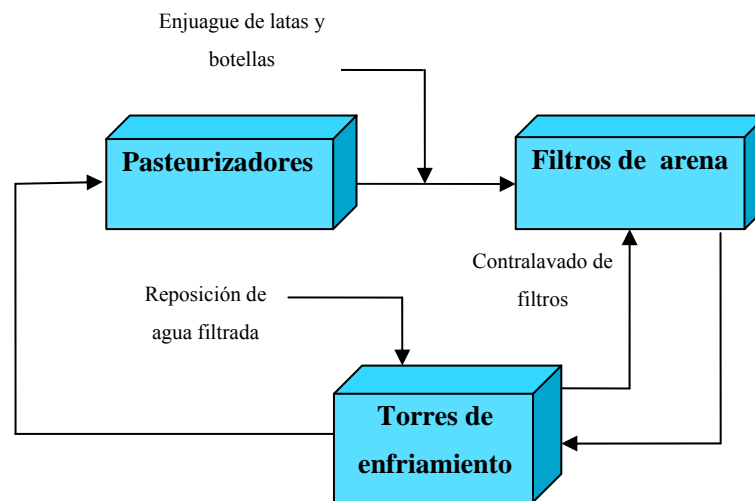


Figura 3.5 Diagrama de bloque del sistema de agua recuperada.

El sistema fue evaluado en dos partes. La primera correspondiente a los pasteurizadores, los cuales se esquematizan en la figura 3.6, y la segunda a las torres de enfriamiento (figura 3.7). Se llevaron a cabo balances de masa y energía, que permiten conocer la mayoría de los consumos en el sistema.

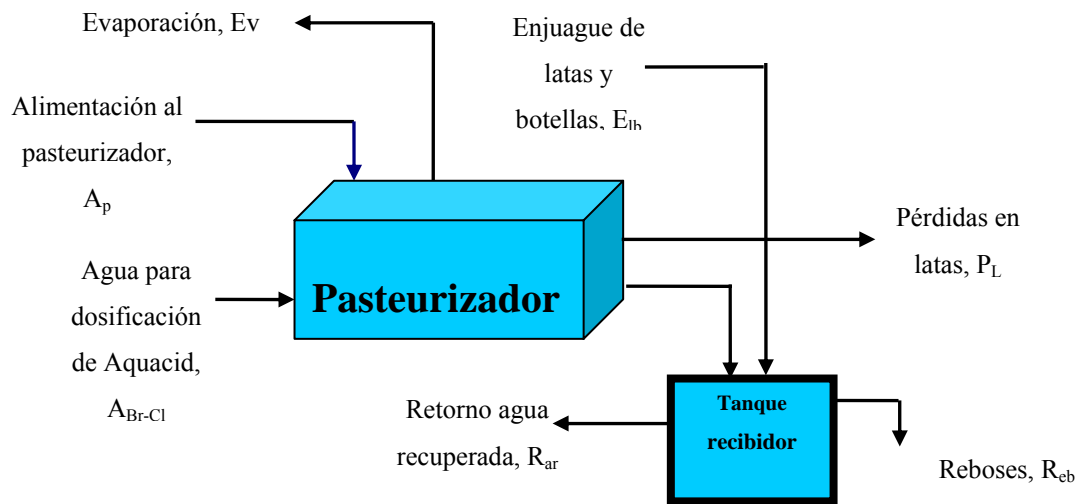


Figura 3.6 Corrientes de entrada y salida de agua de los pasteurizadores.

Haciendo un balance de masa de agua en la figura 3.6 se tiene:

$$A_p + A_{Br-Cl} + E_{lb} = R_{cb} + P_L + Ev + R_{ar} \quad (\text{Ec 3.4})$$

donde:

A: alimentación al pasteurizador (m³)

A_{Br-Cl} : agua para dosificación de Aquacid (m³)

E_{lb} : enjuague de latas y botellas (m³)

R_{cb} : rebose del tanque receptor (m³)

P_L : pérdidas en latas (m³)

Ev : pérdidas por evaporación en los pasteurizadores (m³)

R_{ar} : retorno agua recuperada (m³)

Las pérdidas de agua en latas ocurren en el pasteurizador del tren 1 (envasado de latas); estas latas entran volteadas para evitar que sus respectivas tapas se

desprendan por efecto de la temperatura y presión, lo que ocasiona que el agua rociada dentro del pasteurizador se deposite en la parte inferior de cada lata generando pequeños arrastres de agua. Esas pérdidas fueron determinadas midiendo el volumen que es capaz de contener una lata en su parte inferior, lo cual se hizo mediante una pipeta volumétrica de 24 ml. Para determinar el volumen promedio se muestrearon 12 latas. Lo que arrojó como resultado un volumen promedio de 10,0 ml en cada lata.

El balance se llevó a cabo para el mes de agosto. La alimentación a los pasteurizadores y el retorno hacia agua recuperada se obtuvieron de las hojas de consumos de agua suministrados por la PTAB, los cuales son calculados mediante el sistema iFIX (sistemas SCADA, para la visualización, el control y la información en tiempo real). Para el cálculo de las pérdidas en latas se determinó el número de cajas de cerveza y malta producidas durante el mes de estudio en el tren 1. Estos valores fueron tomados del programa SAP R/3 y aplicando la ecuación 3.5 se obtuvo el volumen total de pérdidas de agua en las latas.

$$PL = N_c \times N_L \times V_F \quad (\text{Ec 3.5})$$

donde:

PL: pérdidas en latas (m³)

N_c: número de cajas producidas

N_L: número de latas por caja

V_F: volumen de agua contenido en el fondo de la lata (m³)

De acuerdo al programa SAP R/3 para el mes de agosto se tuvo una producción de 995202 cajas en el tren 1.

$$PL = 995.202 \times 24 \times 1.10 \cdot 10^{-5} = 238,85 \text{ m}^3$$

Para determinar el consumo de agua por dosificación de Aquacid en los pasteurizadores se multiplicó su consumo promedio (tabla A.2) por el número de pasteurizadores correspondientes (cuatro pasteurizadores grandes y tres pequeños) y los días de producción o sin producción según sea el caso. Para el mes en estudio los días sin producción fueron 4 y los días de producción fueron 27, por lo tanto se tiene que el agua para dosificación de Br-Cl es:

$$A_{Br-Cl} = (12,96\text{m}^3 \times 4 \times 27) + (4,32\text{m}^3 \times 4 \times 4) + (8,58\text{m}^3 \times 3 \times 27) + (2,86\text{m}^3 \times 3 \times 4)$$

$$A_{Br-Cl} = 2198,1 \text{ m}^3$$

Los cálculos del consumo por enjuague de botellas y latas son tomados de las tablas A.9 y A.11, respectivamente. Conociendo los flujos de la ecuación 3.4 se pueden determinar los consumos por reboses de los tanques recibidores y las pérdidas por evaporación en los pasteurizadores.

$$RT + PE = 48442 \text{ m}^3 + 2198,1 \text{ m}^3 + 3556,66 \text{ m}^3 - 238,85 \text{ m}^3 - 40746 \text{ m}^3$$

$$RT + PE = 13211,91 \text{ m}^3$$

c) Balance de masa y energía en torres de enfriamiento de agua recuperada

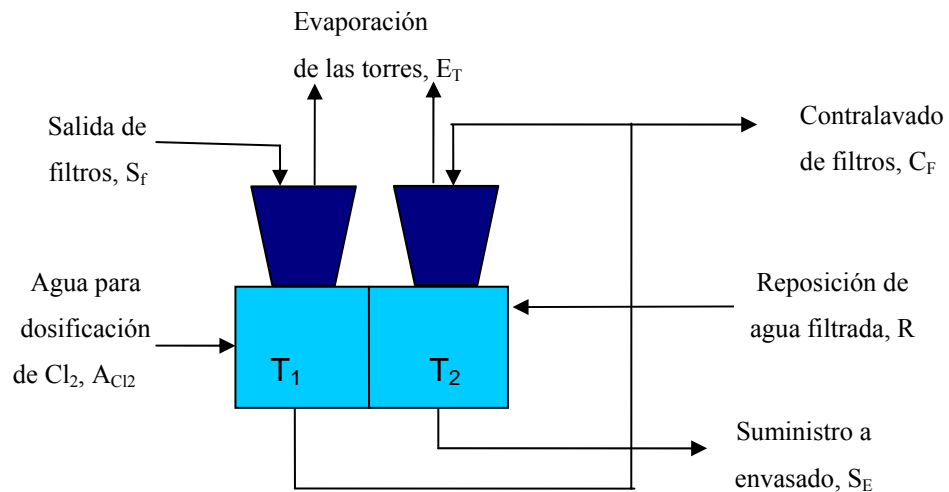


Figura 3.7 Corrientes de entrada y salida de agua de las torres de enfriamiento.

Aplicando balance de masa del sistema en la torre de enfriamiento (figura 3.7) se tiene:

$$S_f + A_{Cl_2} + R = S_E + E_T + C_f \quad (\text{Ec 3.6})$$

donde:

S_f : salida de los filtros (m³)

A_{Cl₂}: agua para dosificación de cloro gas (m³)

R: reposición de agua filtrada al tanque 2 (m³)

S_E: suministro a envasado (m³)

E_T: evaporación de las torres de enfriamiento (m³)

C_f: contralavado de filtros (m³)

Para determinar el consumo por contralavado de filtros, fue necesario el cálculo por efecto de evaporación en cada torre, por lo que se trabajaron por separado. Empleando la figura 2 se llevaron a cabo los balances de masa y energía en las torres

de enfriamiento. El punto 2 es la entrada de agua caliente a la torre de enfriamiento y el punto 1 la entrada de aire a temperatura ambiente. Para realizar el balance de masa en las torres de enfriamiento se utilizó la ecuación 2.13, las humedades absolutas másicas del aire seco fueron calculadas con las temperaturas del gas de entrada y salida. Los valores de temperatura se encuentran reflejados en la tabla A.3. Utilizando el diagrama psicrométrico para una mezcla aire-agua, se caracterizó el gas de entrada y salida a la torre. Estos valores se muestran en la tabla A.4. De igual manera se utilizó la ecuación 2.10 para el balance de energía en las torres de enfriamiento.

Para llevar a cabo el balance de energía se requirió de la entalpía del aire, la que se calculó mediante la ecuación 3.7 [14]:

$$H_g = H_B + (H_{sat} - H_B) \frac{\%y}{100} \quad (\text{Ec 3.7})$$

donde:

HB: entalpía del aire seco (kJ/ kg aire seco)

Hsat: entalpía del aire saturado (kJ/ kg aire seco)

% y: porcentaje de humedad en el aire

Los datos para el aire de entrada se encuentran en la tabla A.4 y aplicando la ecuación 3.7 se tiene:

$$H_{g1} = 28 \frac{kJ}{kgAS} + \left(88 \frac{kJ}{kgAS} - 28 \frac{kJ}{kgAS} \right) \frac{76}{100} = 73,60 \frac{kJ}{kgAS}$$

La entalpía del agua se calculó mediante la ecuación 3.8 [14]:

$$HL = CPL (TL-Tr) \quad (\text{Ec 3.8})$$

donde:

CPL: capacidad calorífica del agua (kJ / kgAgua .°C)

TL: temperatura del agua (°C)

Tr: temperatura de referencia (°C)

Para el agua líquida se utilizó la ecuación 3.9 [15]:

$$C_p = a + b(T) + c(T)^2 + d(T)^3 \quad [^\circ K] \quad (\text{Ec 3.9})$$

[a =18,30;b = 47,21.10⁻² ;c = -133,88.10⁻⁵ ; d =1314,20.10⁻⁹] ;J/gmol(°K o °C)

Sustituyendo la temperatura del agua de entrada, (tabla A.3) se tiene:

$$C_p = 18,30 + 47,21 \cdot 10^{-2} (316,65) - 133,88 \cdot 10^{-5} (316,65)^2 + 1314,20 \cdot 10^{-9} (316,65)^3$$

$$C_p = 75,28 \frac{J}{\text{gmol} \cdot ^\circ C} \times \frac{1 \text{kJ}}{1000 \text{J}} \times \frac{1 \text{gmol}}{18 \text{g}} \times \frac{1000 \text{g}}{1 \text{kg}} = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgAgua} \cdot ^\circ C}$$

Para efectos de cálculo se supuso el Cp constante. Tomando como temperatura de referencia 0 °C se aplicó la ecuación 3.8 para determinar la entalpía del agua de entrada:

$$H_{L2} = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgAgua} \cdot ^\circ C} (43,50 - 0) ^\circ C = 181,83 \frac{\text{kJ}}{\text{kgAgua}}$$

El mismo procedimiento se realizó para el agua y el aire de salida; y los resultados se encuentran en la tabla A.5. El flujo promedio de agua que alimenta a la torre 1, se obtuvo a través del sistema iFIX, del cual se pueden extraer los flujos y

consumos de agua en los diferentes sistemas de la PTAB por hora, día, semanas o meses. Este flujo en promedio es igual a 73,48 m³/h, por lo que se cumple el balance::

$$73,48 \frac{m^3}{h} \times \frac{1kg}{m^3} = 73,48 \frac{kg}{h}$$

Aplicando un sistema de ecuaciones para el balance de masa y energía se tiene:

$$73,48 \frac{kgagua}{h} + 0,016 \frac{kgagua}{kgA.S.} \times Gs = L1 + 0,021 \frac{kgagua}{kgA.S.} \times Gs$$

$$73,48 \frac{kgagua}{h} \times 181,83 \frac{kJ}{kgagua} + 73,60 \frac{kJ}{kgA.S.} \times Gs = 125,40 \frac{kJ}{kgagua} \times L1 + 84,60 \frac{kJ}{kgA.S.} \times Gs$$

$$L1 = 71,48 \frac{kgagua}{h}$$

$$Gs = 399,74 \frac{kgA.S}{h}$$

Para determinar la cantidad de agua evaporada en la torre se utilizó la ecuación 2.15:

$$E = L2 - L1 \quad (\text{Ec 2.15})$$

donde:

E: flujo de agua que se evapora en la torre (m³/h)

L2: flujo de agua que entra a la torre (m³/h)

L1: flujo de agua que sale de la torre (m³/h)

$$73,48 \frac{m^3}{h} - 71,48 \frac{m^3}{h} = 2,00 \frac{m^3}{h}$$

Para la torre dos se siguió el mismo procedimiento, sabiendo que el flujo de alimentación a esa torre es el de salida de la torre uno. Esos resultados se muestran en la tabla A.6. El agua para dosificación de cloro gas se determinó de igual manera que la utilizada para la dosificación de Br-Cl en pasteurizadores; los resultados se encuentran en la tabla A.7. Las torres de enfriamiento trabajan de lunes a viernes, es decir, para el mes de agosto de 2009 estuvieron operativas 21 días, lo que da un total de 504 horas en el mes. El consumo por dosificación de cloro gas se determinó mediante la ecuación 3.2, para el mes de agosto:

$$3,88 \frac{m^3}{h} \times 504 h = 1955,52 m^3$$

Las pérdidas de agua por evaporación de las torres de enfriamiento:

$$2,10 \frac{m^3}{h} \times 504 h = 1058,40 m^3 /mes$$

Los valores de reposición de agua filtrada al tanque 2, el suministro a envasado y el flujo de salida de los filtros fueron tomados como los promedios de los consumos cuantificados mediante el sistema iFIX. Tomando los valores para el mes en estudio y aplicando la ecuación 3.10:

$$40746m^3 + 1955,52m^3 + 8268m^3 = 48442m^3 + 1058,40m^3 + C_F$$

$$CF = 1469,12 m^3$$

Haciendo un balance general en el sistema de agua recuperada:

$$R + ELB + ABr-Cl + ACI2 = CF + RT + PE + PL + ET \quad (\text{Ec 3.10})$$

Para el mes de agosto se tiene:

$$8268m^3 + 35566m^3 + 21981m^3 + 195552m^3 = 146912m^3 + 1321,91m^3 + 23885m^3 + 105840m^3$$

$15978,28m^3 = 15975,28 m^3$

Lo anterior implica que se cumple el balance de masa, cuyos resultados son esencialmente iguales.

3.1.17. Porcentaje de recuperación de agua de pasteurizadores

Para determinar el porcentaje de recuperación de agua de los pasteurizadores se utilizó la ecuación 3.11.

$$\%recuperación = \frac{\text{aguaderetorno}}{\text{consumo}} * 100$$

(Ec 3.11)

Para el mes de julio se tiene:

$$\%recuperación = \frac{39.116.000(l)}{48.716.000(l)} * 100$$

$$\%recuperación = 80,29$$

De la misma manera se realizó para los demás meses. Los valores de agua de retorno y de consumo son tomados de la tabla A.12. Los resultados se muestran en la tabla A.13.

3.1.18 Índice de reposición

El índice de reposición de agua filtrada al tanque 2 es calculado mediante la ecuación 2.9.

