



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Gestión Industrial

**OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA INTERNA CIP (CLEAN IN PLACE) A 5
PASOS A TEMPERATURA AMBIENTE, EN LOS TANQUES DE ALMACENAJE DE
CERVEZA FILTRADA. ESTUDIO POR REALIZARSE EN UNA PLANTA PRODUCTORA
DE CERVEZA UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Ing. Edgar Augusto Morales Reyes

Asesorado por la Inga. Claudia Carolina Ronquillo Blau

Guatemala, noviembre de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA INTERNA CIP (CLEAN IN PLACE) A 5
PASOS A TEMPERATURA AMBIENTE, EN LOS TANQUES DE ALMACENAJE DE
CERVEZA FILTRADA. ESTUDIO POR REALIZARSE EN UNA PLANTA PRODUCTORA
DE CERVEZA UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
POR

ING. EDGAR AUGUSTO MORALES REYES

ASESORADO POR MSC. INGA. CLAUDIA CAROLINA RONQUILLO BLAU

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTE EN GESTIÓN INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2022

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. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Aroche Sandoval
EXAMINADORA	Dra. Aura Marina Rodríguez Pérez
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 DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA INTERNA CIP (CLEAN IN PLACE) A 5 PASOS A TEMPERATURA AMBIENTE, EN LOS TANQUES DE ALMACENAJE DE CERVEZA FILTRADA. ESTUDIO POR REALIZARSE EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE CERVEZA UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA

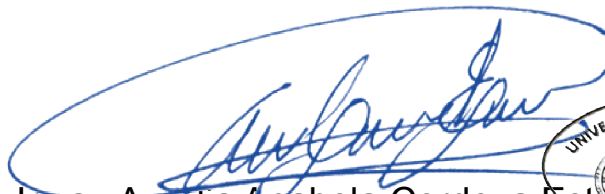
Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 3 de marzo de 2020.



Ing. Edgar Augusto Morales Reyes

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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA INTERNA CIP (CLEAN IN PLACE) A 5 PASOS A TEMPERATURA AMBIENTE, EN LOS TANQUES DE ALMACENAJE DE CERVEZA FILTRADA. ESTUDIO POR REALIZARSE EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE CERVEZA UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por: **Edgar Augusto Morales Reyes**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Gestión industrial después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Aurelia Arabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc



Guatemala, enero de 2023

LNG.EEP.OI.001.2023

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA INTERNA CIP (CLEAN IN PLACE) A 5 PASOS A TEMPERATURA AMBIENTE, EN LOS TANQUES DE ALMACENAJE DE CERVEZA FILTRADA. ESTUDIO POR REALIZARSE EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE CERVEZA UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA”

presentado por **Edgar Augusto Morales Reyes** correspondiente al programa de ; apruebo y autorizo el mismo.
Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



Guatemala, 14 de agosto de 2021

Maestro
Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente.

Estimado Mtro. Álvarez:

Por este medio le informo que he revisado y aprobado el **trabajo final** de graduación titulado: **“OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA INTERNA CIP (CLEAN IN PLACE) A 5 PASOS A TEMPERATURA AMBIENTE, EN LOS TANQUES DE ALMACENAJE DE CERVEZA FILTRADA. ESTUDIO A REALIZARSE EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE CERVEZA UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA.”**. Del estudiante Edgar Augusto Morales Reyes, del programa de Maestría en **Artes en Gestión Industrial**.

Con base en la evaluación realizada hago constar la originalidad, calidad, validez, pertinencia y coherencia según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobados por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Cumpliendo tanto en su estructura como en su contenido, por lo cual el protocolo evaluado cuenta con mi aprobación.

“Id y Enseñad a Todos”



M.A. Carlos Humberto Aroche Sandoval
Coordinador de Gestión Industrial
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería

Guatemala, 23 de julio de 2021

M.A. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí

Director

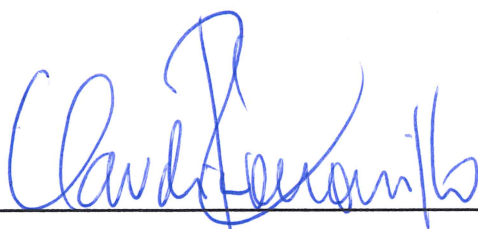
Escuela de Estudios de Postgrado

Presente

Estimado M.A. Ing. Álvarez Cotí

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE LIMPIEZA CIP (CLEAN IN PLACE) A 5 PASOS A TEMPERATURA AMBIENTE, EN LOS TANQUES DE ALMACENAJE DE CERVEZA FILTRADA. PARA UNA PLANTA PRODUCTORA DE CERVEZA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA del estudiante **Edgar Augusto Morales Reyes** del programa de Maestría en **Gestión Industrial**, identificada con número de carné: **999002575**.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



MSc. Inga. Claudia Carolina Ronquillo Blau

Colegiado No. 986

Asesor de Tesis

CLAUDIA RONQUILLO
Ingeniera Química
Col.986

ACTO QUE DEDICO A:

Dios y la Virgen María

Por siempre darme las fuerzas y la sabiduría de seguir adelante y alcanzar nuevas metas.

Mis padres

Ileana Reyes y Edgar Morales por todo su amor y esfuerzo por siempre darme lo mejor para formar el hombre que soy ahora. Gracias por su esfuerzo, por su lucha y por apoyarme en los momentos más difíciles.

Mis hermanas

Susana e Ingrid Morales, por ser mis mejores amigas, por brindarme siempre un buen consejo y acompañarme en todos mis éxitos, las amo.

Mi novia

María Fernanda Martínez Girón por su apoyo y amor incondicional. Por ser esa luz en mi vida que me inspira siempre a ser mejor persona y profesional.

Mis abuelas

Carmen Catalán de Morales (q.e.p.d)
y Angela Reyes, por velar siempre por
mí y su amor incondicional.

Familia y amigos

Por el cariño sincero y desinteresado,
el cual hemos sabido cultivar y
fortalecer al paso del tiempo; por
todas las emociones, alegrías,
tristezas y experiencias compartidas
en todos estos años.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala

Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido formarme como el profesional que soy ahora.

Mi familia

Mónica Reyes, María José, Paola, María Fernanda y Pablo Daniel Garrido, David Illescas y Luis Chew, por su apoyo incondicional.

Mi asesora

Inga. Claudia Carolina Ronquillo Blau por su guía, conocimientos y lecciones que me ayudaron a crecer como profesional.

Mis amigos

Carlos Hurtado, Federico Monroy, David Manjon, Diego Pezzarossi, Luly Guzmán, Elder Ruano, Marian Giordano, Leonel Morataya, Michelle Espina, Edwin Saravia, Wagner Monterroso, Bryan Carrera, Diego Milian, Ivonne Soto, Javier Mendez, Cesar Garcia, Kelvin Morales, Juan Castillo y Fernando Sutuc.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XIX
INTRODUCCIÓN	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Elaboración de la cerveza	1
1.1.1 Ingredientes básicos para la elaboración de la cerveza	2
1.1.2 Producción de mosto	4
1.1.3 Fermentación.....	5
1.1.4 Filtración y envasado.....	7
1.2 Evaluación y optimización de equipos de limpieza CIP	7
1.2.1 Tipos de limpieza.....	8
1.2.2 Métodos de limpieza.....	9
1.2.3 Proceso de limpieza manual.....	9
1.2.4 Sistema de limpieza en el sitio CIP	9
1.2.5 Agentes de limpieza	10
1.2.6 Detergentes	11
1.2.7 Mecanismos de acción de los detergentes de limpieza	11

1.2.8	Clasificación de los detergentes.....	12
1.2.8.1	Alcalinos.....	12
1.2.8.2	Ácidos.....	13
1.2.8.3	Surfactantes	13
1.2.8.4	Secuestrante	13
1.2.9	Desinfección.....	14
1.2.9.1	Propiedades de los desinfectantes.....	14
1.2.10	Mecanismos de acción de los agentes desinfectantes	15
1.2.10.1	Desintegración de la estructura de la célula.....	15
1.2.10.2	Interferencia energética celular	16
1.2.10.3	Síntesis de proteínas e interferencia con el crecimiento celular	16
1.2.11	Factores que intervienen en la desinfección química.....	17
1.2.11.1	Naturaleza química de la sustancia.....	17
1.2.11.2	Presencia de materia orgánica.....	17
1.2.11.3	Temperatura.....	17
1.2.11.4	Tiempo de contacto	17
1.2.11.5	Concentración del desinfectante	18
1.2.11.6	Concentración de iones de hidrógeno (pH)	18
1.2.12	Tipos de desinfección.....	18
1.2.12.1	Desinfección en forma física	18
1.2.12.2	Desinfección en forma química	19
1.2.13	Limpieza automática	21
1.2.14	Insumos.....	22
1.2.15	Actividades	22

