



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**OPTIMIZACIÓN DEL VAPOR, CONDENSADO Y AGUA CRUDA DE UN
PASTEURIZADOR DE TIPO DE TÚNEL EN UN PROCESO DE CERVEZA**

German Abelardo Recinos Escobar

Asesorado por el Ing. Oscar Ernesto Jurado Godoy

Guatemala, octubre del 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DEL VAPOR, CONDENSADO Y AGUA CRUDA DE UN
PASTEURIZADOR DE TIPO DE TÚNEL EN UN PROCESO DE CERVEZA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GERMAN ABELARDO RECINOS ESCOBAR

ASESORADO POR EL ING. OSCAR ERNESTO JURADO GODOY

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DEL 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADOR	Ing. Erwin Danilo González Trejo
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

OPTIMIZACIÓN DEL VAPOR, CONDENSADO Y AGUA CRUDA DE UN PASTEURIZADOR DE TIPO DE TÚNEL EN UN PROCESO DE CERVEZA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha mayo de 2021.

German Abelardo Recinos Escobar



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.ASP.EMI.070.021
Guatemala, 12 de julio 2021.

Ingeniero
Oscar Ernesto Jurado Godoy
Asesor

Un cordial saludo:

Por medio de la presente me dirijo a usted para informarle que el Ing. Juan Carlos Godínez, fue nombrado como revisor del Trabajo de Graduación Titulado **OPTIMIZACIÓN DEL VAPOR CONDENSADO Y AGUA CRUDA DE UN PASTEURIZADOR DE TIPO TÚNEL EN UN PROCESO DE CERVEZA**, del estudiante universitario **German Abelardo Recinos Escobar**, hacemos de su conocimiento los cambios realizados para su aprobación.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Erwin Danilo González Trejo
Encargado de Asignación de Revisor
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Vo.Bo.
Ing. Oscar Ernesto Jurado
Asesor


OSCAR ERNESTO JURADO GODOY
INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 8604



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.REV.EMI.080.021

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **OPTIMIZACIÓN DEL VAPOR CONDENSADO Y AGUA CRUDA DE UN PASTEURIZADOR DE TIPO TÚNEL EN UN PROCESO DE CERVEZA**, presentado por el estudiante universitario **German Abelardo Recinos Escobar**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Juan Carlos Godínez Orozco
Ingeniero Industrial
Colegiado No.11828

Ing. Juan Carlos Godínez Orozco
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, julio de 2021.

/mgp



ESCUELA DE
INGENIERÍA MECÁNICA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

REF.DIR.EMI.101.021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **OPTIMIZACIÓN DEL VAPOR CONDENSADO Y AGUA CRUDA DE UN PASTEURIZADOR DE TIPO TUNEL EN UN PROCESO DE CERVEZA**, presentado por el estudiante universitario **German Abelardo Recinos Escobar**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Firmada digitalmente por Cesar Ernesto Urquizu Rodas
Motivo: Ingeniero Industrial
Ubicación: Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería
Mecánica Industrial, USAC
Colegiado 4,272

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, octubre de 2021.

/mgp

DTG. 483.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DEL VAPOR, CONDENSADO Y AGUA CRUDA DE UN PASTEURIZADOR DE TIPO DE TÚNEL EN UN PROCESO DE CERVEZA,** presentado por el estudiante universitario: **German Abelardo Recinos Escobar,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, octubre de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por bendecir e iluminar mi vida, y por permitirme cumplir este sueño y vivir este momento.
- Mis padres** Manuel Recinos y Angélica de Recinos, por todo su amor, esfuerzo y buen ejemplo, que me han llevado a ser la persona que soy.
- Mi esposa** Elisa Martin, por sus consejos y ejemplo que he recibido. Todos reciban este triunfo como muestra del amor que le tengo.
- Mi asesor de tesis** Oscar Jurado, por su apoyo incondicional y dedicación, muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

A la gloriosa Tricentenaria, por ser mi casa de estudios y permitir mi formación académica como profesional, de la cual estoy orgullosa de egresar.

Facultad de Ingeniería

Por forjarme y desarrollar en mí las habilidades científicas y técnicas, que me permitieron obtener el título de ingeniero industrial.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	X
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. La empresa a fin	1
1.2. Ubicación.....	1
1.2.1. Características.....	2
1.2.2. Historia	2
1.2.3. Misión	3
1.2.4. Visión.....	3
1.2.5. Valores	3
1.2.6. Organización.....	4
1.2.6.1. Organigrama.....	4
1.2.6.2. Puestos y funciones.....	5
1.3. Proceso de pasteurización	6
1.3.1. Definición	6
1.3.2. Características.....	6
1.3.3. Tipos.....	6
1.3.3.1. Tipo de túnel.....	7
1.3.3.2. Tipos flash	7
1.3.4. Equipos.....	7

1.3.5.	Vapor en un proceso	8
1.3.6.	Condensado en un proceso	8
1.3.7.	Agua cruda en un proceso	9
1.4.	La industria alimenticia.....	9
1.4.1.	Proceso de pasteurización	9
1.4.2.	Adelantos tecnológicos	10
1.5.	Proceso de la cerveza.....	10
1.5.1.	Proceso de llenado de cerveza	11
1.5.2.	Proceso de pasteurización en el llenado.....	12
2.	ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL DE PASTEURIZACIÓN.....	13
2.1.	Sistema actual de pasteurización.....	13
2.1.1.	Tipo de tuberías	14
2.1.1.1.	Clasificación de tuberías del sistema ...	14
2.1.1.2.	Accesorios utilizados en el sistema.....	17
2.1.2.	Tipo de vapor en la entrada del sistema	17
2.1.2.1.	Tipo de tuberías	18
2.1.2.2.	Accesorios.....	19
2.1.2.3.	Tipo de intercambiadores.....	20
2.1.2.4.	Características técnicas	21
2.1.3.	Condensado dentro del sistema.....	23
2.1.3.1.	Tipo de tuberías	24
2.1.3.2.	Accesorios.....	25
2.1.3.3.	Tanques de recuperación.....	25
2.1.4.	Agua cruda al sistema	26
2.1.4.1.	Tipo de tuberías	28
2.1.4.2.	Accesorios.....	29
2.1.4.3.	Tipo de tanques de recuperación	30
2.1.4.4.	Tipo de bombas.....	30

2.2.	Mantenimientos aplicados al sistema	31
2.2.1.	Mantenimientos preventivos	31
2.2.2.	Mantenimientos correctivos	33
2.3.	Tipo de limpieza	33
2.3.1.	Limpieza del sistema	34
2.3.2.	Protección del sistema de algunos productos químicos	34
3.	PROPUESTA PARA OPTIMIZAR EL VAPOR CONDENSADO Y AGUA CRUDA DE UN PROCESO	37
3.1.	Tuberías de vapor	37
3.1.1.	Normas específicas	39
3.1.2.	Clasificación del vapor para la pasteurización	40
3.1.2.1.	Condiciones de diseño del pasteurizador	41
3.1.3.	Tipo de intercambiadores	43
3.1.3.1.	Especificaciones técnicas	44
3.1.3.2.	Cantidad de intercambiadores a utilizar	46
3.1.3.3.	Gráfica temperatura versus Tiempo	47
3.2.	Tuberías para el condensado	49
3.2.1.	Normas específicas de la tubería	50
3.2.2.	Tipo de trampas	50
3.2.3.	Tipo de tanques de recuperación	53
3.2.4.	Análisis del sistema de condensado	55
3.2.4.1.	Recuperación óptima del condensado	56
3.3.	Aplicación de normas para el agua cruda	57
3.3.1.	Área de bombas	57

3.3.1.1.	Tipo de bombas.....	58
3.3.1.2.	Accesorios.....	62
3.3.2.	Tipo de tuberías	63
3.3.2.1.	Normas específicas de tubería.....	64
3.3.2.2.	Tipo de API.....	65
3.3.3.	Accesorios y equipo	65
3.3.3.1.	Controladores industriales.....	65
3.4.	Plan de mantenimiento actualizado del pasteurizador	66
3.4.1.	Mantenimiento programado preventivo	67
3.4.1.1.	Diario	67
3.4.1.2.	Semanal	68
3.4.1.3.	Mensual.....	68
3.4.2.	Mantenimiento correctivo	69
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	71
4.1.	Especificaciones del proceso mejorado	71
4.1.1.	Tuberías en las diferentes etapas	71
4.1.2.	Equipos	72
4.1.3.	Operación.....	73
4.1.4.	Mantenimiento.....	74
4.1.5.	Intercambiadores.....	75
4.1.5.1.	Diseño de intercambiadores.....	75
4.1.5.2.	Interpretación de la gráfica temperatura versus tiempo.....	77
4.2.	Condensado.....	79
4.2.1.	Tanques de recuperación.....	80
4.2.1.1.	Cantidad de tanques	80
4.2.1.2.	Costo de tanques	81
4.2.2.	Equipos mejorados.....	81

4.2.3.	Trampas específicas para el proceso	82
4.3.	Agua cruda	84
4.3.1.	Sistema de recirculación del agua	84
4.3.1.1.	Tanques.....	85
4.3.1.1.1.	Costo de los tanques....	86
4.3.1.1.2.	Limpieza de tanques	86
4.3.1.2.	Bombas	87
4.3.1.2.1.	Especificación de las bombas en el proceso ..	87
4.3.2.	Programas de mantenimientos	88
4.3.2.1.	Preventivo.....	88
4.3.2.2.	Correctivo	89
4.3.3.	Suministros para el sistema de agua cruda	90
4.3.4.	Mantenimiento del agua cruda.....	91
4.4.	Recuperación del agua versus medioambiente.....	91
4.4.1.	Mejoras en la propuesta de recuperación del agua cruda.....	92
5.	RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO	93
5.1.	Interpretación de resultados del sistema propuesto	93
5.1.1.	Tuberías	93
5.1.2.	Mantenimientos	94
5.1.3.	Operación	94
5.1.4.	Costos de producción	94
5.2.	Interpretación de resultados por tanques	95
5.2.1.	Cantidad de tanques para la retroalimentación	95
5.2.2.	Costo de tanques de recuperación de condensado	96
5.2.3.	Costo de recuperación del condensado	97

5.2.4.	Análisis de rendimiento de pasteurización	97
5.3.	Reutilización del agua cruda según resultados	99
5.3.1.	La utilización del agua en otros procesos.....	99
5.3.2.	Actualización del equipo según resultados.....	99
5.3.3.	Auditorias de mejoras.....	100
5.3.3.1.	Auditorías internas	100
5.3.3.2.	Auditorías externas	101
5.4.	Estadísticas del equipo del mejorado.....	102
5.4.1.	Mantenimientos	102
5.4.1.1.	Preventivo	103
5.4.1.2.	Correctivo	104
5.4.2.	Recuperación del agua	104
5.4.2.1.	Dentro del proceso	104
5.4.3.	Cantidad de agua producida versus recuperada...	105
5.4.4.	Cantidad de condensado recuperado	106
CONCLUSIONES.....		107
RECOMENDACIONES		109
BIBLIOGRAFÍA.....		111
ANEXOS.....		113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama de la empresa.....	5
2.	Tubería de vapor de la caldera hacia el sistema.....	16
3.	Instalación de vapor en el sistema	20
4.	Tipo de intercambiador de calor	21
5.	Agua cruda del sistema.....	28
6.	Sistema de rociadores de agua.....	42
7.	Sistema de circulación de agua en las diferentes etapas.....	43
8.	Diseño de intercambiador de calor propuesto	46
9.	Diagrama de los intercambiadores de calor propuesto del pasteurizador tipo túnel	47
10.	Gráfico de unidades de pasteurización versus tiempo	48
11.	Diagrama de flujo del intercambiador versus tanque de condensado ..	55
12.	Bomba centrífuga.....	59
13.	Gráfica de curvas de la temperatura en un intercambiador versus tiempo	76
14.	Gráfico de temperatura versus tiempo	79
15.	Tanque de recirculación de agua pasteurizador	85
16.	Circuito de suministro de agua al pasteurizador	90
17.	Gráfico de rendimiento de pasteurización	98
18.	Cantidad de agua recuperada.....	105

TABLAS

I.	Especificaciones de las tuberías del sistema.....	15
II.	Análisis de los tipos de tuberías.....	15
III.	Tipo de Vapor en la entrada del sistema	17
IV.	Análisis del tipo de vapor	18
V.	Tipo de tubería de vapor	19
VI.	Características del intercambiador actual	23
VII.	Intercambiador de carcasa y tubos	23
VIII.	Tipos de tuberías de condensado.....	24
IX.	Análisis de tubería de condensado	24
X.	Tanques de recuperación de condensado.....	26
XI.	Análisis de agua cruda en el sistema.....	27
XII.	Tipo de tubería del agua	29
XIII.	Tipo de bombas en el agua cruda.....	31
XIV.	Programa de mantenimiento preventivo	32
XV.	Análisis del mantenimiento preventivo	33
XVI.	Datos de tubería de vapor	38
XVII.	Aislamiento de tubería	39
XVIII.	Características del vapor saturado para calentamiento	40
XIX.	Fases de operación del pasteurizador	41
XX.	Características del intercambiador propuesto.....	44
XXI.	Especificaciones técnicas	45
XXII.	Unidades de pasteurización versus tiempo	48
XXIII.	Tipo de tubería propuesta.....	50
XXIV.	Trampa de vapor.....	51
XXV.	Temperaturas y entalpías de la trampa de vapor.....	52
XXVI.	Especificaciones de presión de trabajo de trampa de vapor de flotador y termostato	53

XXVII.	Trampa de flotador y termostato seleccionada	53
XXVIII.	Características del tanque de condensado	54
XXIX.	Equipos utilizados en la recuperación del condensado.....	56
XXX.	Ahorros energéticos en el tanque de condensado	56
XXXI.	Ventajas y desventajas de la bomba.....	58
XXXII.	Especificaciones técnicas de la bomba.....	60
XXXIII.	Accesorios propuestos al sistema.....	63
XXXIV.	Características de la tubería propuesta.....	64
XXXV.	Controladores industriales.....	66
XXXVI.	Estrategias implementadas en el ahorro de energía del pasteurizador tipo túnel	72
XXXVII.	Estrategias de los equipos mejorados.....	73
XXXVIII.	Estrategias Implementadas en la operación	74
XXXIX.	Implementación de objetivos de mantenimiento	74
XL.	Datos del diseño del intercambiador de calor	77
XLI.	Datos de la pasteurización de temperatura versus tiempo.....	78
XLII.	Costo e instalación de tanque de recuperación de condensado	81
XLIII.	Costo de los tanques.....	86
XLIV.	Especificaciones de las bombas	87
XLV.	Costo de los tanques de condensado	96
XLVI.	Análisis del rendimiento de pasteurización	98
XLVII.	Detalle de costos de mantenimiento preventivo	103
XLVIII.	Cantidad de agua recuperada durante la producción	105
XLIX.	Cantidad de condensado recuperado	106

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados centígrados
hl	Hectolitros
KW hora	Kilowatios hora
m³	Metros cúbicos
mm	Milímetros
ppm	Partículas por millón
%	Porcentaje

GLOSARIO

Agua cruda	Es el nombre que se le da al agua en proceso donde no se utilizará más dentro de otro proceso.
ASA	Asociación Americana de Estandarización <i>American Society Testing Material</i> . Asociación de tuberías internacional.
BTU	Unidad Térmica Británica.
Condensar	Es el cambio de estado de la materia que se encuentra en forma gaseosa a forma líquida.
ISO 18000	Normas de calidad mundial.
Pasteurizador	Es una planta compacta, diseñada para el tratamiento de leche fluida, para su posterior comercialización recomendados.
TEMA	Es el conjunto de normas y estándares más habitual empleado por diseñadores, fabricantes y usuarios para la fabricación y el diseño de intercambiadores de calor.

Temperatura

Es una magnitud física que expresa el nivel de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente.

UPS

Unidad de Medida de pasteurización.

Vapor

Aquel gas que se puede condensar por presurización a temperatura constante o por enfriamiento a presión constante.

RESUMEN

En una empresa que tiene como objetivo principal ser número uno en el mercado de bebidas; y donde se elaboran gran gama de productos para el consumo de comidas a un bajo costo, dado que su producción es variada dentro de un mercado guatemalteco. También se realizará un análisis para garantizar la calidad de los productos en un mercado muy competitivo y el cual pudiera ser más exigente con lo que se consume.

La optimización de los recursos que se utilizan en el proceso de pasteurización, se estudiará en el presente trabajo de graduación, obteniendo como resultado la eficiencia en el aprovechamiento de los mismos y los desechos residuales que puede ocasionar un impacto ambiental.

OBJETIVOS

General

Optimizar el vapor, condensado y agua cruda de un pasteurizador tipo túnel para mejorar el proceso de cerveza.

Específicos

1. Definir un sistema de pasteurización dentro de un proceso de cerveza.
2. Analizar el vapor y condensado del proceso actual.
3. Analizar agua cruda del proceso actual.
4. Optimizar el vapor, condensado y agua dentro de un proceso de pasteurización de cerveza.
5. Implementar la recuperación del vapor, condensado y agua cruda.
6. Mejorar el mantenimiento del sistema.
7. Proponer dentro del sistema la conservación del agua, vapor, condensado en el nuevo equipo.

INTRODUCCIÓN

En una empresa que tiene como objetivo principal ser número uno en el mercado de bebidas; y donde se elaboran gran gama de productos para el consumo de comidas a un bajo costo dado que su producción es variada dentro de un mercado guatemalteco.

Se analizará un sistema de pasteurización para mejorar los recursos que utilizan, porque este proceso garantiza la calidad de los productos en un mercado muy competitivo y el cual pudiera ser más exigente con lo que se consume, ¿Qué tipo de proceso de pasteurización? Sea el más óptimo ya que con estos datos se puede mejorar.

Dentro del proceso de producción de las diferentes bebidas, se pueden abrir nuevos mercados y además la conservación de los mismos a través de su pasteurización, pero toda empresa de alimentos necesita conocer como optimizar los recursos que utiliza esta, para ello, se estudiará en el presente trabajo de graduación, cómo mejorar estos y así la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos como son el agua, vapor, condensado y los desechos residuales que puede ocasionar un impacto ambiental.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. La empresa a fin

Empresa que se dedica a la elaboración de bebidas desde 1896, lo cual ha hecho historia dentro del mercado guatemalteco, teniendo logros a nivel internacional; así como un crecimiento global en el mercado centroamericano, europeo, asiático y estadounidense, entre otros.

El desarrollo industrial hace crear empresas con valores como: la honestidad, responsabilidad, pasión e integridad que han hecho que avance hacia un futuro de desarrollo humano en beneficio de un país.

El proceso de cerveza debe cumplir con las normas sanitarias, aunque exista la presencia de alcohol permite desde siempre el consumo de bebidas, sin algunas bacterias corrientes como la salmonela y otros. Los elaboradores han añadido numerosas cosas a la cerveza, pero la culminación de todas fue hasta que se elaboró la ley de pureza Bávara editado por el rey Guillermo IV de Baviera el día de San Jorge de 1516. En este el rey determina que la cerveza solamente podía hacerse con agua, malta y lúpulo, por lo cual se cumple con las normas establecidas en el país.

1.2. Ubicación

Se encuentra ubicada dentro de la ciudad, en donde ha permanecido desde 1888, cuenta con manantiales propios de agua pura, elemento indispensable para la fabricación de cerveza.

Esta ubicación está determinada desde que fue establecida, por el crecimiento de la ciudad la ubicación no cumple con el reglamento de ubicación de la Municipalidad de Guatemala.

1.2.1. Características

La cerveza debe ser una bebida elaborada con un proceso especial y es una de las características que está dentro del esfuerzo para realizar dicho producto. Además, el agua debe tener un proceso industrial para la realización de la misma, la materia prima es traída del extranjero, es como se ha llegado a determinar que el producto sea aceptado dentro de los mercados internacionales.

1.2.2. Historia

La cerveza surge en la edad media cuando se originó la costumbre de cocer mosto con flores de lúpulo. Históricamente fue desarrollada por los antiguos pueblos; según la receta más antigua conocida, el Papiro de Zósimo de Panópolis (siglo III), los egipcios elaboraban la cerveza a partir de panes de cebada poco cocidos que dejaban fermentar en agua.

La cerveza empezó a recuperar su presencia social en España a partir del reinado del emperador Carlos I, que trajo consigo los cerveceros de Alemania. Todo ello queda reflejado entre las pertenencias del emperador a la muerte de éste en Yuste por su secretario Martín de Gaztelu. Por aquel entonces, la cerveza era aún un producto de temporada. No se sabía conservar y con el calor perdía toda su fuerza. La cerveza llamada «lager», sin embargo, recibe ese nombre en razón de su posibilidad de almacenamiento. Se elaboraba en otoño, para ser consumida en primavera. La fermentación baja y a baja temperatura favorece la conservación. En realidad, iba fermentando lentamente mientras estaba

almacenada. Actualmente, todas las cervezas, incluso las de alta fermentación, son almacenables y llevan fecha de caducidad que alcanza unos tres años. Lager ha sufrido un cambio semántico y ha pasado a significar cerveza de fermentación baja.

1.2.3. Misión

La misión servirá para conformar el plan estratégico y desarrollar una labor dentro del mercado, dedicándose a la elaboración de bebidas carbonatas, cubriendo las necesidades de refrescar y degustar un buen producto, y teniendo una buena representación de la marca en el mercado.

1.2.4. Visión

La visión, ser la más competitiva en el mercado llegando a ser el número uno de las bebidas, manteniendo siempre los valores.

1.2.5. Valores

Los valores vienen definidos por los objetivos, conservando la cultura organizacional, con esto son definidos de la siguiente manera: Responsabilidad, pasión, integridad, honestidad, con lo cual se mantienen los esfuerzos desarrollados en la dirección y normas.

1.2.6. Organización

La organización está definida por un sistema social diseñado para lograr las metas y objetivos por medio del recurso humano, la cual está compuesta por subsistema interrelacionados entre sí que cumplen funciones especializadas.