Para el mes de julio se tiene:

$$I = \frac{10.174.000(I)}{30.875.929(I)}$$

$$I = 0,3295$$

De la misma manera se hizo para los demás meses. Los datos de alimentación, retorno, reposición de agua y producción se obtuvieron de las hojas de consumo de agua, suministrados por la PATB y SAP/R3 respectivamente, y se muestran en la tabla A.12. Los resultados de los índices de reposición se presentan en la tabla A.14.

3.2 Revisión de los parámetros de control y calidad microbiológica de los pasteurizadores

La calidad de los productos alimenticios depende en gran medida de su dominio sobre la población microbiana como la depuración del agua, la pasteurización o la refrigeración; los cuales tienen como objeto el control de esas poblaciones. Las razones principales para la aplicación de estos procedimientos de lucha contra los microbios son:

- Prevenir la transmisión de enfermedades e infecciones,
- Evitar la descomposición y deterioro de los productos,

- Evitar la contaminación.

La inhibición o destrucción de los microorganismos pueden conseguirse con el empleo de agentes físicos o químicos. Existe una multitud de agentes que sirven para controlar las poblaciones microbianas, pero la naturaleza de su efecto es variable y cada uno de ellos tiene limitada su aplicación en la práctica. Durante este estudio se conoció que el agua y la temperatura son factores determinantes durante el proceso de pasteurización. Por tal razón, para utilizar el agua en ese proceso, ésta debe contar con un tratamiento adecuado que garantice su calidad para prevenir presencia de microorganismos.

3.2.1 Productos dosificados al agua para el control microbiológico de los envases a la salida de los pasteurizadores y corrosión del sistema

Para controlar la flora microbiana en el agua de los pasteurizadores y la corrosión en el sistema, se utilizan productos a base de bromocloro y fosfato, los cuales inhiben el crecimiento de microorganismos y la corrosión respectivamente. Los productos usados son: Aquacid BRC (bromo cloro) y WCS7611P (inhibidor de corrosión). Ambos productos provienen de la casa proveedora Ecolab. Estos se describen a continuación.

a) Aquacid BRC (bromo cloro)

Como se ha mencionado, cada pasteurizador cuenta con un brominador, con una capacidad de aproximadamente 35Kg cada uno. Para la dosificación del producto, el brominador es inundado con agua filtrada durante 30 minutos cada cuatro horas en los pasteurizadores grandes y 20 minutos en los pasteurizadores pequeños en los días de producción. Sin embargo cuando no hay producción la dosificación es dos veces al día.

La concentración de cloro dosificada a los pasteurizadores debe estar entre 3 y 8 ppm, la cual varía con la concentración de cloro que arrastra el agua recuperada 2-5 ppm y además de la carga microbiana que presente el pasteurizador. Para asegurar que el agua de los pasteurizadores tiene la concentración necesaria para inhibir el crecimiento microbiano, se realizaron mediciones de cloro libre diariamente, tomando una muestra del tanque 1 y en cada pasteurizador. Igualmente se midió cloro libre al agua recuperada, y la muestra fue tomada directamente del tanque 2. Las concentraciones de cloro en los pasteurizadores y el agua recuperada para la semana del 10/08/2009 al 14/08/2009, se muestran en las figuras 4.3, 4.4 y 4.5.

Método utilizado para medir concentración de cloro libre en los pasteurizadores:

- 1) Se tomaron 9 ml de agua de del tanque 1 de los pasteurizadores.
- 2) Se agregaron cinco (5) gotas de ioduro de potasio.
- 3) Se añadieron cinco (5) gotas de ácido fosfórico.
- 4) Se agregaron cinco (5) gotas de almidón.
- 5) Se agregó tío-sulfato de sodio gota a gota hasta que el agua cambió de color. El número de gotas añadidas representó la concentración de cloro presente en la muestra.

b) WCS7611P: inhibidor de corrosión

El WCS7611P es un inhibidor de corrosión, el cual es dosificado al agua en el tanque 2. Para garantizar que la concentración del producto esté dentro de las especificaciones (2-3 ppm), se realizaron mediciones de fosfato diariamente. Los resultados de las mediciones para el mes de agosto se muestran en la figura 4.6.

Método utilizado para medir concentración de fosfato:

- 1) Se tomaron 5 ml de agua del tanque 2.

- 2) Se agregó solución (preparada por el técnico).
- 3) Se agitó por espacio de 1 minuto, (la muestra se tornó azul).
- 4) Se tomaron 5 ml de agua de tanque 2 en otro envase (blanco).
- 5) Se colocaron ambas muestras en el comparador de colores y se leyó la concentración en la escala del comparador.

Esos procedimientos fueron realizados por Ecolab.

Para determinar la tendencia corrosiva o incrustante del agua, se calculó el índice de Langelier. Las ecuaciones utilizadas fueron: de la 2.2 a la 2.7; las cuales fueron presentadas en el capítulo 2.

Tabla 3.2.1. Datos de la muestra de agua recuperada para la fecha de (24/11/2009)

pH	6,70
TH (mg/l de CaCO ₃)	120,00
TAC (mg/l de CaCO ₃)	25,60
TDS (mg/l de CaCO ₃)	220,50
TEMPERATURA (°C)	32,00

Con los datos de la tabla 3.2.1 se obtiene el pH de saturación para el agua recuperada mediante la ecuación 2.3:

$$pH_s = (9,3 + 0,1343 + 1,9560) - (1,6792 + 1,4082) = 8,30$$

Mediante la ecuación 2.2 se determina el índice de Langelier para el agua recuperada:

$$I_{LS} = 6,70 - 8,30 = -1,60$$

3.2.2 Control de las unidades de pasteurización (UP's)

Para asegurar que el producto está pasteurizado y microbiológicamente apto para consumo, Cervecería Polar cuenta con un laboratorio central y un laboratorio en el área de envasado para el control de la calidad del producto. Para efectos de la pasteurización, se mantiene un control riguroso, colocando periódicamente un medidor de UP's dentro de los pasteurizadores, con lo que se comprueba la eficiencia del proceso. Este control es llevado por el personal del laboratorio de envasado. Para que la cerveza esté óptimamente pasteurizada, se necesitan entre 7 y 15 unidades de pasteurización; lo que significa que el producto estará pasteurizado después de permanecer de 7 a 15 minutos entre los tanques 4 y 5 a 60 °C. Sin embargo para la pasteurización de la malta, se necesita que el producto permanezca 12 minutos como mínimo entre ambos tanques, y a una temperatura mínima de 68 °C.

En la tabla A.15 se muestran los datos obtenidos de las unidades de pasteurización para el mes de agosto.

3.2.3 Calidad del agua recuperada (agua de pasteurizadores)

La calidad del agua recuperada es comprobada mediante análisis microbiológicos y fisicoquímicos.

Los análisis fisicoquímicos son: alcalinidad, cloro, conductividad, dureza total, fosfato total, hierro total, pH y turbiedad. Estos análisis son realizados dos veces por semana sólo por parte del personal del laboratorio central de la planta; sin embargo, durante el desarrollo de este trabajo se permitió realizar esos análisis una vez por semana durante los meses de agosto y septiembre, bajo la asesoría de dicho personal. La muestra para los análisis fue tomada del tanque 2. Los procedimientos se muestran a continuación:

a) Determinación de alcalinidad (normas COVENIN código 2188-84)

- 1) Se disolvió 1,0 g de verde de bromo cresol y 0,2 g de rojo de metilo en un litro de etanol.
- 2) Se midió la alcalinidad f, la cual es definida como la alcalinidad fenoltaleína, donde se halla la presencia de carbonatos como: CO₃. Por lo general los carbonatos se encuentran en aguas con pH mayores a 8.
 - 2.1 Se trasvasó con una pipeta volumétrica, 25 mL de la muestra, a un Erlenmeyer de 125 mL.
 - 2.2 Se agregaron dos gotas del indicador de fenoltaleína.
 - 2.3 Se tituló con ácido sulfúrico, 0,02 N, hasta que el color rojo se tornará incolor.
 - 2.4 Se anotó el volumen gastado en la titulación (VF).
- 3) Se midió la alcalinidad m.
 - 3.1. Se usó la muestra del análisis de la alcalinidad f.
 - 3.2. Se agregaron dos gotas del indicador mezclado.
 - 3.3. Se tituló con ácido sulfúrico 0,02 N hasta que el color azul se tornara rojo.
 - 3.4. Se anotó el volumen gastado en la titulación (VM).
- 4) Se calculó la alcalinidad f mediante la ecuación 4.

$$A_F = \frac{V_F \times N \times 50 \times 1000}{V_A} \quad (\text{Ec. 4})$$

donde:

AF: alcalinidad f, en mg CaCO₃ / L.

VF: volumen del ácido utilizado para la titulación con el indicador de fenoltaleína, en mL.

N: normalidad del ácido, utilizado para la titulación con el indicador de fenolftaleína, en eq. / L.

50: factor; 1 mL de ácido 1 N equivale a 50 mg de álcali, expresado como CaCO₃.

1000: factor, para convertir mg / mL en mg / L.

VA: volumen de la muestra analizada, en mL.

5) Se calculó la alcalinidad m mediante la ecuación 4.1.

$$A_M = \frac{V_M \times N \times 50 \times 1000}{V_A} \quad (\text{Ec.4.1})$$

donde:

AM: alcalinidad m, en mg CaCO₃ / L, la cual es definida como la lcalinidad métilica, donde se registra presencia de bicarbonatos como: HCO₃. Por lo general los bicarbonatos se encuentran an aguas con pH menores que 8.

VM: volumen total del ácido utilizado para las titulaciones con el indicador de fenolftaleína y el indicador mezclado, en mL.

N: normalidad del ácido utilizado para las titulaciones, en eq. / L.

50: factor; 1 mL de ácido 1 N equivale a 50 mg de álcali, expresado como CaCO₃.

1000: factor, para convertir mg/mL en mg/L.

VA: volumen de la muestra analizada, en mL.

Se calculó la alcalinidad restante mediante la ecuación 4.2.

$$A_R = A_M - \frac{D_C + 0,5 \times D_M}{3,5} \quad (\text{Ec. 4.2})$$

donde:

AR: alcalinidad restante.

AM: alcalinidad m, en mg CaCO₃ / L.

DC: dureza cálcica, en mg CaCO₃ / L.

0,5: factor; 1 mL de ácido 1 N equivale a 50 mg de álcali, expresado como CaCO₃.

DM: dureza magnésica, en mg CaCO₃ / L.

3,5: factor.

Los resultados se muestran en la figura 4.8.

b) Determinación de cloro libre (normas COVENIN código 2685-90)

- 1) Se agregaron 10mL de la muestra en una celda, la cual posteriormente se cerró para evitar que el cloro se evaporara.
- 2) Se introdujo en el equipo HACH DR/890 para corregir la señal blanco.
- 3) Se retiró la celda y se adicionó el contenido de una almohadilla de DPD.
- 4) Se tapó la celda y se agitó vigorosamente hasta disolver la totalidad del sólido. La muestra se tornó de color rosado.
- 5) Se introdujo nuevamente en el equipo y se presionó la tecla READ.
- 6) El valor de cloro libre mostrado en la pantalla corresponde a la concentración de la muestra en ppm.

Cabe destacar que las almohadillas “DPD” son reactivos utilizados para ese tipo de análisis. Dependiendo del rango de medición, se utilizan almohadillas específicas para cada caso en particular. En este caso se utilizaron las DPD N° 21055-69.

Los resultados se muestran en la figura 4.9.

c) Determinación de conductividad (normas COVENIN código 3050-93)

- 1) Se agregaron 200 mL de muestra en un beaker.
- 2) Se enjuagó la celda del conductímetro con agua destilada y luego con la muestra.
- 3) Se introdujo la celda en el beaker.
- 4) Se presionó la tecla medición y se esperó hasta que la lectura se estabilizara.

- 5) Se tomó el valor registrado en la pantalla, el cual indica la conductividad que presenta la muestra en $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- 6) Los resultados presentan en la figura 4.10.

d) Determinación de dureza total (normas COVENIN código 2408-86)

- 1) Se trasvasó con una pipeta volumétrica 100 mL de la muestra de agua a un Erlenmeyer de 250 mL.
- 2) Se agregaron 2 mL de hidróxido de amonio concentrado al 25 %.
- 3) Se agregó una tableta de indicadora de dureza. La muestra se tornó de color morada.
- 4) Se tituló con solución estándar de EDTA, sal sódica, 0,01 M, agitando continuamente hasta que el color morado se tornara verde.
- 5) Se calculó la dureza mediante la ecuación 4.3.

$$\text{Dureza total}(\text{mg CaCO}_3 / \text{L}) = \frac{V_T \times N \times 100 \times 1000}{V_M} \quad (\text{Ec. 4.3})$$

donde:

V_T = volumen de EDTA, sal de disodio, 0,01 M, utilizado para la titulación, en mL.

N = normalidad de la solución de EDTA, sal disódica, 0,01 M, en N° equivalentes / L.

100 = peso equivalente de CaCO_3 .

1000 = factor, para convertir mg / mL en mg / L.

V_M = volumen de la muestra de agua, en mL.

Los resultados se muestran en la figura 4.11.

e) Determinación de fósforo total (normas COVENIN código 2304-85)

Para la determinación de fósforo se requirió realizar una curva de calibración:

- 1) Se tomaron alícuotas de 2,0; 5,0; 10,0; y 15,0 mL de la solución patrón de fosfato (100 mg/L) y se trasvasaron a balones aforados de 100 mL cada uno.
- 2) Se añadió 10 mL de vanadio-molibdato y se aforó con agua destilada cada uno de los balones.
- 3) Luego de 15 minutos, se midió la absorbancia de los patrones en el espectrofotómetro, a una longitud de onda de 420 nm contra un blanco (agua destilada).
- 4) Se construyó la curva de calibración con la concentración de fosfato como abscisa (2,0; 5,0; 10,0; y 15,0 mg PO₄/L), y la absorbancia respectiva como ordenada.

Una vez construida la curva se determinó el fosfato total:

- 1) Se tomó 50 mL de muestra y se llevó a un beaker de 100 mL, se adicionó 0,50g de peroxodisulfato de amonio.
- 2) Se tapó el beaker con un vidrio de reloj y se calentó suavemente hasta reducir el volumen de la muestra a la mitad.
- 3) Se trasvasó a un balón aforado de 100 mL.
- 4) Se agregó 10 mL de vanadato-molibdato.
- 5) Se aforó con agua estilada y se mezcló.
- 6) Se centrifugó la muestra a 2500 rpm (revoluciones por minutos) por 10 minutos.
- 7) Se midió la absorbancia de las muestras a los 15 minutos en el espectrofotómetro, a una longitud de onda de 420 nm contra un blanco (agua destilada).
- 8) Se calculó el contenido de fosfato en la muestra mediante la ecuación 4.4.

$$P = \frac{P_c \times 100}{V_M} \quad (\text{Ec.4.4})$$

donde:

P: contenido de fosfato en la muestra, en mg PO₄/L.

P_c: contenido de fosfato en la muestra (según curva de calibración), en mg PO₄/L.

100: factor, volumen de aforo.

V_M: volumen empleado de la muestra, en mL.

Los resultados se muestran en la figura 4.12.

f) Determinación de hierro total (normas COVENIN código 2120-84)

Para determinar el hierro total contenido en el agua se utilizó el método colorimétrico de Fe-AN:

- 1) Se agregaron en balones de 100 mL 5,0; 10,0; y 20,0 mL de solución patrón diluida 100 veces respectivamente, proporcionando concentraciones de 0,05; 0,10 y 0,20 mg/L de Fe.
- 2) Se agregaron en balones de 100 mL, 5 y 10 mL de solución patrón diluida 10 veces, respectivamente, proporcionando concentraciones de 0,5 y 1,0 mg/L de Fe.
- 3) Se añadió 50 mL de agua destilada en un balón de 100 mL, para la preparación del blanco (0,0 mg/L de Fe).
- 4) Se aforaron los balones con agua destilada.
- 5) Se trasvasaron con una pipeta volumétrica, 10 mL de cada solución a un tubo de ensayo respectivo.
- 6) Se agregaron 4 gotas de Fe-AN a cada tubo.
- 7) Se agitaron los tubos y se esperó que transcurrieran 3 minutos.
- 8) Se midió la absorbancia a 560 nm de cada solución contra el blanco.

- 9) Se graficó la concentración de hierro como abscisa y la absorbancia como ordenada.
- 10) Se calculó la pendiente de la recta mediante regresión lineal, la cual equivale al aumento de absorbancia por mg Fe agregado (EE).
- 11) Se trasvasó 10 mL de la muestra a un tubo de ensayo.
- 12) Se trasvasó 10 mL de agua destilada a otro tubo de ensayo (blanco).
- 13) Se añadió 4 gotas del reactivo Fe-AN a cada tubo de ensayo.
- 14) Se agitaron ambos tubos y se esperó a que transcurrieran 3 minutos.
- 15) Se midió la absorbancia a 560 nm de la muestra contra el blanco.
- 16) Se calculó la cantidad de hierro contenido en la muestra mediante la ecuación 4.5.

$$Hierro = \frac{E_M}{E_E} \quad (\text{Ec.4.5})$$

donde:

EM: absorbancia de la muestra contra el blanco.