1.2.16	Variables del proceso de saneamiento de líneas de producción	24
1.2.17	Tiempo.....	24
1.2.17.1	Fase 1.....	25
1.2.17.2	Fase 2.....	25
1.2.17.3	Fase 3.....	25
1.2.18	Temperatura	26
1.2.19	Concentración.....	28
1.2.20	Solubilidad	29
1.3	Principios básicos de la remoción de residuos	30
1.3.1	Componentes	32
1.3.1.1	Agua	32
1.3.1.2	Agentes alcalinos.....	33
1.3.1.3	Agentes ácidos	33
1.3.2	Turbulencia.....	34
1.3.3	Equipos sanitarios de la tecnología CIP	35
1.3.3.1	Conceptos sanitarios para el procesamiento de líneas.....	36
1.3.3.2	Detalles para la construcción del equipo	36
1.3.3.3	Tubería sanitaria.....	37
1.3.3.4	Accesorios sanitarios	37
1.3.3.5	Placas de acople	38
1.3.3.6	Válvulas	38
1.3.3.7	Válvulas de mariposa	38
1.3.3.8	Válvulas de globo	38
1.3.3.9	Válvulas de globo de doble asiento	40
1.3.3.10	Bombas centrífugas.....	42
1.3.4	Circuitos de limpieza.....	43

1.3.4.1	Circuito abierto	43
1.3.4.2	Circuito cerrado	45
1.3.5	Limpieza de tanques	46
1.3.6	Accesorios para la limpieza de tanques	47
1.3.6.1	Circuito cerrado	47
1.3.7	Tipos de sistemas de limpieza automatizados CIP	48
1.3.7.1	Sistema sin recirculación de soluciones de limpieza o agua de enjuague.....	48
1.3.7.2	Sistema con recirculación de soluciones de limpieza y agua de enjuague.....	49
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	51
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	53
3.1	Objetivo 1: Determinar si la capacidad de los equipos cumple con los parámetros de presión, caudal, velocidad y conductividad, para la utilización de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos.....	53
3.1.1	Central de soluciones concentradas	53
3.1.2	Tanque de solución concentrada	55
3.1.3	Correlación entre la conductividad y concentración del ácido-desinfectante	56
3.1.4	Presiones, caudales y velocidades en los diferentes pasos del sistema de limpieza CIP.	59
3.1.5	Evaluación y optimización de tiempos en la receta de CIP a 5 pasos.....	61

3.2	Objetivo 2: Evaluar si el sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, es eficiente, mediante análisis microbiológico según norma COGUANOR NGO 34 155 h2, h3 y h4.....	63
3.2.1	Resultados del recuento total según norma COGUANOR NGO 34 155 h2.....	63
3.2.2	Resultados de coliformes según norma COGUANOR NGO 34 155 h3.....	64
3.2.3	Resultados de mohos y levaduras según norma COGUANOR NGO 34 155 h4.....	65
3.3	Objetivo 3: Establecer el ahorro anual de energía eléctrica, costo de horas hombre, agua y químicos, para 576 circuitos de limpieza, utilizando un sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos en los 12 tanques de almacenaje de cerveza filtrada, a través de un estudio económico	67
3.3.1	Ahorro de tiempo en horas por el uso del sistema de limpieza CIP a 5 pasos	67
3.3.2	Ahorro de energía eléctrica por el uso del sistema de limpieza CIP a 5 pasos	69
3.3.3	Ahorro de químicos y agua, por el uso del sistema de limpieza CIP a 5 pasos	70
3.4	Propuesta: Optimización del sistema de limpieza interna CIP (<i>Clean In Place</i>) a 5 pasos a temperatura ambiente, en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada	71
3.4.1	Crear una nueva receta automática de limpieza CIP a 5 pasos	72
3.4.2	Programación de la receta automática de limpieza CIP a 5 pasos	73

4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	77
4.1	Análisis interno	77
4.2	Análisis externo	78
4.3	Integración	79
	CONCLUSIONES	81
	RECOMENDACIONES	83
	REFERENCIAS	85
	APÉNDICES	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Carga orgánica del sistema CIP procedente de la línea de producción durante las diferentes etapas del ciclo de limpieza.....	23
2.	Efecto de la temperatura de la solución de limpieza básica con respecto a la eficiencia del ciclo.....	28
3.	Relación entre flujo volumétrico y velocidad para diferentes diámetros de tubería	35
4.	Direcciones de flujo posibles en una válvula de globo	39
5.	Puntos muertos en manifolds de válvulas de globo	40
6.	Válvula mix proof direcciones de flujo posibles en una válvula de globo.....	41
7.	Diagrama de bomba CIP para un tanque de abastecimiento	43
8.	Diagrama completo de sistema CIP para un circuito abierto.....	45
9.	Puntos muertos durante el lavado de un tanque de abastecimiento utilizando espray balls	48
10.	Lavado de un tanque de abastecimiento sin reutilización de soluciones de limpieza o agua de enjuague	49
11.	Ordenamiento de la central de soluciones concentradas.....	54
12.	Tanque de solución concentrada	55
13.	Sistema de recirculación del tanque de ácido-desinfectante.....	57
14.	Correlación entre conductividad (mS) y concentración (%v/v) del ácido-desinfectante	58
15.	Diagrama de proceso del sistema de limpieza CIP a 5 pasos para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada	75

TABLAS

I.	Operativización de variables.....	XXII
II.	Descripción de la fase 1 de limpieza de un sistema CIP	25
III.	Temperaturas del agua y soluciones alcalina y ácida para un sistema CIP.....	26
IV.	Solubilidad de constituyentes comunes en la industria alimenticia	30
V.	Flujo volumétrico dentro de una tubería para diferentes diámetros	46
VI.	Volúmenes de descarga estándares para soluciones sanitizantes de acuerdo con el volumen y dimensiones del tanque	47
VII.	Presiones, caudales y velocidades en los diferentes pasos del sistema de limpieza CIP.....	60
VIII.	Tiempos de enjuague y circulación de soluciones estándar por receta automática de CIP	61
IX.	Recuento total COGUANOR NGO 34 155 h2.....	64
X.	Coliformes COGUANOR NGO 34 155 h3.....	65
XI.	Mohos y levaduras COGUANOR NGO 34 155 h4.....	66
XII.	Ahorro en horas del uso del sistema de limpieza CIP a 5 pasos	68
XIII.	Ahorro en el costo de horas hombre por operación del equipo de limpieza CIP	69
XIV.	Ahorro en quetzales de energía eléctrica	70
XV.	Ahorro de agua por el uso de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos.....	70
XVI.	Ahorro de desinfectante por el uso de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos	71
XVII.	Parámetros de la receta automática de limpieza CIP a 5 pasos.....	73

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados centígrados
hL	Hectolitros
Kg	Kilogramo
KWH	Kilowatt / hora
M	Mes
m ³	Metro cúbico
mS	Milisiemens
Q	Quetzales
Q/CIP	Quetzales por CIP
t	Tiempo
UL	Unidad de limpieza

GLOSARIO

Agar	Los medios de agar selectivos son utilizados para aplicar una presión selectiva a los organismos que crecen en ellos.
BBT	<i>Briht Beer Tank</i> . Traducido al español: tanques de cerveza brillante, comúnmente conocidos como tanques de gobierno.
Cerveza	Es una bebida alcohólica, no destilada, de sabor amargo, que se fabrica con granos de cebada germinados u otros cereales cuyo almidón se fermenta en agua con levadura y se aromatiza a menudo con lúpulo, entre otras plantas.
CIP	<i>Clean In Place</i> . Traducido al español: limpieza en sitio sin desarmar equipos.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
Coliformes	Bacterias que tienen ciertas características bioquímicas en común.

Desinfectante	Sustancia o producto que elimina los microorganismos evitando su crecimiento y desarrollo.
Detergente	Sustancia o producto que limpia químicamente.
Inocuidad	Libre de microorganismos patógenos.
Levadura	Nombre genérico de ciertos hongos unicelulares, de forma ovoidea, que se reproducen por gemación o división.
UFC	La unidad formadora de colonias (UFC) es una unidad de medida que se emplea para la cuantificación de microorganismos, en una muestra líquida o sólida.

RESUMEN

El propósito de la investigación es lograr la limpieza y desinfección de los tanques de almacenaje de cerveza, para cumplir con todas las condiciones y estándares de higiene definidos en la industria cervecera. También es importante la optimización de estos procesos para lograr una limpieza más rápida, ahorrar recursos y reducir costos en soluciones de limpieza.

Para ello, el objetivo general propone la optimización de un sistema de limpieza interna CIP (*Clean in place*) a 5 pasos a temperatura ambiente, en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada. Estudio por realizarse en una planta productora de cerveza ubicada en la ciudad de Guatemala.

La fábrica productora de cerveza presenta un alto costo por circuitos de limpieza CIP a 7 pasos, debido a la alta demanda de producción, el uso de dicho sistema incurre en el incremento de uso de soluciones de limpieza, energía eléctrica y pago de horas extras al personal.

En la metodología de investigación se utilizaron métodos empíricos, estos se basan en la experimentación y análisis de datos estadísticos, los cuales posibilitaron la interpretación conceptual de los datos empíricos encontrados, mediante tablas y gráficas. Se recopiló la información por medio de la experimentación científica y se compararon con datos históricos recopilados, para elaborar una propuesta final de optimización del CIP a 5 pasos.

Para ambos sistemas de limpieza CIP a 7 y 5 pasos, la capacidad instalada de la planta cumple con los parámetros óptimos para su operación. El uso de un

sistema de limpieza CIP a 5 pasos en los tanques de cerveza filtrada, es eficaz y reproducible, dado que cumple con las normas COGUANOR NGO 34 155 h2, h3 y h4. El ahorro anual de energía eléctrica, costo de horas hombre, agua y químicos, para 576 circuitos de limpieza, utilizando este sistema en los 12 tanques de almacenaje de cerveza filtrada es de Q.3,951,797.76.