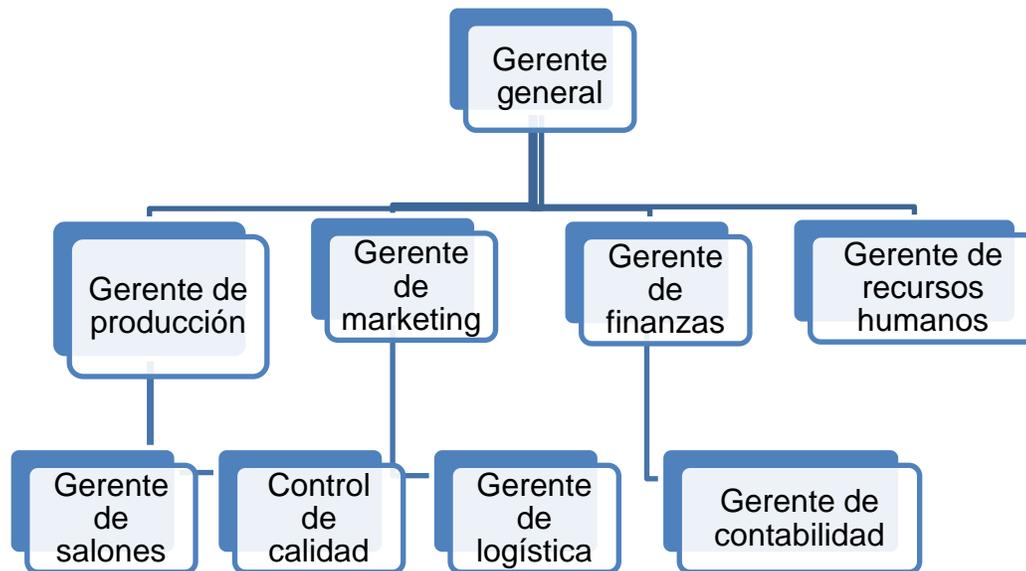
En la estructura que define la empresa a fin se debe considerar que la organización donde el organigrama es un diagrama que ilustra las líneas dependencias que existen entre las unidades y las personas de la organización.

La estructura se definirá de la siguiente manera, para que se conozca la función de algunas áreas que será de gran utilidad para el estudio que se realizará del proceso de pasteurización y la relación que tienen en el departamento para mantener la calidad del producto.

1.2.6.1. Organigrama

El organigrama que se presenta a continuación contiene información sobre el funcionamiento y relación entre los departamentos, esta información se elabora conforme los objetivos de la empresa.

Figura 1. **Organigrama de la empresa**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

1.2.6.2. Puestos y funciones

La base de un buen diseño organizacional depende de las personas que trabajen juntas en la organización, por ello, es importante el desarrollo de la estrategia, los administradores y los empleados sean agrupados para las áreas y de los recursos que utilizan para desempeñar su trabajo, por eso la empresa ha desarrollado los diferentes puestos y funciones dentro de la misma para cumplir con lo establecido.

Dentro de las funciones se especifica un gerente de producción, es el encargado de organizar y controlar el proceso, analizando los estándares de producción establecidos por las normas internacionales.

1.3. Proceso de pasteurización

Es un proceso alimenticio en el cual se incrementa la temperatura de un producto líquido a un nivel apenas inferior al necesario para su ebullición, para luego ser enfriado con gran rapidez.

1.3.1. Definición

El proceso de pasteurización tiene como objetivo minimizar las bacterias y levaduras activas en la cerveza. Se trata de obtener un balance entre el sabor y la vida del producto en las tiendas.

El proceso de pasteurización deberá lograr lo anterior, pero también es importante que lo logre bajo condiciones consistentes todo el tiempo.

1.3.2. Características

Las características del proceso de pasteurización están definidas por el tipo de pasteurización que se desea realizar para que el producto conserve la calidad, además de su sabor, siendo importante que el proceso sea definido por la empresa, definiendo objetivos dentro de los productos que desea fabricar para que se conserven dentro de un determinado período y mercado.

1.3.3. Tipos

La clasificación de los pasteurizadores es importante porque toda empresa desea conservar sus productos dentro del mercado de una mejor calidad con ello el tipo de pasteurizador debe ser analizado según las características y funciones

que se desempeñan dentro de la empresa, así como la capacidad instalada de la empresa ya que pudiera ser que requiera avances dentro de la misma.

De aquí es donde el empresario empezará ya ha pensar en tomar decisiones importantes según los objetivos que se plantean como empresa y los productos que se desean pasteurizar para que los productos llevados a los consumidores sean diferentes a los que actualmente están fabricando muchas empresas de la competencia.

1.3.3.1. Tipo de túnel

El pasteurizador tipo túnel o pasteurizador de canal está compuesto de ciertas características que se puede mantener el control Ups donde esto es la unidad de medida de la pasteurización, dependiendo del fabricante y el diseño que tenga, así como la eficiencia y el proceso por el cual el producto pase para ser pasteurizado.

1.3.3.2. Tipos flash

El pasteurizador flash se utiliza para que el producto se conserve no por el envase si no porque su proceso sea a través del calentamiento del producto se va a mantener mejor la calidad, con lo cual el diseño del pasteurizador depende del fabricante y sus características en particular.

1.3.4. Equipos

Los equipos para la utilización de los diferentes pasteurizadores debe tomar en cuenta que estos servirán para que el equipo a utilizar sea el adecuado según las características de cada uno de los diferentes pasteurizadores y las metas que

tenga el empresario dentro de las cuales se consideran que sean las óptimas y económicas para la realización del proceso.

1.3.5. Vapor en un proceso

El vapor es muy importante dentro del proceso porque es el que ayuda a mantener las curvas de control de temperatura dentro del sistema, por lo cual el estudio estará basado en analizar el proceso en puntos donde el vapor debe tener ciertas características para que la función del pasteurizador no pierda la energía que sea necesaria para que los productos sean pasteurizados con una calidad y que se pueda mantener un proceso de vapor limpio dentro del sistema.

Por eso esta es una de las variables que se necesita conocer bien, y como actúa dentro del sistema, así como qué mejoras deben hacerse para que el sistema sea optimizado de una manera de ahorro de costos de producción y mantenimiento, entre otros.

1.3.6. Condensado en un proceso

El condensado es un retorno del vapor utilizado dentro del sistema, por ello, se necesita conservar la energía en diferentes puntos del proceso.

Es importante que la recuperación de agua caliente en el sistema de pasteurización, sea para economizar agua dentro del sistema; y que todo el condensado sea retornado de una manera más óptima en el proceso.

1.3.7. Agua cruda en un proceso

El agua cruda en un proceso de pasteurización es esencial porque esta es la parte fundamental del sistema. Entonces es necesario conocer cómo funciona el sistema con el agua ya que esto servirá para optimizar ciertas áreas, así como mejorar el proceso de manera que el sistema mantenga el agua dentro de su funcionamiento, así mismo, es necesario calcular el diseño de bombas, tuberías, recirculación de la misma, además de optimizar su utilización sea necesario también que el diseño que se desea para que la pasteurización de los productos sea con una duración más larga.

Es importante mantener un mercado de los productos a través de una pasteurización más limpia y mejorar el proceso que incida en mejoras en los costos de producción, costos de mantenimiento, ahorros esenciales en donde el proceso se vuelva lo más ecológico y que pueda conservar el medioambiente.

1.4. La industria alimenticia

La industria alimenticia ha desarrollado importantes cambios en el proceso de pasteurización para mejorar algunos productos como: el queso, la leche, la cerveza, los jugos néctares, y algunos lácteos que se manejan dentro de lo que actualmente se pasteuriza, pero este desarrollo tecnológico ha llevado al hombre a hacer mejoras dentro del mercado con los productos que se elaboran por medio de la pasteurización.

1.4.1. Proceso de pasteurización

Es el proceso térmico realizado a líquidos con el objeto de reducir agentes patógenos que puedan contener bacterias, esto es la esterilización parcial de los

alimentos líquidos, alterando lo menos posible la estructura básica del producto y las propiedades.

Tras la pasteurización los productos se enfrían rápidamente y se sellan herméticamente con fines de seguridad. Por esta razón es básico en la pasteurización el conocimiento del mecanismo de la transferencia de calor.

1.4.2. Adelantos tecnológicos

Los avances tecnológicos son importantes dentro del estudio ya que el proceso busca las mejoras, así como los mejores costos de producción dentro de un mercado competitivo ya que los productos deben mantener la calidad óptima.

Las tecnologías que tienen como objetivo mejorar un proceso deben estar en constante aplicación para diferentes cambios como la medición de las temperaturas en las diferentes etapas del proceso ya que los productos deben cambiar la temperatura a manera de que su pasteurización sea lo más exacta según los Ups del sistema, dentro de esto se necesitan mejores sensores, mejor vapor y agua de mejor calidad para mantener el producto dentro de estándares que estén de acuerdo con los requerimientos del mercado.

1.5. Proceso de la cerveza

A continuación, se describe paso a paso el proceso de elaboración, explicando la diferencia fundamental entre las cervezas Ale y las cervezas Lager, según el tipo de fermentación que se produzca.

Como se conoce, la cerveza se prepara a través de cebada y otros cereales y es fermentado en agua además de que es aromatizado con lúpulo; dentro de

su proceso se pueden mencionar etapas por las cuales la cerveza debe pasar para ser elaborada.

Durante las etapas de elaboración, es donde se crea el tipo de cerveza que se desea vender en el mercado, luego pasa por el proceso de refrigeración, inoculación de levadura, fermentación, maduración, para luego pasar al llenado de la cerveza.

1.5.1. Proceso de llenado de cerveza

En el proceso del llenado de la cerveza es necesario que haya pasado por una elaboración, donde su calidad, además de su sabor, y algunas cualidades del producto sean conservadas.

Es importante que sea verificado por medio del análisis de calidad, mediante métodos químicos, ya que la cerveza fue elaborada y fermentada durante un tiempo determinado, se deben realizar estos procedimientos.

Generalmente, al terminar la maduración, la cerveza es sometida a un proceso de filtración para separar pequeñas partículas de levadura y compuestos que aún se encuentran en suspensión. Una vez filtrada se obtiene la cerveza brillante, la cual se envasa en diferentes formatos para su consumo y en muchos casos se pasteuriza para luego poner a disposición de los clientes, que sólo tendrán que preocuparse de abrir, servir y disfrutar.

1.5.2. Proceso de pasteurización en el llenado

La pasteurización se realiza después del llenado de la cerveza, esto sirve para preservar el producto dentro del mercado, al cual va a ser dirigido, es importante, porque genera costos de producción al momento de no realizarla, ya que el producto no sería percedero en el mercado.

Cuando se lleva a cabo el proceso, los factores más importantes son: la temperatura, el espacio y el tiempo. Conseguir la optimización de la pasteurización ayuda a mejorar la presentación del producto, así como a conservar la calidad del mismo.

La pasteurización de la cerveza que actualmente se realiza, requiere de investigación para crear un procedimiento de mejoras continuas en el procedimiento actual, y con ello se obtengan ahorro de energía, y menor costo de producción, además de mejorar la calidad del producto.

2. ANÁLISIS DEL SISTEMA ACTUAL DE PASTEURIZACIÓN

2.1. Sistema actual de pasteurización

El sistema de pasteurización de la empresa, se realiza por diferentes métodos, entre estos están: el tipo flash y el tipo túnel. Este último, es utilizado por la capacidad de producción, por ello, la eficiencia del sistema de pasteurización actual no logra los objetivos planteados; existiendo un mayor consumo de energía, agua y pérdidas en el vapor-condensado, lo cual ha generado costos elevados de producción de vapor y agua.

Este sistema está constituido en su interior por tanques de almacenamiento de agua que alimentan las duchas superiores aplicándola al producto. El agua tiene una temperatura de 65 °C, la cual está recirculando dentro del sistema, durante todo el proceso.

Las tuberías de vapor que vienen a partir de la caldera hacia el sistema, tienen las características que están contenidas en la tabla I, poseen aislamiento de fibra cerámica para conservar el calor durante todo su trayecto. La tubería de condensado trabaja dentro del sistema como un retorno del vapor condensado, retornándolo a la tubería principal de condensado hacia el punto de partida, mostrándose en la figura 2.

Las diferentes secciones que utiliza el sistema en el proceso son la zona de calentamiento y la zona de enfriamiento, para ello las zonas serán analizadas de la siguiente forma:

- Zona I: (T1P-T2P-T3P) Pre calentamiento
- Zona II: (SBC) Sobrecalentamiento
- Zona III:(Pa1-Pb2) Pasteurización
- Zona IV: (Cold1-Cold2) Refrigeración

2.1.1. Tipo de tuberías

Las tuberías son de tipo industrial diseñadas para soportar esfuerzos que sufre durante el proceso como es: presiones de trabajo, temperaturas, además es necesario que las tuberías tengan medidas sanitarias en la aplicación del proceso de pasteurización. La medición de los datos fue tomada de la instrumentación industrial que poseen las tuberías.

2.1.1.1. Clasificación de tuberías del sistema

La tubería de vapor es de acero al carbono y tiene un aislamiento de 50 mm de espesor de fibra cerámica. La tubería de agua es acero inoxidable y la tubería de condensado posee un aislamiento cerámico de 50 mm de fibra cerámica y su material es acero al carbono, además de tener las especificaciones mencionadas en la tabla I.

Las tuberías de vapor, agua y condensado están clasificadas por las normas internacionales de tubería. Según las tablas de las normas A.S.T.M. (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) definen a las tuberías por el tipo de trabajo que realizan.

Tabla I. **Especificaciones de las tuberías del sistema**

Tuberías	Diámetro (∅)	Temperatura del fluido °C	Presión de Trabajo (Psi)	Flujo másico de vapor (Lb/h)	Material	Norma ASTM
Vapor	100 mm	100 °C	225 600	5 260	Acero al carbono	A53 B
Agua	100 mm	23 °C	184 270	3 116	Acero inoxidable	A270 316 L
Condensado	65 mm	110 °C	100 000	4 280	Acero al carbono	A53 B

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

El equipo actual requiere de un análisis específico mostrado en la tabla II por cada una de las tuberías del sistema. Estos factores son importantes para que funcione bien el sistema de pasteurización y permita que los costos no se incrementen y además no ocasione pérdidas de energía.

Tabla II. **Análisis de los tipos de tuberías**

Tubería de vapor 100 mm (∅)	
Causas	Efectos
<ul style="list-style-type: none"> • El vapor tiene pérdidas de temperatura. • La colocación del trapeo es insuficiente. • El tipo de aislamiento provoca pérdidas de calor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Genera atrasos en el calentamiento del agua. • Generando golpes de ariete en la tubería al momento de apertura de válvula de vapor. • Generando demasiado condensado.
Condensado 65 mm (∅)	
Causas	Efectos
<ul style="list-style-type: none"> • Los purgadores de condensado no están bien diseñados. • Corrosión en las superficies metálicas. • Las trampas no retornan todo el condensado. 	<ul style="list-style-type: none"> • El condensado pierde calor y no es recuperado eficientemente. • Generando fugas de agua caliente. • Tipo de trampas muy pequeñas ocasionando golpe de ariete.

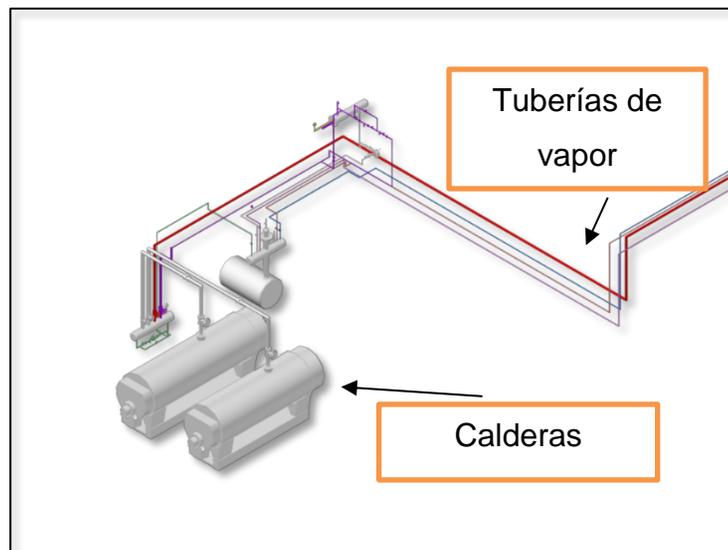
Continuación de la tabla II.

Agua cruda 100 mm (ø)	
Causas	Efectos
<ul style="list-style-type: none">• El diámetro de ingreso de agua es menor a la demanda.• Existen pulsaciones en el manómetro de presión.• Agua con mucha dureza.	<ul style="list-style-type: none">• La pasteurización tiene golpes de ariete por contrapresión.• Movimiento brusco en las tuberías.• Ocasiona obstrucciones en las tuberías rociadoras.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

En la figura 2 se muestra como el sistema de vapor sale de la caldera hacia el sistema, siempre dentro de un circuito cerrado de condensado.

Figura 2. **Tubería de vapor de la caldera hacia el sistema**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.1.1.2. Accesorios utilizados en el sistema

Los accesorios del sistema están clasificados como los accesorios que determinan la ruta como: válvulas, cheques, codos, té, trampas y filtros. Estos accesorios son utilizados para la distribución están colocados en las tuberías de vapor, condensado y agua.

Los accesorios de medición como: los medidores de flujo, termómetros y manómetros, proporcionarán los datos necesarios para conocer los consumos, temperaturas de trabajo y presiones manejadas durante todo el proceso, en cada uno de los factores que utiliza el proceso.

2.1.2. Tipo de vapor en la entrada del sistema

El vapor generado por la caldera y distribuido a través de las tuberías hacia el sistema, contiene las siguientes características:

Tabla III. Tipo de Vapor en la entrada del sistema

Tipo de vapor	vapor saturado húmedo
Temperatura	100 °C
flujo másico de vapor (kg/h)	277 400
Presión del vapor (kg/cm ²) abs	0,3

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Estos datos son tomados de la instrumentación industrial de la tubería de vapor y son medidos a través de los accesorios de medición. El vapor húmedo es producido por la caldera y contiene un 3 % a 5 % de humedad.

Tabla IV. **Análisis del tipo de vapor**

Tipo de vapor	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Mejora la productividad y la calidad del producto. • La presión puede controlar la temperatura. • La temperatura puede establecerse rápida y precisamente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Genera atrasos en el calentamiento. • Generando golpes de ariete en la tubería al momento de apertura de válvula de vapor. • Pérdida de agua de condensado.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

2.1.2.1. Tipo de tuberías

El tipo de tuberías utilizadas en el vapor tienen las siguientes características: tubos soldados, sin costura, diseñadas para soportar altas presiones y temperaturas, además de ser instaladas en el equipo por medio de bridas de alta presión. Su derivación es de la tubería principal de vapor que es de un diámetro mayor.

Las características de la tubería se presentan en la tabla V.

Tabla V. **Tipo de tubería de vapor**

Diámetro \varnothing	100 mm
Temperatura	93 °C
flujo másico de vapor (kg/h)	277 400
Presión del vapor (kg/cm ²) abs	0,3

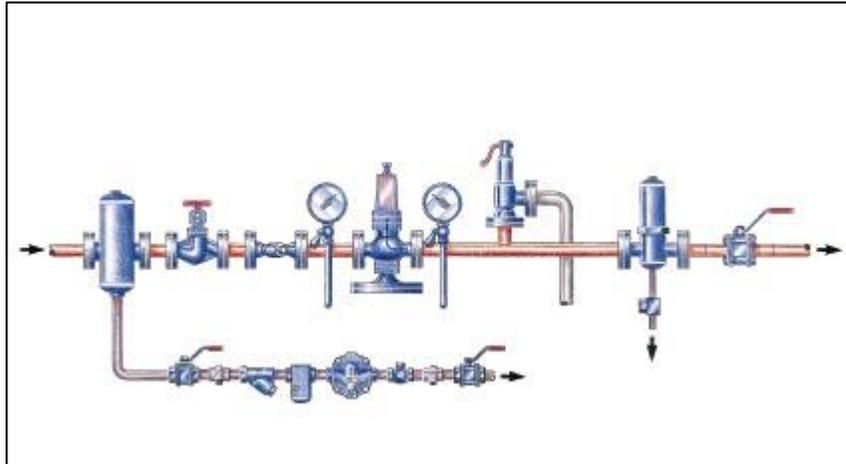
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

En la tubería actual existe pérdida de caudal, por lo tanto; estas alimentan el sistema de intercambiadores actuales y el flujo másico actual es el que ocasiona las causas antes mencionadas.

2.1.2.2. Accesorios

Los accesorios utilizados en el vapor son: válvulas de vapor, válvulas reguladoras de presión, filtros, manómetros, termómetros. Estos elementos son los que componen la entrada del vapor al sistema. Son instalados por bridas soldadas y tubos de acero al carbono sin costura. La instalación es mostrada en la figura 3.

Figura 3. **Instalación de vapor en el sistema**



Fuente: Spirax Sarco. *La industria cervecera sistemas de vapor y condensado*. p. 7.

Los accesorios actualmente requieren de un mantenimiento programado de válvulas del mismo tipo y del mismo tamaño, debe tenerse presente que los elementos de sellado no son intercambiables, esto genera costos de mantenimiento en los componentes de cada válvula independientemente.

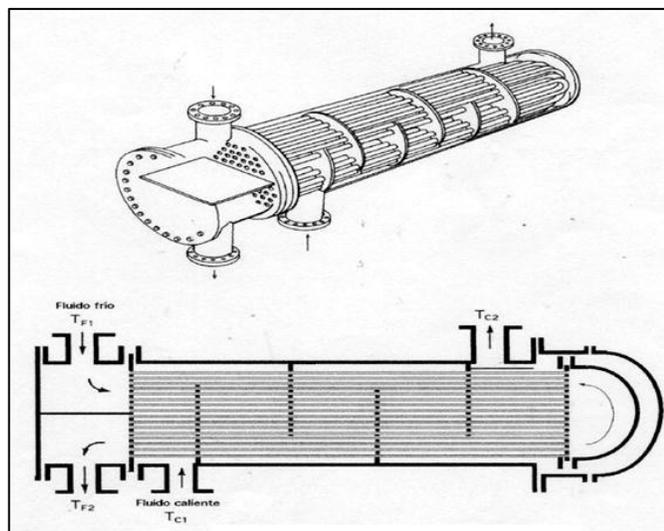
2.1.2.3. Tipo de intercambiadores

El intercambiador forma parte fundamental del proceso, porque realiza el trabajo de calentar el agua, introduciéndola a los tanques recolectores de agua en el interior del pasteurizador.