EE: aumento de la absorbancia por mg Fe agregado.

Los resultados se muestran en la figura 4.13.

g) Determinación de pH (normas COVENIN código 2187-84)

- 1) Se agregaron 200 mL de muestra en un beaker.
- 2) Se enjuagó el electrodo del medidor de pH con agua de la muestra.
- 3) Se introdujo el electrodo en el beaker.
- 4) Se presionó la tecla medición.
- 5) El valor registrado en la pantalla del equipo corresponde al valor de pH de la muestra.
- 6) Los resultados se muestran en la figura 4.14.

h) Determinación de turbidez (normas COVENIN código 2781-02)

- 1) Se trasvasó 25 mL de la muestra a una celda de 30 mL.
- 2) Se introdujo en el turbidímetro.
- 3) El valor mostrado en la pantalla del equipo corresponde a la turbidez que presentó la muestra.
- 4) Los resultados se muestran en la figura 4.16.

i) Determinación de coliformes totales y fecales (normas COVENIN código 3047-93)

Para llevar a cabo los análisis microbiológicos (coliformes totales y coliformes fecales), se contó con la asesoría y adiestramiento del personal del Departamento de Microbiología del Laboratorio, los cuales son efectuados semanalmente. Por políticas de la empresa, sólo son realizados por el personal del laboratorio central; sin embargo, se permitió realizarlos en dos oportunidades (agosto y septiembre) y los resultados se muestran en la tabla A.17. La muestra para los análisis fue tomada del tanque 2, y los procedimientos se muestran a continuación:

- 1) Se tomaron 100 mL del agua de muestra.
- 2) Se filtró, empleando membrana de 0,45 μ m y se colocó en una placa de ENDO-B.
- 3) Se incubó a 37°C durante 24 horas.
- 4) Pasadas las 24 horas, se retiró de la incubadora y se observó la membrana para determinar si existía presencia de microorganismos. Durante los análisis no se observó presencia alguna.

3.2.4 Análisis microbiológicos de los envases a la salida de los pasteurizadores

Entre los requisitos establecidos en las buenas prácticas de manufactura se incluye la necesidad de garantizar “los principios básicos y las prácticas dirigidas a eliminar, prevenir y reducir hasta niveles aceptables los peligros para la inocuidad y salubridad que ocurren durante el envasado de los alimentos destinados al consumo humano”; es decir, garantizar que el consumidor final no sea expuesto al contacto con bacterias contaminantes.[11]

El personal del laboratorio de calidad de envasado tomó tres muestras de los envases a la salida de cada pasteurizador; cada una de diferentes posiciones (izquierda, centro y derecha). Esas muestras fueron enviadas al laboratorio central de la planta, donde se le realizaron los análisis microbiológicos necesarios para verificar la presencia o no de microorganismos (coliformes totales, coliformes fecales y enterococos fecales). El mismo día cuando se muestrearon los envases, se realizaron mediciones de cloro libre en el tanque 1 de los pasteurizadores por parte del personal del laboratorio y se compararon con los valores de halógenos reportados por el técnico en planta proveedor del producto, puesto que ambas mediciones son realizadas por diferentes métodos. Los análisis son realizados una vez al mes y los resultados se muestran en las figuras 4.17 y 4.18. Los procedimientos de los análisis microbiológicos se muestran a continuación:

a) Determinación de coliformes totales y fecales (normas COVENIN código 3047-93)

- 1) Se tomaron 3 muestras de cada pasteurizador con una pinza, previamente rociada con alcohol y flameada con un mechero.
- 2) Cada envase se introdujo en una bolsa plástica, identificada cada una como izquierda, centro y derecha. Una vez introducido el envase en la bolsa se cerró inmediatamente.
- 3) Se trasladaron las muestras al laboratorio central de la planta.

- 4) Bajo la campana de flujo laminar se enjuagó la parte externa de cada envase con 200mL de agua estéril.
- 5) Se tomaron placas de ENDO-B.
- 6) Se procesaron 100mL del agua de enjuague en la unidad de filtración, empleando membranas de 0,45µm.
- 7) Se colocaron las membranas en la superficie del agar y se incubaron a 37°C durante 24 horas.
- 8) Pasadas las 24 horas, se retiraron de la incubadora y se observaron las placas, en las cuales no se observó presencia de microorganismos.

b) Determinación de enterococos fecales (normas COVENIN código 3047-93)

- 1) Se tomaron 3 muestras de cada pasteurizador con una pinza, previamente rociada con alcohol y flameada con un mechero.
- 2) Cada envase se introdujo en una bolsa plástica, identificada cada una como izquierda, centro y derecha. Una vez introducido el envase en la bolsa se cerró inmediatamente.
- 3) Se trasladaron las muestras al laboratorio central de la planta.
- 4) Bajo la campana de flujo laminar se enjuagó la parte externa de cada envase con 200mL de agua estéril.
- 5) Se tomaron placas de S&B.
- 6) Se procesaron 100mL del agua de enjuague en la unidad de filtración, empleando membranas de 0,20µm.
- 7) Se colocaron las membranas en la superficie del agar y se incubaron a 37°C durante 48 horas.
- 8) Pasadas las 24 horas, se retiraron de la incubadora y se observaron las placas, en las cuales no se observó presencia de microorganismos.

3.3 ANÁLISIS DE TRATAMIENTOS ALTERNOS A LOS USADOS ACTUALMENTE

En Cervecería Polar, la calidad de los productos no está basada solamente durante el proceso de elaboración de éstos, sino también en la calidad que presentan una vez que son envasados.

3.3.1 Dosificación de productos químicos al agua del pasteurizador 7

Con la finalidad de atender contingencias, como lo es la presencia de microorganismos en la superficie externa de los envases, se realizó un estudio técnico-económico, de la factibilidad de sustituir total o parcialmente el tratamiento actualmente usado en el sistema de pasteurización. Los productos a evaluar fueron recomendados por Nalco; siendo Nalco una casa proveedora de productos químicos. En la tabla 3.3.1 se muestran los productos ensayados.

Tabla 3.3.1. Datos de los productos ensayados

Distribuidor	Productos	Características
Nalco	Nalco 4360	Microbicida oxidante sólido (bromo – cloro). Dosificación continua.
	Nalco 2593	Microbicida no oxidante aplicado por choques (antes de paradas de equipos).

Para cumplir con el objetivo planteado, se aisló el pasteurizador 7 para probar en él los productos anteriormente nombrados, en el período del 07/09/2009 al 10/12/2009. Para eso fue necesario:

- Realizar limpieza 0 Km al pasteurizador.

- Inspeccionar que los tanques, paredes, duchas, purgas, distribuidores y rejillas estén limpias. Llenar el formato de inspección para tal fin.
- Instalar el brominador y probar que no tenga fugas y que funcione automáticamente con el arranque del pasteurizador.
- Realizar la carga del producto y ajustar un flujo para la dosificación.
- Asegurarse de que el agua recuperada esté entre 3,0 y 3,5 ppm de cloro libre.
- Instalar un cupón de corrosión.
- Modificar el programa de dosificación del pasteurizador para operación continua.

El brominador utilizado para la prueba tiene una capacidad de 25 Kg y es recargado semanalmente por Nalco. El equipo se instaló del lado de la línea de recirculación de los tanques 6, 7 y 8 y el agua de dilución se tomó del tanque 7; es decir, agua de recirculación.

La operación del equipo es continua, colocando las válvulas solenoides de entrada y salida totalmente abiertas. Durante las paradas del pasteurizador, se dosifica Nalco 4360 30 minutos cada 12 horas con inyección automática.

Una vez cumplido con los requerimientos anteriormente nombrados, se inició la prueba con la dosificación de los productos el día lunes 07/10/2009, en el cual se dosificaron 7,5 L de Nalco 2593. Agregándose 1,5 L en los tanques 1,2,3,4 y 5.

Al iniciar la producción se empezó a dosificar Nalco 4360 a 2-3 litros por minuto (lpm), y para su control se realizó lo siguiente:

Se midió la concentración de halógeno libre 3 veces al día, para garantizar que los valores estuviesen dentro de los parámetros (1,0 y 1,5) ppm. La muestra fue tomada del tanque 1. Los resultados se muestran en la figura 4.20.

Se midió la concentración de halógeno libre y pH en el agua recuperada 2 veces por día, y así se determinó que ambos valores estuviesen en norma, respectivamente (3,0 y 3,5) ppm; y (7,0 y 7,2). Los resultados se muestran en las figuras 4.21 y 4.22.

Se realizó muestreo microbiológico de los envases a la salida del pasteurizador 1 vez por semana por parte del personal del laboratorio central de la planta. Los resultados se muestran en la figura 4.23. El procedimiento para los análisis microbiológicos fue descrito en la sección 3.2.4.

De esa manera se evaluó la efectividad de los productos en el rango de calidad exigida por la empresa para los meses (septiembre, octubre, noviembre y diciembre).

Durante la prueba se decidió instalar un cupón de corrosión en el pasteurizador 10, para así comparar la velocidad de corrosión del agua en cada pasteurizador. Aún cuando el agua viene de la misma estación, las dosificaciones de bromocloro en ambos pasteurizadores son totalmente diferentes.

3.3.2 Determinación de la tasa de corrosión del agua tratada en el sistema

La colocación de los cupones se hizo en la entrada del tanque 1 de ambos pasteurizadores. En la figura 4.6 se muestra el comportamiento de las concentraciones del producto inhibidor de corrosión dosificado al agua en el tanque 2, de manera que se pudo evaluar la efectividad de tal tratamiento. Con el fin de determinar la tasa de corrosión del agua tratada por el sistema, se programó la colocación de cupones de la siguiente manera: uno por tres meses y uno por dos meses. En las tablas 3.3.2 y A.18 se muestran los datos obtenidos para la determinación de la tasa de corrosión de los dos cupones, a partir de la ecuación 2.8.

Tabla 3.3.2. Datos del cupón de corrosión instalado en el pasteurizador 7 (Acero inoxidable).

Material	Acero al carbón
Área del cupón	9 cm
Fecha de inserción	07/09/2009
Fecha de remoción	05/12/2009

Días de exposición	90
Peso inicial	13,3480 g
Peso final	13,3479 g
Pérdida de peso	0,0001 g

Para el cupón del pasteurizador 7 se tiene:

$$Velocidadde\textit{corrosión} = \frac{143800 * (13,3480 - 13,3479_3) gr}{9cm^2 * 90días * 7440} = 2,40 * 10^{-6} mpy$$

donde:

P1 : peso inicial del cupón (gr)

P3 : peso final de del cupón (gr)

A: área del cupón cm²

TE: tiempo de exposición (días)

ME: peso específico del cupón

143800: factor de corrección

Tabla 3.3.3. Pesos específicos de cupones

Material	Peso específico (ME)
Acero al carbón	7860
Acero inoxidable	7440
Cobre	8940

En la tabla 3.3.3 se muestran los pesos específicos de los materiales de los cupones, los cuales fueron necesarios para determinar la velocidad de corrosión.

El mismo procedimiento se realizó para el pasteurizador 10 y el resultado se muestra en la tabla 4.3. Tomando en cuenta que el pasteurizador 10 está elaborado en acero al carbón.

3.3.3 Comparaciones cualitativas del producto usado actualmente y del tratamiento evaluado

Como se ha mencionado, durante la prueba se realizó un estudio técnico-económico, para lo cual fue necesario realizar comparaciones cualitativas y cuantitativas respectivamente. En la tabla 3.3.4 se muestran las comparaciones cualitativas.

Tabla 3.3.4. Comparaciones cualitativas

Parámetros	Tratamiento actual (Ecolab)	Tratamiento alternativo (Nalco)
1. Concentraciones de cloro	(3-8) ppm	(1-1,5) ppm
2. Agua para dosificación de bromo cloro	Agua filtrada	Agua de recirculación
3. Mediciones de cloro	3 veces por día	1 vez por día
4. Modo de dosificación	Por choques	Continua

3.3.4 Comparaciones cuantitativas del producto usado actualmente y del tratamiento evaluado

Para llevar a cabo el estudio económico, se realizaron comparaciones cuantitativamente; para eso fue necesario determinar el índice de costo del tratamiento por ambas casas.

3.3.4.1 Índice de costo

El índice de costo del producto empleado usualmente y de los productos usados en el pasteurizador 7 se calculó mediante la ecuación 2.10. Para efectos de comparación entre ambos tratamientos, se tomó el pasteurizador 9 por ser un equipo de la misma capacidad que el pasteurizador 7. Cabe destacar que los meses tomados para esos cálculos fueron los mismos durante los cuales se evaluaron tratamientos alternos.

Sustituyendo los datos del pasteurizador 7 para el mes de septiembre se tiene:

$$Ic = \frac{42(Kg) * 52,08(Bs.F / Kg)}{45380,17(Hl)}$$

$$Ic = 0,05(Bs.F / Hl)$$

Los datos fueron obtenidos por el sistema SAP/R3 y por parte del técnico de Nalco y Ecolab. Los resultados se muestran en las tablas A.19 y A.20 y en las figuras 4.24 y 4.25.

3.4 Creación de propuestas que garanticen mejoras de calidad del proceso de pasteurización

En función de lo observado en las etapas anteriores, se identificaron diferentes causas que afectan al sistema de agua recuperada desde dos puntos de vista: cantidad de agua recuperada desde los pasteurizadores, lo cual afecta el índice de reposición de agua filtrada. El otro aspecto corresponde a la calidad de dicha agua en cuanto a la capacidad corrosiva y calidad microbiológica. En la figura 3.8 se muestran los

diferentes aspectos que afectan al sistema de agua recuperada, ubicándose de la siguiente manera: falta de equipos, factor humano y procesos no adaptados.

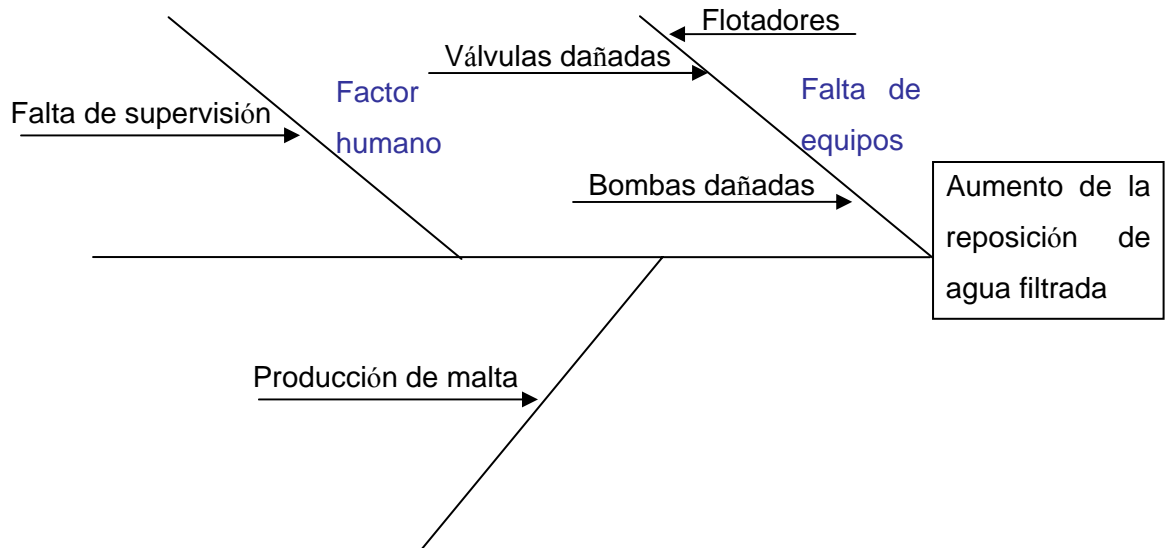


Figura 3.8. Aspectos que afectan al sistema de agua recuperada.

Además de lo anteriormente nombrado, existen aspectos que afectan la calidad del agua en cuanto a su capacidad corrosiva y calidad microbiológica. La capacidad corrosiva del agua es afectada por la deficiencia en cuanto al servicio técnico de Ecolab. Sin embargo, la calidad microbiológica del agua es afectada por las concentraciones de bromo cloro registradas en el agua de los pasteurizadores; (éste producto también es dosificado por Ecolab) y por la limpieza 0 Km, siempre y cuando no se realice en el tiempo establecido, lo cual influye en la presencia de microorganismos en el agua y a su vez en la superficie externa de los envases.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Descripción del funcionamiento y situación actual del sistema de pasteurización en el área de envasado

Después de estudiar detalladamente el proceso de pasteurización de cerveza y malta, se determinó el consumo de agua filtrada de los pasteurizadores, lo que permitió conocer fallas que ocasionan pérdidas de agua, y a su vez sugerir mejoras en el sistema.