Se logró la optimización de un sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos a temperatura ambiente para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada mediante el diseño y parametrización de una receta automática, que garantiza un procedimiento estandarizado y eficaz. Se recomienda implementar el sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, como sustituto del sistema de limpieza a 7 pasos, como un proyecto de mejora para el ahorro de tiempo, energía eléctrica, agua y químicos, en este tipo de operación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS

La fábrica Industria Cervecera S.A. presenta un alto costo por circuitos de limpieza por el uso de un sistema de CIP de 7 pasos.

La investigación se desarrolla para una empresa guatemalteca, dedicada a la producción de cerveza. La limpieza de los tanques de almacenaje de cerveza filtrada en la planta se realiza con un sistema de limpieza CIP convencional, el cual está compuesto de 7 pasos, agua, soda cáustica, agua, ácido, agua, desinfectante, agua, para garantizar la inocuidad del equipo. Al agua del enjuague final, se realiza un análisis microbiológico para determinar la ausencia de bacterias y residuos sólidos, y garantizar una limpieza efectiva.

En la fábrica se realizan controles de concentración de químicos, temperatura de la solución, tiempos de recirculación, flujos, volumen del equipo y análisis microbiológicos, haciendo efectiva la limpieza. No se ha evaluado utilizar un químico que realice la función de ácido y desinfectante, lo cual varios proveedores dentro de la industria ya cuentan, lo que permitiría acortar los pasos del sistema CIP, optimizando así todos los gastos que incurren en esta operación.

Todos los parámetros de operación se manejan en línea y son programados automáticamente, dentro de las recetas de operación para cada equipo. El sistema prepara las soluciones para cada paso, a partir de soluciones concentradas hasta llegar a la concentración correspondiente. Luego, se corre la operación en base a la receta, la cual es monitoreada por el operador del área.

La fábrica de cerveza no cuenta con un diseño de un sistema de limpieza CIP de 5 pasos para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, lo cual ocasiona que la empresa no tenga un ahorro en los gastos de operación de energía, agua, químicos de limpieza, horas hombre y horas de operación.

Se necesita resolver diferentes cuestionamientos antes de fijar los objetivos, en los cuales se centrará dicha investigación.

Pregunta central

¿Cómo el sistema de limpieza interna CIP (*Clean in place*) a 5 pasos a temperatura ambiente, mejorará el proceso de limpieza de los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, para una planta productora de cerveza ubicada en la ciudad de Guatemala?

Preguntas auxiliares de investigación

- ¿Cómo se adapta el sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, usando el sistema CIP a 7 pasos instalado en la planta?
- ¿Cuáles son los factores críticos del proceso de limpieza interna CIP a 5 pasos en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, que pueden mejorarse?
- ¿Qué beneficios tiene la utilización de un sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos a temperatura ambiente, en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada?

OBJETIVOS

Objetivo general

Optimizar el sistema de limpieza interna CIP (*Clean In Place*) a 5 pasos a temperatura ambiente, en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada. Estudio para realizarse en una planta productora de cerveza ubicada en la ciudad de Guatemala.

Objetivos específicos

1. Determinar si la capacidad de los equipos cumple con los parámetros de presión, caudal, velocidad y conductividad, para la utilización de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos.
2. Evaluar si el sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, es eficiente, mediante análisis microbiológico según norma COGUANOR NGO 34 155 h2, h3 y h4.
3. Establecer el ahorro anual de energía eléctrica, costo de horas hombre, agua y químicos, para 576 circuitos de limpieza, utilizando un sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos en los 12 tanques de almacenaje de cerveza filtrada, a través de un estudio económico.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La metodología de la investigación tiene un enfoque mixto, puesto que se tomó en cuenta tanto el enfoque cuantitativo como cualitativo. Se tomó el enfoque cuantitativo, ya que se tomaron muestras de la última agua de enjuague y del sistema automático de CIP posterior a cada circuito de limpieza, realizado en los diferentes equipos para garantizar la efectividad de la limpieza en los análisis microbiológicos. Se evaluó el ahorro económico de la solución ácido-desinfectante, que se tuvo en energía eléctrica, agua y químicos.

El enfoque cualitativo fue en la revisión de los registros del protocolo de limpieza del sistema CIP en tanques de gobierno y el sistema de distribución, para la obtención de datos históricos y marco teórico relacionado con el tema de investigación.

La investigación es de carácter no experimental, la cual se llevó a cabo la recopilación de la información de los registros históricos de la empresa del CIP a 7 pasos. Comenzando por la observación de los equipos en la planta de producción de cerveza. También en el área de tanques de almacenaje de cerveza filtrada, para conocer el funcionamiento del sistema CIP, variables, condiciones de proceso e insumos que utilizan para dicha práctica.

Recolección y análisis de la información teórica sobre las condiciones de las soluciones de limpieza, sus usos, muestras físicas y la cantidad de refuerzos que se realizan en cada circuito de limpieza. Definición y comparación de las metodologías utilizadas en la medición de concentración y saturación de las soluciones de limpieza.

El procesamiento de datos se llevó a cabo mediante registros de control y tablas comparativas, se tabuló la información y analizaron los datos obtenidos mediante fórmulas estadísticas. La interpretación de resultados para elaborar las conclusiones del diseño de investigación y soportar las recomendaciones pertinentes para la optimización del sistema de limpieza CIP a 5 pasos.

Se utilizó un tipo de estudio transversal porque la investigación está delimitada en tiempo, la cual se desarrolló en seis meses. Se midieron las variables y propiedades importantes del proceso necesarias para el diseño de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada. Midiendo con la mayor precisión posible los datos y compararlos con datos de los reportes históricos, que se llevan del proceso, se propusieron varios puntos de mejora.

- Variables dependientes

Parámetros microbiológicos: son los que determinan la eficiencia de la limpieza y están ligadas al proceso de limpieza y desinfección del sistema CIP.

- Variables independientes

Flujo de agua y soluciones de limpieza: se determina por la potencia de la bomba y se analiza en litros por hora, el cual debe de estar en un rango de 8000 a 1000 litros por hora. pH del agua: es el potencial de hidrogeno que tiene el agua para los enjuagues entre cada químico, manteniéndose dentro del rango de 7-8.

- Temperatura de las soluciones de limpieza: hace referencia a la temperatura ambiente en las que están las soluciones, las cuales varían dependiendo las condiciones atmosféricas.

- Conductividad de las soluciones de limpieza: hace referencia a la concentración de la solución con base a la cantidad de electricidad que permite fluir a través de ella.
- Tiempo: es el tiempo de recirculación de la solución, la cual depende del volumen de la tubería y el equipo que se necesita limpiar.
- Volumen: es la cantidad de solución diluida que se encuentra dentro del tanque de preparación de soluciones, la cual debe ser suficiente para cumplir con los parámetros de flujo, presión y concentración.

A continuación, en la tabla I, se muestra la operativización de variables de la metodología en la cual se definen sus indicadores correspondientes:

Tabla I. **Operativización de variables**

Matriz de Coherencia					
Objetivos específicos	Variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica	Plan de Trabajo
1. Evaluar la eficiencia del ácido / desinfectante tomando en cuenta la microbiología y parámetros de calidad, de los equipos y producto.	Efectividad de la limpieza del equipo	Cuantitativa	UFC: unidad formadora de colonias.	Observación microscópica.	% de satisfactorias de cuenta total, en agua de enjuague de equipo. % de satisfactorias de levaduras, en agua de enjuague de equipo. Tablas de datos.
			mL: mililitros.		
			Recuento total < de 25 UFC/100ml		
			Coliforme 0 UFC/100ml		
			Moho y levadura < de 10 UFC/100ml		
2. Determinar el ahorro de tiempo, agua y químicos en el proceso de ácido / desinfectante, mediante un estudio económico.	Ahorro de tiempo	Cuantitativa	to: tiempo inicial	Promedio y desviación estándar.	Interpretación de resultados por medio de gráficas y tablas de Excel para evaluar las dos propuestas.
			tf: tiempo final		
			UL=kg+M3		
	Ahorro de agua	Cuantitativa	Cip M = (tf-to)*UL		
			Costo = M3*Q		
			M3: metro cúbico		
	Ahorro de químicos	Cuantitativa	Q: Quetzales		
			Costo=kg*Q		
			kg: kilogramo		
3. Establecer un procedimiento que garantice la efectividad del CIP de 5 pasos en la industria cervecera	Receta de limpieza CIP a 5 pasos	Cuantitativa	t: tiempo	Promedio y desviación estándar.	Procedimiento por adoptar en la práctica para el sistema de limpieza CIP en los tanques de cerveza filtrada.
			mS: conductividad milisiemens		
	Diagrama de proceso	Cuantitativa	t: tiempo	Promedio y desviación estándar.	
			mS: conductividad milisiemens		

Fuente: elaboración propia.

Para la recolección de muestras en total se analizaron 12 equipos para evaluar la efectividad de la limpieza. Con la fórmula siguiente se evaluó el tamaño de la muestra.

$$n = \frac{N \times Z_a^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_a^2 \times p \times q}$$

$$N = \frac{12 \times 1.96 \times 1.96 \times 0.05 \times 0.95}{(0.05 \times 0.05 \times (12 - 1)) + (1.96 \times 1.96 \times 0.05 \times 0.95)} = 10.44$$

Utilizando un nivel de confianza del 95 % y un 5 % de error. La muestra tiene que ser de 10 equipos, pero para tener un 100 % de nivel de confianza, se analizaron los 12 equipos. Los cuales cumplieron con las condiciones de microbiología y parámetros fisicoquímicos utilizados en ambos sistemas de limpieza CIP a 7 pasos y 5 pasos.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación es una sistematización, ya que se basó en la evaluación y optimización de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos a temperatura ambiente para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada en la fábrica industria cervecera.