El tipo del intercambiador es de contacto indirecto y se clasifican como de carcasa y tubos porque los fluidos no entran en contacto directo, no se mezclan, sino que están separados por un tabique sólido, un espacio o incluso un tiempo.

El calor se transmite por convección y conducción a través de la pared separadora como se muestra en la figura 3. Durante el funcionamiento el vapor dentro del intercambiador se condensa convirtiéndose en agua pura, volviendo al sistema de condensado para su retorno a calderas.

Figura 4. **Tipo de intercambiador de calor**



Fuente: Diseño de equipos e instalador. *Intercambiadores de calor*.

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fjmirez.wordpress.com%2Ftag%2Fintercambiadores-de-calor%2F&psig=AOvVaw1b_l1wpjyuqEadeDHNlvo9&ust=1628644087219000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjhxqFwoTCKii5dSjpfICFQAAAAAdAAAAABAA.

Consulta: 11 de octubre de 2020.

2.1.2.4. Características técnicas

Las características técnicas del intercambiador son importantes porque determinan el tipo de tubos que contiene, su forma y la capacidad para generar el calor necesario para el proceso. El flujo de vapor y agua es en contracorriente, además su norma es clase C específica para la industria alimenticia, según su

clasificación. El intercambiador tiene un coeficiente de calor medio, que determina la eficiencia del mismo.

Esta eficiencia se calcula mediante la fórmula que se presenta a continuación y utilizando la figura 5 de los anexos. La eficiencia del intercambiador actual es importante para realizar mejoras continuas.

Donde:

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-NTU \left(\frac{C_{\min}}{C_{\max}} - 1 \right)}}{1 - \left(\frac{C_{\min}}{C_{\max}} \right) e^{-NTU \left(\frac{C_{\min}}{C_{\max}} - 1 \right)}}$$
$$NTU_{max} = \frac{A * U}{C_{min}}$$

A: área del intercambiador $A = 2\pi r^2 l$

U: coeficiente global de transferencia de calor

e: eficiencia del intercambiador

NTU: número de unidades de transferencia de calor

Cmin: calor específico del agua con la temperatura de entrada

Cmax: calor específico del agua con la temperatura de salida

Datos:

Temperatura de vapor: 93 °C

Temperatura del agua: 22 °C

T entrada: 23 °C

T salida: 65 °C

Cmin: 1 006 KJ/Kg

Cmax: 1 0068 KJ/KG

Tabla VI. **Características del intercambiador actual**

NORMA	CLASE C
Tipo de intercambiador	Tubos y carcasa
Flujo de alimentación del agua a través del intercambiador	277 400 kg-h
Temperatura del agua	30 °C
Temperatura de salida del agua	64°C
Presión del vapor suministrado	0,3 kg/cm2
Presión de diseño máxima	7,58 bar
Temperatura de diseño	65 °c

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Tabla VII. **Intercambiador de carcasa y tubos**

Intercambiador de carcasa y tubos	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Mejor transferencia de calor. • Limpieza del intercambiador es fácil. • Baja tendencias de fallas por el tipo de flujo que maneje. 	<ul style="list-style-type: none"> • El calor transferido por el intercambiador está produciendo baja en la temperatura del intercambiador. • Por falta de limpieza hay incrustaciones de sílice dentro del intercambiador provocando pérdidas de calor. • Las fallas producidas por el flujo no se mantiene una producción continua.

Fuente: GAFFET, G. *Central de vapor*. p. 272.

2.1.3. **Condensado dentro del sistema**

El sistema de condensado es el retorno de la condensación de vapor, esto se hace por medio de purgadores de condensado, colocados en la tubería de vapor desde calderas hasta el equipo. Este retorna al tanque de condensado en el área de calderas y lo mismo sucede con el condensado del intercambiador.

El condensado en el sistema de pasteurización no posee un sistema de control y la tubería tiene un diámetro donde el flujo pierde el calor haciendo que se convierta en agua con una temperatura de 23 °C.

2.1.3.1. Tipo de tuberías

El condensado esta retornado a través de la tubería con las siguientes características que se presenta en la tabla IX, en esta no existe un medidor de flujo másico y el condensado en los intercambiadores de tubos y coraza no es medido, retornando a la tubería de condensado que va hacia el área de calderas.

Tabla VIII. **Tipos de tuberías de condensado**

Diámetro \varnothing	80 mm
Temperatura de salida del intercambiador	65 °C
Tipo de tubería	Acero al carbono A53

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Tabla IX. **Análisis de tubería de condensado**

Tubería de condensado 65 mm (\varnothing)	
Causas	Efectos
<ul style="list-style-type: none"> • No posee un medidor de flujo para la recuperación. • Pérdida de presión en el condensado. • Trampas de vapor a la salida del intercambiador una diferencia de presión menor a la salida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas de condensado durante el proceso. • Convirtiéndose en agua pura todo el condensado. • La trampa no está retornando el condensado correcto.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

2.1.3.2. Accesorios

Los accesorios en el condensado no realizan un trabajo que mejore el proceso, por ello, estos deben funcionar para la recuperación de energía dentro de este proceso.

Los accesorios utilizados deben proporcionar ciertos niveles mínimos de ajuste en un sistema de condensado. Se necesita cerrarse o abrirse en caso de falla durante los cortes de energía. En general, los accesorios se utilizan para caídas de baja presión y condiciones, ya que se trata de que los accesorios sean eficaces desde el punto de vista de los costos.

2.1.3.3. Tanques de recuperación

Los tanques de recuperación en un sistema de condensado son la recuperación de la energía aprovechada por un equipo como el intercambiador de calor, este condensado es enviado a la tubería de condensado a través de las trampas de vapor que posee el mismo.

Estos tanques de recuperación de condensado que se encuentran en el área de calderas sirven como agua de recuperación del vapor, por ello; el sistema de pasteurización requiere de un análisis presentado en la tabla X, donde se despliegan las causas y efectos del sistema.

Tabla X. **Tanques de recuperación de condensado**

Tanques de recuperación de condensado	
Causas	Efectos
<ul style="list-style-type: none"> • No recupera mayor parte de condensado dentro del mismo sistema. • No posee tanques de condensado cerca del área. • Generación de vapor dentro del sistema generando costos de producción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de agua caliente dentro del sistema. • No mantiene agua caliente cerca del sistema. • No generaría costos de producción de vapor.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

2.1.4. Agua cruda al sistema

El agua cruda es utilizada por el sistema como uno de los recursos más importantes, para realizar la esterilización del producto, esta es utilizada en todas las etapas a diferentes temperaturas, el análisis de agua servirá para especificar los puntos críticos.

El proceso de pasteurización en la cerveza genera costos de producción, costos de operación y costos de mantenimiento, en el caso del agua cruda es importante señalar que este factor está involucrado dentro de estos costos que deben ser reducidos al momento de utilizar el recurso.

El agua cruda dentro del sistema posee los siguientes factores: Temperatura de pasteurización, presión constante entre otros. Además, se requiere de bombas para suministrar la misma.

Tabla XI. **Análisis de agua cruda en el sistema**

Etapas	causas	efectos
zona I precalentamiento	El agua de entrada al sistema tiene una temperatura de 23 °C y calentado el agua a una temperatura de 67 °C	El sistema debe calentar el agua a una temperatura de 70 °C generando un proceso de mayor circulación de vapor para llegar a la temperatura deseada para ser almacenada en el tanque de precalentamiento
zona II sobrecalentamiento	El agua tiene una temperatura de 67 °C y es calentada a 70 °C	Retorna al sistema para ser nuevamente calentado y esto genera que el proceso de producción entre a calentar el agua y tarde una hora
zona III calentamiento	El agua se vuelve a calentar a una temperatura de 70 °C	El agua no mantiene una temperatura constante
zona IV enfriamiento	El agua debe de ser enfriada a una temperatura de 4 °C pero el sistema enfría a 10 °C	El agua se mantiene con una temperatura muy alta lo cual hace que la parte de enfriamiento no sea adecuada a su temperatura

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Figura 5. **Agua cruda del sistema**



Fuente: elaboración propia, fotografía tomada en empresa.

2.1.4.1. Tipo de tuberías

El sistema requiere de un tipo de tuberías que soporten altas temperaturas, para la recirculación del agua dentro del pasteurizador tipo túnel, estas tuberías actualmente tienen las siguientes características que se presentan en la tabla XII:

Tabla XII. **Tipo de tubería del agua**

Etapas	Diámetro(ø)	Rango de temperatura
zona I precalentamiento	100 mm	23 °C-67 °C
zona II sobrecalentamiento	125 mm	67 °C -70 °C
zona III calentamiento	125 mm	70 °C -67 °C
zona IV enfriamiento	100 mm	67 °C -10 °C

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Todas las tuberías antes mencionadas son de acero inoxidable 316 L por las especificaciones sanitarias y mantener las temperaturas requeridas por el sistema.

2.1.4.2. Accesorios

El agua fluye entre los distintos accesorios del sistema gracias al circuito de tuberías.

Todos los accesorios en contacto con el agua están constituidos por acero inoxidable principalmente se utilizan dos tipos: AISI 304 y 316 L siendo el último el más resistente a la corrosión.

En la red de tuberías de agua se incluyen los siguientes tipos de accesorios:

- Tramos rectos de tubería, codos, tes, reducciones, uniones.
- Accesorios especiales tales como mirillas, medidores de flujo, manómetros.
- Válvulas de presión y caudal.
- Soportes de tubería.

2.1.4.3. Tipo de tanques de recuperación

Los tanques de recuperación del agua son los que se encuentran en el sistema de pasteurización y estos son de acero inoxidable AISI 304 y hace recircular el agua en las diferentes zonas del pasteurizador.

En estos tanques se encuentra un equipo de medición llamado termo resistencia, y se utiliza para la medición de la temperatura en las diferentes zonas del pasteurizador, el registro y control de la temperatura es importante para asegurar la calidad y seguridad del producto.

El sistema de tanques de recuperación de agua deberá ajustarse, de modo que cuando el flujo de agua aumente o descienda por debajo de un valor predeterminado preciso. Esto se conocerá por medio de un medidor de flujo, el cual se encuentra en el ingreso de agua al sistema utilizando una válvula reguladora de caudal.

2.1.4.4. Tipo de bombas

Las bombas instaladas en el sistema son bombas centrífugas de acero inoxidable. Las bombas son construidas por la norma DIN 24255, para la distribución del agua de los tanques por medio de tubería hacia los rociadores de agua colocados en el interior del pasteurizador. El análisis de las bombas utilizadas en el agua se presenta en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Tipo de bombas en el agua cruda**

Bombas centrífugas	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Proporciona caudal elevado y regular. • Es una bomba simple y robusta que puede acoplarse a un motor eléctrico. • Se desmonta fácilmente y se puede lavar y desinfectar. 	<ul style="list-style-type: none"> • No puede bombear líquidos aireados tiene que estar cebada. • No es de arranque automático. • Hay que colocarla por debajo al líquido a bombear.

Fuente: ROSALES, Roberto. *Manual de mantenimiento industrial*. p. 85.

Dicho análisis determina que las bombas centrífugas dentro del sistema producen atrasos en el arranque, ya que la bomba tiene que mantener el fluido dentro de su carcasa y no sea cebada, además requiere de un arranque automático para empezar a producir.

2.2. Mantenimientos aplicados al sistema

Los mantenimientos que se analizarán en el sistema son: el mantenimiento preventivo y correctivo; esto es necesario para determinar algunas variables importantes que proporcionarán la información necesaria para considerar las mejoras en los mantenimientos. Los mantenimientos hacen que nuestro equipo se mantenga en buenas condiciones y evitemos costos por fallas y paros dentro del proceso de producción.

2.2.1. Mantenimientos preventivos

El mantenimiento programado preventivo asegura la funcionalidad correcta e higiene del sistema, no cuenta con algunos programas de limpieza, desinfección y mantenimiento. Esto evitaría las paradas durante la producción,

en la tabla XIV se presenta como se ejecuta el programa actualmente en el sistema de pasteurización.

Tabla XIV. Programa de mantenimiento preventivo

Equipo	Sistema	Tarea	Frecuencia
Bombas centrífugas	Agua cruda	<ul style="list-style-type: none"> Realizar una observación ocular y auditiva para apreciar si existen irregularidades, vibraciones, ruidos anormales o pérdidas. Realizar una revisión, estado de empaque, rotor y sellos de la bomba. Limpieza de los rodamientos, y motor eléctrico. 	mensual
Intercambiador de calor	Vapor y condensado	<ul style="list-style-type: none"> Revisar la condición general y búsqueda de señales de fugas. Revisar temperaturas y flujos contra los datos de diseño. Revisar la presencia de óxido en tornillos y limpieza, cubrir ligeramente las partes roscadas con grasa lubricante. 	semestral
Tuberías de agua cruda	Pasteurizador	<ul style="list-style-type: none"> Empaque desgastado. Fuga en soldadura. Fuga en tubería por acople mal enroscado. 	semanal
Tuberías de vapor	Intercambiador	<ul style="list-style-type: none"> Purga y limpieza de filtro. Control de fugas en tubería. 	semanal mensual

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Este tipo de mantenimiento es el aplicado en este sistema, haciendo un análisis de mantenimiento actual presentamos la siguiente tabla de las ventajas y desventajas de la aplicación del mismo.

Tabla XV. **Análisis del mantenimiento preventivo**

Mantenimiento preventivo	
Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • El mantenimiento proporciona datos de temperatura importantes. • Relaciona el mantenimiento con la calidad. • Implementa un programa de seguridad para minimizarlos. 	<ul style="list-style-type: none"> • El mantenimiento no está enfocado en los objetivos planteados. • No se aplica a todo el pasteurizador en sus equipos críticos. • No se implementa una codificación de los equipos.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

2.2.2. Mantenimientos correctivos

Los mantenimientos correctivos aplicados al sistema son utilizados para minimizar todo tipo de fallas, además que un alto porcentaje de las horas-hombre dedicadas a mantenimiento se emplean en la solución de fallos en los equipos que no han sido detectados por mantenimiento, sino comunicados por el personal de producción.

La estimación de la duración de las tareas es información complementaria al plan de mantenimiento. Siempre se hace de manera aproximada, y se asume que esta estimación implica un error por exceso o por defecto. Esto implica que la aplicación de un buen mantenimiento correctivo a los equipos mejoraría la producción y evitaría costos de mantenimiento y de producción.

2.3. Tipo de limpieza

Para usar la limpieza CIP (*cleaning in place*) se debe verificar que todos los materiales en el sistema de circulación deben ser resistentes al líquido de limpieza. Es muy importante aclarar, que el CIP (*cleaning in place*) limpiara

el equipo de forma adecuada, todo el sistema de pasteurización de sólidos o partículas. Para este efecto son recomendados retro lavados (inversión periódica del flujo).

2.3.1. Limpieza del sistema

La limpieza del sistema del pasteurizador no se realiza por medio del sistema CIP (*cleaning-in-place*) sino es ejecutado por medio de los tanques que están dotados de puertas de acceso en un lado, para permitir la limpieza y mantenimiento periódico y de dobles filtros de panel, extraíbles desde el lado bombas.

Las puertas de vidrio templado, instaladas en los lados de entrada y salida de la máquina, permiten la extracción manual de posibles contenedores que se han quedado en el plano de apoyo al final del trabajo.

El sistema de limpieza actual es importante realizarlo dentro de los mantenimientos no solo en el pasteurizador sino también el intercambiador y aplicarlo después de cada parada o semanalmente, mejorando el proceso de pasteurización.

2.3.2. Protección del sistema de algunos productos químicos

El agua utilizada en el proceso de pasteurización pasa por un tratamiento de aguas, pero el uso de algunos químicos dentro de este proceso requiere del análisis químico del agua. El químico más utilizado es el hipoclorito de cloro que produce corrosión en las tuberías y demás accesorios, que pueden afectar el funcionamiento del pasteurizador.

Algunos de los problemas que se presentan al momento de que el cloro se incruste en las tuberías es el de producir corrosión por picadura, lo cual genera fugas en el sistema.

3. PROPUESTA PARA OPTIMIZAR EL VAPOR CONDENSADO Y AGUA CRUDA DE UN PROCESO

3.1. Tuberías de vapor

El rol de las líneas de distribución de vapor será suministrar de manera confiable y de la más alta calidad a los equipos, usuarios de vapor. Para que el sistema se optimice en los factores técnicos como: el flujo de vapor y la temperatura.

Un sistema de distribución de vapor para que sea lo más eficiente, deberán de reducirse al mínimo las pérdidas de calor. De ahí la necesidad de cambiar el factor de aislamiento en las tuberías y todos los elementos calientes del sistema. Con la mínima inversión en instalación. Esto se especificará en la tabla XVI.

Los drenajes de condensado serán diseñados en la tubería de vapor en todo el recorrido hasta el sistema de pasteurización; esto involucra el cambio de trampas de vapor y accesorios.

El diseño de tuberías se realiza para disponer del vapor en el intercambiador de calor en las condiciones necesarias, sin gastos energéticos inútiles y con la mínima inversión en instalación. Además, servirá para el diseño de la red de recuperación de condensado aprovechando la energía. El método para el cálculo de la tubería será por pérdida de cargas, se debe mantener la temperatura dentro del sistema de pasteurización. Para un sistema versátil, se debe conocer la temperatura, presión del vapor, caudal. Mediante los datos de temperatura y

presión del vapor, se establecerán las propiedades del vapor: densidad, estado y viscosidad dinámica.

Los datos que se presentan en la tabla XVI son utilizados para mejorar las condiciones de trabajo del vapor en el pasteurizado y encontrar el diámetro mínimo de la tubería a utilizar.

Tabla XVI. **Datos de tubería de vapor**

Variables	Datos
Temperatura (°C)	175
Presión de vapor (barg)	8
Longitud de la tubería(m)	200
Flujo másico (kg/h)	8 000

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

El vapor a 8 barg y 175 °C tiene una densidad de 4,34 kg/m³ y la viscosidad dinámica 0,01519. La viscosidad cinemática vendrá dada por:

f=viscosidad cinemática

m=viscosidad dinámica

r=densidad del vapor a temperatura 175 °C

$$\vartheta = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,01519 \text{ (mPa)}}{4,34 \text{ kg/m}^3} = 3,66 \text{ cSt}$$

El caudal volumétrico viene dado por:

$$Q = \frac{Qm}{\rho} = \frac{8\,000 \text{ kg/h}}{4,34 \text{ kg/m}^3} = 1\,843 \text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal es el más utilizado en los intercambiadores de calor.

La optimización del aislamiento en la tubería reducirá los costos de producción en el vapor y proporcionará ahorros energéticos máximos alargando la vida de la red de vapor. Y evitar transferencias térmicas que afecten el proceso por diferencias de temperaturas no admisibles. De las tablas de aislamiento mostradas en el anexo para obtener el espesor del aislamiento requerido por red de vapor.

Tabla XVII. **Aislamiento de tubería**

Aspectos técnicos del aislamiento	Datos
Temperatura ambiente	23 °C
Conductividad térmica del material utilizado	0,061 W/m*k
Longitud de la tubería	200 m
Espesor de aislamiento	80 mm

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Para conservar la temperatura dentro de todo el recorrido de la tubería, tendría que tener un diámetro óptimo de 80 mm.

3.1.1. Normas específicas

Las especificaciones técnicas se utilizan en instalaciones diseñadas y construidas para un funcionamiento seguro. Esto se logra a través de cálculos con base en datos obtenidos de la tubería para que estas sean más eficientes.

Probablemente el estándar de tuberías más común sea el derivado del *American Petroleum Institute (API)*, donde las tuberías se clasifican según el espesor de pared de tubería, llamado Schedule.

Conforme las normas A.S.T.M (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) y por las especificaciones, es un tubo sin costura y soporta altas temperaturas. El tipo de tubo a utilizar es el A 106 acero el carbono, por sus características.

3.1.2. Clasificación del vapor para la pasteurización

El vapor debe ser saturado y contiene las siguientes características mostradas en la tabla XVIII:

Tabla XVIII. **Características del vapor saturado para calentamiento**

Vapor saturado	
Propiedad	Ventajas
<ul style="list-style-type: none"> • La presión puede controlar la temperatura. • Elevado coeficiente de transferencia de calor. • Calentamiento equilibrado a través de la transferencia de calor y rapidez. 	<ul style="list-style-type: none"> • La temperatura puede establecer rápida y precisamente. • Área de transferencia de calor requerida es menor, permitiendo la reducción del costo inicial del equipo. • Mejora la productividad y la calidad del producto.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

El vapor posee ventajas que pueden mantener la temperatura dentro del rango. Mejorando la eficiencia del equipo de pasteurización.

3.1.2.1. Condiciones de diseño del Pasteurizador

Por su naturaleza, el pasteurizador tipo túnel posee un sistema convencional de circulación de agua, donde los intercambiadores de calor calientan el agua que se suministra a los tanques en las zonas de pasteurización.

Para el diseño del equipo de pasteurización se describen las fases de operación y equipo requerido en la tabla XVIII. Además, a lo largo del túnel requiere de agua que fluya hacia abajo sobre los envases, a esta agua se le conoce con el nombre de agua rociada.

Antes de que el agua fluya a lo largo de los tanques, se almacena en recipientes de agua para ser rociada en la parte superior del pasteurizador. Entre las zonas existen rociadores y hay pequeños espacios con aire para evitar que el agua y la temperatura en las zonas de pasteurización se mezclen.

El pasteurizador túnel en su diseño, debe tener una longitud de 20 metros de largo y poseer 15 zonas de rociadores de agua, y tener la capacidad de pasteurizar entre 30 000 y 140 000 tarimas por hora.

Tabla XIX. Fases de operación del pasteurizador

Etapa	Equipo	Descripción
Calentamiento	<ul style="list-style-type: none">• Bombas• Rociadores de agua• Intercambiadores de calor	<ul style="list-style-type: none">• Cuenta con 8 bombas de circulación de agua, la cual llegará su temperatura de pasteurización.• Los intercambiadores calientan el agua de recirculación.• Abastecimiento de agua a los tanques de rocío de agua.