4.1.1 Balance de masa y energía en el sistema de agua recuperada

El alto consumo de agua filtrada en el área de envasado es un problema que afecta a dicha área desde hace mucho tiempo. El mayor consumo de esa agua está representado por bombas de vacío, limpieza y los pasteurizadores; encontrándose en algunas oportunidades que las bombas que envían el agua de rebose hacia agua recuperada no estaban funcionando (anexo B.1), lo que implica mayor consumo de agua filtrada al tener que reponer al tanque 2, puesto que el agua contenida en el tanque receptor rebosa y no hay manera de recuperarla si no funcionan las bombas. Además del agua perdida cuando se procesa malta, la cual no se recupera.

De acuerdo al balance de agua realizado en 3.1.16, los resultados fueron esencialmente iguales.

La figura 4.1, muestra la variación existente entre el porcentaje de recuperación y el consumo de agua filtrada hacia el tanque 2, donde se evidencia que mientras mayor es el porcentaje de recuperación la reposición de agua filtrada hacia el tanque 2 es menor y viceversa. Una causa del consumo de agua innecesario en los pasteurizadores son fallas en los sistemas de control de nivel, específicamente en las

válvulas proporcionales y flotadores de los pasteurizadores. Si estos sistemas no funcionan bien y no se cierran las válvulas principales de agua una vez fuera de servicio el equipo, se producen consumos injustificados. En la actualidad, ninguno de los tanques de los pasteurizadores cuenta con flotadores. La frecuencia del balanceo hidráulico en las zonas regenerativas de los pasteurizadores es primordial, ya que asegura que los pares de bombas manejen caudales iguales manteniendo los niveles de agua en cada tanque. De esa manera, el sistema de control de nivel introduce sólo la cantidad de agua perdida por arrastres en las botellas o por evaporación, asegurando un mayor tiempo de residencia del agua en el equipo. Cabe destacar que el rebose de los tanques recibidores también influye en la pérdida de agua de este sistema.

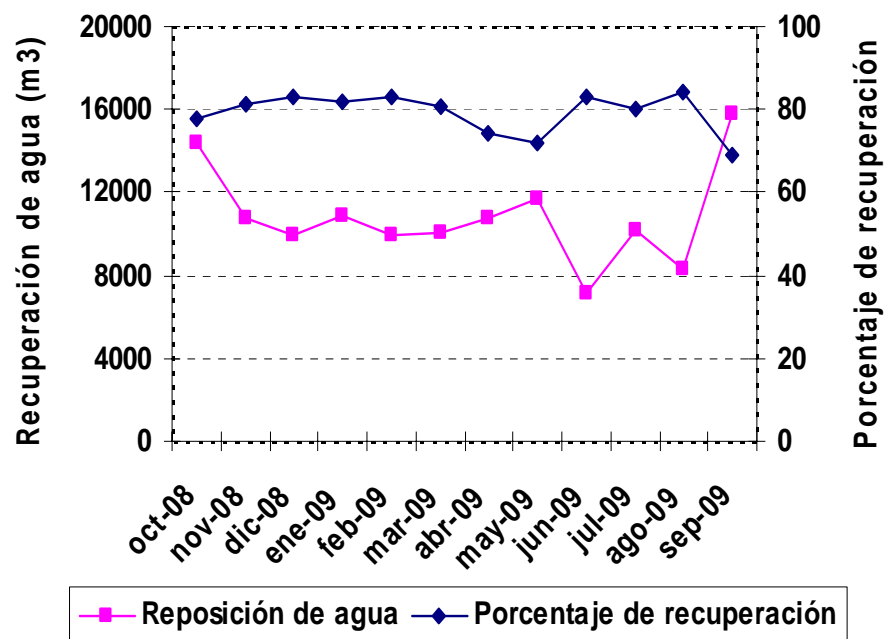


Figura 4.1. Reposición de agua filtrada para agua recuperada y porcentaje de recuperación.

En la figura 4.2, se observa que el índice de reposición se ve muy favorecido con la producción, puesto que al aumentar ésta el índice disminuye, siendo ésta el denominador, y al introducir los valores en la ecuación el resultado de la división se hace mucho menor. Sin embargo, si la reposición disminuye y la producción se mantiene casi igual (tabla A.12) el índice disminuye mucho más, tal como se evidenció durante el mes de noviembre; pero si la reposición y la producción disminuyen el índice también baja, como ocurrió en el mes de agosto. Para el mes de septiembre se observó que al aumentar la producción el índice también aumentó, sin embargo en este caso en particular corresponde a que la reposición aumentó significativamente (tabla A.12).

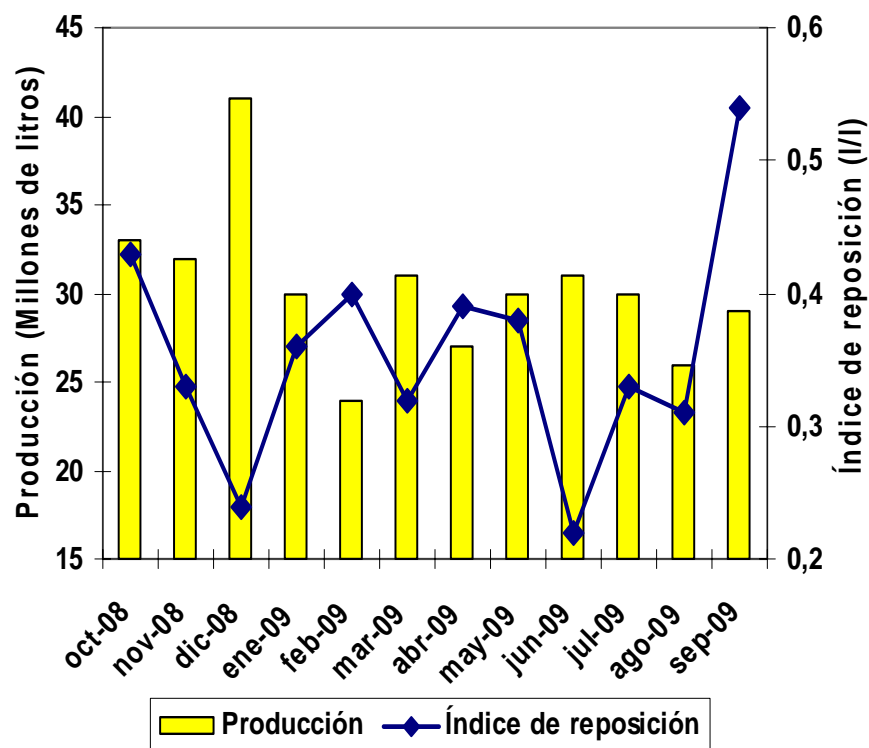


Figura 4.2 Influencia de la producción (l) sobre el índice de reposición (l/l).

4.2 Revisión de los parámetros de control y calidad microbiológica de los pasteurizadores

Como parte del proceso de control de calidad de los productos a la salida de los pasteurizadores, el uso de químicos en el tratamiento del agua es sumamente indispensable para garantizar el control de la carga bacteriana. Sin embargo, como se muestra en las figuras 4.17 y 4.18, se ha registrado presencia de microorganismos en la superficie externa de los envases, aún cuando el agua no se ha dejado de tratar. El adecuado control de las concentraciones de esos productos es de suma importancia, puesto que de ellas depende la calidad del producto.

4.2.1 Productos dosificados al agua para el control microbiológico de los envases a la salida de los pasteurizadores y corrosión del sistema

La constante dosificación de los productos mencionados en la sección 3.2.1, debería garantizar que el agua no esté contaminada y que no se produzca incrustaciones en los equipos. Durante la revisión de esos productos se observó que en varias ocasiones el sistema de dosificación de bromo-cloro presentó fallas; es decir, no dosificó como se tenía programado. Ello implica concentraciones de cloro libre bajas, y por ende conduce a la contaminación del agua de los pasteurizadores.

En las figuras 4.3 y 4.4 se observa que las concentraciones de cloro en los pasteurizadores se mantienen dentro de los parámetros, excepto el día martes en el pasteurizador 1 y 4, en los cuales se encontró que no se dosificó durante la noche. La concentración baja de cloro en el agua recuperada del día lunes, se debe a que los días domingos generalmente la planta está parada; es decir, no hay producción, por lo tanto no hay recirculación de agua y no se le dosifica cloro gas.

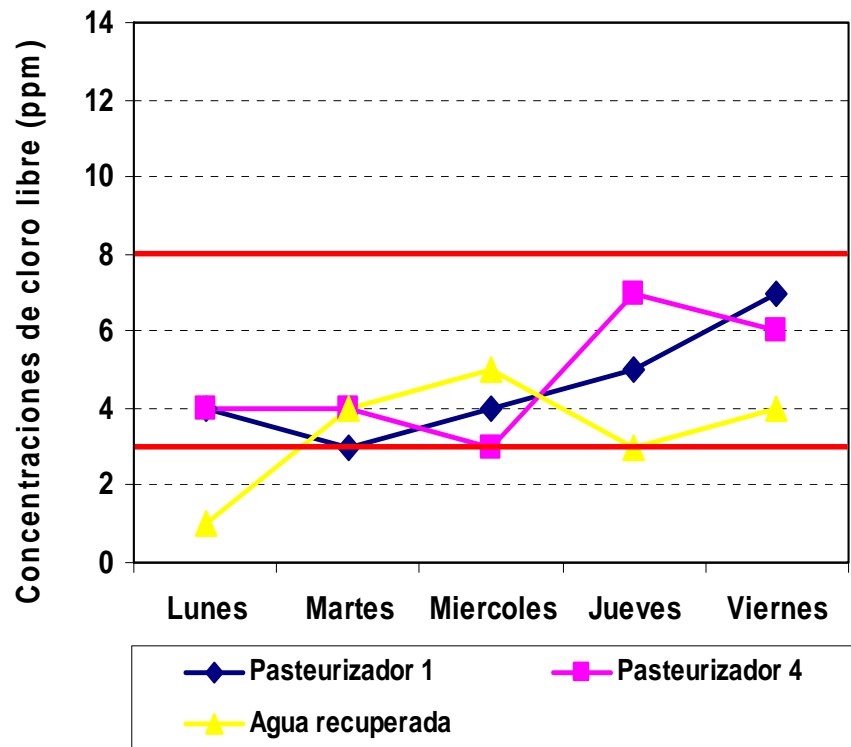


Figura 4.3 Concentraciones de cloro libre en los pasteurizadores 1 y 4, y en agua recuperada.

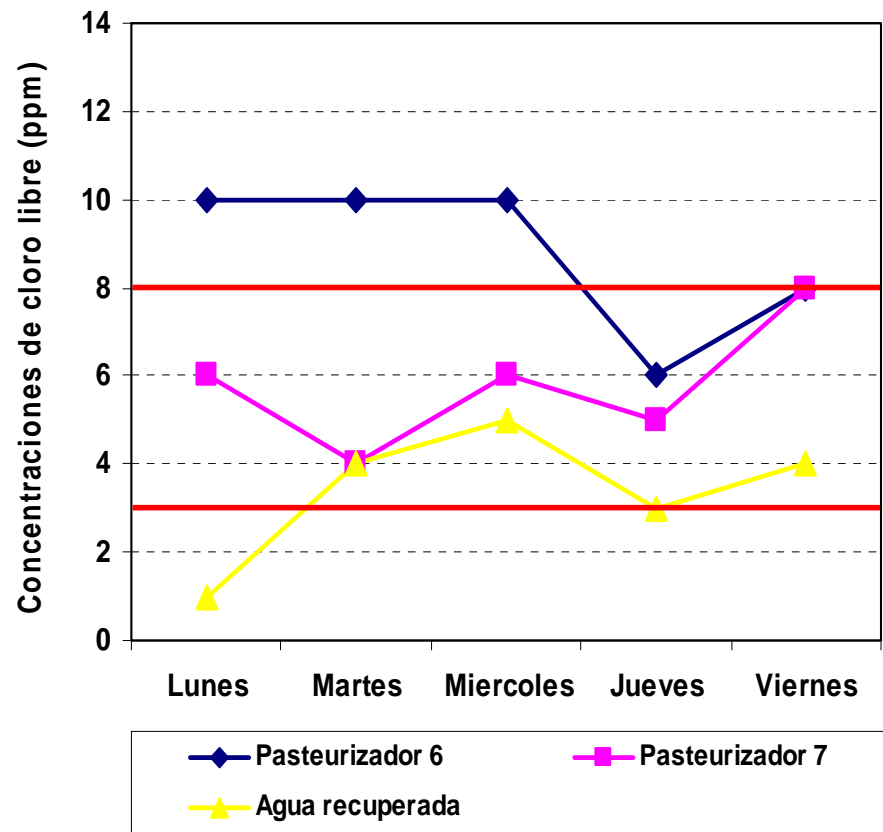


Figura 4.4 Concentraciones de cloro libre en los pasteurizadores 6 y 7, y en agua recuperada.

En la figura 4.5 se observan concentraciones muy por encima de la norma en los pasteurizadores 10 y 9. Estas concentraciones elevadas en el pasteurizador 10 corresponden a que el equipo tuvo muchas paradas durante esa semana y por lo tanto la recirculación era muy pequeña. Con respecto al día jueves para el pasteurizador 9, se encontró la válvula de dosificación abierta manualmente, lo cual indica que se estuvo dosificando en horarios descontrolados y constantemente. En vista de este resultado se dejó de dosificar en las horas siguientes, siempre y cuando la concentración estuviese por encima o igual a 3ppm, y aún así la concentración del día viernes se mantuvo alta. La concentración baja en el pasteurizador 8 evidencia que hubo una parada del equipo; es decir, que no se dosificó bromo cloro.

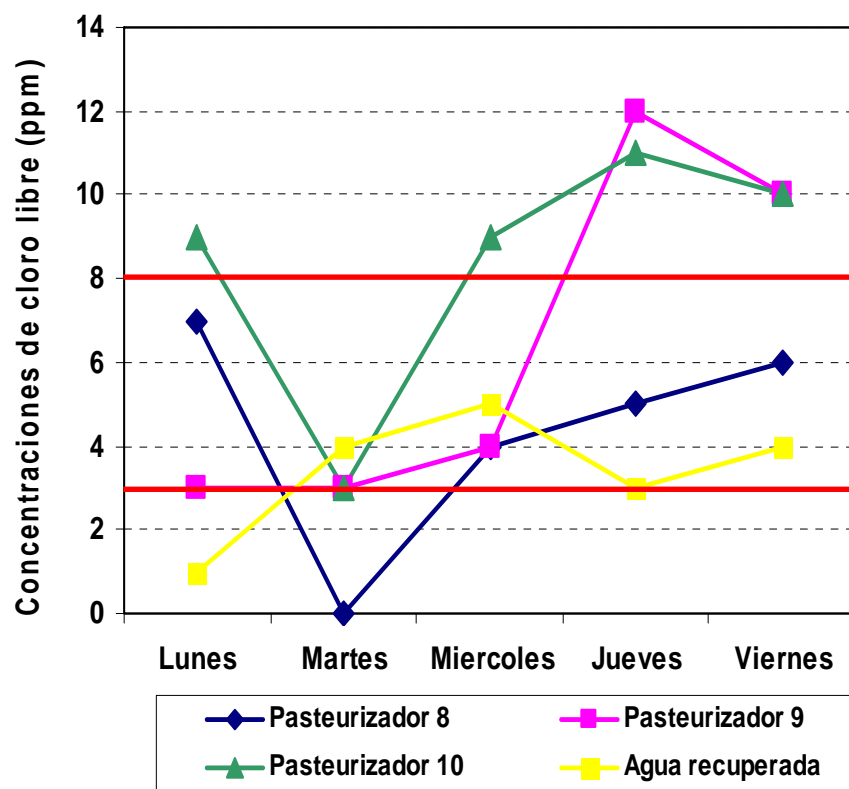


Figura 4.5 Concentraciones de cloro libre en los pasteurizadores 8, 9 y 10, y en agua recuperada.

De acuerdo a los resultados mostrados en la figura 4.6, se observa que a medida que la concentración de fosfato disminuye la presencia de hierro total en el agua aumenta; aún cuando las concentraciones de fosfato se observan dentro de norma (1-4 ppm). Los resultados mostrados en la gráfica fueron obtenidos del sistema SAP/R3 y corresponden a las concentraciones promedios de cada parámetro para diferentes meses. Sin embargo, en la figura 4.7, se observa una variación en las concentraciones de fosfato con respecto a los resultados mostrados en la figura 4.6. Tales variaciones

corresponden a las diferencias entre los métodos para medir la concentración de ese parámetro fisicoquímico, puesto que el utilizado por Ecolab es totalmente diferente al utilizado en el laboratorio. Los datos utilizados en la figura 4.7 fueron suministrados por Ecolab.