La problemática de la empresa se da en el gasto en químicos, energía eléctrica y agua, debido al uso de un sistema de limpieza CIP a 7 paso, a causa de la demanda de la producción. Esto implica que los equipos se tienen menos tiempo disponibles para la producción. La empresa asume un riesgo muy grande en el costo oportunidad de no invertir en proyectos que mejoren su situación actual.

La línea de investigación de la maestría de gestión industrial y con la que se realizó el presente estudio de investigación es la evaluación y optimización de procesos productivos, ya que busca un método cuantificable que permita determinar si la sustitución de un sistema de limpieza CIP de 7 pasos a 5 pasos, es una solución viable para la optimización de las variables de operación y trae consigo un ahorro monetario. Esto sucede especialmente en el uso de un ácido desinfectante, el cual ya es usado actualmente en muchas industrias cerveceras.

La metodología de la investigación tiene un enfoque mixto, puesto que se tomó en cuenta tanto el enfoque cuantitativo como cualitativo. La investigación es de carácter experimental. Se utilizó un tipo de estudio transversal porque la investigación está delimitada en tiempo, la cual se desarrolló en seis meses. Siendo este un estudio exploratorio y descriptivo.

En la optimización del sistema de limpieza CIP a 5 pasos en lugar de uno a 7 pasos, se determinó que la capacidad actual de la planta es viable para implementar este nuevo sistema. Con los análisis microbiológicos con base a la norma COGUANOR NGO 34 155 h2, h3 y h4, se comprobó la eficacia de este nuevo método siendo satisfactorios los resultados. El ahorro anual por la utilización de este nuevo sistema es de Q.3,951,797.76. Finalmente se realizó la propuesta de una nueva receta automática de CIP, la cual permite la optimización de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos, para todos los tanques de almacenaje de cerveza filtrada en la planta productora de cerveza; La cual cumple con todos los parámetros de proceso y calidad establecidos, logrando así su eficacia en la operación.

Para el esquema de solución se compararon los datos históricos contra los datos experimentales, para determinar la capacidad instalada de la planta, luego se evaluó la eficacia del nuevo método CIP a 5 pasos, mediante el análisis de la microbiología con base en la norma COGUANOR NGO 34 155 h2, h3 y h4, y con un estudio económico se determinó el ahorro anual en energía, agua, químicos y tiempo para la empresa. Con estos datos se logró generar la optimización de un sistema CIP de 7 pasos a uno de 5 pasos.

El trabajo de investigación es factible porque se contó con los recursos necesarios para ejecutar cada una de las fases de la presente investigación y cumplir con los objetivos propuestos.

En el capítulo 1 hace referencia sobre la elaboración de la cerveza, evaluación y optimización de equipos de limpieza CIP y principios básicos de la remoción de residuos.

En el capítulo 2 se hace la presentación de resultados de la observación diagnóstico, revisando los registros históricos de la situación de la empresa, realización de análisis microbiológicos y estudios económicos, con el fin de determinar el costo de oportunidad y la efectividad del estudio. Así mismo se hace la propuesta de la implementación de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos.

En el capítulo 3 se llevó a cabo la discusión de resultados conseguidos en la investigación mediante una análisis interno y externo. En el análisis interno se valida si la capacidad instalada de la planta es suficiente para ejecutar el sistema de limpieza CIP a 5 pasos y en el externo se discute si es igual que eficaz que un sistema de limpieza CIP a 7 pasos. Finalmente, se realizó una integración de los resultados obtenidos creando una nueva receta a 5 pasos que se adapta a las condiciones de proceso.

1. MARCO TEÓRICO

La mayoría de las industrias de elaboración de cerveza tienen procesos automatizados de CIP debido a los altos estándares de higiene que deben de cumplir. Limpieza en sitio o *Clean In Place* (CIP), como lo sugieren sus siglas en inglés, es la limpieza de tuberías, equipos y accesorios sin desmontar las piezas, esta puede ser manual o automática. De acuerdo con la definición de Moerman (2014), sobre CIP más acertada es “Un método perfeccionado y automático de limpieza dirigido a eliminar la suciedad del equipamiento de una planta y las conducciones sin necesidad de desmontar dicho equipamiento” (p.305).

Por ello es importante tener presente los conocimientos básicos de la elaboración de la cerveza y los equipos que se utilizan para su producción. Estos equipos de almacenamiento se deben de limpiar de acuerdo con los estándares de la calidad que la industria utilice.

1.1 Elaboración de la cerveza

La elaboración de cerveza se divide en dos bloques: a) El primer bloque, al que se le denomina bloque caliente. Es donde ocurre la conversión del almidón del cereal en azúcares fermentables por las enzimas que se encuentran grano de malta; b) El segundo bloque, al que se le denomina bloque frío, ya que trabaja a temperaturas menores a 18 °C, en este espectro la levadura realiza la fermentación alcohólica.

La industrialización de la cerveza “tiene una muy larga historia, y las evidencias históricas dicen que ya era empleada por los antiguos egipcios. Algunas recetas antiguas de cerveza proceden de escritos sumerios. La industria de cerveza es parte de las actividades de la economía de Occidente” (Lense y Schlecht, 1996, p.54).

1.1.1 Ingredientes básicos para la elaboración de la cerveza

La malta es uno de los ingredientes principales para la fabricación de la cerveza. Son granos con una germinación interrumpida, la cual se da durante el proceso de malteado, después son retirados y secados, una vez hayan alcanzado los parámetros requeridos según los estándares de cada malta. Cualquier semilla que contenga almidón y se pueda germinar se puede someter al proceso de malteo para elaborar cerveza.

El almidón presente en la cebada se encuentra entre un 50 % - 70 %. Durante la maceración se produce la amilasa la que a su vez se descompone en almidón.

El agua es un elemento principal, ya que compone el 80 % y 90 % de la cerveza. Sus propiedades varían de acuerdo del subsuelo donde se extraiga, lo cual produce un sabor característico en cada cerveza. El agua se usa en la elaboración del mosto y la dilución de la cerveza al final de la filtración.

Lúpulo: es una planta que da el sabor amargo característico de la cerveza y ayuda a la estabilización de la espuma. La mayoría de los lúpulos de Estados Unidos e Inglaterra tienen aromas y sabores florales. La flor hembra sin fecundar es la que se usa de la planta del lúpulo. También posee propiedades

tranquilizantes y medicinales. El lúpulo ayuda a frenar los procesos enzimáticos posteriores al filtrado.

Levadura: es un organismo unicelular que tiene un tamaño entre 1 a 10 micras. Transforma los azúcares provenientes del mosto en alcohol y dióxido de carbono (CO₂) durante el proceso de fermentación. De acuerdo con su temperatura, la fermentación puede ser alta si trabaja entre los 18 °C a 35 °C y se producen la mayoría de cerveza de estilo ale. Si se fermenta a temperatura entre los 7 °C y 17 °C, produce cervezas tipo lager. La fermentación alta produce sabores afrutados y las lagers sabores más dulces y maltosas, producto de la fermentación baja.

Grits o arroz: son otros tipos de cereales como el trigo, maíz, centeno, avena y arroz. Son añadidos a la cerveza para completar la producción de azúcares fermentables. Los cereales ayudan a la estabilización de la espuma y le proporcionan a la cerveza distintos sabores aumentando su cuerpo o densidad.

Azúcar: es añadida durante la cocción del mosto, durante la ebullición para aumentar la cantidad de alimento para la levadura y producir una mayor cantidad de azúcares fermentables para generar una mayor producción de alcohol.

Todas las cervezas “se elaboran mediante los procesos descritos por una fórmula simple, generalmente la elaboración de la cerveza se divide en tres fases principales” (Lense y Schlecht, 1996, p.96). En este caso se divide en las siguientes fases:

- Producción de mosto para elaborar cerveza
- Fermentación del mosto en cerveza
- Filtración de la cerveza madura

- Envasado y embotellado

1.1.2 Producción de mosto

El primer paso que se lleva a cabo es la esterilización y limpieza de los ingredientes antes de empezar el proceso de la elaboración del mosto. La malta que entra se le remueve el polvo y piedras durante el tamizado. El agua pasa por un proceso de filtrado en donde se estandariza la cantidad de calcio, sulfatos y cloruros. Los adjuntos o cereales, como se les conoce comúnmente, de igual manera se someten al proceso de limpieza.

En la molienda se pretende que haya una proporción entre la cascara, granos triturados, harina de la malta y los *grits* para que posteriormente se puedan tamizar y eliminar todos los residuos indeseables. Se busca tener una mejor extracción de almidones y obtener un buen lecho filtrante.

Los ingredientes de malta y *grits* se mezclan con agua previamente hasta tener una pasta homogénea. La proporción de malta y *grits* se basa de acuerdo con el estilo de cerveza que se desea fabricar. Esta mezcla luego se hierva para que las enzimas degraden los almidones y extraer los azúcares más fácilmente.