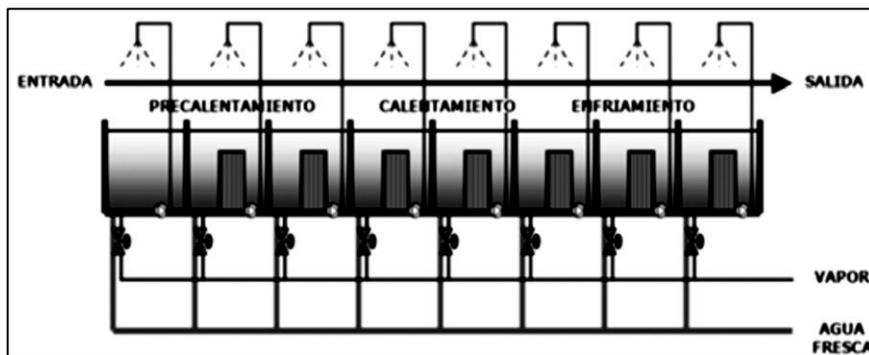
Continuación de la tabla XIX.

Operación de túnel	<ul style="list-style-type: none"> • Pasteurizador tipo túnel. • Control de PLC para medición de temperatura. • Bandas transportadoras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Controla el ingreso de producto al pasteurizador. • Monitorear y controlar la temperatura de los tanques.
Control de unidades de pasteurización Ups	<ul style="list-style-type: none"> • Pasteurizador túnel. • Rociadores de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si se detiene el pasteurizador túnel entonces se detendrán los rociadores de agua caliente para evitar calentar demasiado el producto.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

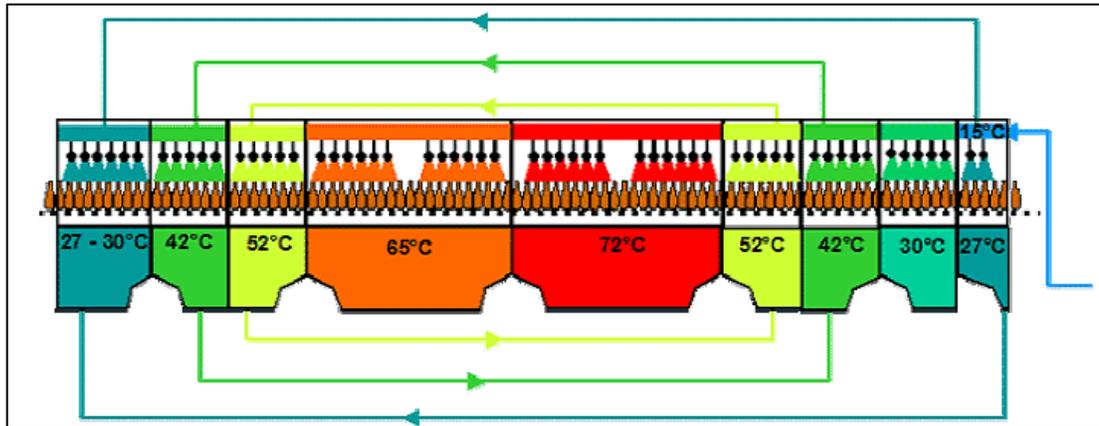
En el suministro de vapor se implementarán válvulas análogas para controlar la entrada del vapor en los intercambiadores de calor. El sistema es monitoreado hasta que sea completado, el agua rociada a la temperatura indicada. El control del sistema garantizará resultados óptimos.

Figura 6. Sistema de rociadores de agua



Fuente: Dialnet. *Descarga artículo*. <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F4244296.pdf&psig=AOvVaw19jt7EefDyHIJFfM63EKDy&ust=1628644902982000&source=images&cd=vfe&ved=0CAsQjhqxqFwoTCLjnrN-mpfICFQAAAAAdAAAAABAD>. Consulta: 11 de octubre de 2020.

Figura 7. Sistema de circulación de agua en las diferentes etapas



Fuente: Facultad de Economía y Ciencias Empresariales. *Imágenes.*

https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdocplayer.es%2F58164487-Facultad-de-economia-y-ciencias-empresariales.html&psig=AOvVaw2xxtROtZyBKBB5mwBe0QQs&ust=1628997508902000&source=images&cd=vfe&ved=2ahUKEwiCnpHgqxq_yAhUCGt8KHfvQB5AQr4kDegQIARAb. Consulta: 4 de noviembre de 2020.

3.1.3. Tipo de intercambiadores

Los intercambiadores utilizados en la pasteurización de alimentos enlatados son de diferentes tipos, plantear un intercambiador para un nuevo sistema requiere que la variable temperatura sea constante. Existe cierta característica del intercambiador propuesto dentro de este sistema que está contenido en la tabla XX.

Tabla XX. **Características del intercambiador propuesto**

Características	Utilización de los recursos
<ul style="list-style-type: none"> • Está formado por un único circuito primario, cuyo fluido puede ser, en función de las necesidades. • Y por un único circuito secundario dentro del cual circula el agua de proceso. • También hay una válvula dosificadora para el circuito primario y, si el fluido primario es vapor, un drenaje para la humedad de condensación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorro de energía de vapor dentro del sistema. • El proceso se reutiliza en los otros tanques para enfriamiento del agua de proceso dentro del sistema. • Ayuda a controlar mejor la temperatura dentro del sistema.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Los intercambiadores de calor son tipo tubo y carcasa, para que el flujo de agua dentro de los tanques recircule a través de ellos. Además, al plantear este sistema de intercambiadores mejoraría la utilización del vapor y condensando.

El circuito de los intercambiadores estará conectado en serie, esto hace que el flujo de vapor sea continuo en ambos, obteniendo el calor requerido en las áreas, además de que la energía suministrada por el vapor no se pierda dentro del sistema y sea más eficiente.

3.1.3.1. Especificaciones técnicas

Las especificaciones técnicas del intercambiador son conforme a TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturers Association*), esto fue creado por fabricantes americanos para estandarizar ciertas dimensiones y protocolos.

Se divide en diez secciones entre estas su nomenclatura, tolerancias de fabricación, fabricación en general e información de funcionamiento, instalación operación y mantenimiento, normas mecánicas, vibración inducida por flujo.

Esta norma está relacionada al código ASME VIII DIV I, remitiendo a este código en ciertas partes de las secciones que lo forman, como los espesores de los fondos, así como revisión de cálculos y pruebas de testeo del equipo, basado en el código TEMA.

El intercambiador de calor planteado se asemeja a un modelo tomado de la parte de intercambiadores de calor del código ASME VIII DIV I, que cumple con el código TEMA. El modelo es el siguiente:

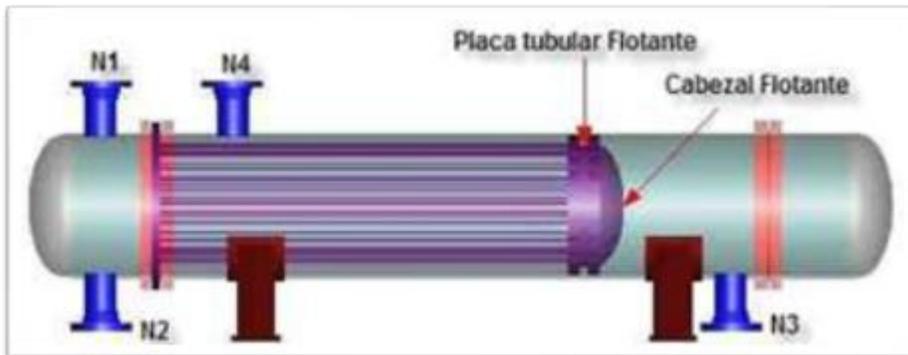
Las características del intercambiador con respecto a material utilizado son las siguientes:

Tabla XXI. **Especificaciones técnicas**

Especificaciones técnicas	Norma
Chapa que forma la carcasa y deflectores transversales	Acero al carbono A516 y calidad Gr.70.
Tubos conectados a carcasa	A105.
Bridas planas de conexión de carcasa a cabezal fijo y brida plana a cabezal flotante.	EN -1092-1 tipo 01 PN25. Donde PN 25 es la presión nominal del equipo.
Brida de cuello para conectar para la carcasa a la brida plana del flotante.	EN-1092- tipo 11 PN25.
Bridas de tubo para conexión a la carcasa.	DIN 2634 PN25 normativa alemana.
Chapa para fondos de los cabezales reflector longitudinal y tubos.	A240 TP 904 L.
Fondos.	Fondo Keppler DIN 2807.
Bridas para tubos del cabezal fijo.	A 904 L presión nominal de 25 bares o 24.67 atm.
Tubos de conexión a cabezal fijo.	KB 677904L normativa alemana ASME II.
Tornillo hexagonal métrico.	DIN 93183.
Tuerca hexagonal.	DIN 934 referencia 07210-33.

Fuente: ASME VIII DIV I. *Diseño de cálculo de recipientes a presión bajo*. p. 65.

Figura 8. **Diseño de intercambiador de calor propuesto**



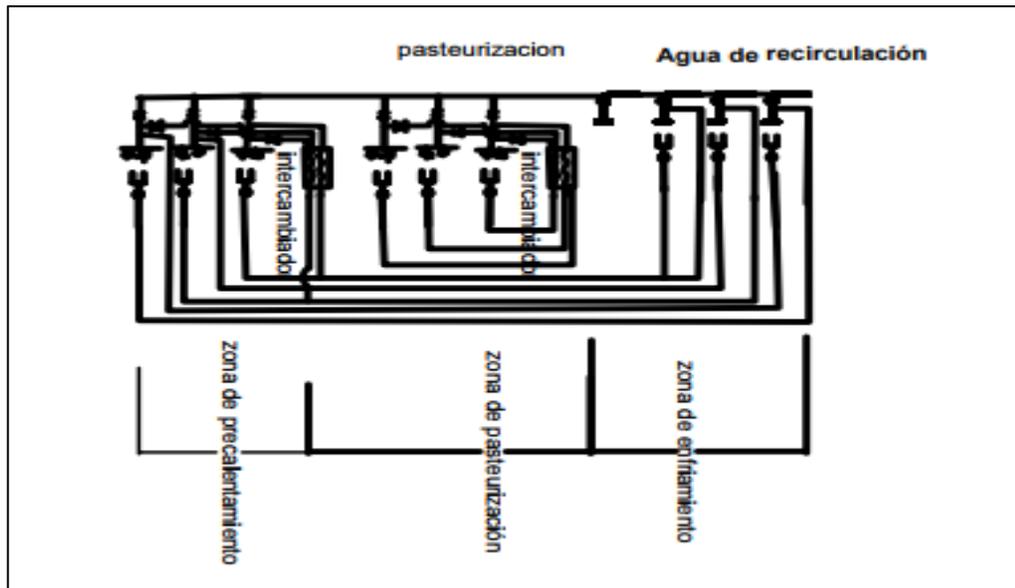
Fuente: ASME VIII DIV I. *Diseño de cálculo de recipientes a presión bajo*. p. 67.

3.1.3.2. Cantidad de intercambiadores a utilizar

El circuito consta de dos intercambiadores, automatizados en el ingreso de la mezcla de los mismos, donde la temperatura del agua de proceso mantendrá los rangos establecidos produciendo la esterilización del producto.

El acomodo de los intercambiadores será en serie, el flujo de salida del primer intercambiador de calor ingresa en la entrada del segundo intercambiador y así sucesivamente. Este flujo no varía con el número de intercambiadores de calor utilizados porque no se divide. Si se ponen los intercambiadores en paralelo produce mayor turbulencia y se requiere disminuir los diámetros.

Figura 9. **Diagrama de los intercambiadores de calor propuesto del pasteurizador tipo túnel**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

3.1.3.3. **Gráfica temperatura versus Tiempo**

La representación gráfica mide las unidades de pasteurización respecto del tiempo, definen la eficacia y la manera en que se debe pasteurizar la cerveza. La mayor parte de las veces se efectúa entre los 65 °C y los 80 °C durante un tiempo variable, de 10 a 25 segundos.

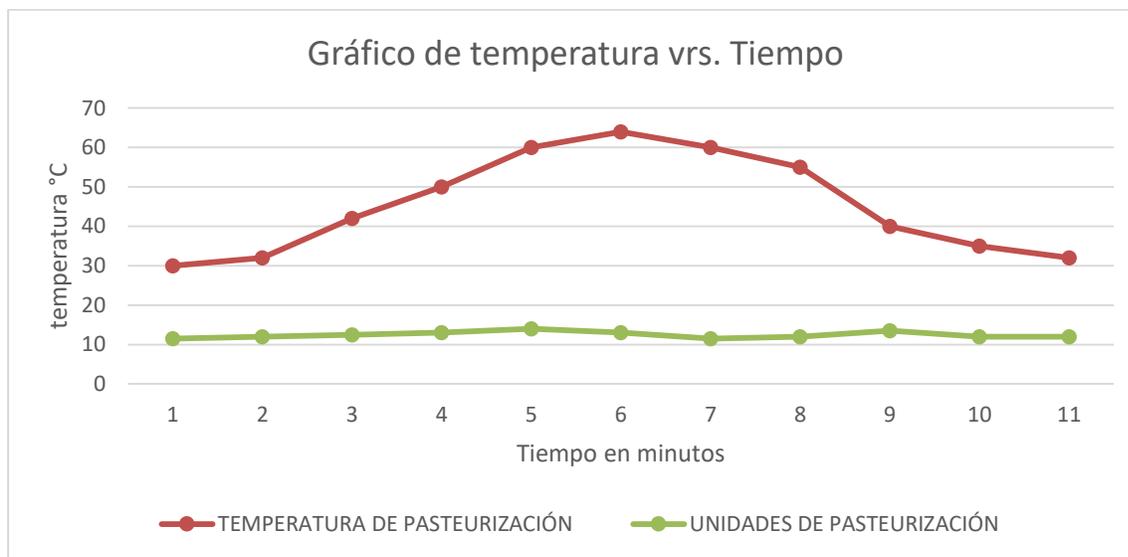
Por lo general las unidades de pasteurización en el túnel oscilan entre los 18 y 25. Desarrollando la gráfica de datos se obtuvieron los siguientes resultados de mejora dentro del proceso de esterilización.

Tabla XXII. **Unidades de pasteurización versus tiempo**

Tiempo en min	Temperatura	Ups
0	30	11,5
2	32	12
4	42	12,5
6	50	13
8	60	14
10	64	13
12	60	11,5
14	55	12
16	40	13,5
18	35	12
20	32	12

Fuente elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Figura 10. **Gráfico de unidades de pasteurización versus tiempo**



Fuente elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Los datos tomados del pasteurizador, que se representan a través de la tabla XXII y la figura 10, determina los rangos de temperatura, el rendimiento,

dentro de los límites permisibles establecidos para realizar la esterilización del producto con buena calidad.

3.2. Tuberías para el condensado

La tubería de condensado funciona en el intercambiador como retorno de la mezcla de vapor y agua, calentando el agua de proceso, siendo utilizada en el tratamiento de la cerveza.

El planteamiento de la mejora del condensado se basa en la reutilización del recurso como un agua caliente, introduciéndola en unos tanques de captación de condensado y luego será enviada a los tanques del sistema donde la temperatura es igual o menor.

La recuperación del condensado produce un ahorro de agua y energía. El diseño de la nueva tubería está conforme a la salida de los intercambiadores propuestos, esto mejora el flujo y que no exista pérdida de calor en el retorno al tanque de captación de condensado.

Además, tendrá un medidor de flujo para conocer la cantidad de condensado recuperado, con accesorios diferentes de mayor capacidad en la recuperación de condensado. El cálculo del diámetro de la tubería de condensado es por medio de la siguiente fórmula:

$$d = \sqrt{\frac{4m_c}{3600\pi} \cdot \frac{V}{v}}$$

Tabla XXIII. **Tipo de tubería propuesta**

Diámetro de salida del intercambiador	50 mm
Flujo másico del vapor en la tubería	111,132 kg/h
Temperatura de salida del intercambiador	73 °C
Tipo de tubería	Acero Inoxidable 304 cedula 40
Aislamiento	50 mm de espesor fibra cerámica

Fuente: ASME VIII DIV I. *Diseño de cálculo de recipientes a presión bajo*. p. 69.

3.2.1. Normas específicas de la tubería

La estandarización del tipo de tubería especificada por las normas ASTM servirá para la documentación de la máquina dentro del sistema de gestión de calidad.

La norma ASTM A-312 de aceros inoxidable es la norma establecida para procesos de esterilización de la cerveza, además La especificación A-312 abarca las tuberías destinadas a servicios de alta temperatura y corrosivos e indica los requerimientos químicos, de templado, tensión incluidas aquellas que cumplen con el *American Society of Mechanical Engineers*.

3.2.2. Tipo de trampas

La eficiencia del pasteurizador que utiliza vapor está en función directa de la capacidad de drenaje de condensado, por ello es fundamental que la purga de condensados se realice automáticamente y con el diseño correcto.

El tipo de trampa a utilizar en el intercambiador servirá para recuperar el condensado, este accesorio es muy importante dentro del sistema al momento de eliminar el paso de vapor y el aire contenido dentro del condensador.

Los procesos basados en el calentamiento utilizan el calor latente y lo transfieren al agua. Cuando se realiza este trabajo (es decir el vapor cede su calor latente), el vapor se condensa y se convierte en condensado. Por lo tanto, la eficiencia de calentamiento se ve afectada si el condensado no es removido rápidamente del intercambiador de calor.

Para los intercambiadores de calor se utiliza la trampa de flotador y termostato (en sustitución se puede usar la cubeta invertida). Ya que ambos tipos de trampas drenan constantemente reaccionando ante cualquier demanda. El cálculo de la trampa propuesta es a través de los datos según el diseño del intercambiador y tomados a la salida del mismo, a continuación, se presentan los datos en la tabla XXIV:

Tabla XXIV. **Trampa de vapor**

Variables	Cantidad
Flujo másico de vapor dentro del intercambiador	2 268 kgm/h
Presión del condensado	2,06 barg

Fuente: ASME VIII DIV I. *Diseño de cálculo de recipientes a presión bajo*. p. 69.

Cálculo de la trampa de vapor a instalar en el intercambiador viene dado por:

Tabla XXV. **Temperaturas y entalpias de la trampa de vapor**

Variables	cantidad
Entalpia de vapor saturado	2 726 kJ/kg
Temperatura de entrada de agua	23 °C
Temperatura de salida del agua	71 °C

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Calor producido por el intercambiador

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) = 2\,268 \text{ kgm/h} \cdot 1 \text{ kcal/kg} \cdot \text{°C} \cdot (72 \text{ °C} - 23 \text{ °C})$$

$$Q = 111\,132 \text{ kJ/kg}$$

La entalpia del vapor saturado a 6 bar que es la presión de trabajo del intercambiador es 2 726 KJ/KG

El flujo másico del intercambiador viene dado por:

$$m = \frac{111\,132 \text{ kJ/H}}{2\,726 \text{ KJ/KG}} = 40\,67 \text{ KG/H}$$

Donde el factor de seguridad del intercambiador de la tabla 6.3 en el apéndice figura flujo másico mejorado será de:

$$\text{Flujo másico } m = 3 \cdot 40,92 = 119,80 \text{ KG/H}$$

De acuerdo a los parámetros establecidos por la tabla de la trampa de flotador y termostato es la siguiente:

Tabla XXVI. Especificaciones de presión de trabajo de trampa de vapor de flotador y termostato

Diámetro seleccionado

Tabla 26-2. Trampas Series A y AI

Presión Máxima		2 bar					5 bar					8.5 bar					12 bar					
Conexiones a Tubería		15	20, 25	32	40	50	15	20, 25	32	40	50	20, 25	32	40	50	15	20, 25	32	40	50		
Números de Modelo		30-AI-2	30-AI-3 30-AI-4	30-A5	30-A6	30-A8	75-AI-2	75-A3 75-AI-3 75-A4	75-A5	75-A6	75-A8	125-AI-2	125-A3 125-AI-3 125-A4	125-A5	125-A6	125-A8	175-AI-2	175-A3 175-AI-3 175-A4	175-A5	175-A6	175-A8	
Tamaño del Orificio		¼	¼	⅜	¾	¾	1¼	1¼	7⁄8	¾	¾	1	1¼	1¼	7⁄8	¾	¾	1¼	1¼	7⁄8	¾	¾
Presión Diferencial (bar)	0.02	193	193	289	377	1 023	114	114	168	227	455	68	68	114	168	318	23	23	77	114	159	
	0.03	273	273	409	534	1 455	159	159	227	261	568	80	80	159	227	409	30	30	114	148	227	
	0.07	341	341	500	727	1 636	182	182	273	318	795	102	102	182	273	500	36	36	136	182	273	
	0.14	409	409	557	852	1 864	227	227	341	455	909	136	136	227	341	636	45	45	159	227	318	
	0.35	568	568	700	1 045	2 227	291	291	432	636	1 273	182	182	318	455	909	68	68	239	364	545	
	0.70	685	685	864	1 273	2 682	375	375	545	818	1 636	239	239	409	636	1 227	127	127	284	500	955	
	1.40	864	864	1 082	1 614	3 364	500	500	682	1 105	2 091	318	318	523	773	1 591	200	200	364	625	1 250	
	2.00	1 000	1 000	1 259	1 841	3 909	591	591	795	1 309	2 432	352	352	614	909	1 909	250	250	409	716	1 455	
	3.00	—	—	—	—	—	664	664	891	1 477	2 727	386	386	668	1 009	2 068	295	295	455	791	1 636	
	3.50	—	—	—	—	—	727	727	966	1 614	3 000	432	432	750	1 159	2 364	341	341	511	852	1 795	
	4.00	—	—	—	—	—	784	784	1 045	1 736	3 227	455	455	809	1 255	2 545	375	375	545	909	1 955	
	5.00	—	—	—	—	—	850	850	1 136	1 909	3 477	491	491	886	1 386	2 818	409	409	614	1 000	2 159	
7.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	541	541	1 000	1 568	3 227	455	455	693	1 125	2 477		
8.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	580	580	1 082	1 727	3 636	486	486	773	1 239	2 773		
10.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	505	505	841	1 341	3 055		
12.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	523	523	909	1 455	3 318		

Fuente: Manual N-101-S *Guía para la conservación del vapor en el drenado de condensado*.
p. 28.