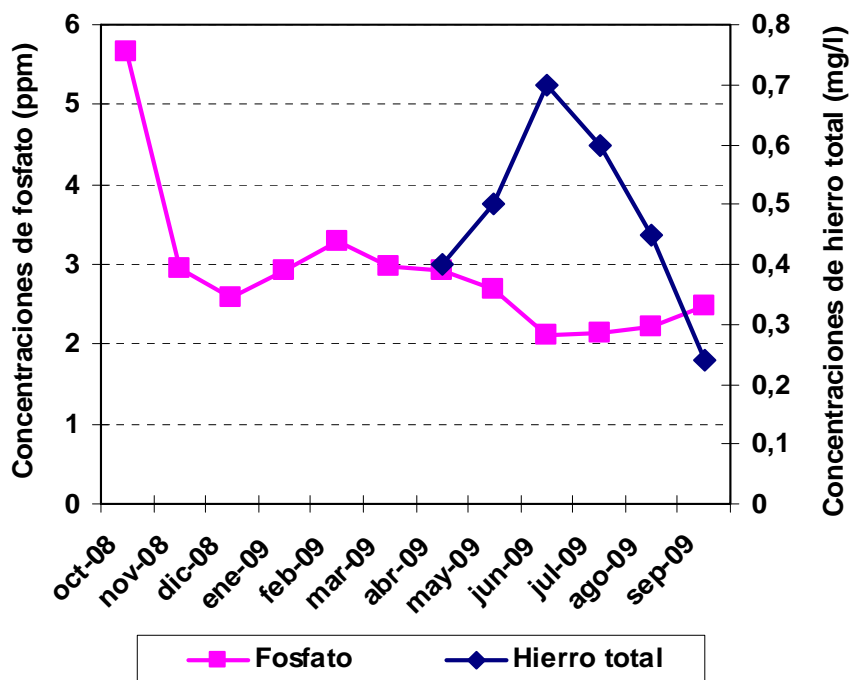


Figura 4.6 Variación de fosfato vs. Hierro total en al agua recuperada.

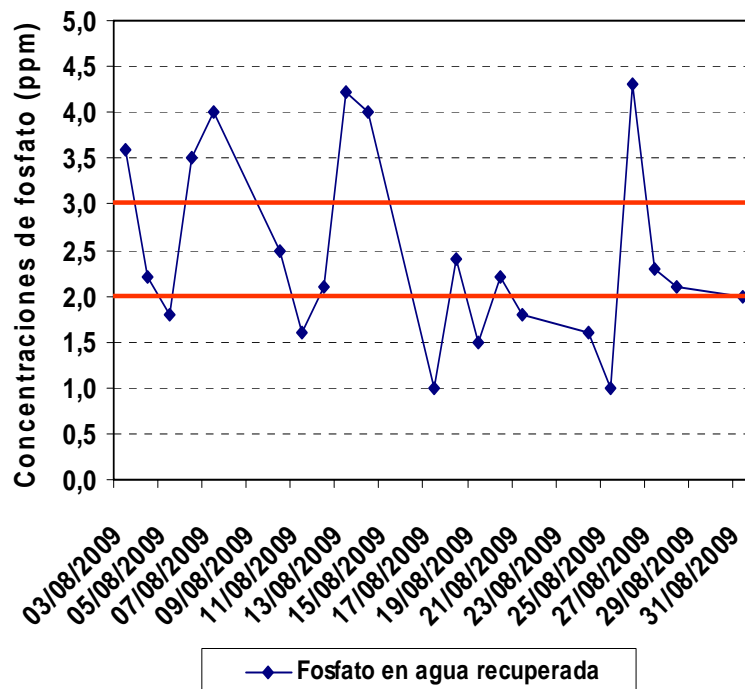


Figura 4.7 Fosfato en agua recuperada (Ecolab).

Una de las razones por las cuales las concentraciones de fosfato estaban fuera de norma, como se muestra en la figura 4.6, es que la bomba de dosificación se encontró apagada en reiteradas oportunidades. Eso evidencia una falla en el servicio técnico, puesto que es el departamento de Ecolab el encargado de hacerle seguimiento al buen funcionamiento.

De acuerdo al resultado obtenido al calcular el índice de Langelier (-1,60), sección 3.2.1, se puede apreciar que el agua tiene tendencia corrosiva. Eso es tratado con el inhibidor de corrosión, pero por la razón expuesta en el párrafo anterior se evidencia el por qué de ese resultado. Además del deterioro de los equipos por su antigüedad, altas concentraciones de cloro, elevadas temperaturas, presencia de sólidos disueltos y bajos valores de pH. [13]

4.2.2 Control de las unidades de pasteurización (UP's)

El control riguroso de las unidades de pasteurización es indispensable para evitar la subpasteurización o sobrepasteurización del producto. En la tabla A.15 se observan valores fuera de norma (7-15 UP's), tanto por encima como por debajo para el mes de agosto. Generalmente las unidades por encima corresponden a las paradas del pasteurizador por: acumulación en la salida, falla en la embaladora o paletizadora, o diferencia de temperaturas; sin embargo, los equipos están dotados de dispositivos que detectan esas paradas y después de cierto tiempo éstos se detienen, (tabla 3.1) evitando así la sobrepasteurización de los productos.

En varias oportunidades se detectaron fallas en el control de UP's durante las paradas, puesto que los equipos se detuvieron por razones anteriormente nombradas y el proceso de pasteurización continuó; es decir, las duchas no dejaron de rociar el producto, lo cual provocó la sobrepasteurización y afectación organoléptica, puesto que dicho producto permanece en el interior de la máquina expuesto al calor por más tiempo de lo debido. Con respecto a las bajas unidades de pasteurización, la razón principal que causa ese problema es la diferencia de temperatura, debido a que se presentaron valores bajos de ésta, por ende no se alcanzaron las unidades necesarias para que el producto esté microbiológicamente apto para consumo. Eso afecta directamente la producción, ya que al presentarse UP's bajas, se debe repasteurizar el producto y, por consecuencia, es pérdida de tiempo en producción. Al registrarse unidades de pasteurización bajas y altas, se afecta directamente el índice de calidad de envasado.

4.2.3 Parámetros de control de calidad del agua recuperada (agua de pasteurizadores)

4.2.3.1 Análisis Físicoquímicos

a) Alcalinidad

La alcalinidad no tiene gran importancia sanitaria, razón por la cual las normas de calidad no señalan un límite máximo permitido, pero su conocimiento sí es esencial, como también lo es su control en los procesos de calidad del agua, en los tratamientos correctivos del poder corrosivo y la tendencia a la incrustación. La alcalinidad se representa generalmente como mg/L de CaCO_3 .

Para el caso del agua de pasteurizadores, los valores de alcalinidad están en norma, los cuales pueden ser observados en la figura 4.8.

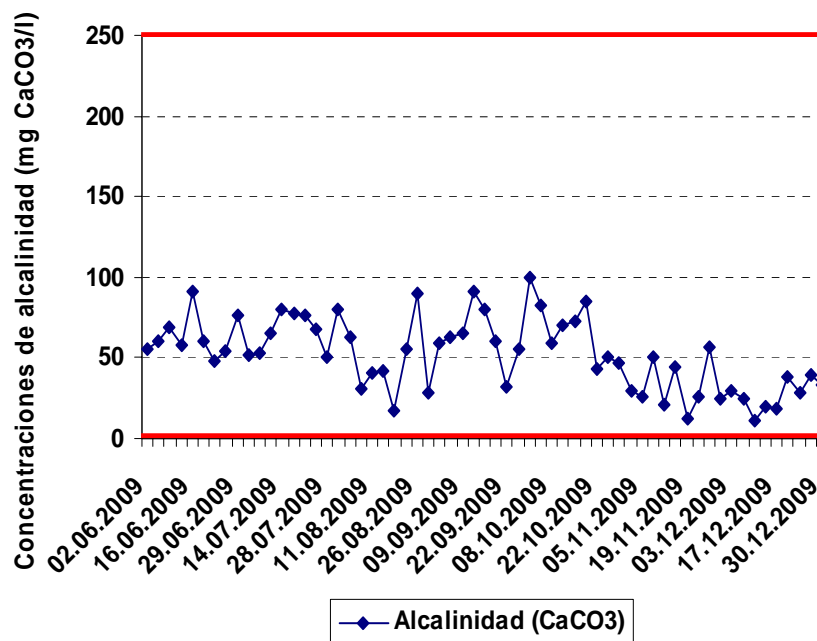


Figura 4.8 Resultados de alcalinidad en el agua recuperada.

b) Cloro

Los residuales de cloro que presenta el agua recuperada se deben fundamentalmente a la aplicación de cloro gas, cuyo producto actúa como desinfectante. Como se puede apreciar en la figura 4.9, los resultados estuvieron fuera de norma en tres oportunidades, lo cual afectó la concentración de cloro libre (bromo cloro) en el momento de esa medición, y a su vez influyó en el índice de calidad de la planta. Tanto el bromo cloro como el cloro gas tienen la misma función; sin embargo, ambos productos son totalmente diferentes y trabajan a distintas concentraciones.

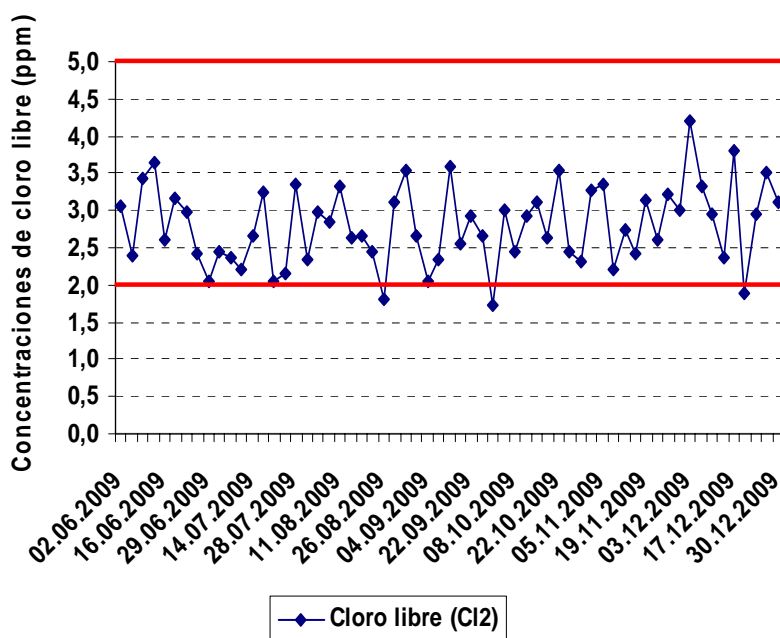


Figura 4.9 Resultados de cloro libre en el agua recuperada.

En las tablas A.16 y A.22 se aprecian variaciones entre los valores de cloro libre en el agua recuperada, aún cuando la muestra es tomada del mismo tanque. Uno de los factores que afecta esa diferencia corresponde a los métodos de medición, puesto que éstos son totalmente distintos (3.2.1.a y 3.2.3). El momento más indicado

para medir la concentración de cloro es una vez tomada la muestra, ya que al pasar el tiempo, el cloro se evapora, y más aún si el envase donde se tomó la muestra no ha sido cerrado correctamente; es decir, no se debe dejar espacio libre dentro de la botella de toma muestra. Ése es otro factor que influye al registrarse concentraciones de cloro bajas.

En la tabla A.21, se muestran los resultados de las concentraciones de cloro libre para el mes de septiembre por parte de Ecolab; dichas muestras fueron tomadas directamente del tanque 1 de los pasteurizadores. Se observan resultados fuera de norma (3-8 ppm), tanto por encima como por debajo. Ello es debido a dosificaciones manuales realizadas durante los días de parada de los pasteurizadores, a que las tapas de los tanques se dejan abiertas, y a la pérdida de agua provocada por el desbalance, ya que al perderse agua, se pierde producto.

c) Conductividad

Es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esa capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición.

En la 4.10 puede apreciarse que los valores reportados estaban dentro de la norma, entre los meses de junio y diciembre de 2009.

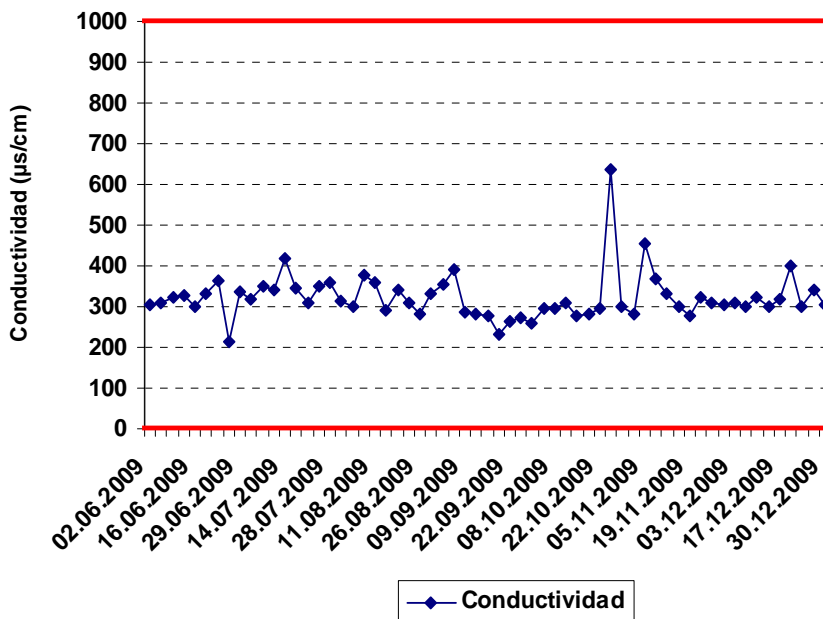


Figura 4.10 Resultados de conductividad en el agua recuperada.

d) Dureza total

Representa el contenido total de los iones alcalinotérreos: magnesio, calcio, estroncio y bario, y se expresa como mg/L de CaCO_3 . La norma sanitaria de calidad del agua [9] establece 500 mg/L de CaCO_3 como máximo permitido para la dureza total; sin embargo para el agua recuperada lo máximo es 200 mg/l.

Esos resultados pueden ser observados en la figura 4.11 Lo que indica que los valores de dureza total obtenidos en el agua recuperada se encontraron dentro de la norma.

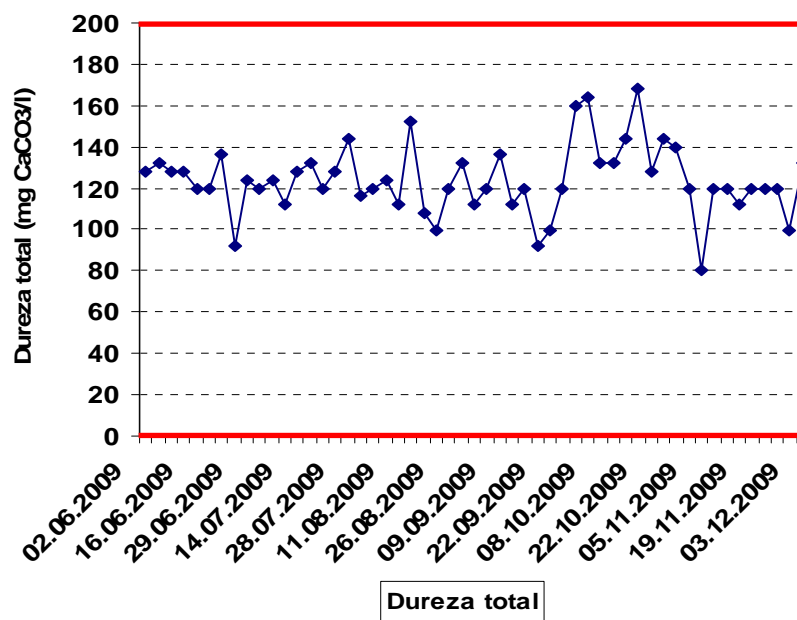


Figura 4.11 Resultados de dureza total en el agua recuperada.

De acuerdo a los resultados obtenidos y a los datos de la clasificación de las aguas según su dureza, establecidos en la tabla 2, es posible afirmar que el agua recuperada es un agua de tipo moderada.

e) Fوسفato

El fوسفato en agua recuperada actúa como agente anticorrosivo de tuberías y equipos; es decir, proporciona una protección adicional contra la corrosión, promoviendo la formación de una película protectora en los sitios anódicos. Si la corrosión en el agua no se controla, los productos de corrosión del hierro introducidos en el sistema pueden llevar a numerosos problemas. Entre estos problemas se incluyen un agua rojiza, transferencia de calor reducida, flujo de agua restringido y disminución de la eficacia de la bomba. Al ser inhibida la corrosión de forma eficaz, se puede minimizar la formación de productos corrosivos y consecuentemente mejorar las condiciones en el sistema. En la figura 4.12 se muestran los resultados de las concentraciones de fوسفato en el agua recuperada, realizadas por el personal del

laboratorio central. Se observa que en promedio los valores se ubicaron dentro de norma.