En paralelo se realiza la maceración en la cual la mezcla de agua y malta se calienta ligeramente entre 50 °C a 70 °C de temperatura. Esto es esencial para activar las enzimas y que empiece la degradación del almidón en cadenas largas y cortas de azúcares, las cuales son más digeribles para la levadura y muy fermentables. En cada etapa de calentamiento se busca una temperatura óptima para activar enzimas diferentes. Durante este proceso se manejan diferentes tiempos de calentamiento para obtener el mosto, un líquido rico en proteínas y

azúcares de color oscuro. El proceso puede durar varias horas dependiendo la calidad de las maltas o adjunto que se utilice.

El mosto es filtrado en recipientes de fondo falso para que quede libre de cáscaras y partículas en suspensión, que interfieran en el proceso de fermentación. Dicha filtración produce un subproducto al cual se le denomina afrecho, este es separado físicamente de la mezcla y se guarda para su posterior venta como alimento para ganado.

Anteriormente se hacía con unas cubas especiales con perforaciones en el fondo que se denominaban: cubas de filtración. “A esta fase de la filtración se le denomina primera filtración; la segunda se hace tras la fermentación. El mosto filtrado y esterilizado no debe ponerse en contacto con el aire” (Lense y Schlecht, 1996, p.107).

Después de la filtración, el mosto se introduce en una olla de cocción, se hierve con el propósito de esterilizarlo y separar proteínas de alto peso molecular. Se agrega el lúpulo ya que permite mejor su disolución en la mezcla y transferir olores y sabores característicos de la cerveza y frenar el proceso enzimático. El tiempo es definido por recetas y puede durar varias horas.

Las proteínas de alto peso molecular se separan por centrifugación natural en el Whirlpool en donde, posteriormente, el mosto de un color rojizo por un enfriador y luego es trasladado a los tanques de fermentación.

1.1.3 Fermentación

El mosto se enfría entre 7 °C a 20 °C antes de entrar a los tanques de fermentación e inyectar la levadura para que tenga efecto y las condiciones del

proceso no sean agresivas para su crecimiento. A la mezcla se le introduce aire para ayudar a la fermentación, la cual suele durar entre cinco a diez días. Este tipo de procesos son exotérmicos, por lo que los tanques de fermentación son refrigerados constantemente para estabilizar la temperatura. El enfriamiento es controlado con la fermentación que se desea lograr y el tipo de levadura que se esté utilizando.

Alta fermentación, se utiliza la levadura, el tiempo de fermentación dura entre 4 a 6 días y manejan temperaturas entre los 18 °C y 25 °C. Es tipo de cervezas son Ale.

Baja fermentación, se utiliza la levadura, tiene un periodo de fermentación durante 8 a 10 días y maneja temperaturas entre 3 y 17 °C. Las cervezas producidas con esta cepa de levadura son de tipo Lager.

Fermentación espontánea, es la que se da por la fermentación de las azúcares y la acción bacteriana. Se realiza en algunas cervezas de origen belga, la cual se da por el paso del tiempo y condiciones climáticas del lugar. No se le añade levadura. La fermentación es muy similar a la del vino y puede durar muchos años.

Durante el proceso de fermentación el CO₂ producido es recuperado, comprimido para luego usarlo en el mismo proceso o la carbonatación de la cerveza filtrada posterior a su dilución, debido a que la mezcla con agua puede quedar fuera de los estándares requeridos. En la fermentación se genera calor debido al proceso exotérmico de la levadura, por lo que el calor se recupera usando un condensador para ser usado en otros procesos. Se conoce como intercambiador de calor. Esto se debe a que algunas cervezas, según su receta,

requieren de hasta tres fermentaciones, después de la fermentación inicial y depende de la clase de cerveza que se produzca y su receta.

1.1.4 Filtración y envasado

Después de la fermentación la cerveza se filtra para retirar el exceso de levadura y se estabiliza por medio de resinas aniónicas. Se almacena en tanques para ser embotellada en los salones de envasado en botella o lata. Durante esta etapa es importante la esterilización de los envases, el control del oxígeno en la botella en el llenado y la pasteurización.

1.2 Evaluación y optimización de equipos de limpieza CIP

Mecanismo utilizado para lograr la remoción de los residuos de bebida presentes en tubería y equipos de la línea de producción.

Torres (2012), comenta que “El beneficio para las industrias que utilizan el CIP es que la limpieza es más rápida, menos mano de obra y más repetible, y presenta menos riesgo de exposición a sustancias químicas a las personas” (p.17). Se toma como referencia el tiempo que se ahorraría acortando pasos en esta sistematización, al tener un uso de una solución dual de limpieza.

El CIP se ha modernizado al incluir sistemas programables con sensores de nivel y sistemas en línea de concentración y conductividad, así como recetas ajustables dependiendo el volumen del equipo que se desea limpiar, también boquillas especialmente diseñadas para este fin.

Así mismo, Estrada (2007), menciona que:

En Guatemala, el atraso tecnológico en el que se encuentran inmersas la mayor parte de las industrias alimenticias, con respecto al resto del mundo, se hace aún más notorio en los sistemas de limpieza de líneas de producción. Actualmente, en Guatemala, el saneamiento se realiza manualmente en el 98 % de las industrias alimenticias, y solamente el 2 % cuenta con sistemas de limpieza automatizados. La diferencia básica entre ambos sistemas es el tipo de tecnología que se utiliza en cada uno de ellos, en el lavado manual, la energía mecánica del sistema es proporcionada por el personal de saneamiento, el cual debe controlar que el ciclo de lavado cumpla con todos los estándares requeridos: en el caso de la limpieza automatizada, todas las variables del proceso de lavado son controladas automáticamente. (p.7)

1.2.1 Tipos de limpieza

Limpieza en seco: se realiza sin ningún tipo de líquido. Los residuos se remueven mediante la acción manual, aspiración o con la ayuda de otros instrumentos. Es importante que los equipos y superficies no deben ser humectados, ya que se puede generar contaminación cruzada.

Limpieza en húmedo: es en la que se utiliza algún tipo de líquido para remover la suciedad, ya sea una solución de limpieza o algún compuesto que contenga agua y detergente.

1.2.2 Métodos de limpieza

Se tienen procesos de limpieza manuales y automáticos ambos con distintas ventajas y desventajas. Tienen parámetros en común como lo que es el tiempo de contacto de la solución, acción mecánica y concentración de la sustancia de limpieza. Entre los sistemas automáticos están los sistemas de limpieza internos CIP, siendo el más utilizado en la industria cervecera.

1.2.3 Proceso de limpieza manual

Proceso que necesita de personas para realizar una acción mecánica y física con la ayuda de cepillos, escobas, esponjas para remover la suciedad de tuberías, paredes, pisos, entre otros. También se puede aplicar algún agente de limpieza que facilite remover incrustaciones, suciedad y biofilms.

De igual manera, si se puede aplicar el agente de limpieza a una mayor temperatura facilita que la solución remueva mucha más suciedad y con mayor efectividad. Las incrustaciones se dividen y se disuelven para luego ser evacuadas con enjuagues constantes y abundantes de agua. Esto ayuda a no dejar residuos de los agentes de limpieza o algún tipo de suciedad.

1.2.4 Sistema de limpieza en el sitio CIP

Diversas sustancias químicas pueden emplearse como soluciones de limpieza para ser usadas en los denominados circuitos CIP. No obstante, “la efectividad de las soluciones en fase acuosa se ve influida por condiciones como: temperatura, tiempo, agitación y presencia de iones contribuyentes a dureza del agua” (Garland, Nibler, y Shoemaker, 2008, p.208).

Las soluciones normalmente son recuperadas y se les realiza un refuerzo para ser empleadas después en otros ciclos de limpieza, lo cual resulta ser una práctica muy común y económica. El circuito de limpieza debe ser efectivo y de poco volumen, así como en equipos de acero inoxidable.

García (2012), menciona que:

Los detergentes y desinfectantes deben ser compatibles con el equipo, y limpiados ocasionalmente; además es conveniente la rotación del agente desinfectante, debido a la tendencia de los microorganismos a desarrollar resistencia a la acción de un mismo desinfectante. La temperatura de las soluciones de limpieza y el tiempo de acción tienen especial importancia, así como la concentración de las sustancias empleadas. (p.10)

1.2.5 Agentes de limpieza

También llamados soluciones de limpieza, son sustancias químicas que se emplean para remover suciedad, residuos sólidos y microorganismos. Entre los más usados tenemos los jabones, detergentes y el agua. El agua se usa para enjuagar, desinfectar o diluir los agentes de limpieza. El detergente es la sustancia química que facilita la dispersión, desprendimiento y disolución de residuos sólidos, líquidos, incrustaciones y suciedad.

En varios casos es obligatorio el uso de disolventes para desintegrar incrustaciones de grasas y pinturas, por lo que estas sustancias químicas se consideran también agentes de limpieza. La mayoría de los detergentes no contienen cloro y no ayudan con la desinfección de bacterias y otros detergentes alcalinos ayudan con la limpieza de proteínas, mas no desinfectan.

1.2.6 Detergentes

Son sustancias que remueven materia orgánica, impurezas o suciedad, por sus propiedades químicas, sin afectar los equipos, tuberías o accesorios relacionados a la producción. Son agentes que limpian químicamente, reaccionando con los diferentes tipos de compuestos orgánicos e inorgánicos.