Tabla XXVII. Trampa de flotador y termostato seleccionada

Variables	Cantidad
Flujo másico de vapor dentro del intercambiador	119,80 kgm/h
Presión del condensado	2,06 barg
Diámetro de la trampa de flotador y termostato	50 mm

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

3.2.3. Tipo de tanques de recuperación

El tanque de recuperación pretende mantener la energía dentro del sistema de esterilización del producto, ilustrándose en la figura 11, además servirá en otros servicios al momento en que no se utilice dentro del proceso.

Esta es la forma de recuperar la energía suministrada al intercambiador de calor, reutilizando el agua con mayor eficiencia en el proceso. Este tanque tiene las características siguientes:

El volumen del tanque viene dado por:

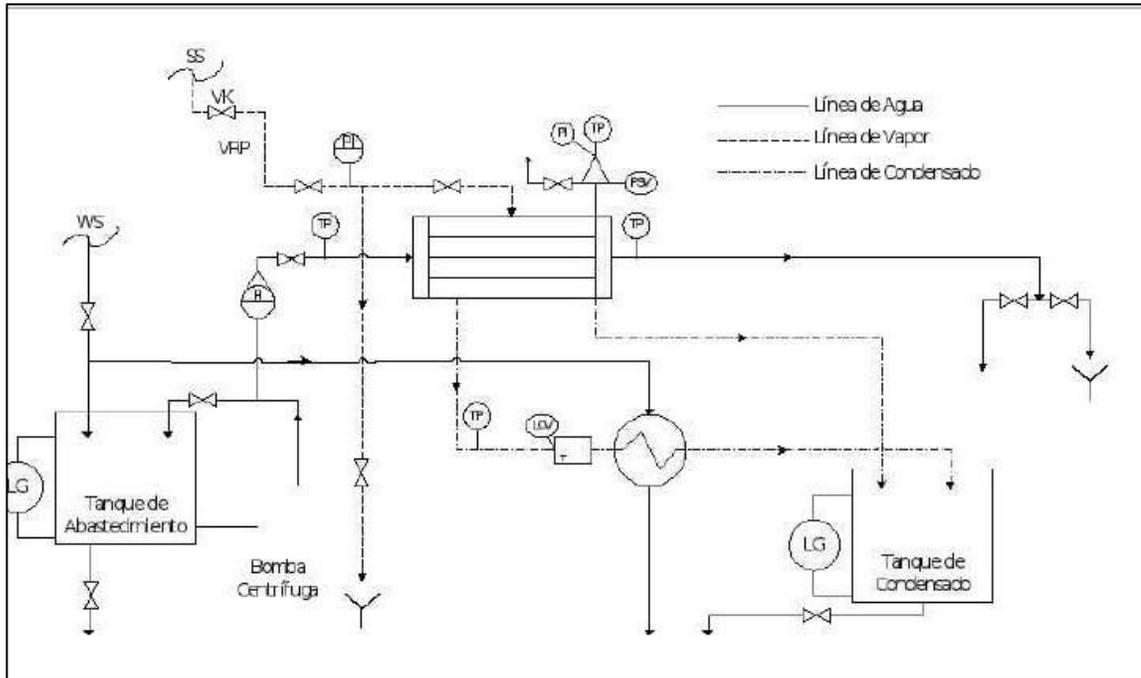
$$V=\pi r^2 h= 3,141516*1,5^2*3=21,20 \text{ m cúbicos}$$

Tabla XXVIII. **Características del tanque de condensado**

Especificaciones del tanque de condensado	
Diámetro	3 metros
Altura	4,5 metros
Aislamiento	100 mm de espesor
Presión de trabajo del tanque	6 bar
Presión máxima de trabajo	8 bar
Peso del tanque	3 toneladas
Volumen del tanque	21,20 m ³

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Figura 11. **Diagrama de flujo del intercambiador versus tanque de condensado**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2013.

3.2.4. Análisis del sistema de condensado

El proceso requiere de conocer de los resultados que se pretenden obtener al momento de recuperar el condensado en la esterilización del producto. Para ello, se presenta la siguiente tabla del condensado recuperado con el tanque.

El análisis mostrará los equipos propuestos para la mejora continua del condensado dentro del sistema, estos equipos pueden ser relacionados a un costo de mantenimiento, costo de instalación, pero ayudan al ahorro dentro del sistema.

Tabla XXIX. **Equipos utilizados en la recuperación del condensado**

Equipos	Funcionamiento	Mejora
Tanque	<ul style="list-style-type: none"> Recuperación del condensado del proceso de pasteurización. 	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro energético y eficiencia en la pasteurización.
Trampa	<ul style="list-style-type: none"> Pérdidas mínimas de vapor, venteo de aire y otros gases. 	<ul style="list-style-type: none"> Recuperación del condensado del sistema.
Intercambiadores	<ul style="list-style-type: none"> Calentar el agua a una temperatura adecuada. 	<ul style="list-style-type: none"> Eficiencia en la pasteurización.

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Tabla XXX. **Ahorros energéticos en el tanque de condensado**

Consumos	Ahorro energético	Horas de producción semana	Ahorro específico
Vapor	6 000-8 000 kgm/h	20	120 000-160 000 kgm/h
Condensado	15,20-20,21 m cúbico	20	304-404 m cúbicos

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

3.2.4.1. **Recuperación óptima del condensado**

El planteamiento de la recuperación es conocer si es óptimo el procedimiento de su recuperación por medio del tanque, para ello requiere recoger la información del condensado recolectado durante un período de producción es importante.

Esto involucra que la cantidad de condensado recuperado servirá para minimizar costos de producción de agua, costos de mano de obra en el tratamiento del agua dentro de la planta.

La recuperación óptima se ve reflejado en los datos tomados durante una un período de producción, para el cual fue diseñado el tanque de recuperación de condensado mostrados en la tabla XXX.

3.3. Aplicación de normas para el agua cruda

El agua cruda dentro del proceso es utilizada para la pasteurización del producto, la aplicación de la misma dentro del proceso es conforme las normas establecidas para el sistema.

Lo especificado por la norma para el Agua potable: Es el agua que cumple con las especificaciones de la norma COGUANOR NGO 29001 agua potable.

Para una propuesta del consumo específico de agua para las operaciones de esterilización de cerveza incluyen: permitir la fluctuación de los niveles de almacenamiento en los tanques de aguas recuperadas para aprovechar la capacidad de almacenamiento. Mantener los tanques llenos puede provocar desbordamientos y residuos.

3.3.1. Área de bombas

El área de bombas es la parte de la recirculación del agua dentro del pasteurizador tipo túnel, la conducción del agua por el sistema de pasteurización en cada una de sus etapas, por medio de un sistema de bombas donde se mantiene un flujo constante de agua cruda.

Este sistema involucra la utilización de recursos para la esterilización de la cerveza. Proponer un sistema de bombas donde mantenga un flujo continuo, a un menor costo, además donde pueda proporcionar un caudal regular y elevado para que no existan paros en el sistema.

El bombeo dentro del sistema será desde los tanques de agua cruda colocados en la parte inferior del pasteurizador tipo túnel, enviando el agua hasta la parte superior donde será rociada por los aspersores colocados en cada una de las etapas del pasteurizador.

3.3.1.1. Tipo de bombas

El tipo de bomba planeado para el buen funcionamiento, además de su fácil adaptación en el sistema son las centrífugas, para la selección del modelo adecuado de bomba, se recurrirá a las llamadas curvas características de la bomba, aportadas por el fabricante de las mismas. Se necesitan tres curvas diferentes. Este tipo de bombas puede operar a una presión de trabajo menor y controlado.

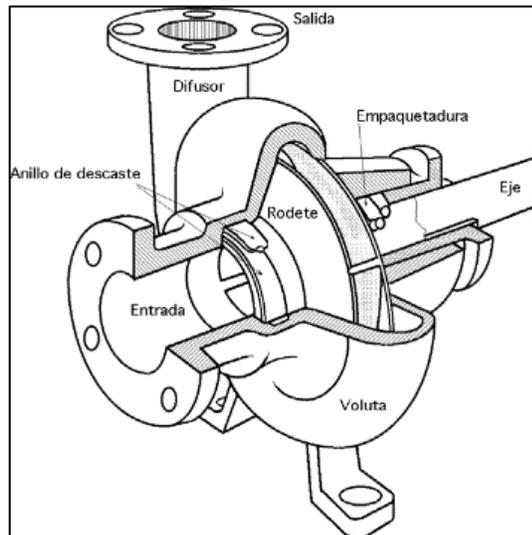
Mientras que las bombas de desplazamiento positivo generan un caudal constante, pero a alta presión y el sistema requiere de una presión mínima para realizar su trabajo. A continuación, en la tabla XXXI se especifican las ventajas y desventajas de las bombas en el desarrollo de la esterilización de la cerveza.

Tabla XXXI. **Ventajas y desventajas de la bomba**

Ventajas	Desventajas
Proporciona un caudal regulado	El arranque no es automático
Es una bomba simple de adaptarse a un motor eléctrico	Debe ser cebada por debajo del nivel
Fácil mantenimiento	Tiene a agitar el producto incorporando aire al sistema

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Figura 12. **Bomba centrífuga**



Fuente: Norma Din 24255. *Acero inoxidable*. p. 154.

La bomba centrífuga en la figura mostrada anteriormente se muestran las partes que se utilizan en la estilización de un proceso más limpio y eficiente, para ello se realizaron cálculos de tubería donde se involucra la sección de los tanques de almacenamiento de agua dentro del sistema de pasteurización, además con la sección de rociadores que involucra el efecto de gravedad donde la temperatura del agua es de 65 °C.

Dentro de los cálculos definidos por los datos presentados en la tabla XXXII surgen del planteamiento de mejoras al sistema, por medio de velocidades de diseño entre la sección de tanques de almacenamiento y la sección de los rociadores de agua en la parte superior del pasteurizador. Estos datos también desarrollados a través de la tabla de velocidades medias para bombas centrífuga especificada en los anexos de esta investigación.

Tabla XXXII. **Especificaciones técnicas de la bomba**

Caudal de la bomba	14 l/s
Altura de la bomba	6 m
velocidad media	2,5 m/s
Diámetro interno	90 mm
Longitud total de tubería del sistema	30m
Codos	5
Válvula de compuerta	1

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Cálculo de la velocidad que tendrá el fluido dentro del sistema, será con una tubería el diámetro interno es 90 mm y el $A_f=63,8 \times 10^{-4}$ mm viene dada por la ecuación:

$$V_c = \frac{Q}{A_f} = \frac{0,014}{0,00638} = 2,19 \text{ m/s}$$

La bomba a utilizar se encuentra en un rango comercial de 65 mm a 90 mm de succión y descarga, el caudal de 14 l/s = 221,9 gpm (galones por minuto).

El sistema de recirculación de agua planteado, se encuentran los accesorios adicionales presentados en la tabla XXXII con ello, se obtiene la longitud equivalente producida por estos accesorios, además se obtiene la longitud total del sistema a través de la siguiente fórmula:

$$L_t = L_e + L_q$$

$$L_e = (5 \cdot 32 + 3) \cdot 0,09012 = 14,68 \text{ m}$$

Longitud total del sistema es $L_t=L_e+L_q = 30 \text{ m} +14,68= 44,68 \text{ m}$

Las alturas manejadas por la bomba estan $H_0= 0$ a $H_1=6,7 \text{ m}$. La densidad del agua a una temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C}$ es de $983,2 \text{ kg/m}^3$, y una viscosidad dinámica $466,2 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{seg}$. Con los datos se calcula la viscosidad cinética que viene dada por:

$$\gamma = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,4662 \text{ cP}}{0,983 \text{ g/cm}} = 0,47 \text{ ct}$$

La altura de gravedad utilizada por la bomba seleccionada según tabla corresponde a $H_r=34 \text{ m}$ de donde se obtiene la siguiente fórmula para la altura de la bomba sería la siguiente:

$$H_f = \frac{L}{1000} * H_r = \frac{44,68 \text{ m}}{1000} * H_r = 0,04468 * 34 = 1,519 \text{ m}$$

Ahora se obtendrá la H_b de la bomba para los datos obtenidos se utilizarán para determinar la potencia de la bomba y su altura correspondiente, la bomba requiere de los mismos accesorios utilizados, entonces se obtiene el valor de la longitud total es de $L=44,68 \text{ m}$ que viene dados por la siguientes fórmulas y datos:

$$H_b = H_f + 6,7 = 6,7 + H_f = 6,7 + 0,04468 * 32 = 8,129 \text{ m}$$

La potencia de la bomba viene dada por la fórmula siguiente

$$pot = \frac{Q * \rho * g * H_b}{\eta} = \frac{0,014 * 0,983 * 9,81 * 8,129}{0,65} = 1,68 \text{ kw}$$

Con esta bomba lo que se pretende es mantener presión dentro del sistema, además reducción de costos en producción de vapor por que se puede mantener

un sistema suministrado con agua caliente durante un período sin que se pierda la temperatura. Para ello, se realiza el cálculo de entalpía suministrada, esto servirá para conocer el ahorro de energía realizado.

La variación de la temperatura será de 25 °C a 65 °C en el agua calentada en el intercambiador almacenando en los tanques de recirculación el cálculo es el siguiente:

$H_{fg} = 2\,346 \text{ kJ/kg} = 569,34 \text{ kcal/g}$ y $C_p = 1 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ a una temperatura de 65 °C

La entalpía es $H = 1,00 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (25-65) - 569,34 = -609,34 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ energía producida por la bomba.

3.3.1.2. Accesorios

En la instalación de una bomba centrífuga se requiere de accesorios necesarios para el buen funcionamiento, la instalación del sistema de bombas es succión positiva colocada en forma horizontal respecto del tanque de agua cruda.

Los accesorios utilizados generan pérdidas al sistema, por ello, es importante plantear su posición y uso dentro del proceso. Los más comunes y utilizados por el sistema son: válvulas de recirculación de presión, cheques, termómetros y medidores de flujo.

En la tabla XXXIV se describen las mejoras propuestas y tipo de accesorio utilizado, mejorando la utilización del recurso agua en la pasteurización.

Tabla XXXIII. **Accesorios propuestos al sistema**

Accesorios	Descripción
Válvula de recirculación de presión	Válvula que permite el ingreso y retorno de agua al sistema
Válvula de retención (<i>check</i>)	Válvula colocada en la salida de la bomba para mantener presión en el sistema
Termómetros	Medición de la temperatura del agua de entrada
Medidores de flujo	Medición del flujo de entrada al sistema

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

3.3.2. Tipo de tuberías

El tipo de tuberías utilizado para la pasteurización de la cerveza, que requiere de ciertas características para mejorar el proceso, además de conservar su sabor, color, ayudando a preservar el producto durante determinado tiempo. Utilizada dentro del sistema de recirculación del agua cruda que va desde las bombas de succión de los tanques a través de todo el sistema de pasteurización.

Para ello, se ha planteado una nueva tubería con el propósito de mejorar algunas variables que intervienen, servirá para optimizar el recurso agua. Esto además de mejorar el proceso reduce costos de producción de agua dentro del proceso.

En la tabla XXXIV se muestra el tipo de tubería a utilizar en el sistema para afinar las variables importantes involucradas como: mayor flujo, presión, y con esto se puede mantener el proceso con un buen suministro de agua; ayudando

a que no requiera del mismo durante un período y lograr así la mejora del proceso actual.

Tabla XXXIV. **Características de la tubería propuesta**

Diámetro de tubería ϕ mm	Presión de trabajo lb/in ²	Temperatura	Norma Astm	Espesor
85 mm	398,25	65-70°C	A312 TP304L	3 mm

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

La propuesta de esta tubería está definida por la bomba, para mejorar el funcionamiento del sistema.

3.3.2.1. Normas específicas de tubería

La normatividad es responsabilidad del diseñador para especificar la tubería dentro del desarrollo de la esterilización del producto, ya que esto tiene una influencia significativa en el costo, duración y rendimiento del sistema.

La norma Astm A 312 TP304L pertenece al acero inoxidable utilizada en procesos industriales de manufactura de alimentos, con lo cual permite una duración prolongada de varios años, además que el costo para este tipo de tubería respecto a la tubería del proceso es bajo y sus ventajas importantes para la afinación del proceso se ven reflejadas en el cálculo de la tubería.

Ventajas de la tubería propuesta se presentan a continuación:

- La durabilidad de la tubería es de 20 años como mínimo.

- Costo es de Q 429 por metro.
- Mejorando el rendimiento del sistema.

3.3.2.2. Tipo de API

La norma API propuesta es para conocer el tipo de material utilizado en la industria alimenticia, específico para soportar temperaturas entre -30 °C y 400 °C formado sin costura, según el diseño de la tubería la norma API es información que al aplicar este tipo de material permite conocer sus características especiales, dejando a criterio del fabricante especificar algunas características más del material.

Los tubos deben ser soldados por medio de soldadura TIG (*Tungsten Inert Gas*) será utilizada para la instalación de los tubos hacia el equipo y dentro del mismo pasteurizador.

3.3.3. Accesorios y equipo

Los accesorios y equipos propuestos en el sistema; son importantes para obtener información del proceso durante un período de producción, estos servirán para la medición de variables como temperatura, presión de fluidos en algunos puntos críticos en el pasteurizador. La esterilización del producto se mejora mediante la medición de estos aspectos.

3.3.3.1. Controladores industriales

Los controladores industriales planteados como mejora del proceso de pasteurización, deberán ser colocados en puntos críticos, proporcionando

información al operador de la máquina, así como información de operación durante un período de producción, siendo esto importante para la toma de datos.

Estos puntos críticos servirán también para controlar información del funcionamiento correcto de los equipos involucrados en la esterilización del producto. Estos servirán para la medición de temperatura, presión en los rociadores, movimiento del producto de un lapso de tiempo dentro del procedimiento en la ejecución de la pasteurización.

Los controladores industriales se presentan a continuación en la tabla XXXV:

Tabla XXXV. **Controladores Industriales**

Equipo	Funcionamiento dentro del sistema
Válvulas de mariposa	La apertura del paso del flujo de agua por el sistema
Sensor RTD	Se utiliza para medir temperatura
Controlador de temperatura	Para regular con precisión la temperatura durante el proceso
Válvula solenoide	Esta permitirá el paso de agua caliente dentro de los rociadores
Sensor de transportador	Movimiento del transportador desde el ingreso del producto hasta la salida del mismo

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

3.4. Plan de mantenimiento actualizado del pasteurizador

El mantenimiento del pasteurizador será programado en el mantenimiento preventivo y correctivo proponiendo una mejora en el actual, con ello, se pretende planificar los diferentes aspectos que mejoran el mantenimiento, es importante tener un buen plan de mantenimiento desarrollado. Esto se transforma en beneficios a la empresa.

3.4.1. Mantenimiento programado preventivo

Desarrollar un plan de mantenimiento preventivo programado a través de los principios básicos, sería priorizar con claridad cada una de las actividades a realizar, así como establecer fechas de comienzo y finalización de trabajos. Se requiere de indicadores para la cantidad de mantenimientos realizados, costo, eficiencia, y disponibilidad, entre otros.

Con la propuesta de mantenimiento, su objetivo es mejorar algunas acciones que se están realizando, algunas actividades se están realizando dentro de un mantenimiento correctivo, hasta el momento que se produce la falla dentro del sistema. Con esto se deben plantear objetivos, estrategias para elaborar el programa de mantenimiento, además de una planificación y control por medio de una codificación del equipo utilizado en la pasteurización.

3.4.1.1. Diario

El mantenimiento diario se planeará con base en la estrategia, en este caso existen estrategias para aplicar dentro del proceso. Estas estrategias evitarán que ocurran las fallas durante la producción. Porque cuando ocurre se tratan de reparar lo más pronto posible, intentando que la producción no se detenga.

El plan rutinario será llevado a cabo por el personal operativo, este tipo de mantenimiento no requiere de una planificación específica para realizarlo, en el cual se realizará la revisión de válvulas de control importantes para el ingreso de agua, vapor y condensado al sistema por lo cual es importante rectificar fugas, verificación de empaquetadoras.

Además, el proceso de calentamiento del agua dentro de un parámetro de tiempo establecido para verificar el buen funcionamiento del intercambiador de calor, verificación de las trampas de vapor, filtros utilizados en el condensado. Revisando el sistema de control de temperatura del mismo.

3.4.1.2. Semanal

El formular un mantenimiento semanal requiere de registros de las actividades programadas durante su realización, estos documentos estarán basados en el objetivo por el cual fue realizado, además de proporcionar tiempo, historial por fallas encontradas durante la inspección realizada.

El manual de la maquinaria es importante también, porque en él se especifican los procedimientos para retirar algunas partes importantes dentro del sistema de pasteurización. Las actividades programadas para este tipo de mantenimiento estarán basadas en las siguientes actividades:

- Lubricación
- Chequeo de sellos de bombas
- Limpieza de sensores

Para ello, se aplicará un mantenimiento predictivo, obteniendo mejores resultados al realizar las tareas, antes del colapso de las partes importantes del pasteurizador.

3.4.1.3. Mensual

En este plan de mantenimiento se propone realizar acciones más rigurosas dentro del pasteurizador, para ello, se especificarán algunas actividades a realizar porque ha habido fallos con mayor frecuencia.

- Las cintas transportadoras en el ingreso del pasteurizador.
- Boquillas rociadoras.
- Falta de limpieza de tanques de condensado y de recirculación de agua.
- Cambio de sellos de bombas.
- Revisión de sensores de temperatura.
- Revisión de motores de tracción.

Estas actividades mejorarán el funcionamiento del pasteurizador; se desarrollaron procedimientos para la documentación de la utilización de repuestos, así como la reducción en el inventario *stock* de repuesto para conocer el costo, el momento en el que debe ser comprado para mantener el mismo dentro del inventario. Para conocer la mano de obra, horas utilizadas para el cambio de dichas piezas y limpieza de los equipos.