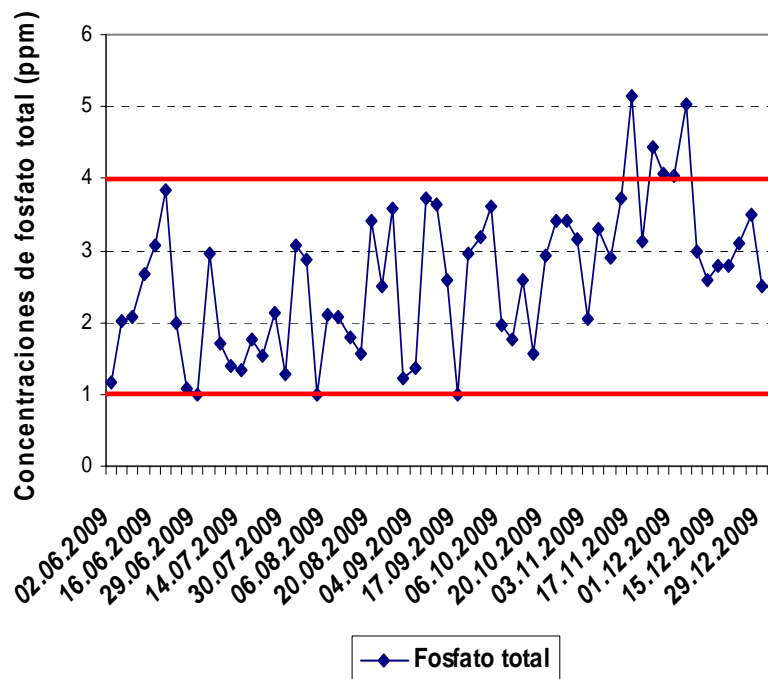


Figura 4.12 Resultados de fosfato en el agua recuperada.

En la figura 4.7, se reportan los valores de fosfato, según las mediciones realizadas por Ecolab. Se observa que existen variaciones en los resultados, tanto por encima como por debajo de la banda establecida por la norma. Esas variaciones se deben al débil control por parte del personal de Ecolab, puesto que en reiteradas ocasiones se encontró la bomba de dosificación apagada, aún cuando se estaba reponiendo agua al tanque; lo cual trajo como consecuencias, bajas concentraciones. Las concentraciones altas, son debido a las dosificaciones manuales, ya que al observar que la bomba se encuentra apagada, ésta es encendida durante un determinado tiempo para dosificar cierta cantidad de producto, sin llevar un control de la cantidad de agua que se repone al tanque 2. Además de lo anteriormente nombrado, por ser el tanque de agua recuperada un circuito cerrado, los solutos se

reconcentran, los cuales para poder disminuirlos es necesario purgar el tanque, y esto a su vez requiere de un consumo de agua filtrada al momento de reponer el agua perdida.

f) Hierro total

El pH del agua recuperada está comprendido entre 6,5 y 8,0, condiciones en las que el hierro soluble presente en el agua está generalmente en estado ferroso. Bajo la acción por adición de cloro, el hierro se oxida pasando al estado férrico, que se hidroliza para dar un hidróxido de hierro insoluble de color rojizo que enturbia el agua, mancha la ropa y aparatos sanitarios, y también altera el sabor del agua. La norma sanitaria de calidad del agua establece un máximo de 0,3 mg/L de hierro total en el agua filtrada.

Los valores reportados en la figura 4.13 muestran concentraciones de hierro total fuera de los límites de calidad mencionados en la norma. Ello puede ser debido a la deficiencia en el servicio técnico con respecto a la dosificación de fosfato, además del deterioro de los equipos por su antigüedad.

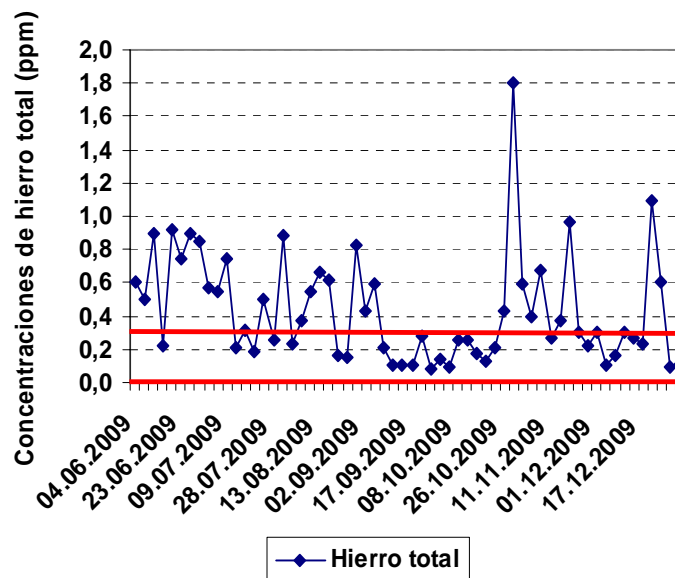


Figura 4.13 Resultados de hierro total en el agua recuperada.

g) pH

La concentración de ión hidronio es un parámetro de calidad de gran importancia en el agua, ya que está estrechamente ligado con la tendencia de acidez que ésta presente. Mientras más bajo es el pH el agua tiende a ser corrosiva y a su vez tiende a oxidar las latas, en el caso del pasteurizador 1. Si el pH es alto el agua se comporta como depositante, es decir, formadora de carbonatos en las tuberías. En la figura 4.14 se muestran los valores de pH puntuales efectuados al agua recuperada; y se puede apreciar que los resultados se encontraron dentro de la norma.

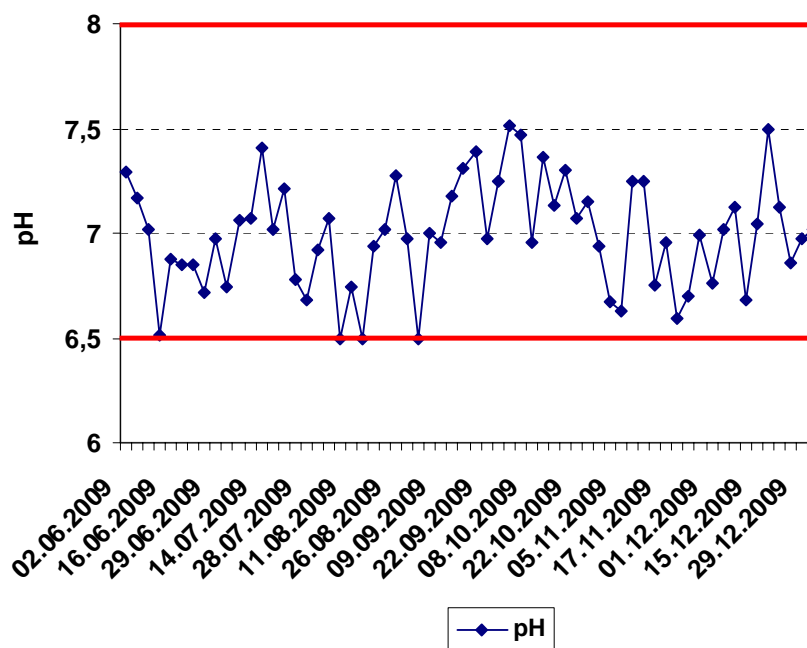
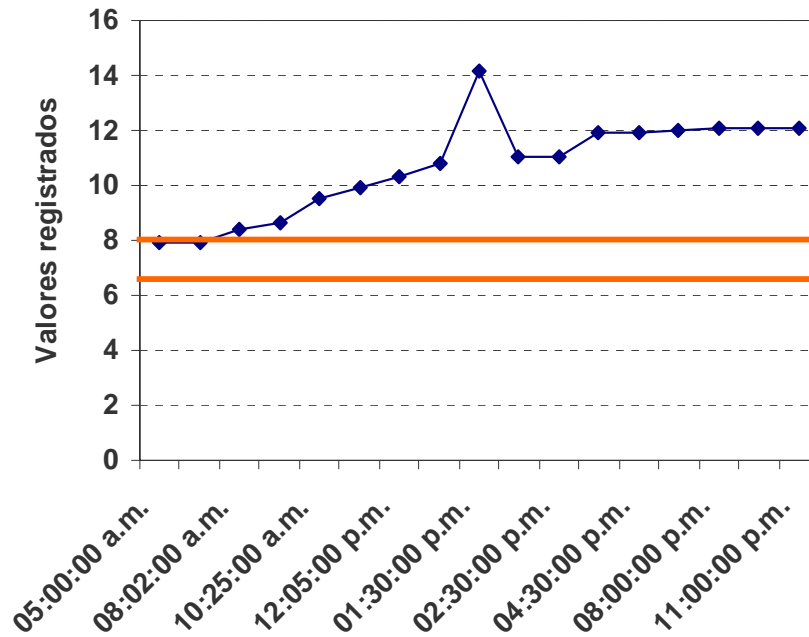


Figura 4.14 Resultados de pH en el agua recuperada.

De acuerdo a la figura 4.15, se aprecian resultados de pH para el día 07 del mes de enero, donde se observan valores fuera de norma; atribuirle a la presencia de jabón lubricante en el agua de los pasteurizadores 7 y 10; éste proveniente de las cadenas transportadoras de productos a la entrada de los pasteurizadores. En vista de esta situación se debió vaciar el tanque 1 de esos pasteurizadores, ocasionando un aumento en el consumo de agua filtrada para llenar los tanques nuevamente y en el consumo de producto inhibidor de microorganismos.



4.15 pH fuera de norma en agua recuperada (día 07/01/2010).

h) Turbidez

El parámetro de turbidez es uno de los más representativos en la calidad del agua; por tal razón cuando se está envasando malta en pasteurizadores para botellas, el agua no se recupera, puesto que las roturas de éstas dentro de los equipos provoca aumento en la turbidez. En la figura 4.16 se muestran los resultados donde se evidencian valores fuera de norma (0-10) NTU. Dichos valores de turbidez corresponden a las mediciones en días donde se recuperó el agua cuando se procesaba malta por tres líneas y era necesario recuperar el agua. En vista de estos resultados se midió la turbidez directamente en el tanque receptor de agua de rebose, y se botó a cloaca el agua del pasteurizador que presentó turbidez mayor a 10 NTU.

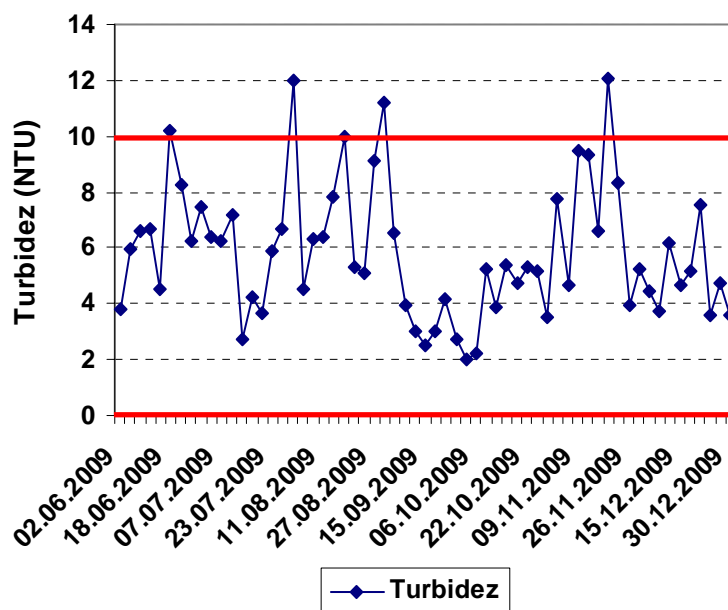


Figura 4.16 Resultados de turbidez en el agua recuperada.

4.2.3.2 Análisis microbiológicos

El análisis microbiológico del agua que se dispone en el sistema de agua recuperada es indispensable para garantizar que no esté contaminada y llegue libre de microorganismos a los pasteurizadores. Una de las condiciones principales para evitar la presencia de agentes patógenos contaminantes es la disminución de turbidez y la acción del cloro como desinfectante. En las figuras 4.9 y 4.16 se observa que en su mayoría, los valores de cloro y turbidez se encontraron dentro de la norma; y por ser cerrado el tanque de agua recuperada un tanque la manipulación por el hombre es casi nula, lo cual también contribuye a no registrarse presencia de coliformes (totales y fecales), siendo éstos comunes en el tracto gastrointestinal tanto en humanos como en los animales de sangre caliente (tabla A.17).

La presencia de materia orgánica y pH bajos, son condiciones adecuadas para la existencia de coliformes fecales [2]. Es por ello que el agua proveniente de los

pasteurizadores pasa por los filtros de arena y antracita para disminuir la carga de materia orgánica que el agua trae. En relación al pH, existe un seguimiento riguroso para evitar que éste permanezca fuera de norma y favorezca el ambiente para la presencia de este tipo de microorganismos; además de evitar la oxidación de las latas por la tendencia corrosiva del agua, al registrarse valores de pH sumamente bajos.

La presencia de coliformes totales debe interpretarse de acuerdo con el tipo de aguas (deben estar ausentes en muestras de aguas potables tratadas). En caso de estar presentes, su número no puede ser superior a 2-3 ufc/100ml; la contaminación a pesar de ser baja, no puede ocurrir en tres muestras recolectadas en días consecutivos. En aguas tratadas, los coliformes funcionan como un alerta de que ocurrió contaminación. Indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución, etc. Su presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de tratamiento de agua, e intensifica la vigilancia en la red de distribución.

4.2.4 Análisis microbiológicos de la superficie externa de los envases a la salida de los pasteurizadores

De acuerdo a los resultados mostrados en las figuras 4.17 y 4.18, se observa la presencia de coliformes fecales y enterococos fecales en la superficie externa de los envases a la salida de los pasteurizadores, indicando éstos contaminación fecal del agua durante el proceso de pasteurización. La eficiencia del proceso de pasteurización está determinada por el efecto Temperatura-tiempo y el efecto producido por los químicos dosificados al agua. Existen diversas razones que contribuyen a la presencia de este tipo de microorganismos (sección 4.2.3.2); sin embargo, en este caso en particular corresponde a las bajas concentraciones de cloro libre registradas en las muestras tomadas en el tanque 1 de los pasteurizadores (como se muestra en la figura 4.19), en la cual las líneas de color rojo indican los límites de trabajo permitidos en cuanto a cloro en los pasteurizadores. Cabe destacar que la inadecuada y constante manipulación del agua a la hora del muestreo influye en parte sobre la contaminación;

además de mantener los tanques descubiertos (anexo B.3), puesto que el cloro tiende a evaporarse a temperaturas ≥ 35 °C. Aunque no es un parámetro estudiado directamente en la calidad microbiológica de los pasteurizadores, la contaminación ambiental producida por el estancamiento del agua (anexo B.2) también es determinante en estos equipos.

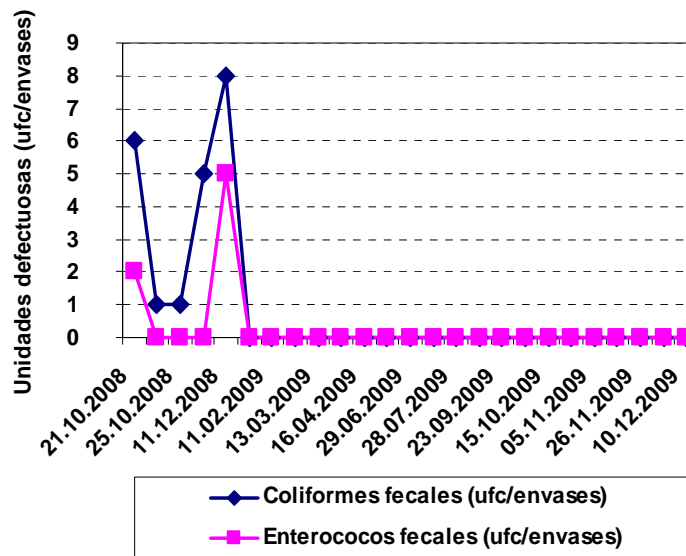


Figura 4.17 Resultados microbiológicos en la superficie externa de los envases (cerveza).

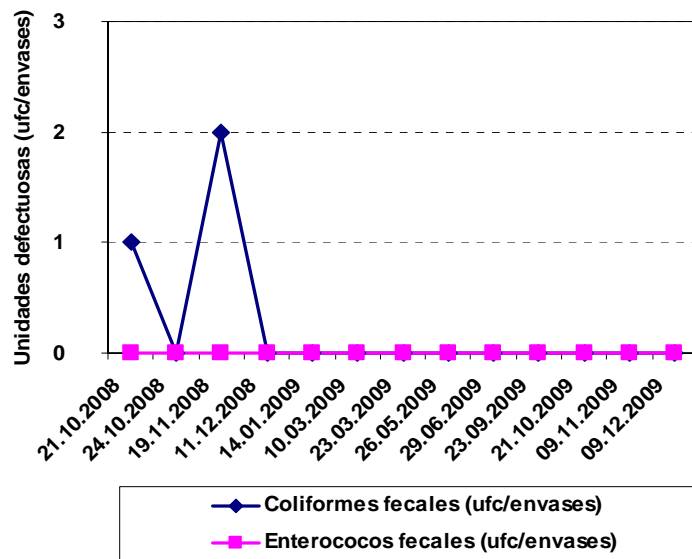


Figura 4.18 Resultados microbiológicos en la superficie externa de los envases (malta).