Propiedades de los detergentes:

- Inodoro
- Económico
- Soluble en agua
- Manejo sencillo
- No reacciona al estar almacenado
- No es corrosivo

1.2.7 Mecanismos de acción de los detergentes de limpieza

De acuerdo con las propiedades fisicoquímicas de los detergentes así serán los mecanismos de acción que estos posean, como la capacidad romper la tensión superficial mediante la humectación, de tal forma que esta se ve afectada permitiendo que el detergente pueda penetrar las capas de suciedad y eliminarla con mayor facilidad. Se los conoce como agentes tensoactivos. Deben poseer la capacidad de disolver grasas y aceites separándolas del líquido y formando una suspensión sólida, saponificando las grasas en jabones que luego son solubles en agua, para ser después removidas con mayor facilidad.

El agua dura o cruda, es la que tiene un alto contenido de sales de magnesio y calcio, lo cual ayuda a secuestrar los sólidos en suspensión haciendo

más efectivo su poder secuestrante y evacuación. Por último, hace que sea más fácil su enjuague, sin disminuir la capacidad efectiva de limpieza de los detergentes.

1.2.8 Clasificación de los detergentes

Según sus propiedades químicas los detergentes guardan la siguiente clasificación.

1.2.8.1 Alcalinos

Comúnmente usados para remover la suciedad o materia orgánica como proteínas, grasas, carbohidratos y aceites. Reaccionan químicamente por saponificación y emulsificación. Pueden ser cáusticos o no cáusticos. Los más conocidos son,

Moerman (2014), indica que:

Hidróxido de sodio o soda cáustica (NaOH), es altamente alcalino, muy soluble en agua, bactericida, económico, usado para retirar suciedades fuertes, puede ser utilizado en equipos de acero inoxidable, debe tenerse cuidado al manipularlo porque produce quemaduras en la piel. Carbonato de sodio Na_2CO_3 , también conocido como ceniza de soda, usado para disolver incrustaciones orgánicas y mugre en general, económico, medianamente alcalino. (p.381)

1.2.8.2 Ácidos

Se usa para remover residuos de partículas e incrustaciones de minerales de magnesio, calcio y hierro. Puede ser muy corrosivo, se recomienda combinarse con un inhibidor de corrosión de preferencia de origen orgánico. Se adaptan muy bien a la limpieza manual si son ácidos suaves. Tiene una gran efectividad bactericida, se puede mencionar el ácido cítrico, láctico y acético. La mayoría son de origen orgánico y remueven incrustaciones como el ácido sulfúrico, nítrico y clorhídrico.

1.2.8.3 Surfactantes

Los tensoactivos son los agentes que hacen que el agua disminuya su tensión superficial. Se encuentran los surfactantes por sus propiedades químicas. Los surfactantes poseen una estructura polar y no polar, pueden ser hidrofílicos e hidrofóbicos, esto hace que un extremo sea atraído por las grasas y aceites y el otro por el agua. Algunas de sus otras propiedades es que son solubles en agua fría, no son corrosivos, forman abundante espuma, son de fácil enjuague y se les adiciona antiespumantes para evitar los rebalses.

1.2.8.4 Secuestrante

Son usados para secuestrar las sales de magnesio y calcio, y evitar su precipitación como sales en aguas duras. Evitan la formación de espuma. Otros compuestos orgánicos secuestrantes se conocen comúnmente como quelantes como el ácido etilendiamintetracético (EDTA), el ácido nitrilo triacético (NTA). Los detergentes líquidos son muy eficaces por su solubilidad, pero son más costosos en comparación con otros.

Los fosfatos complejos son compuestos inorgánicos los cuales al combinarse con agua son más efectivos; se les conoce como pirofosfatos. Se aplica un tipo diferente de secuestrante dependiendo el tipo de detergente, la superficie a limpiar, la suciedad que se va a eliminar y materia orgánica. Un agente de limpieza eficaz debe de contener un detergente, un ácido y un desinfectante.

1.2.9 Desinfección

Se puede definir como la eliminación total o parcial de microorganismos mediante la aplicación de químicos y fuerzas físicas sobre las superficies que los contengan, para prevenir la contaminación cruzada con el alimento.

La desinfección de equipos, pisos y accesorios debe ser una de las principales tareas a seguir, con el fin de eliminar la mayor cantidad de microorganismos que puedan alterar o dañar el proceso. Se deben tener en cuenta los aspectos microbiológicos como parámetro de una desinfección eficiente.

1.2.9.1 Propiedades de los desinfectantes

Las características, para un buen desinfectante, deben ser físicas y químicas, que eliminen la mayor cantidad de microorganismos posible y sea factible económicamente. Si se desea tener una buena desinfección de equipos, accesorios, superficies, utensilios y cumplir con los estándares de calidad, los desinfectantes tienen que cumplir con ciertas características como:

- No tóxicos
- Espectro contra microorganismos

- Económicos
- Fácil de manejar
- No sea corrosivo
- Solubles en agua
- Mantener acción bactericida con el tiempo
- Larga vida útil

Independientemente del desinfectante que se utilice, la superficie que se desea desinfectar debe de estar completamente limpia, libre de incrustaciones, materia orgánica. Se debe de realizar inmediatamente después del último enjuague de las soluciones de limpieza para evitar el riesgo de contaminación cruzada.

1.2.10 Mecanismos de acción de los agentes desinfectantes

Los agentes desinfectantes tienen reacciones químicas como la coagulación proteínica, el rompimiento de la membrana y pared celular, oxidación, reducción, con lo que logran eliminar a los microorganismos. También degradan las células de las bacterias desde su interior comprometiendo su estructura física.

1.2.10.1 Desintegración de la estructura de la célula

Las células se ven afectadas cuando se daña la estructura ordenada de las proteínas y lípidos que las componen. Afectan la integridad de la estructura de la membrana. Comúnmente funcionan creando agujeros en la membrana plasmática haciendo que esta se rompa. Al destruir los iones, de los cuales obtiene la energía la célula, se produce una descompensación en la célula, lo

cual hace que pierda solutos, disolviendo las grasas en la bacteria gracias a la penetración de las moléculas no polares al interior de esta.

1.2.10.2 Interferencia energética celular

Algunos desinfectantes pueden llegar a desestabilizar la fosforilación oxidativa, la cual actúa directamente en la producción del trifosfato de adenosina conocido comúnmente por sus siglas ATP. Los inhibidores de ATP actúan de forma diferente a como lo hacen los que contienen los desinfectantes; un ejemplo de los que se usan comúnmente son el 2,4, dinitrofenol, la tetraclorosalicilanilida, los cuales son solubles en grasas o lípidos.

Estas interrumpen la oxidación de la fosforilación haciendo que el suministro energético sea cortado causando que el flujo de electrones de la célula sea bloqueado, provocando que el metabolismo de la célula colapse.

1.2.10.3 Síntesis de proteínas e interferencia con el crecimiento celular

Inhiben la síntesis de proteínas de la célula impidiendo que se formen los ribosomas bacterianos. No los destruye completamente, inhibiendo la síntesis, sino impiden que se reproduzca lo cual hace que esta envejezca rápidamente y muera. Hay dos tipos de acción, una es la unión de una unidad pequeña del ribosoma y la otra acción es la unión de una subunidad grande del ribosoma. Se detiene el crecimiento microbiano gracias a las acciones anteriormente mencionadas.

1.2.11 Factores que intervienen en la desinfección química

Durante la desinfección intervienen varios factores químicos y físicos los cuales se evalúan a continuación.

1.2.11.1 Naturaleza química de la sustancia

Los compuestos químicos que contienen algunos detergentes disminuyen la eficiencia de los desinfectantes, lo que ocasiona un mayor gasto en volumen.

1.2.11.2 Presencia de materia orgánica

Depende del tipo de producto que se maneje dentro del equipo o tubería así es el residuo que dejan incrustado, lo cual puede inactivar la efectividad de los compuestos clorados en los desinfectantes.

1.2.11.3 Temperatura

Al aumentar la temperatura del desinfectante la efectividad de la solución en eliminar bacterias y microorganismos disminuye, en compuestos que contienen cloro al calentarse más de 50 °C pierden su capacidad antimicrobiana.

1.2.11.4 Tiempo de contacto

Es crucial para eliminar completamente a los microorganismos, especialmente en su etapa de desarrollo, dado que se interrumpe su actividad física y reproductiva. Un desinfectante debe tener la capacidad de eliminar bacterias en el menor tiempo de contacto posible, matando microorganismos

incluso después de ser recirculado, teniendo una acción biocida que perdure por un tiempo prudente hasta que se use el equipo nuevamente.

1.2.11.5 Concentración del desinfectante

Al preparar las soluciones que contengan desinfectante lo suficientemente concentrada o elevada, su acción biocida aumenta, pero puede llegar a un punto en el que la concentración del desinfectante ya no afecta al microorganismo, lo que hace que su acción biocida no sea efectiva.

1.2.11.6 Concentración de iones de hidrógeno (pH)

Los agentes clorados en un medio ácido con un pH entre 2 y 4 tienen una mejor efectividad. Los compuestos de amonio cuaternario se desempeñan mejor al estar en una solución a pH alto de 8 a 10.

1.2.12 Tipos de desinfección

La desinfección se puede clasificar de acuerdo con su naturaleza en física, química, pH y espectro de trabajo.

1.2.12.1 Desinfección en forma física

Es fundamental que se apliquen procedimientos a temperatura extremas de calor o radiación. Se pueden aplicar procedimientos físicos, como el calor seco, rayos ultravioletas y, en especial, la esterilización con vapor.