3.4.2. Mantenimiento correctivo

El desarrollo de un mantenimiento correctivo involucra costos mayores para la empresa, pero el beneficio de un plan en el mediano plazo por conceptos de ahorros en paradas de producción por fallas más severas y tiempos de espera por reparaciones mejoran la producción haciendo que los indicadores de mantenimiento correctivo sean menores.

Un mantenimiento correctivo no puede ser eliminado en su totalidad, pero al programar rutinas de inspección evita que el mantenimiento sea paliativo, generando gastos de mantenimiento y con esto no se mejore la falla de raíz, pero al aplicar un mantenimiento curativo mejorará la eficiencia de operación del pasteurizador.

Para esto se llevarán registros de las piezas cambiadas, costos, tiempo utilizado, mano de obra; por ello; este tipo de información proporcionará como se utilizaron los recursos y tomar decisiones para su optimización.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Especificaciones del proceso mejorado

El proceso de pasteurización será mejorado con base en especificaciones; definidas en el planteamiento de un plan de mejoras para optimizar el uso de energía, recurso humano en el mantenimiento, costos de producción.

Estas especificaciones están basadas por los siguientes objetivos:

- Obtener un proceso de pasteurización de calidad y en tiempo.
- Obtener una temperatura de salida del producto.
- Conservar un proceso de pasteurización continuo.

Las especificaciones están en las tuberías, los intercambiadores y los mantenimientos realizados al pasteurizador tipo túnel durante un período de producción y después.

4.1.1. Tuberías en las diferentes etapas

El planteamiento del diseño de tuberías; basado en el análisis que se realizó en el capítulo anterior, en las medidas que se implementarán para que el consumo de agua, energía, sean de beneficio en costo y mejoras en el medioambiente, se presentan a continuación en la tabla XXXVI.

Tabla XXXVI. **Estrategias implementadas en el ahorro de energía del pasteurizador tipo túnel**

Medida Implementada	Descripción	Mejora ambiental	Costo/beneficio
Optimización del agua de recirculación a través de las tuberías en el sistema	Instalación de sistemas de control de temperatura – Aumento del área de transferencia de calor para intercambiadores	Reducción del consumo de agua y generación de efluentes hasta 1-1,1 hl/hl	Mediano/largo

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Con el establecimiento de la estrategia en el pasteurizador utilizando los sistemas de control de temperatura y el aumento en el área de los intercambiadores de calor produce una pasteurización de calidad y en tiempo.

4.1.2. Equipos

Los equipos utilizados durante el proceso requieren de una implementación de un plan de optimización, estos equipos son las bombas, las tuberías de vapor, las tuberías de condensado, los tanques de recirculación del agua del pasteurizador.

A estos equipos se implementarán estrategias en mejoras de la eficiencia y el medioambiente proporcionando un beneficio/costo, logrando conservar un proceso de pasteurización continuo.

Tabla XXXVII. **Estrategias de los equipos mejorados**

Medida Implementada	Descripción	Mejora ambiental	Costo/beneficio
Optimización de los equipos de la pasteurización	<ol style="list-style-type: none"> 1) Rediseño de tubería de vapor y condensado 2) Tanque de condensado para la recirculación de agua caliente 3) Rediseño de bombas en los tanques de circulación de agua de pasteurización 	Reducción del consumo de agua y de efluentes del 80%	Alto/medio

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Este tipo de estrategias están basadas en el plan de producción limpia, mejorando los procesos de producción y los recursos, proporcionando la mejora al medioambiente.

4.1.3. Operación

La operación de la evolución de la pasteurización permite obtener una competitividad adecuada por una mejor calidad para el producto, por lo tanto; implementar estrategias dentro de la operación, con el propósito de reducir riesgos al ser humano y al hábitat.

Los beneficios al aplicar un plan de producción más limpia, está en lo económico, en el rescate ambiental, en estos se presentan cambios en la producción, que producen un aumento en la productividad, debido al aprovechamiento de los recursos; para lograr mayor eficiencia en los procesos.

Tabla XXXVIII. **Estrategias Implementadas en la operación**

Medida Implementada	Descripción	Mejora ambiental	Costo/beneficio
Optimización de la operación	1) Reducir los costos y mejorar la operación en beneficio del medioambiente. 2) Incrementar la producción en el proceso de pasteurización	Aprovechamiento de los recursos y reducción de horas en la producción	Alto/medio

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.1.4. **Mantenimiento**

Implementar una estrategia en el mantenimiento restablece la aplicación y reducción de costos, a través de los indicadores que a continuación se detallan en la tabla XXXIX, especificando las mejoras ambientales y el objetivo deseado de la estrategia, perfeccionando la productividad y el mantenimiento en el pasteurizador tipo túnel.

Tabla XXXIX. **Implementación de objetivos de mantenimiento**

Criterio	Objetivo	Mejora ambiental	Costo/beneficio
Financiera	Incrementar las ganancias de la empresa y controlando los costos generados.	Reducción de desperdicios en el medioambiente.	Alto/medio
Clientes	Garantizar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos.	Calidad del producto con la protección del medioambiente.	Alto
Procesos internos	Reducir el mantenimiento correctivo.	Eliminación de desechos dentro del medioambiente.	Alto
Aprendizaje, crecimiento personal	Reducir los accidentes laborales.	Eliminar contaminación de tipo laboral.	Alto/medio

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.1.5. Intercambiadores

Los intercambiadores que se implementarán en el proceso para mejorar el proceso de pasteurización, tendrán modificaciones en el diseño para que el pasteurizador tipo túnel, tenga una mejor eficiencia, operación y se obtengan resultados óptimos en el producto final. El objetivo es optimizar el vapor y el agua utilizados dentro de los intercambiadores mejorando el calor.

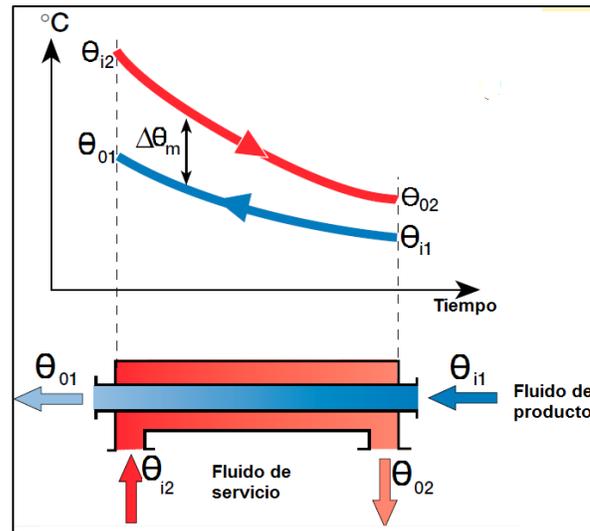
4.1.5.1. Diseño de intercambiadores

La implementación del diseño de intercambiadores es desarrollada por medio de los datos tomados del pasteurizador, donde intervienen las variables de entrada y salida del agua de pasteurización del intercambiador.

Se requiere conocer el flujo de agua de entrada al intercambiador, teniendo en cuenta que no hay pérdidas por fricción en la tubería, el flujo nominal es 1,06 gl/min; con la variable de temperatura definida para la esterilización del producto, donde el agua entra al intercambiador 23 °C, y la cual llega a una temperatura de 71 °C.

De la gráfica del comportamiento del intercambiador al momento de ingresar los fluidos dentro del mismo, mostrada a continuación en la figura 13, como van a comportarse dentro del proceso de pasteurización.

Figura 13. **Gráfica de curvas de la temperatura en un intercambiador versus tiempo**



Fuente: MORENO GALINDO, Juan Nicolas. *Modelamiento y control de planta pasteurizadora. Intercambiadores de calor.* p. 20.

- Agua cruda
 - Temperatura inicial 23 °C
 - Temperatura final 71 °C

- Intercambiador agua -vapor
 - Temperatura inicial 80 °C
 - Temperatura final 55 °C

Al momento del intercambio de calor de las masas de agua y vapor, que sucede por un determinado tiempo para conseguir la temperatura de pasteurización del producto. Además, para el diseño del pasteurizador se requiere de los siguientes datos: los materiales, espesores y propiedades del

agua dentro del intercambiador; presentado en la tabla XL, proporcionando la información del diseño del intercambiador.

Estos valores funcionan en el cálculo como constantes, porque la temperatura del agua de calentamiento es constante, pero en el diseño se conservarán los datos obtenidos en función de la temperatura del agua.

Tabla XL. **Datos del diseño del intercambiador de calor**

Variables del fluido	Valor de las variables
Cp del agua	4 185 J/kg°C
Conductividad térmica del agua	0,6456 J/s°Cm
Densidad del agua	980,6 kg/m
Rugosidad del tubo de acero inoxidable	0,5 mm
Espesor de los tubos	1,5 mm

Fuente: PSYSMENNY, Yevgen y POLIPAN, Georgiy. *Manual para el cálculo de intercambiadores de calor*. p. 84.

Estos intercambiadores estarán colocados en serie como se planteó en el capítulo anterior, por el tipo de fluidos, las velocidades de agua y vapor manteniéndolas dentro del mismo sistema, utilizando la bomba establecida para la recirculación del agua y recuperando el condensado para ser utilizado dentro del sistema en el momento de la recirculación del agua.

4.1.5.2. Interpretación de la gráfica temperatura versus tiempo

La gráfica de temperatura versus tiempo, es la obtención de los datos del tiempo de pasteurización y de transcurso de paso del producto por el

pasteurizador tipo túnel; para lograr optimizar el proceso de esterilización, se basa en los indicadores de esterilización en el tiempo.

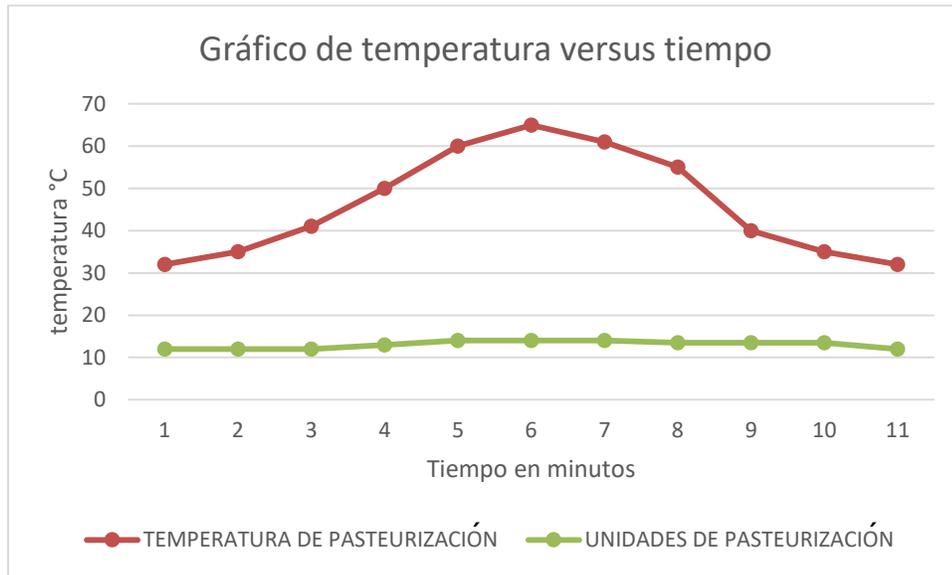
Los datos son tomados de la pantalla del pasteurizador, donde se involucra el tiempo para lograr la esterilización y las unidades de pasteurización, especificadas en la tabla XLI y representadas en la figura 14.

Tabla XLI. **Datos de la pasteurización de temperatura versus tiempo**

Tiempo en min	Temperatura	Ups
0	32	12
2	35	12
4	41	12
6	50	13
8	60	14
10	65	14
12	61	14
14	55	13,5
16	40	13,5
18	35	13,5
20	32	12

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 14. **Gráfico de temperatura versus tiempo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Con la implementación del circuito de intercambiadores en serie, se logra mantener la temperatura durante un período y comenzando a descender para lograr la fase de enfriamiento, por tanto; se mantiene las unidades de pasteurización en un rango de 12 ± 2 Ups durante todo el proceso, indicando que el proceso de esterilización logra la calidad del producto.

4.2. **Condensado**

El condensado es un sistema fundamental en el proceso, al implementar un nuevo método de condensado para la mejora, de aspectos propuestos en el proceso. La implementación está basada en la recuperación de agua caliente siendo reutilizada nuevamente dentro de una de las etapas del pasteurizador. A

través de tanques de recirculación, y equipos adicionales para realizar la recuperación del agua.

4.2.1. Tanques de recuperación

El tanque de recuperación de condensado incorporado en el sistema del pasteurizador tipo túnel, se implementará para tener el control del condensado por medio de un medidor de flujo externo colocado en las zonas de precalentamiento con conexiones a las siguientes zonas del pasteurizador.

El condensado generado por la esterilización es dirigido hacia un tanque de recuperación de condensado, por consiguiente; será utilizado en el sistema con un controlador de nivel de agua colocado en los tanques de agua del pasteurizador.

Por otro lado, la cuantificación del condensado recuperado por medio de los intercambiadores, durante el proceso de esterilización. Será por medio de medidores de flujo colocados a la salida del intercambiador, así como la utilización del condensado en las otras etapas del equipo.

4.2.1.1. Cantidad de tanques

La creación del tanque de recuperación de condensado, genera la optimización del recurso condensado, por tanto; proporcionará un ahorro de energía y de recursos utilizados.

La estrategia de reutilizar el agua caliente producida por el condensado, en la etapa de precalentamiento al momento de iniciar la producción, en el intercambiador, mejorará la temperatura en el tiempo. Con el almacenamiento

del condensado en un tanque, también se perfeccionará la eficiencia de los equipos.

4.2.1.2. Costo de tanques

El costo de compra e instalación del tanque de acero inoxidable, estará especificado en la tabla XLII, presentando los costos de la instalación de bombas, tuberías y mano de obra. La instalación del tanque será con mano de obra subcontratada, formando el circuito entre el tanque y equipo de pasteurización.

Tabla XLII. **Costo e instalación de tanque de recuperación de condensado**

Descripción	costo
Instalación mecánica	Q 196 250,00
Instalación eléctrica	Q 50 000,00
Costo de compra	Q 150 000,00
Total	Q 396 250,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.2.2. Equipos mejorados

Para optimizar los equipos utilizados en la recuperación del condensado de una manera eficiente, se implementó un controlador lógico programable (PLC); este mejorará el funcionamiento de los siguientes equipos: la bomba, el nivel del tanque, medidores de temperatura, medidores de flujo de condensado.

Con este controlador se reduce la utilización del vapor. Además, servirá para la toma de datos de la producción y la cantidad de condensado recuperado.

4.2.3. Trampas específicas para el proceso

La puesta en función de una trampa de vapor específica en el proceso, planteada para optimizar la operación, con el fin de minimizar los costos de mantenimiento y desgaste de los equipos proporcionando seguridad en la utilización del vapor.

Para ello, es necesario recordar que el propósito de las trampas de vapor es eliminar el condensado, el aire y otros gases del sistema de vapor para mejorar el funcionamiento del mismo.

La implementación de un plan de monitoreo implica 4 pasos para la optimización de trampas de vapor:

- Realizar una inspección manual programada de la trampa de vapor. Esta debe incluir una prueba de temperatura y ultrasonidos para ayudar a determinar varios modos de falla.
- Determinación de la trampa crítica. Para ello, se recomienda utilizar al menos uno de los siguientes métodos:
 - Cálculo de la pérdida de vapor a través de la ecuación de Napier. Con el uso de esta fórmula se puede verificar la cantidad de flujo de vapor que se pierde cuando hay una trampa fallida.
 - Análisis de modos y efectos de fallas (AMEF) para llegar a la raíz del problema de la trampa crítica para el proceso.

Emplear estos métodos ayuda a los costos y mantener la producción continua. La asignación de un número de prioridad de riesgo (1) es una técnica para evaluar el grado de severidad a problemas potenciales identificados durante la evaluación. Un AMEF cuantifica:

- Ocurrencia: probabilidad de que ocurra la falla.
- Detección: probabilidad de que la falla no sea detectada.
- Severidad: cantidad de daño o daño que el modo de falla puede causar.

Estos datos se usan solo en caso, se quiera comparar las fallas dentro del proceso.

- Aplicar técnicas de monitoreo y análisis de datos en tiempo real a la trampa.

El plan de monitoreo continuo para optimizar la operación de la trampa de vapor ofrece grandes beneficios, como son:

- Permiten el reemplazo de la trampa de vapor antes de que tengan un impacto en el proceso y su eficiencia.
- Crear información procesable y de priorización para el mantenimiento.
- Medir el comportamiento acústico ultrasónico y la temperatura del purgador de vapor enviando la información al personal de mantenimiento.
- Proporcionan un análisis de datos de captura de vapor, alertas y perspectivas para optimizar la operación de las trampas de vapor.

- Tomar medidas para reparar o reemplazar la trampa de vapor a medida que falla, se recomienda auditorías.

Además, se requiere cuantificar el vapor en los intercambiadores, se procederá a realizar un balance de masa y energía de la trampa de vapor, para determinar el caudal generado durante la operación del pasteurizador; asumiendo igual cantidad de vapor en las etapas de interés

4.3. Agua cruda

El agua cruda es utilizada en todo el proceso de cerveza, al desarrollar la implementación de optimización del sistema; se evolucionará en métodos que ayuden a mejorar la calidad de la utilización del recurso agua, esto se realizará con un sistema de recirculación del agua mediante tanques. Esto beneficia en los costos, en ahorro energético y una producción más limpia.

4.3.1. Sistema de recirculación del agua

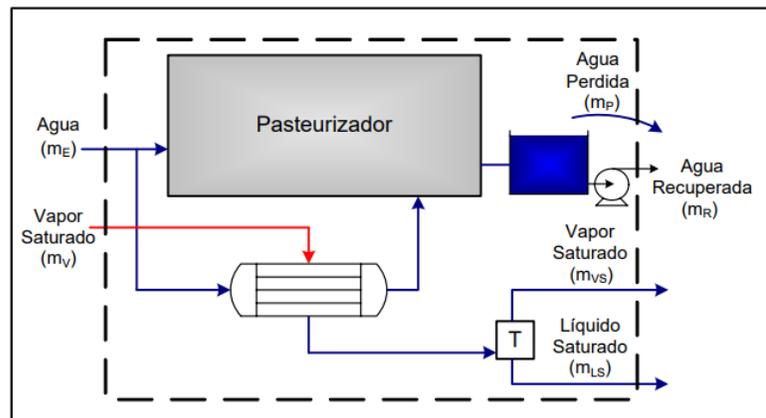
El sistema de recirculación del agua es generado por el pasteurizador, se requiere de un diseño de tanques, bombas y equipos necesarios para generar la recirculación del agua necesaria en cada una de las etapas del pasteurizador. La optimización del recurso, puede variar conforme los diseños de los tanques, y equipos utilizados, se implementan algunos de los equipos que se pueden utilizar en el proceso.

4.3.1.1. Tanques

Los tanques del pasteurizador tipo túnel realizan la recirculación del agua, para su optimización se tomarán datos sobre el caudal utilizado dentro de la serie de tanques incorporados.

El diseño del sistema de los tanques está conformado por la bomba, el intercambiador de calor y el tanque de circulación del agua, al momento de existir un rebalse dentro de los tanques de precalentamiento, el agua es enviada al tanque de condensado; esto servirá para controlar el consumo de agua dentro del sistema. A continuación, se presenta en la figura 15 el funcionamiento del tanque de circulación de agua en el pasteurizador.

Figura 15. Tanque de recirculación de agua pasteurizador



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2013.

4.3.1.1.1. Costo de los tanques

El costo de los tanques que servirán de suministro del agua de recirculación en el pasteurizador, colocados en el área de tratamiento de agua dentro de la planta, suministra por medio de tuberías hacia el pasteurizador, tendrá un costo, capacidad en m³, longitud en m, diámetro en m, especificados en la tabla XLIII.

Tabla XLIII. Costo de los tanques

Descripción	
Diámetro en metros	3,00
Longitud en metros	6,00
Capacidad metros cúbicos	42,00
Costo de compra	Q 85 000,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.3.1.1.2. Limpieza de tanques

La limpieza de los tanques del pasteurizador se realiza cada 2 meses; requiere de 6 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 detergentes industriales a los tres primeros y tres últimos tanques, y recirculación del agua por 2 horas. Inmediatamente, se vacían los tanques y se continúa con la limpieza profunda con cepillo y esponjas en áreas donde la solución no hizo efecto. Luego, se vacían los tanques y se llenan con agua filtrada con dos ppm mínimo de cloro. Una vez lleno el pasteurizador, se debe recircular el agua y dosificar bromo cloro, llevándolo a 5 ppm.

4.3.1.2. Bombas

Las bombas implementadas en el proceso contienen especificaciones y aspectos técnicos necesarios para generar un ahorro económico, una producción que ayuda al medioambiente en la utilización del recurso. En el sistema de recirculación del agua mediante las bombas, es la forma fundamental de hacer recircular el agua.

4.3.1.2.1. Especificación de las bombas en el proceso

El desarrollo del sistema para su optimización requiere especificar las bombas en los aspectos técnicos siendo los siguientes: caudal, costo de la bomba, tipo de bomba, conexión eléctrica, potencia. Estas bombas serán la implementación de la bomba propuesta.

Tabla XLIV. Especificaciones de las bombas

Caudal de la bomba	14 l/s
Altura de la bomba	6 m
Velocidad media	2,5 m/s
Diámetro interno	90 mm
Longitud total de tubería del sistema	30m
Codos	5
Válvula de compuerta	1
Costo	Q 8 000
Conexión eléctrica	220 v
Potencia	1 hp

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.3.2. Programas de mantenimientos

Los programas de mantenimientos vitales e implementados dentro del sistema de pasteurización, logran mantener un pasteurizador optimizado y funcionando en forma eficiente, con un personal capacitado para mantener una producción continua, es fundamental que los mantenimientos estén actualizados y mejorarlos en el momento necesario.

4.3.2.1. Preventivo

Los programas de mantenimiento preventivo se implementarán con base en la propuesta, por tanto; los indicadores de mantenimiento son una expresión cuantitativa del desempeño y comportamiento de un proceso.