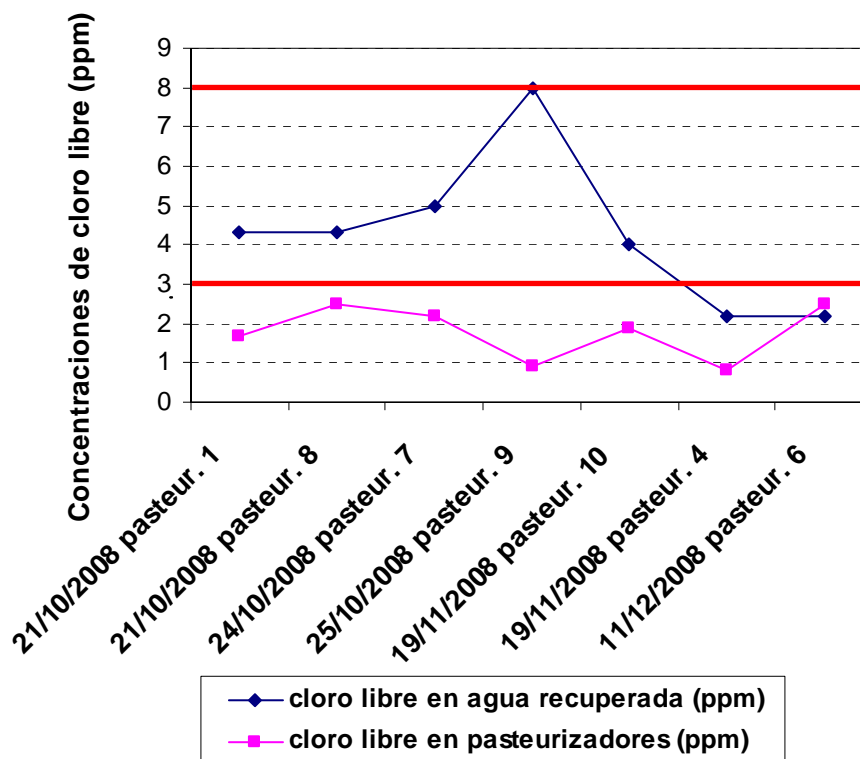


Figura 4.19 Concentraciones de cloro libre en el agua recuperada y pasteurizadores durante la presencia de microorganismos.

Es importante destacar, que aunque el agua utilizada durante este proceso no es consumida directamente por la población, al tener contacto con los envases y contaminar a éstos, desde el punto de vista de salud pública, puede provocar enfermedades infecciosas al hombre como: dengue, cólera, fiebre amarilla, etc.

4.3 Análisis de tratamientos alternos a los usados actualmente

Debido a la disminución de la calidad del producto dosificado al agua de los pasteurizadores y a deficiencias del servicio técnico, se llevó a cabo un análisis

técnico-económico con productos propuestos por Nalco, con la finalidad de sustituir total o parcialmente el tratamiento actualmente aplicado.

La efectividad del tratamiento sugerido fue evaluada a través de las mediciones de cloro libre, pH, análisis microbiológicos y económicos. Por medio de estos parámetros, se hizo posible determinar si el tratamiento evaluado arrojó mejores resultados que el usado actualmente en cuanto al problema microbiológico, y a su vez mejoras en todo el sistema de pasteurización.

En la figura 4.20 se muestra el comportamiento de las concentraciones de cloro libre en el pasteurizador 7. Se observa que la mayoría de los resultados se encuentran dentro del rango, el cual está indicado por las líneas de color rojo. Las altas concentraciones de los primeros días de muestreo corresponden a los semanas de inicio de la prueba, durante las cuales se determinó que para mantener las concentraciones entre los límites establecidos, el flujo de agua para dilución del producto debe estar entre 2 y 3 lpm.

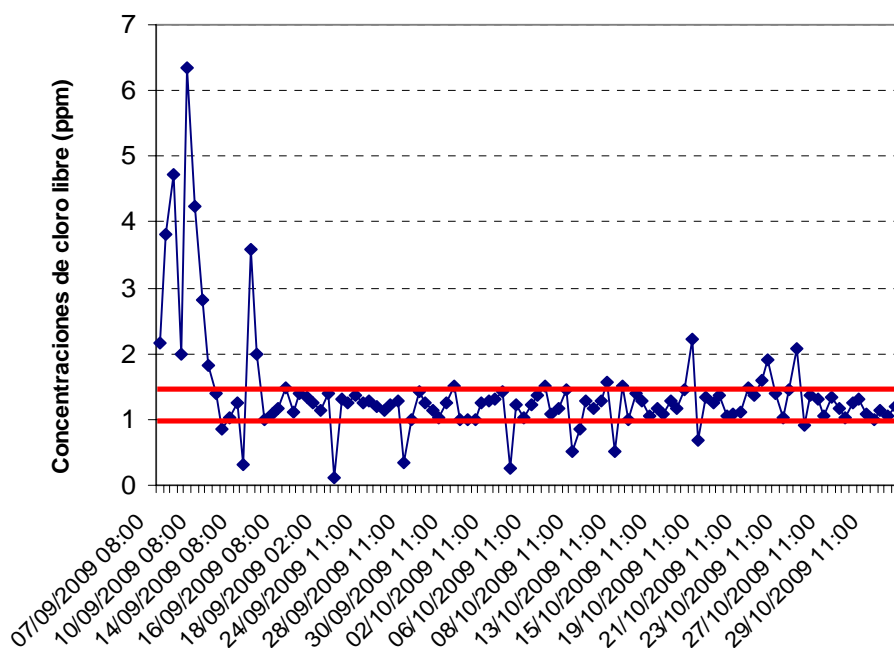


Figura 4.20 Concentraciones de cloro libre en el tanque 1 del pasteurizador 7.

De acuerdo a la figura 4.21, donde aparecen registrados los valores de pH de los análisis puntuales efectuados al agua recuperada por parte de Nalco, se puede apreciar que se encontraron dentro de la norma.

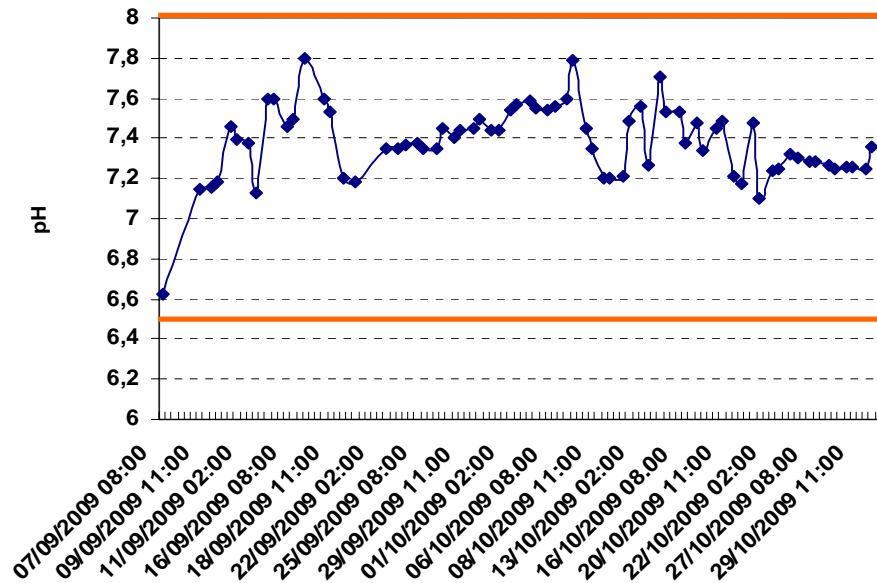


Figura 4.21 Resultados de pH en el agua recuperada por parte de Nalco.

Por otra parte, en la figura 4.22 se aprecian los resultados de cloro libre en el agua recuperada por parte de Nalco. Se observa que la mayoría de los valores se encontraron dentro de la norma, lo cual contribuye a que los valores de cloro libre en el tanque 1 del pasteurizador también estén dentro de los límites establecidos.

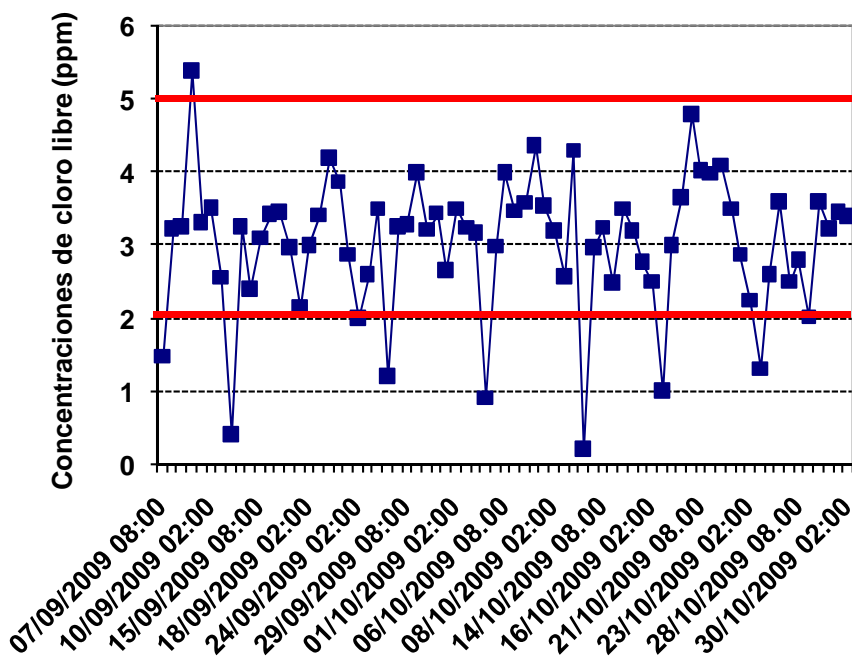


Figura 4.22 Resultados de cloro libre en el agua recuperada por parte de Nalco.

La calidad microbiológica de los envases evaluados en el pasteurizador 7, depende principalmente de los parámetros nombrados en el subcapítulo 3.3.1, cuyos resultados se observan en las figuras 4.20; 4.21 y 4.22. De acuerdo a esos resultados, se puede apreciar la eficiencia del tratamiento evaluado microbiológicamente, el cual también puede ser observado en la figura 4.23.

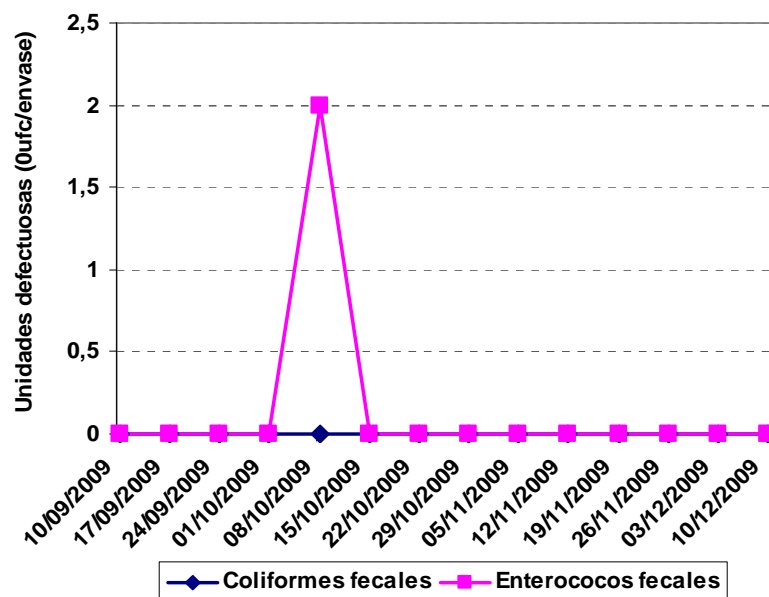


Figura 4.23 Resultados microbiológicos de la superficie externa de los envases a la salida del pasteurizador 7.

Cabe destacar que la presencia de enterococos fecales durante la evaluación del tratamiento corresponde a la baja concentración de cloro registrada el día 8 de octubre, cuando se encontró la válvula de dilución del producto cerrada, lo que indica que no se dosificó durante la noche del día anterior, puesto que la muestra fue tomada a primeras horas de la mañana.

De acuerdo a los resultados mostrados en las figuras 4.17 y 4.18, se realizó la prueba descrita en la sección 3.3.1, en la cual, además de la evaluación microbiológica, también se determinó la velocidad de corrosión del agua para determinar si el tratamiento causó o no incrustaciones, y su afecto sobre la transferencia de calor; como también sobre la pasteurización. [10]

En la tabla 4.3 se aprecian los resultados de las velocidades de corrosión, donde se evidencia que dicha velocidad en el pasteurizador 7 resultó ser mucho menor que en el pasteurizador 10. Una de las principales razones de esta desigualdad se debe a la

diferencia de materiales de los cuales están elaborados los equipos, ya que el pasteurizador 7 es de acero inoxidable y el pasteurizador 10 de acero al carbón. Además, cabe destacar que en el pasteurizador 10 se registraron concentraciones de cloro mucho más elevadas que en el 7 (tabla A.21); siendo el cloro un agente muy corrosivo a elevadas concentraciones. [13]

Tabla 4.3. Velocidades de corrosión.

Cupones	Velocidad de corrosión (mpy)
Pasteurizador 7	2,40*10-6
Pasteurizador 10	0,0132

Otro factor que influye en esa diferencia es la temperatura [13], puesto que el pasteurizador 10 es usado frecuentemente para pasteurizar malta, necesitándose para ello temperaturas mayores de 68°C para llevar a cabo dicho proceso. Es notable la gran diferencia entre dichas velocidades, aún cuando el tiempo de exposición del cupón en el pasteurizador 7 (90 días) fue mas prolongado que en el pasteurizador 10 (60 días).

De acuerdo a lo desarrollado en el subcapítulo 3.3, se realizó un estudio técnico-económico, en el cual se determinó el índice de costo de los pasteurizadores 7 y 9. En la figura 4.24 se muestra el índice de costo y la producción del pasteurizador 7, donde se evidencia que mientras mayor es la producción el índice de costo es menor; en comparación con el otro pasteurizador (figura 4.25), donde se observa que mientras mayor es la producción, el índice de costo aumenta. Ello se atribuye al consumo de producto químico (Aquacid) registrado para ese pasteurizador durante los meses evaluados, (tablas A.19 y A.20).

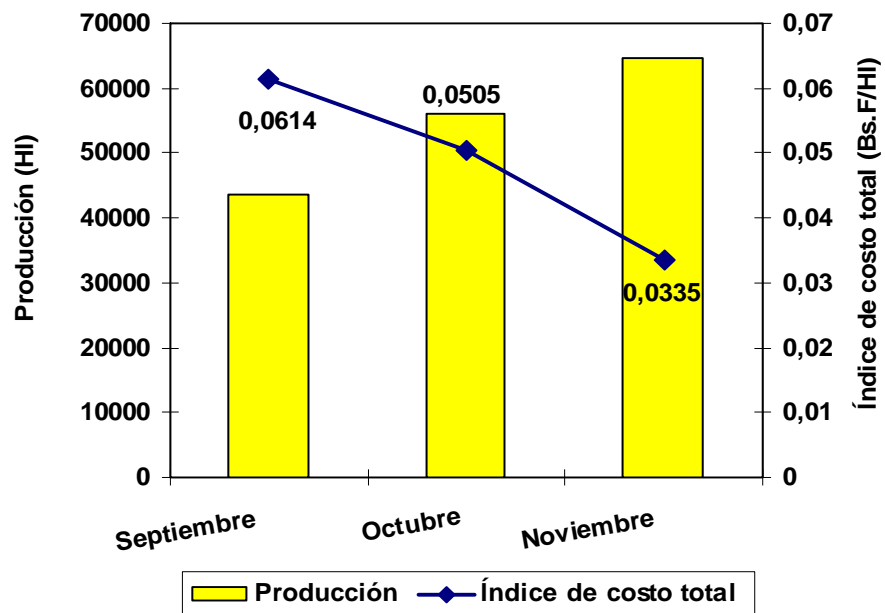


Figura 4.24 Índice de costo de los productos evaluados en el pasteurizador 7 vs. producción.