El agua, aire y vapor transmiten fácilmente; El calor es usado en la desinfección de equipos y productos. Los parámetros de temperatura y tiempo

varían de acuerdo con el tipo de equipo. En la esterilización para eliminar bacterias se aplica vapor directo, a una temperatura de 80 – 85 °C por 10 minutos o más. El agua se presuriza para lograr la temperatura de 130 °C, durante 30 minutos y calentarla de la misma manera; se calienta el aire y se emplea generalmente, en: la esterilización de equipo de laboratorio, con una autoclave y en el área de embotellado, en la desinfección de envases.

La desinfección por radiación se realiza en su mayoría, con lámparas de rayos ultravioleta; siendo su mayor uso en el tratamiento de agua. Este método no es tan efectivo, por su corta vida útil de la lámpara y su alto costo de mantenimiento.

1.2.12.2 Desinfección en forma química

Se realiza la desinfección con el uso de productos químicos, causando reacciones químicas que matan a los microorganismos y bacterias, por contacto.

Actualmente, existe una amplia variedad de desinfectantes químicos con diferentes características bactericidas. Los más usados y comunes en la industria de bebidas y alimentos.

Los desinfectantes clorados, son los compuestos más usados y útiles liberando cloro; siendo efectivos por su actividad bactericida y eficiente con los microorganismos, con estructura de spora. Cuando se le agrega al agua cloro o hipoclorito, el cloro al reaccionar, en contacto con el agua, forma ácido hipocloroso, que reacciona en solución ácida. Es un oxidante-desinfectante fuerte y efectivo.

La disociación del ácido hipocloroso depende de su potencial de hidrogeno (pH), este puede variar debido a que la materia orgánica, que queda residual en el equipo o solución, interfiere con su eficiencia y su poder de desinfección.

Los hipocloritos normalmente se encuentran, en presentaciones en polvo y líquido. Son sales de compuestos químicos clorados, muy útiles por su fácil preparación, ejemplo de ellos, son: las sales de calcio, sodio y litio. Son usados en hospitales, edificios públicos, hogares. Gran parte se aplica en industrias alimenticias y de bebidas.

Los yodóforos son un compuesto químico cuya principal función es hacer que otros compuestos sean más solubles en agua. Se combinan con compuestos tensoactivos como los surfactantes, pueden ser aniónicos, icónicos o catiónicos, esto le da la propiedad a los detergentes y ácidos de realizar una función dual de limpieza. Depende de la clase y las proporciones de surfactante se esté agregando.

Compuestos de sales de amonio: conocidos como amonios cuaternarios. Son los que se unen de uno a cuatro compuestos orgánicos, a los átomos de nitrógeno. Lo cual les da propiedades tenso activos, haciendo que estos compuestos, tengan cargas positivas y negativas. En donde, en la carga negativa es cloro. Las sales de amonio son compuestos que trabajan en un amplio rango de pH, los cuales en medios alcalinos son más eficientes.

Los ácidos son buen ejemplo es el ácido peracético. El cual es un tipo germicida. Son agentes fuertemente oxidantes, están compuestos de la combinación con peróxido de hidrógeno y ácido peroxiacético. Una de sus ventajas es que al descomponerse no deja ningún residuo. El ácido peroxiacético

se oxida en ácido acético y el peróxido de hidrógeno, simplemente se separa en agua y en oxígeno molecular.

Este tipo de desinfectantes es relativamente más efectivo, contra las biopelículas, que su efecto en los amonios cuaternarios. Otros desinfectantes y productos a base de cloro. Los agentes que contienen ácido de peróxido tienen una mejor efectividad contra los hongos, algunos virus y células bacterianas. Su efectividad puede mejorar notablemente si se incrementa la concentración y el tiempo de contacto, es una sustancia inflamable y corrosiva.

“El ácido peroxiacético causa daño en la cápside de los virus, así como a su ácido nucleico. Es corrosivo para ciertos metales. Pierde su efectividad cuando es expuesto a condiciones alcalinas (pH sobre 7.5), surfactantes catiónicos o algunos metales” (Wilson, 1997, p. 2).

1.2.13 Limpieza automática

El equipo CIP, es un sistema integrado automatizado que integra técnicas de limpieza por etapas. Cada una de las etapas es programada electrónicamente, de acuerdo con las dimensiones del equipo y al sistema de limpieza que se requiera; en la línea de producción, que se desea desinfectar.

A continuación, se tienen las fases de limpieza asociadas al sistema CIP. Estas fases no difieren de las observadas en un sistema manual, lo que las distingue es el tipo de energía mecánica de limpieza que se aplica, lo cual obviamente se traduce en diferentes tipos de insumos.

1.2.14 Insumos

- Agua, agentes ácidos, agentes alcalinos y agentes de desinfección
- Bomba Centrífuga compatible con sistemas CIP
- Intercambiador de calor
- Equipo CIP
- Tuberías de acero inoxidable
- Medidores de flujo
- Válvulas de doble asiento (válvulas *mix proof*)

1.2.15 Actividades

A continuación, se describen las actividades propias de la limpieza de líneas de producción que permanecen casi invariables, al comparar un sistema manual con un automático de CIP. La diferencia radica, principalmente, en los insumos y la fuente de energía mecánica que se utiliza para llevar a cabo dicha limpieza. Las etapas para un sistema de limpieza CIP convencional son:

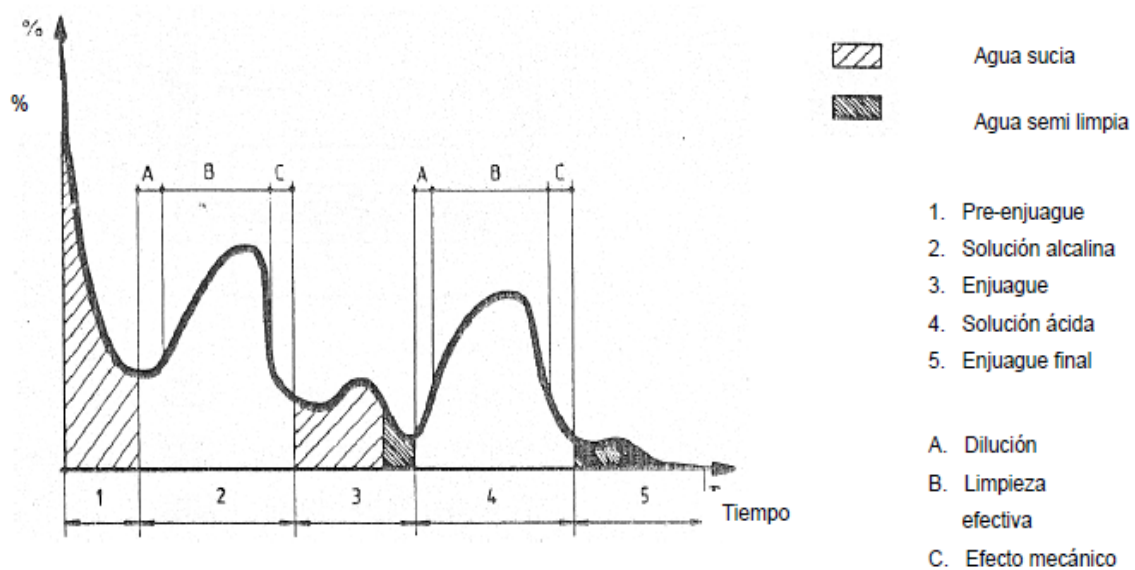
- Preenjuague
- Circulación de solución alcalina
- Enjuague
- Circulación de solución ácida
- Enjuague
- Circulación de desinfectante
- Enjuague final

Según la medición del porcentaje de la carga orgánica, en un tiempo determinado, que se encuentra en la línea de producción; se determina la etapa

del proceso de limpieza, se debe de iniciar el CIP. La medida de la carga orgánica en la línea de producción se mide a través del muestreo visual, y químico de la solución de limpieza, que se esté utilizando durante el ciclo de limpieza.

En la figura 1, se presenta un diagrama del comportamiento la carga orgánica en el tiempo. Para un sistema de limpieza CIP de tres tanques de almacenaje en una línea de producción, de néctares de frutas.

Figura 1. Carga orgánica del sistema CIP procedente de la línea de producción durante las diferentes etapas del ciclo de limpieza



Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

La limpieza de una línea de producción está diseñada, utilizando los agentes de limpieza adecuados; para usar un sistema CIP, aproximadamente de 60 minutos. Generando un ahorro de tiempo efectivo de trabajo en un 70 %, comparado con la limpieza manual.

1.2.16 Variables del proceso de saneamiento de líneas de producción

Las variables para lograr una mayor efectividad en la limpieza son tanto químicas como físicas, y estas pueden cambiar de acuerdo con el tipo de producto; que se haya encontrado antes, en la tubería o equipo. Por lo que se deben de tomar en consideración, las siguientes variables:

1.2.17 Tiempo

En un sistema de limpieza CIP manual, la cantidad de energía mecánica generada, por la mano de obra; no puede contabilizarse. Lo cual impide la determinación del tiempo de limpieza, necesario para alcanzar resultados eficientes.

Se requiere de destreza para desarmar rápidamente las tuberías, limpiarlas y volverlas a armar, esto sin tomar en cuenta lo difícil y peligroso que resulta el lavar un tanque de preparación desde el interior de este y cumplir con todas las normas de seguridad industrial.