Estos se obtienen mediante la recolección de datos y la aplicación de fórmulas, donde algunos requieren un mayor esfuerzo para que el indicador genere beneficio. Con ello, los responsables de mantenimiento deberán mejorar los resultados.

Luego, para la realización del programa de mantenimiento preventivo, se proponen una serie de pasos que se deberán llevar a cabo y mejorar cada vez que una acción programada de mantenimiento se realice, donde con el paso del tiempo se profundizará y se obtendrá un estándar de ejecución.

- Coordinación con producción para definir la fecha del mantenimiento.
- Se realiza el registro del trabajo a ejecutar donde se indica la máquina y las acciones a realizar.

- A cada técnico se le indica cuál es el número de registro de trabajo, para que lo revisen y modifiquen posteriormente.
- Se asigna personal de mantenimiento para efectuar el trabajo, según el nivel de conocimiento.
- Se evalúa la condición del equipo, se reparan fallas menores o se informa para una posterior reparación.
- Luego, se efectúa la revisión y reparación con los repuestos y herramientas necesarias, además se establecerá un procedimiento para realizar dicha actividad.

4.3.2.2. Correctivo

La empresa se ha dado cuenta que el mantenimiento correctivo funcionaba en tiempos atrás, donde se tenía una noción de que hasta que el equipo falle se debe intervenir. Por ello, con el indicador de mantenimiento correctivo se medirá el porcentaje de horas que se realiza el mantenimiento, comparadas con las horas totales de trabajo.

A partir de la implementación del modelo de gestión de mantenimiento, se presentarán varios cambios, donde se busca aumentar las horas del preventivo, reducir horas de correctivo y paros de plantas.

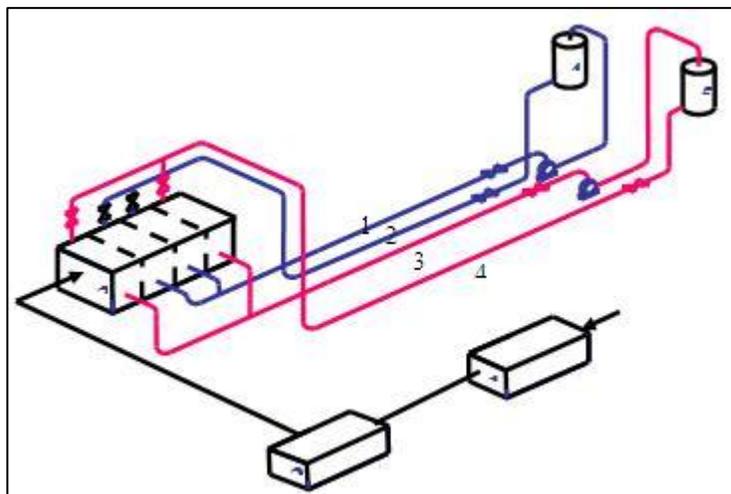
El mantenimiento correctivo habiendo mejorado las fallas del sistema de pasteurización. Lo cual provoca un daño más severo en el equipo, consume más repuestos y que estos tengan una vida útil muy corta, como es el caso de los rodamientos, piezas de desgaste en general y motores, que se encuentran en el

transportador de botellas del pasteurizador. Además, de reducir el costo de los motores en un mantenimiento correctivo, y mejorar la vida útil de un año, a 4 años, lo cual es el funcionamiento normal de un motor eléctrico.

4.3.3. Suministros para el sistema de agua cruda

El sistema de agua cruda estará siendo suministrado a través de una tubería, saliendo del sistema de tratamiento de agua, este circuito conserva el sistema alimentado durante la producción, esto beneficia en la recirculación del agua dentro del sistema. Presentado en la figura 16 el recorrido del agua hasta llegar al pasteurizador.

Figura 16. Circuito de suministro de agua al pasteurizador



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2013

4.3.4. Mantenimiento del agua cruda

El desarrollo de un sistema de pasteurización optimizado, es conservar los recursos, el agua cruda siendo vital para el proceso. El reducir el consumo de agua se da por los siguientes puntos:

- Las botellas que ingresan al pasteurizador túnel que cuenta con 10 zonas de pulverización de agua donde cada zona es alimentada por un tanque que rocía agua a diferentes temperaturas, la meta es llegar a los 62 °C, a pesar de que el agua vuelve a recircular a través de los tanques, ya que al tratarse de un proceso continuo necesitan el constante abastecimiento de agua.
- Cuando la línea de embotellado se ve obligada a realizar una parada, el sensor que se encarga de monitorear las unidades de pasteurización automáticamente detiene el proceso de pasteurizado e introduce agua fresca para disminuir la temperatura de cada zona de pulverización, evitando la sobre pasteurización del producto.
- Cada zona de pulverización de agua del pasteurizador contiene una bomba que sirve para recircular el agua a través de los tanques, las bombas no solo absorben el agua del sistema implementado de condensado para recuperar la temperatura del pasteurizador.

4.4. Recuperación del agua *versus* medioambiente

El medioambiente y la producción limpia dentro de un proceso son importantes, para ello, la propuesta de recuperación de agua, mejora la generación del recurso en la planta de producción de cerveza. Sea vital para

conservar un medioambiente protegido. La propuesta de recuperación del agua describir lo importante en la esterilización del producto.

4.4.1. Mejoras en la propuesta de recuperación del agua cruda

La implementación de la recuperación de agua dentro del sistema de pasteurización, está representado en el ahorro energético y costos de producción, lo cual está en las propuestas planteadas para la mejora de la recirculación del agua dentro del pasteurizador.

Estas mejoras realizan una producción limpia, con el objetivo de mantener el agua como un recurso importante para el proceso de esterilización, lo cual hace que se mejore el medioambiente y productos de calidad.

5. RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO

5.1. Interpretación de resultados del sistema propuesto

Los resultados obtenidos en el sistema propuesto en un proceso consistente en la optimización lograda, a través de los datos, con el fin de extraer información del proceso para derivar en unas conclusiones concretas que permitan esclarecer en que se logra el objetivo de optimizar el pasteurizador tipo túnel. Esto se realiza mediante los diferentes aspectos que componen el pasteurizador.

5.1.1. Tuberías

Las tuberías de vapor, condensado, agua cruda, utilizadas en el proceso de esterilización del producto, proporcionan una mejora en el sistema de pasteurización, en los caudales, velocidades, recuperación de condensado, recuperación de agua, y la reutilización de estos recursos en otros equipos al momento de no utilizar el pasteurizador.

Con esto se consiguió que el precalentamiento del agua mejorará a través de la tubería de vapor en el intercambiador, mejorando la eficiencia del intercambiador, recolectando de mejor manera el condensado por medio de la trampa y un tanque de condensado instalado en el sistema.

Además, se mejoró el sistema de recirculación del agua dentro del pasteurizador, colocando medidores de flujo, medidores de temperatura en los tanques.

5.1.2. Mantenimientos

La planificación de las actividades realizadas en el mantenimiento preventivo y correctivo, después de un análisis, en el cual el departamento estableció metas y objetivos. Con ello, mejoró la forma de aplicar el mantenimiento antes de llegar a la falla, lo cual evidencia que hay una adecuada planeación y programación de actividades.

5.1.3. Operación

La operación del pasteurizador durante un período de producción, es mejorar el sistema de recuperación de agua, para recolectar el volumen de agua generada por el rebalse de los tanques del pasteurizador.

La recuperación del vapor y condensado en el sistema de recuperación que posee el pasteurizador, la cuantificación del vapor y condensado recuperado, que presenta el equipo durante la operación y los porcentajes de recuperación de cada uno, los cuales especifican los ahorros de energía.

5.1.4. Costos de producción

Los costos de producción involucrados en el proceso son: mano de obra, gastos indirectos de fabricación, estos se utilizan en el monitoreo y control del pasteurizador túnel donde se necesitan 4 operarios con un sueldo base de Q 2 850,10 mensuales (2 operarios por turno), además el costo de supervisar el proceso, da un gasto mensual por salario de Q 8 500 anualmente esta cantidad asciende a Q 102 500. Pero al optimizar el proceso se reducen las horas trabajadas, reduciendo el costo de mano en un 20 % menos, equivalente a Q 82 000 anualmente.

Los gastos de energía eléctrica en los equipos que componen el pasteurizador túnel, anualmente consumen 450 000 KW hora, el KW hora tiene un costo de \$ 0,05 KW hora, por lo que al año genera un gasto de \$ 270 000 dólares. Al modificar los equipos incorporados al sistema, el ahorro de energía fue del 25 % por mes equivalente Q 202 500 en anualmente.

5.2. Interpretación de resultados por tanques

Los tanques son parte importante en el proceso de pasteurización y es donde se almacenará el agua para el proceso, lo cual es importante porque medirá la capacidad en la recirculación del agua dentro del equipo, esto a través de las bombas. Así como estos tanques son vitales en conservar la energía utilizada al momento de esterilizar el producto.

5.2.1. Cantidad de tanques para la retroalimentación

Los tanques de retroalimentación, son la principal forma de la operación del pasteurizador y se subdividirán en fases las cuales serán:

La fase de calentamiento prepara al pasteurizador para la producción, llevando el agua a los 2 tanques incorporados en el sistema a la temperatura de operación. Los intercambiadores de calor calientan el agua de los tanques. Las bombas de los rociadores y de los intercambiadores de calor entran en funcionamiento durante esta fase.

La fase de sobrecalentamiento, en esta fase el agua es llevada a través de 2 tanques los cuales mantendrán una temperatura estable dentro del sistema, la fase de pasteurización, la cual consta de 3 tanques y por último la fase de enfriamiento constando de 2 tanques.

Si el nivel del agua baja, en cualquiera de las fases, la bomba perderá su capacidad de bombeo y un interruptor de presión apagará el motor de las bombas de rocío. Y cuando en las cámaras de calentamiento y enfriamiento exista la condición de sobre flujo (rebalse), será enviada el agua al tanque de condensado incorporado al sistema para la restauración del agua y ahorro de energía.

El agua cumple ciertas funciones en los tanques del pasteurizador, así como por las razones previamente expuestas, se midió por medio del medidor de flujo, que el consumo mensual es de 120 m³ (1 200 hl) de agua lo que genera un gasto por Q 12 450, tomando en consideración que el metro cubico de agua tiene un costo Q 150, esto sumado a los cargos fijos incurridos mensualmente durante el año que son de Q 250.

5.2.2. Costo de tanques de recuperación de condensado

Los costos relacionados a los tanques de recuperación del condensado son los costos de instalación y operación, requerimientos necesarios para su instalación, así como el costo de compra del tanque y mano de obra del proyecto el cual tiene un costo total Q 396 250, estipulado en la propuesta de la investigación con el fin de recuperar el condensado de manera eficiente produciendo un beneficio económico a la empresa.

Tabla XLV. Costo de los tanques de condensado

Descripción	Costo
Instalación mecánica	Q 196 250,00
Instalación eléctrica	Q 50 000,00
Costo de compra	Q 150 000,00
Total	Q 396 250,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

5.2.3. Costo de recuperación del condensado

El costo de recuperación de condensado genera un beneficio económico y ahorro energético, el tanque de condensado dentro del sistema almacena un volumen de agua recuperada equivalente a 21,20 m³, según lo calculado, y se obtiene que:

Metros cúbicos por hora
 $21,20 \text{ m}^3 \cdot 8 \text{ h} = 169,6 \text{ m}^3/\text{h}$

Ahorro neto por hora:

$169,6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot Q \text{ 350 /m}^3 \text{ (costo de producción de vapor)} = Q \text{ 59 360/h}$
Anualmente sería de $Q \text{ 59 360/h} \cdot 2 \text{ 688 h/año} = Q \text{ 159 559 680,00}$

Con este valor se establece el ahorro económico al instalar el tanque de condensado dentro del sistema.

5.2.4. Análisis de rendimiento de pasteurización

El análisis de rendimiento de pasteurización tomando en cuenta los resultados, luego de la implementación del plan de mejoras para el pasteurizador, basados en el controlador de temperaturas en las diferentes etapas del pasteurizador.

En la tabla XLVI, se observan las temperaturas obtenidas en las diferentes etapas y conforme a los límites tolerables se calcula el rendimiento del pasteurizador.

Tabla XLVI. **Análisis del rendimiento de pasteurización**

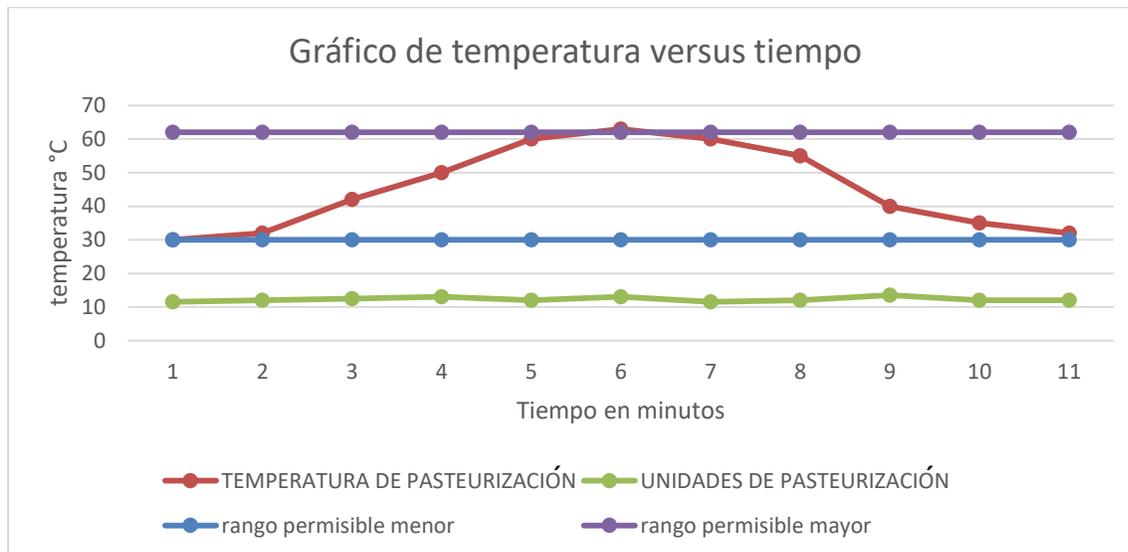
Tiempo en min	Temperatura	Ups
0	30	11,5
2	32	12
4	42	12,5
6	50	13
8	60	12
10	63	13
12	60	11,5
14	55	12
16	40	13,5
18	35	12
20	32	12

Media 45,36363636

Media 12,27272727

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Figura 17. **Gráfico de rendimiento de pasteurización**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Como resultado de la implementación de mejoras dentro del sistema de pasteurización, la temperatura de pasteurización mantiene su rango permisible en cada una de las etapas del pasteurizador, además de las unidades de pasteurización (UPS) se mantiene durante todo el proceso.

5.3. Reutilización del agua cruda según resultados

La reutilización del agua cruda es fundamental que los volúmenes de agua utilizados según nuestros resultados, beneficiara a la producción, se reutilizará en otros procesos. Estos procesos generarán un ahorro de agua dentro del proceso de cerveza, también ayuda a que la producción del producto terminado.

5.3.1. La utilización del agua en otros procesos

En el proceso de pasteurización se generan altos volúmenes de agua durante un período de producción. Más allá de requerir el agua, las embotelladoras también requieren de reutilizar el agua, para sus torres de enfriamiento y las calderas para prevenir la ineficacia en los procesos de producción.

La reutilización del agua cruda dentro del sistema pasteurización se refleja en el agua recuperada dentro del sistema, siendo los volúmenes recuperados, que sirven para la utilización en otros equipos.

5.3.2. Actualización del equipo según resultados

Los registros de las gráficas generadas por el PLC (*Programmable Logic Controller*) de los sistemas de recirculación de agua de los tanques y por los registros del programa de control de producción de la cervecería.

El caudal de agua de dichas etapas de operación se calculó por la siguiente expresión y representado en la gráfica los consumos de los tanques en las diferentes áreas con los siguientes resultados mostrados en la tabla XLVIII en la recuperación del agua producida versus agua recuperada.

5.3.3. Auditorías de mejoras

Las auditorías serán utilizadas para mejorar continuamente nuestro proceso, es necesario al momento de la aplicación de las normas ISO 9001, utilizadas en el proceso, la documentación importante donde se hacen observación, mejoras del proceso, además del cumplimiento de las normas.

5.3.3.1. Auditorías internas

Para que la empresa realice una auditoría efectivamente empleando el Sistema HACCP (*Hazard Analysis and Critical Control Points*), es necesario que sus decisiones se fundamenten en evidencias objetivas. En lo que se refiere a las auditorías de ese sistema, la base científica se constituye en elemento preponderante. Esta asegurará una correcta evaluación de las condiciones prácticas de operatividad para garantizar la inocuidad de los alimentos y de esa manera, alcanzar su principal objetivo.

Entre las acciones de verificación, una auditoría del Sistema HACCP es una actividad que debe planificarse obligatoriamente con anticipación en un establecimiento dedicado a la producción, manipulación, almacenaje y comercio de materias primas y alimentos. Debe utilizarse entonces una metodología que posibilite evaluar al final de los trabajos la operatividad efectiva del plan escrito y fundamentalmente si el sistema garantiza la oferta de alimentos inocuos para la salud del consumidor. Para ello, es importante que el equipo auditor siga una

secuencia lógica de pasos que facilitará la obtención de las informaciones necesarias.

Por lo tanto, en líneas generales, podemos identificar el siguiente conjunto de etapas que el equipo auditor debe seguir, durante un proceso de auditoría del Sistema HACCP.

- Reunión inicial.
- Verificación preliminar de los datos obtenidos de la pasteurización del proceso.
- Auditoría de las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y Procedimientos estándar de Higiene Operacional (SSOP).
- Auditoría de los Puntos Críticos de Control en la pasteurización del proceso – PCC.
- Auditoría de los procedimientos de registros.
- Preparación del informe de auditoría.
- Reunión final.

5.3.3.2. Auditorías externas

Esta auditoría se efectúa por la autoridad sanitaria competente, y no por la propia empresa. En la cuestión de la inocuidad de los alimentos donde está en juego la salud del consumidor, es fundamental la participación de la autoridad sanitaria competente para efectuar auditorías externas, para verificar si los productos elaborados se encuentran realmente bajo control.

Esta acción gubernamental, entre otros beneficios, puede servir también para:

- Defender los derechos básicos del consumidor contra riesgos a la salud pública, provocados por la provisión de productos indebidamente controlados.
- Estimular y validar el esfuerzo hecho por la empresa en el desarrollo e implementación del Sistema HACCP.
- Estimular una mayor competitividad y garantizar el comercio justo de alimentos.

5.4. Estadísticas del equipo del mejorado

El equipo mejorado según las estadísticas y las estrategias aplicadas a los mantenimientos, mejoraron en los aspectos de funcionamiento como: averías, paros por planta, reducción de horas de mantenimiento correctivo, mano de obra y la producción se mantuvo a un menor costo. Además, el mantenimiento correctivo estableció tiempos que generan menores costos para realizarlo.

5.4.1. Mantenimientos

En los mantenimientos se utilizarán estrategias específicas para obtener resultados en el funcionamiento adecuado, un mantenimiento con costos mínimos, personal capacitado, un mantenimiento preventivo planificado más eficiente con mejoras a futuro. El mantener un equipo en buenas condiciones y mejores resultados es el objetivo, que se logra con los resultados presentados en los diferentes mantenimientos.

5.4.1.1. Preventivo

Las estrategias del mantenimiento preventivo para mantener el equipo durante la operación en buen funcionamiento, reduciendo costos de mantenimiento.

La parte más importante es la evaluación de los resultados obtenidos en cuanto a costos se refiere. De forma que, se analiza y evalúa la propuesta, que es la implementación del modelo de gestión de mantenimiento. A partir de la implementación, se presentaron varios cambios, donde se busca aumentar las horas del preventivo, reducir horas de correctivo y paros de plantas.

Para ello, se analizaron las averías presentadas y se calculó que en promedio se podrá reducir un 70 % de los paros de planta. Luego, para el mantenimiento correctivo se aproximó que las horas a trabajar se podían reducir en un promedio de 45 %, y según el programa propuesto, las horas de mantenimiento preventivo deben subir a un promedio de 80 %. Con esto se obtuvieron los siguientes resultados conforme a los costos aplicados al mantenimiento preventivo detallando los costos en la tabla XLVIII.

Tabla XLVII. **Detalle de costos de mantenimiento preventivo**

Detalles de costo	Pasteurización
Horas Paro de producción	5,3
Costo paro de producción	Q 795,00
Mano de obra por paro	Q 117,66
Horas de preventivo	45
Costo mant. preventivo	Q 3 825,25
Costos repuestos	Q 2 500,00
Total general	Q 7 237,91

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Los gastos pueden ver que existirá un ahorro, más el porcentaje de vida útil de los equipos que están integrados al mantenimiento preventivo.

5.4.1.2. Correctivo

El mantenimiento correctivo fue reducido al máximo ya que se tiene en cuenta que la producción ha determinado hacerle un mantenimiento correctivo cada 3 meses, para ir implementando nuevos controles al sistema, así como la manera de no incurrir en costos de mantenimiento muy elevados.

5.4.2. Recuperación del agua

El agua recuperada en el proceso y la recirculación del recurso en la producción de la cerveza y la aplicación de la esterilización, genera ahorros importantes según los resultados, además minimiza otros recursos que se utilizan en la recuperación del agua. La optimización del proceso en este punto es fundamental en la operación del proceso.

5.4.2.1. Dentro del proceso

En la recuperación del agua se implementó el sistema de recirculación dentro del pasteurizador. Los aspectos esenciales están enfocados en la parte económica sino también en la ambiental, ya que, al optimizar el consumo de agua, energía eléctrica y térmica, se está hablando de un proceso de producción más limpio.

Entiéndase por producción limpia, a la producción y uso de bienes y servicios que respondan a las necesidades básicas y conducen a una buena calidad del producto, a la vez que se minimiza el uso de recursos naturales,

materiales tóxicos, emisiones y residuos contaminantes durante el período de producción, sin poner en riesgo las necesidades de las generaciones futuras.