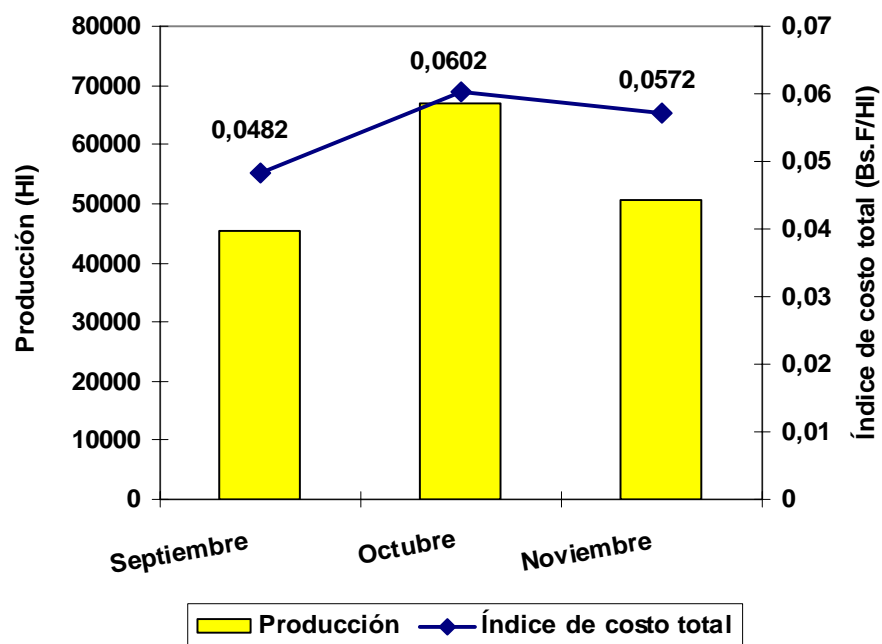


Figura 4.25 Índice de costo del producto usado en el pasteurizador 9 vs. producción.

Cabe destacar que en el índice de costo del pasteurizador 7 están comprendidos dos productos (tabla A.19), mientras que en el pasteurizador 9 está sólo uno (tabla A.20).

Es de hacer notar que la diferencia entre el consumo de los productos químicos Nalco 4360 y bromo cloro, no sólo depende del tiempo de operación de los equipos y de la carga microbiana, sino también de las concentraciones usadas por ambas casas proveedoras de dichos producto.

4.4 Creación de propuestas que garanticen mejoras de calidad del proceso de pasteurización

4.4.1 Dotación de equipos

La recuperación del agua de los pasteurizadores se debe en gran parte al correcto funcionamiento y dotación de los equipos que componen a los pasteurizadores. La falta de los flotadores en los tanques de los pasteurizadores, es la causa principal del control del nivel del agua, puesto que al no poseerlos no existe dicho control, contribuyendo esto al constante rebose del agua de los tanques. Además de los flotadores, la mayoría de las válvulas de entrada de agua filtrada no funcionaban correctamente, puesto que debían permanecer cerradas siempre y cuando los tanques estuviesen correctamente llenos; sin embargo, dichas válvulas permanecían abiertas; es decir, aún cuando los tanques estuviesen llenos seguía entrando agua filtrada. El agua contenida en los tanques recibidores, generalmente se dirige hacia el sistema de agua recuperada para ser tratada y enviarla nuevamente hacia los pasteurizadores; sin embargo, la mayoría de las bombas se encontraron dañadas y otras trabajando manualmente, ocasionando pérdida innecesaria de agua, debido a que el agua que se rebosaba se dirigía a cloaca, y una vez que se va a cloaca no hay manera de recuperarla y mucho menos tratarla.

En vista de que el bromo cloro es dosificado con agua filtrada, también se crea la propuesta de dosificar ese producto químico tomando agua de recirculación y no filtrada como se realiza actualmente, eso contribuye a disminuir el consumo de agua filtrada.

4.4.2 Falta de supervisión

La optimización del uso del recurso agua exige una acción integral, donde la capacitación y concientización de todo el personal es primordial. La falta de

supervisión con respecto al consumo de agua es de suma importancia, debido a que muchas veces se observó al personal del área de envasado utilizando agua filtrada en vez de escobas para limpiar el piso, inyectando agua filtrada directamente con mangueras a los tanques de los pasteurizadores, específicamente a los tanques 4 y 5, ello con la finalidad de disminuir la temperatura cuando ésta se encontraba por encima de los grados permisibles de trabajo. Todo esto también afecta el consumo de agua. Orientada a buenos cambios, se recomendó trabajar en:

- Concientizar a todo el personal de la importancia del agua como recurso.
- Controlar la cantidad de agua utilizada en la limpieza de equipos e instalaciones, estableciendo instrucciones de trabajo con especificación de cantidades.
- Utilización de picos de corte en las mangueras de agua de limpieza.
- Reducción de mangueras para limpieza con agua.
- Uso racional y sustentable del recurso agua.

4.4.3 Procesos no adaptados

Una de las grandes desventajas de recuperar el agua del pasteurizador donde se envasa malta es la alta turbidez que presenta el agua, ocasionada por el rompimiento de las botellas dentro del pasteurizador, lo que al mezclarse con el agua proveniente de los otros pasteurizadores incrementa la turbidez general del sistema de agua recuperada. La norma de turbidez establecida por la cervecería con respecto a este tipo de agua es menor a 10 NTU [9]. Para establecer la factibilidad de esta propuesta se hicieron pruebas midiendo la turbidez en algunos pasteurizadores donde se estaba envasando malta. Al arranque del tren la turbidez del pasteurizador se encontraba en promedio en 4 NTU y después de 8 horas de operación la turbidez oscilaba entre 7 y 10 NTU. Se hicieron pruebas recuperando el agua del pasteurizador donde se envasa malta y se observó un ligero incremento en la turbidez del sistema en aproximadamente 1 NTU. En condiciones normales el sistema trabaja con una

turbidez promedio de 3,5 NTU; por lo que al recuperar el agua del pasteurizador donde se envasa la malta la turbidez del sistema de agua recuperada se ubica dentro de la norma.

4.4.4 Realizar prueba de dosificación de anticorrosivo con otras casas proveedoras de productos químicos

También se propuso realizar una prueba de dosificación de fosfato con otra casa diferente a la usada actualmente (Ecolab), puesto que se encontró mucha debilidad técnica en cuanto a la dosificación del fosfato, (sección 4.2.1). Cabe destacar que la presencia de hierro en el agua recuperada depende en gran parte de la concentración de fosfato que ésta presente. Además se recomendó realizar mediciones de concentración cloro en los pasteurizadores, por lo menos dos veces por día, para garantizar que éstas se encuentren dentro de la norma.

4.4.5 Garantizar limpieza 0 Km a las doce semanas de operación

El agua contenida en los pasteurizadores tiene un tiempo máximo de permanencia en los equipos de 12 semanas [9], puesto que a partir de la semana 13 se registra presencia de microorganismos que contaminan ésta la superficie externa de los envases. En la tabla 4.4 se presentan los resultados microbiológicos de la superficie externa de los envases para el mes de enero 2010, donde se observa presencia de coliformes fecales, totales y enterococos fecales en algunos de los equipos, debido a que el pasteurizador 8 tenía trabajando 14 semanas. Cabe destacar que el agua de ese equipo se mezcla con el agua de los demás equipos en la estación de agua recuperada, contaminando ésta a todo el sistema.

Además de lo dicho anteriormente, se observan las concentraciones de cloro en cada pasteurizador, las cuales en su mayoría estaban por debajo de la norma. En función de estos resultados, se propuso garantizar que se realice la limpieza 0 Km en el tiempo establecido (12 semanas) [9], y así evitar la contaminación de la superficie externa de los envases, además de mantener las concentraciones de cloro dentro de la norma.

Tabla 4.4. Resultados microbiológicos de la superficie externa de los envases para el mes de enero 2010.

Pasteurizadores	Coliformes totales (0ufc/envase)	Coliformes fecales (0ufc/envase)	Enterococos fecales (0ufc/envase)	Cloro libre (ppm)
1	0	0	6 (centro)	0,3
4	0	0	0	3,2
6	0	0	68 (izquierda)	2,1
7	0	0	0	1,3
8	10 (derecha) 12 (centro) 12 (izquierda)	0	66 (derecha) 2 (centro)	1,0
9	1 (izquierda)	0	4 (izquierda)	0,8
10	0	0	0	8,0

4.5 Conclusiones

1. La falta de los flotadores en los tanques de los pasteurizadores y el constante rebose de agua de los tanques recibidores producen pérdidas innecesarias de agua.
2. La recuperación del agua para el año operativo 2008-2009 fue de 80 %, siendo el porcentaje de recuperación ideal 87 %.
3. Mientras menor es la recuperación del agua de los pasteurizadores mayor es el consumo de agua filtrada.
4. Los factores que tienen mayor influencia en el crecimiento microbiano en los pasteurizadores son la concentración del biocida y el efecto temperatura-tiempo.
5. Con la dosificación de los biocidas a altas concentraciones se logra una disminución considerable de microorganismos, sólo durante cuatro horas luego de haberse dosificado.
6. La dosificación del anticorrosivo es efectiva durante la operación de los equipos.
7. La turbidez del agua aumenta considerablemente al recuperarla cuando se envasa malta, debido al rompimiento de botellas.
8. Las bajas concentraciones de anticorrosivo influyen en la presencia de hierro total en el agua.
9. El proceso de corrosión es acelerado por altas concentraciones de cloro agregado y por muy bajos valores de pH.
10. La velocidad de corrosión es directamente proporcional a la temperatura.
11. El tratamiento sugerido por Nalco aporta mejores resultados que el actual, en cuanto a la calidad del agua y la calidad microbiológica de la superficie externa de los envases a la salida de los pasteurizadores.
12. El tratamiento actual arrojó costos mayores que el tratamiento alterno.

4.6 Recomendaciones

1. Evitar el barrido de vidrio con agua a presión. El uso de escobas permite eliminar el riesgo de un suelo excesivamente resbaladizo y favorece la reducción de consumo de agua.
2. Evitar la operación manual de las bombas de los tanques de recuperación de los pasteurizadores, puesto que del funcionamiento automático depende la recuperación efectiva de agua recuperada, y por lo tanto existe una menor necesidad de reposición de agua filtrada. Además así se evitaría que la bomba trabaje en vacío y se produzca cavitación.
3. Colocar flotantes en los tanques de los pasteurizadores para el control del nivel de agua y evitar así las pérdidas innecesarias del recurso hídrico.
4. Hacer una limpieza profunda cada seis semanas en los pasteurizadores para garantizar que la turbidez se mantenga dentro de la norma.
5. Purgar las duchas de los pasteurizadores una vez por turno, para evitar que se tapen.
6. Realizar mediciones de cloro libre por parte de Ecolab por lo menos dos veces por día, para mantener las concentraciones dentro de los parámetros establecidos.
7. Mantener cerradas las válvulas de entrada de agua a los tanques, si éstos presentan los niveles adecuados.
8. No inyectar agua fresca a los tanques directamente con las mangueras, y menos a los tanques 4 y 5 por poseer las temperaturas más altas.
9. Mantener los sifones destapados.
10. Efectuar una prueba del efecto del agua de recirculación sobre la dilución de la dosificación de bromo cloro para comparación con el tratamiento actual.
11. Verificar el accionamiento de control de las UP's para evitar valores de este parámetro fuera de norma.
12. Controlar la concentración de anticorrosivo diariamente, por parte de Ecolab.

13. Cuando se envasa malta, se debe purgar el sistema de agua recuperada por la línea que presente mayor turbidez.

BIBLIOGRAFÍA

1. Montenegro L, “**Desarrollo e implementación de un proceso de pasteurización en la elaboración de bebidas**”. Tesis de grado. Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala (2008).
2. Mieres A, Navas B y Zambrano B. “**Determinación de la efectividad del control químico y microbiológico del agua del equipo de pasteurización de una industria cervecera**”. Revista Ingeniería UC. Vol 14, N° 1 74-81. Universidad de Carabobo. Valencia (2007).
3. Cerna, R. “**Determinación del efecto tiempo-temperatura durante el proceso de Pasteurización sobre el color, aroma y flavor de cerveza usando análisis sensoriales**” Tesis de grado, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. Puerto Rico (2006).
4. González, M.L., Muñiz R. P. y Valls B. V. **Actividad antioxidante de la cerveza: Estudios in vitro e in vivo**. Centro de Información Cerveza y Salud, Departamento de Biotecnología y Ciencia de los Alimentos, Universidad de Burgos (2001).
5. Castañe B: History, **manufacture and properties. Alimentación equipos y tecnología**, 16 p. 41-48. (1997)
6. Lewis, M.J., y Young, T.W. Brewing. xii Isbn 041226420. p. 260. (1995)
7. “**Guía de operación de tratamiento de aguas**”. Empresas Polar, Venezuela (1999).
8. Rodier, J. “**Análisis de las aguas**”. Primera Edición. Editorial Omega. España (1987).
9. “**Portal de Empresas Polar**”. Disponible en www.empresas-polar.com. (2008).
10. Pasteurizadores “**Lo que realmente importa es el proceso**”. Disponible en www.barry-wehmiller-company.com. (2008).

11. Broderick, H. **“El cervecero en la práctica: un manual para la industria cervecera”**. Asociación de Maestros Cerveceros de las Américas, Segunda Edición. EEUU (1977).
12. Fox, M., **“Technical publications/training”**. Barry-Wehmiller Company, USA, (1978).
13. Nalco **“Tratamiento de Agua”**. Venezuela (2008)
14. Treybal, R., **“Operaciones de transferencia de masa”**, Editorial McGraw-Hill, Segunda edición, México, (2004).
15. Smith, Van Ness y Abbott, **“Introducción a la termodinámica en ingeniería química”**, Editorial McGraw-Hill, Séptima edición, México, (2007).
16. Mc Cabe, W.; Smith, J. y Harriott, P., **“Operaciones unitarias en Ingeniería Química”**, Editorial McGraw-Hill, Sexta edición en español, México, (2002).
17. Himmelblau, D., **“Balances de materia y energía”**, Editorial Prentice Hall, Cuarta edición, México, (1998)
18. Gaceta Oficial de la República de Venezuela , Ministerio de Sanidad y Asistencia Social, Resolución: “Normas sanitarias de la calidad del agua”. Capítulo III, artículo 14, N° 36.395, Caracas (1998).
19. Perry, R., **“Manual del ingeniero químico”**. Sexta Edición en español. Editorial McGraw Hill. México (1998).
20. Lipesa. **“Tratamiento químico del agua”**. Editorial Impregraf, Venezuela (1998).
21. Kemmer F y J. Mc. Callion, **“Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones”**, NALCO. México (1998).
22. Coraspe, H., **“Manual de Tratamiento de Agua: Lipesa”**. Editorial Gráficas Chermar, Caracas (1989).
23. Rodriguez, S., **“Control de Agua para Calderas”**. NALCO, Venezuela, (2003).
24. Bueno S, **“Determinación de la calidad microbiológica de alimentos listos para el consumo en establecimientos que preparan y sirven alimentos en la**

región de Mayagüez". Tesis de grado. Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayaguez. Puerto Rico (2005).

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PASTEURIZACIÓN DE PRODUCTOS DE UNA PLANTA CERVECERA
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
López C, Rosinic C	CVLAC: 17.957.834 E MAIL: chini245@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Evaluación

Pasteurización

Planta cervecera

Envasado

Análisis

Aguas

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

Cervecería Polar C.A. Planta Oriente ha registrado últimamente presencia de microorganismos en el agua empleada durante el proceso de pasteurización lo cual trae como consecuencia, contaminación de la superficie externa de los envases a la salida de los pasteurizadores, afectando así el índice de calidad de la planta, incluyendo en éste la microbiología en estos equipos. Para cumplir con los objetivos de este proyecto, se realizó un estudio detallado de todo el sistema, donde se conoció que el agua utilizada los equipos, es tratada con productos químicos que inhiben el crecimiento microbiano y la corrosión del sistema , y aún así la misma tiene un alto grado de corrosión. Se realizó una prueba de dosificación de otros productos químicos inhibidores de la flora microbiana en el agua de uno de los pasteurizadores, utilizando concentraciones bajas con respecto a la usada en los demás equipos, y agua de recirculación no filtrada para la dosificación del producto. Se realizaron análisis microbiológicos, en los cuales se registró una unidad formadora de colonia por envase muestreado (1ufc/envase). Finalmente se realizó un estudio económico, arrojando un costo inferior al tratamiento usado actualmente.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Cova, Alexis	ROL	CA	AS(X)	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Yerres, Beatriz	ROL	CA	AS	TU(X)	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Alvarez, Lucas	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Amundaraín, Milena	ROL	CA	AS	TU	JU(X)
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	06	11
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis.Evaluación.pasteurizacion.cervecera.doc	Application/ msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H
I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v
w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de ingeniería química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

López C., Rosinic C.

AUTOR

Ing Alexis Cova

TUTOR

Ing. Milena Amundaraín

JURADO

Ing. Lucas Álvarez

JURADO

Ing. Beatriz Yegres

TUTOR

Ing. Yraima Salas

POR LA SUBCOMISION DE TESIS