5.4.3. Cantidad de agua producida versus recuperada

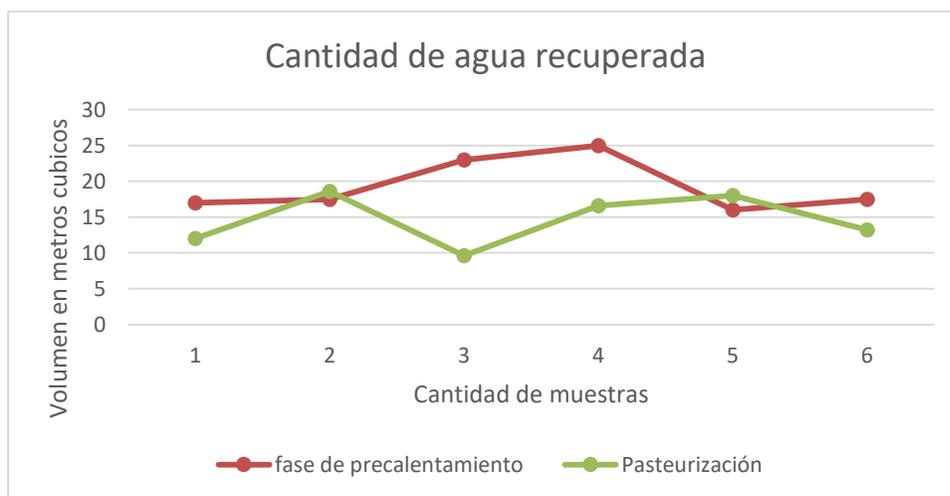
El caudal de agua de dichas etapas de operación se calculó por medio de los medidores de flujo colocados en el proceso y los resultados se muestran en:

Tabla XLVIII. **Cantidad de agua recuperada durante la producción**

Toma de muestras	1	2	3	4	5	6
Fase de precalentamiento	17	17,5	23	25	16	17,5
Pasteurización	12	18,6	9,6	16,6	18	13,2
Costo en m ³	Q 1 817,00	Q 2 807,5	Q 1 463,00	Q 2 515,00	Q 2 716,00	Q 1 997,50

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Figura 18. **Cantidad de agua recuperada**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

Con los datos obtenidos se puede considerar un ahorro energético y económico, si el costo del metro cúbico es de Q 150,00 obteniendo un ahorro económico de Q 13 316,00 por períodos de producción.

5.4.4. Cantidad de condensado recuperado

La cantidad de condensado recuperado fue calculado mediante el proceso de producción, tomando muestras del condensado recuperado, por medio del medidor de flujo y el tanque de condensado.

Especificado en la siguiente tabla XLIX, generando un costo de condensado recuperado de Q 40 600, además genera un ahorro de energía.

Tabla XLIX. **Cantidad de condensado recuperado**

Toma de muestras	1	2	3	4	5	6
Condensado recuperado	21	20	19	18	21	17
Costo del condensado	Q 7 350,00	Q 7 000,00	Q 6 650,00	Q 6 300,00	Q 7 350,00	Q 5 950,00

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2013.

CONCLUSIONES

1. En la pasteurización ocurren pérdidas innecesarias dentro del proceso y esto implica gastos que aumentan los costos de producción, mantenimiento por lo que es importante controlar en el sistema los siguientes aspectos:
 - Los parámetros adecuados de elaboración del producto para mantener la calidad.
 - Velar por el buen funcionamiento del equipo y accesorios que se utilicen, para ofrecer un mejor servicio a los clientes del producto final.
2. Las pérdidas ocasionadas por el vapor y condensados dentro del proceso perjudicaban en la pasteurización del producto para que existiera un producto de calidad.
3. La recirculación del agua cruda dentro del sistema evitó incurrir en costos de producción del agua, así como de mejora el proceso de almacenamiento dentro de los diferentes tanques y mantener a una temperatura adecuada el agua.
4. El mantenimiento se mejoró porque se aplicó un mantenimiento programado para minimizar las fallas en producción, además se le dio capacitación al operador de mantener en funcionamiento la máquina y si existía un problema pudiera intervenir en el momento.

1. La aplicación de un sistema paralelo de recirculación de agua cruda para la utilización de la misma en otros procesos y mejora el medioambiente.

RECOMENDACIONES

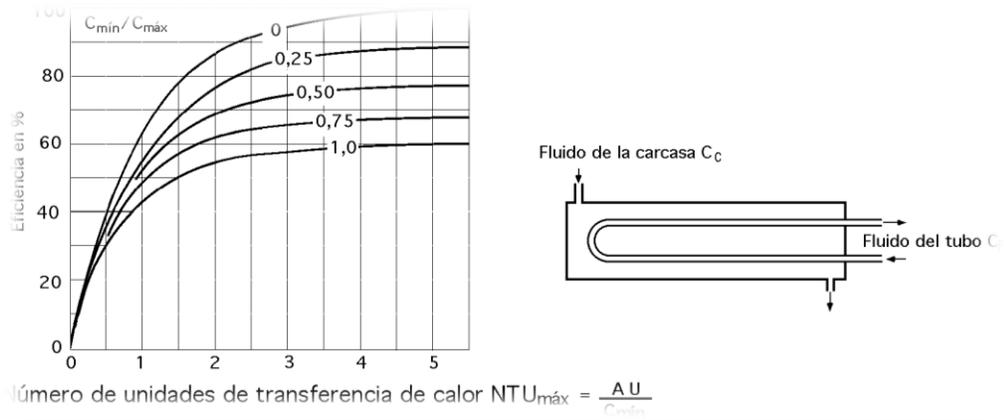
1. Supervisar que el departamento de mantenimiento/Producción/Control de calidad guie que las actividades a controlar el proceso de pasteurización, se lleven a cabo, para dar un buen producto final.
2. Proveer a los operadores, mecánicos, el entrenamiento necesario para actualizar conocimientos de operación del sistema de pasteurización.
3. Conocer los tipos de accesorios y equipos utilizados para medir parámetros en el sistema de pasteurización e instruir al personal en su utilización.
4. Mantener los planes de mantenimiento específicos y que se mantenga una estandarización del sistema de pasteurización.
5. Divulgar las estandarizaciones que se realicen para que estas puedan ser aplicadas por medio de las normas ISO 18000 dentro de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

1. CASTRO, L. F. *Evaluación y mejoramiento de un pasteurizador en una línea de embotellado*. Guatemala: s.n., 2009.
2. GAFFERT, G. *Central de vapor*. Barcelona, España: Reverte S.A., 1960. 595 p.
3. Gea. *Ingeniería para un mundo mejor*. [en línea]. <www.Gea.com>. [Consulta: 23 de noviembre de 2019].
4. krones.shop. *La plataforma global para la industria de bebidas y envasado*. [en línea]. <www.krones.com>. [Consulta: 25 de noviembre de 2019].
5. ROSALES, Roberto. *Manual de mantenimiento industrial*. México: Mcraw-Hill/ interamericana de México: 1995. 315 p.

ANEXOS

Anexo 1. Gráfico de eficiencia del intercambiador



Fuente: GAFFERTER, G. *Centrales de vapor*. p. 248.

Anexo 2. Coeficiente de transferencia de calor

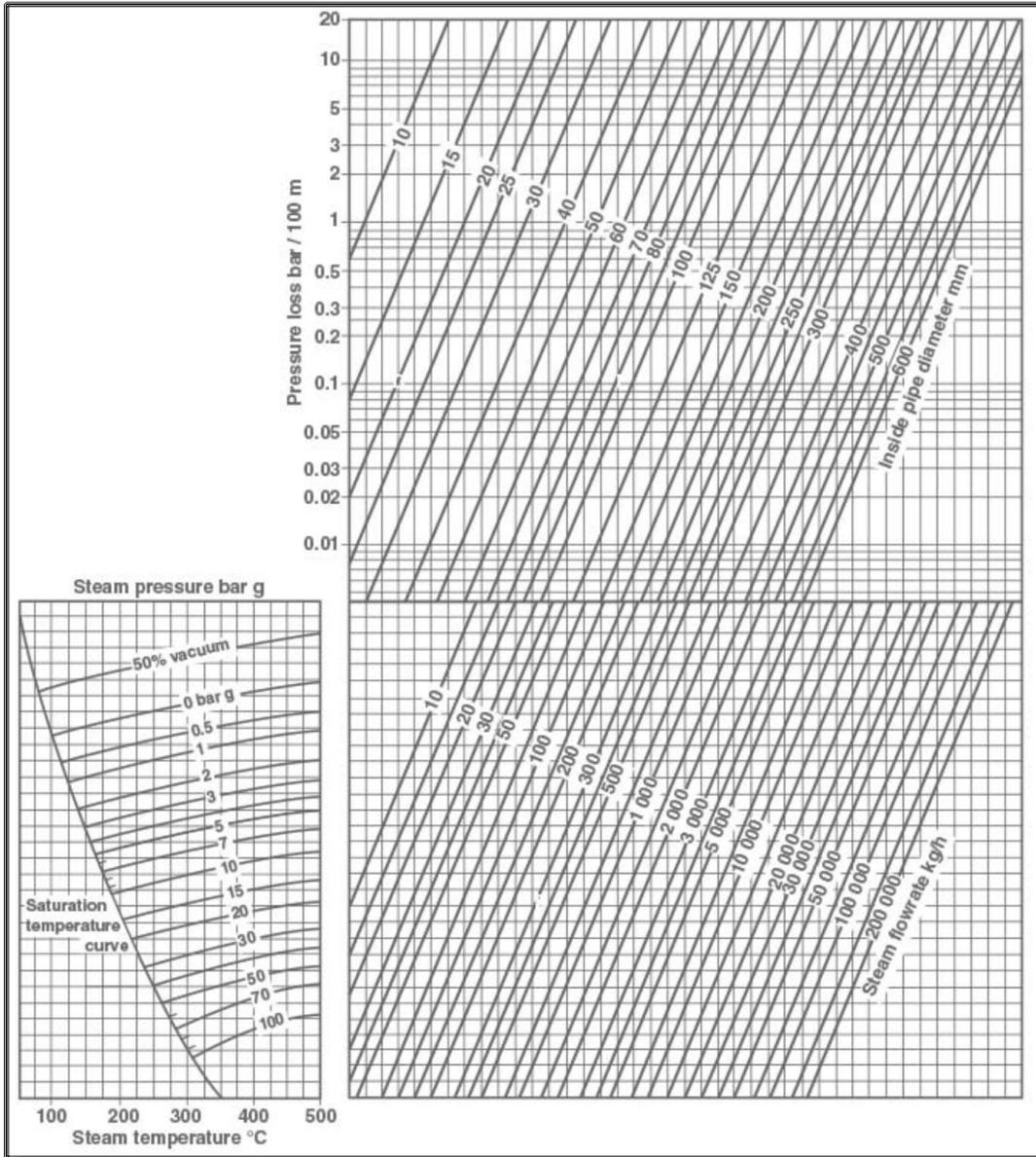
Tabla 13.1. Intervalo de valores de U en recuperadores^a

Tipo de Recuperador	U , $W/m^2 K$
Gas-gas	10-35
Agua-agua	850-1700
Petróleo-petróleo	100-300
Vapor cond.-aire	35-90
Vapor cond.-comp. org. en eb.	280-2300
Vapor cond.-agua en eb.	1700-4500

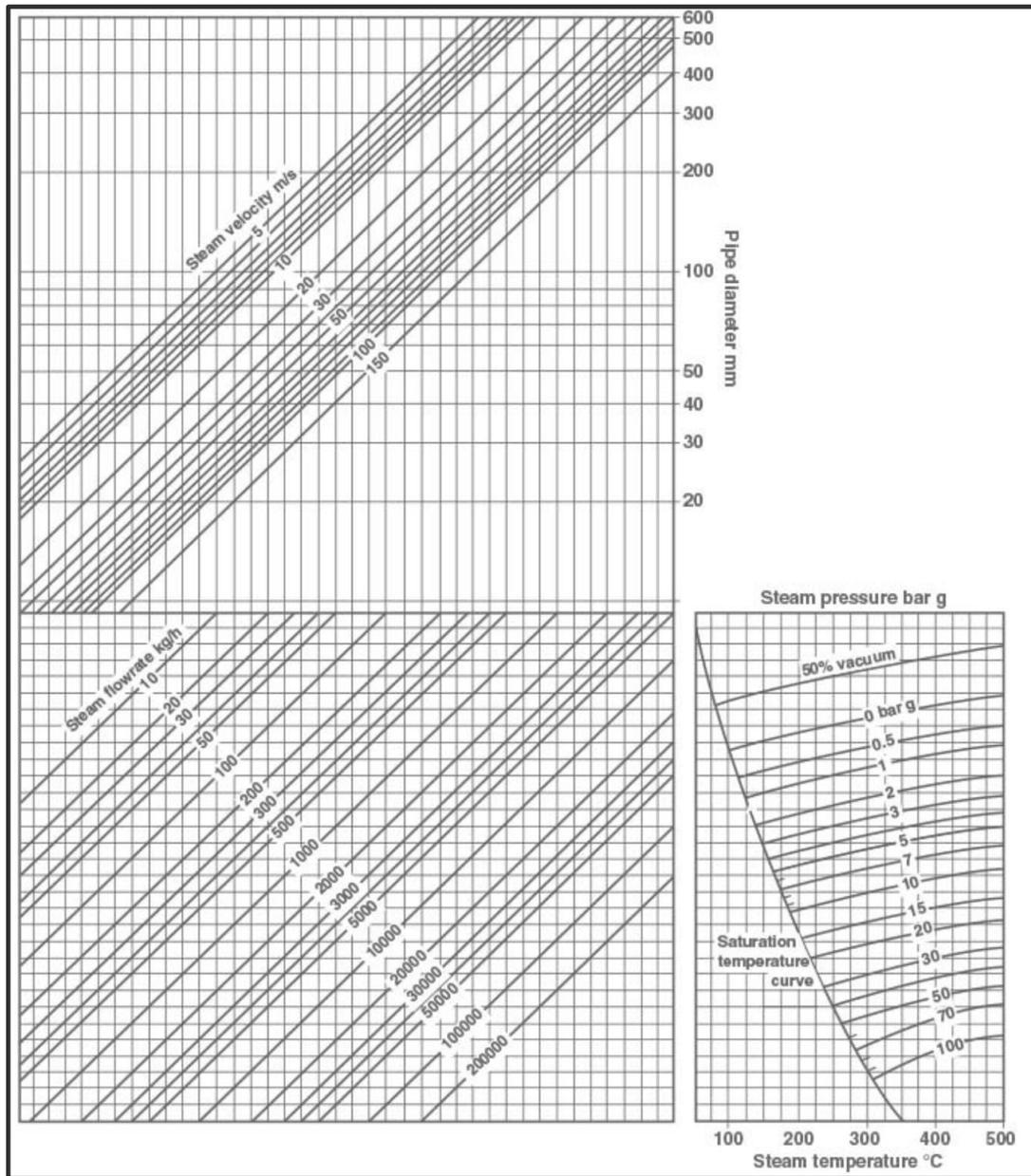
^a De Perry (1950). Las páginas 480-482 dan numerosos valores adicionales.

Fuente: LEVENSPIEL, O. *Flujo de fluidos e intercambio de calor*. p. 143.

Anexo 3. Diagrama de presión vapor, velocidad del vapor, rango de flujo de vapor



Continuación del anexo 3.



Fuente: Monografias.com. Curso distribución del vapor en instalaciones industriales.
<https://www.monografias.com/trabajos106/curso-distribucion-del-vapor-instalaciones-industriales/curso-distribucion-del-vapor-instalaciones-industriales.shtml>. Consulta: 11 de octubre 2020.

Anexo 4. Tabla de propiedades del vapor saturado

Presión absoluta bar	Temperatura °C	Densidad kg/m ³	Densidad kg/m ³	Volumen específico m ³ /kg	Viscosidad dinámica cP	Viscosidad cinemática cm ² /s	Calor específico kJ/kg K
0.1	45.81	0.717746	0.068144	14.670558	0.010486	155.829600	0.0005893
0.2	60.06	0.726738	0.130751	7.448151	0.010936	83.440001	0.0005662
0.3	69.10	0.729040	0.191257	5.228560	0.011201	58.720149	0.0005515
0.4	75.86	0.730236	0.250431	3.993112	0.011436	43.737508	0.0005359
0.5	81.30	0.731281	0.308528	3.240149	0.011636	37.703850	0.0005209
0.6	85.93	0.732194	0.364653	2.731829	0.011791	32.313043	0.0005066
0.7	89.93	0.732977	0.420851	2.366899	0.011927	28.205690	0.0004930
0.8	93.49	0.733627	0.477113	2.087189	0.012047	24.144926	0.0004804
0.9	96.69	0.734175	0.533414	1.869458	0.012156	20.725515	0.0004686
1	99.61	0.734640	0.590311	1.694003	0.012256	17.741530	0.0004576
2	120.21	0.731734	1.129054	0.886758	0.012962	11.482172	0.0004042
3	130.33	0.726914	1.620749	0.620753	0.013623	8.131467	0.0003623
4	140.01	0.720371	2.162645	0.462392	0.014271	6.367790	0.0003211
5	150.24	0.712343	2.669358	0.374304	0.014916	5.267956	0.0002812
6	160.03	0.703194	3.168814	0.315573	0.015557	4.511649	0.0002439
7	169.45	0.703430	3.666173	0.272744	0.016192	3.937123	0.0002095
8	178.61	0.703073	4.160958	0.240008	0.016826	3.521747	0.0001781
9	177.36	0.702288	4.653977	0.214874	0.017466	3.194261	0.0001490
10	179.89	0.701422	5.145384	0.194349	0.018102	2.919431	0.0001242
11	184.07	0.700438	5.635842	0.177406	0.018746	2.692922	0.0001048
12	187.96	0.700049	6.125579	0.164000	0.019390	2.497678	0.0000890
13	191.61	0.700006	6.614854	0.151173	0.020042	2.301924	0.0000768
14	195.05	0.700000	7.102894	0.140768	0.020706	2.158672	0.0000678
16	198.30	0.700000	7.592800	0.131700	0.021386	2.061923	0.0000615
18	201.38	0.700000	8.081978	0.123792	0.022082	1.992035	0.0000564
17	206.31	0.700000	8.571331	0.116968	0.022794	1.880835	0.0000521
18	207.12	0.700000	9.061063	0.110260	0.023521	1.791332	0.0000486
19	209.31	0.700000	9.551293	0.104493	0.024263	1.680899	0.0000450
20	212.38	0.700000	10.042122	0.099581	0.025021	1.600741	0.0000420
21	214.57	0.700000	10.533640	0.095494	0.025794	1.540870	0.0000393
22	217.26	0.700000	11.025930	0.092089	0.026582	1.479655	0.0000369
23	219.36	0.700000	11.519080	0.089412	0.027386	1.430034	0.0000347
24	221.80	0.700000	12.013188	0.087362	0.028206	1.371027	0.0000326
25	223.96	0.700000	12.508228	0.085847	0.029042	1.323144	0.0000307
26	226.05	0.700000	13.004288	0.084897	0.029894	1.277886	0.0000290
27	228.09	0.700000	13.501400	0.084456	0.030762	1.234630	0.0000274
28	230.08	0.700000	14.000000	0.084408	0.031646	1.192638	0.0000260
29	231.99	0.700000	14.499400	0.084847	0.032546	1.161124	0.0000247
30	233.86	0.700000	15.000000	0.084864	0.033462	1.129609	0.0000234
31	235.68	0.700000	15.502000	0.0844304	0.034394	1.094040	0.0000221
32	237.46	0.700000	16.006488	0.083673	0.035342	1.064127	0.0000208
33	239.20	0.700000	16.511474	0.083644	0.036306	1.038400	0.0000197
34	240.90	0.700000	17.017966	0.083741	0.037286	1.009222	0.0000189
35	242.56	0.700000	17.525956	0.083938	0.038282	0.980148	0.0000182
36	244.19	0.700000	18.035444	0.084246	0.039294	0.953808	0.0000177
37	245.78	0.700000	18.546432	0.084678	0.040322	0.934790	0.0000172
38	247.33	0.700000	19.058920	0.085236	0.041366	0.912677	0.0000166
39	248.86	0.700000	19.572914	0.085929	0.042426	0.891401	0.0000160
40	250.36	0.700000	20.088414	0.086757	0.043502	0.871490	0.0000154
41	251.83	0.700000	20.605428	0.087720	0.044594	0.852278	0.0000148
42	253.27	0.700000	21.123956	0.088820	0.045702	0.833992	0.0000142
43	254.68	0.700000	21.644008	0.089953	0.046836	0.816808	0.0000136
44	256.07	0.700000	22.165584	0.091222	0.048006	0.799966	0.0000130
45	257.44	0.700000	22.688684	0.092628	0.049212	0.783599	0.0000124

Fuente: Monografias.com. Curso distribución del vapor en instalaciones industriales.
<https://www.monografias.com/trabajos106/curso-distribucion-del-vapor-instalaciones-industriales/curso-distribucion-del-vapor-instalaciones-industriales.shtml>. Consulta: 11 de octubre 2020.

Anexo 5. **Tabla de velocidad de vapor saturado con respecto de la presión**

PRESIÓN Bar	Velocidad Máxima Recomendable m/s	
	SATURADO	RECALENTADO
< 2	30	35
2 - 5	35	45
5 - 10	40	50
10 - 25	50	60
25 - 100	60	75

Fuente: Sparix sarco. *Una presencia global con enfoque local*. <https://www.spiraxsarco.com/>.
Consulta: 25 de noviembre de 2019.

Anexo 6. **Tabla de factor de seguridad**

Tabla 6.3 Factor de seguridad

Equipo	Factor de seguridad
Autoclave	3-4
Evaporador	2-3
Mamita	3-5
Serpentines de aire	3-4
Intercambiador de carcasa y tubo de presión constante	4-6
Intercambiador de carcasa y tubo de presión modulada	2-4
Calentador de aire	2-4
Manifold de vapor	2-4
Separadores	2-4
Rastreadores de vapor	2-3

Doctor Mario Santizo

Fuente: Sparix sarco. *Una presencia global con enfoque local*. <https://www.spiraxsarco.com/>.
Consulta: 25 de noviembre de 2019.