Cuando se usa un sistema CIP es posible definir con precisión el tiempo que se necesita para limpiar la línea de producción, ya que este se determina con base al flujo de la bomba de agua fresca de enjuague, la temperatura, presión y el coeficiente de fricción que el fluido ejerza sobre las superficies que entran en contacto con la solución.

A continuación, se presentan las fases de limpieza utilizando periodos de tiempo estandarizados para llevar a cabo las actividades de limpieza CIP. Se analiza un sistema de limpieza que dura aproximadamente de 60 minutos.

1.2.17.1 Fase 1

Corresponde a la propagación de agua dentro del equipo hacia la capa de residuos, produciendo un aumento de volumen en las partículas sólidas por la absorción de agua y desprendiendo las incrustaciones que se hayan podido generar.

Tabla II. **Descripción de la fase 1 de limpieza de un sistema CIP**

t = 0	Se tiene una capa de residuos relativamente homogénea, de un ancho aproximado de 1mm.
t = 30s	Incremento en el ancho de la capa de residuos hasta aproximadamente 1.2mm.
t = 60s	Separación de la parte superficial de la capa de residuos, dejando adherida una capa de aproximadamente 0.3mm.
t = 3min	Incremento en el volumen de la capa de residuos hasta 0.5 o 0.8mm.

Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

1.2.17.2 Fase 2

Las incrustaciones de residuos, ya saturada de agua, se empiezan a desprender de las paredes del equipo o tubería formando pequeños grupos de floculaciones, lo cual requiere entre 5 y 15 minutos; depende del buen diseño las bombas y accesorios que se tengan instalados.

1.2.17.3 Fase 3

En esta fase, se bombea el agua produciendo una fuerza mecánica del fluido eliminando todos los flóculos y una capa de incrustación adherida a la superficie de los equipos, compuesta principalmente por sales minerales y

fosfatos de calcio y magnesio. Esta fase requiere un tiempo entre 10 a 15 minutos.

1.2.18 Temperatura

Durante la ejecución de una limpieza de tipo manual es imposible que el resto de las variables del sistema (fuerza mecánica y fuerza química) se mantengan dentro de los rangos requeridos por el proceso, por lo tanto, para asegurarse que el proceso de limpieza sea efectivo, los estándares de temperatura se encuentran aproximadamente un 35 % por arriba de los parámetros de temperatura que manejan los sistemas automáticos. Seguido se mostrará una tabla de los parámetros de temperaturas sugeridos de un sistema de limpieza CIP para su operación.

Tabla III. **Temperaturas del agua y soluciones alcalina y ácida para un sistema CIP**

Agua de enjuague	Temperatura ambiente, de 15 a 30°C.
Solución ácida	Temperatura de 60 a 70°C.
Solución alcalina	Temperatura de 70 a 80°C.

Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

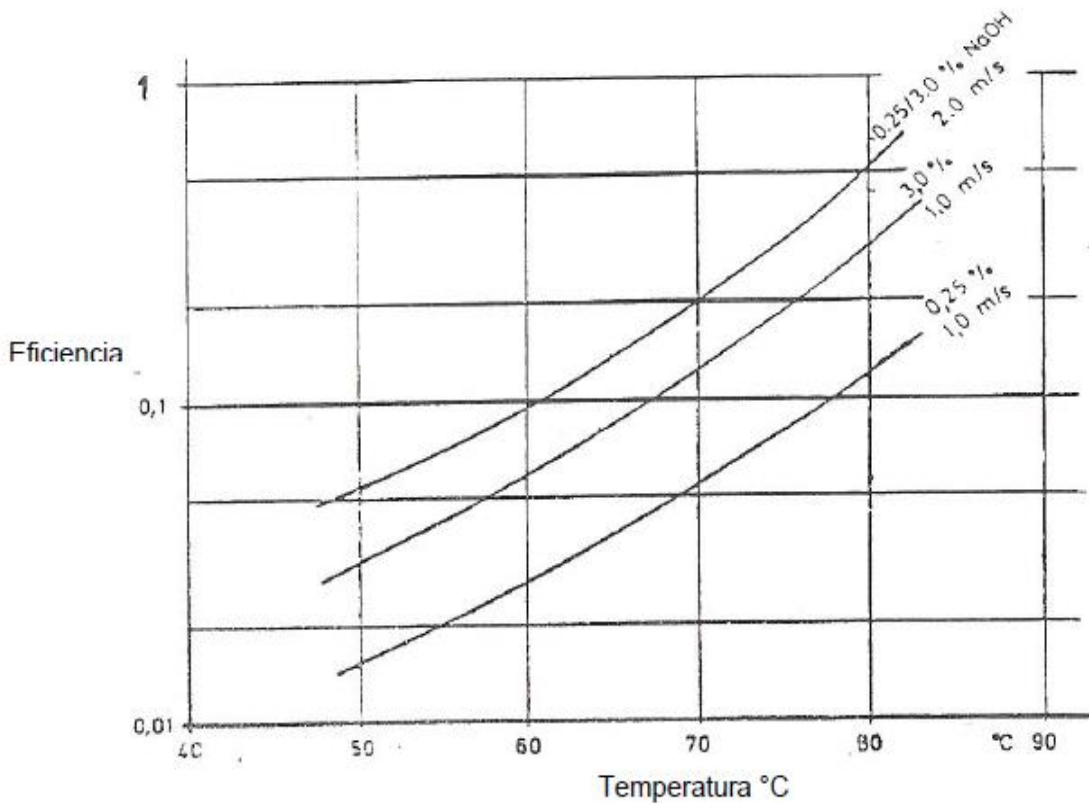
Siempre que se utiliza regularmente un sistema de limpieza CIP es necesario definir las temperaturas de trabajo, tomando en cuenta el estudio publicado por Reuter, Prof. Dr. H. (2013), donde demuestra que “a velocidad y concentración constante de la solución de limpieza puede ahorrarse gran cantidad de tiempo si se elige la temperatura de trabajo correcta” (p.118).

En esta situación el estudio determinó que se obtienen los mismos resultados en limpieza de una superficie de metal, como lo es acero inoxidable

en 120 segundos a 85 °C, que en 360 segundos a una temperatura de 70 °C o que en 840 segundos a una temperatura de 55 °C, por lo que se puede concluir que “Un incremento de 5 °C de la solución de limpieza, a una concentración y velocidad constante, genera aproximadamente el doble de eficiencia en el ciclo de limpieza” (Reuter, Prof. Dr. H., 2013, p.125).

En la Figura 2, se observa la relación solución de limpieza y una solución de limpieza con la temperatura correspondiente, así como el desempeño de limpieza en la superficie a diferentes concentraciones, en esta gráfica se determina la temperatura y la concentración óptima para lograr eficiencia operacional técnica y económica.

Figura 2. **Efecto de la temperatura de la solución de limpieza básica con respecto a la eficiencia del ciclo**



Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

1.2.19 Concentración

Es indispensable conocer el tipo de residuo sólido que desea eliminarse para que el sistema de limpieza CIP sea diseñado con precisión y así determinar la concentración y tipo las soluciones de limpieza que se utilizarían.

- Residuos solubles en ácidos carbonato de calcio, depósitos minerales (aguas duras) y algunas proteínas (uso de ácidos fuertes).
- Residuos solubles en bases grasas vegetales, grasa de leche, grasas animales y proteínas.

- Residuos insolubles en soluciones ácidas y básicas fibras orgánicas (plástico, madera, entre otras), carbón, ceras.
- Residuos solubles en solventes orgánicos aceites, ceras y algunas fibras orgánicas.

Debe tomarse en cuenta que el conocimiento de los tipos de residuos que se van a eliminar, al igual que el conocimiento de la composición de los films que se acumulan en las superficies a desinfectar. Para garantizar que se utilizará el agente de limpieza adecuado y la elección de la concentración de este, se ajusta a los estándares de calidad de la línea de producción a desinfectar. Es necesario determinar aspectos como la solubilidad de las sustancias a eliminar en el agua o soluciones de limpieza y la naturaleza de los componentes de dichas soluciones (agua, agentes ácidos y agentes básicos).

1.2.20 Solubilidad

A continuación, se muestra una estadística en la cual se indica los residuos sólidos más habituales que se eliminan y su solubilidad, los cuales son los más repetitivos en la industria de bebidas y alimentos. Estos pueden estar presentes en agua y en soluciones alcalinas y ácidas.

Tabla IV. **Solubilidad de constituyentes comunes en la industria alimenticia**

CONSTITUYENTE	SOLUBILIDAD EN		
	AGUA	SOLUCIÓN ALCALINA	SOLUCIÓN ÁCIDA
Grasa	Mala	Buena	Media
Proteínas	Mala	Buena	Media
Sales minerales	Media	Media	Buena
Lactosa	Buena	Mala	Mala

Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

1.3 Principios básicos de la remoción de residuos

Es necesario tener mayor consideración durante la elección de los compuestos que conformaran la solución de limpieza o agentes de limpieza.

- Contacto entre el detergente y los residuos sólidos durante el primer ciclo de lavado.
- Desplazamiento del residuo por saponificación de grasas, reacciones pépticas de las proteínas o disolución de sales minerales.
- Dispersión de residuos por des floculación o emulsión.
- Prevención de remanentes de residuos de limpieza o sólidos mediante el diseño correcto de los ciclos de enjuague.

Al tomar en consideración estas cuatro disposiciones anteriores es claro que como resultado se tendrá un sistema CIP que funcione efectivamente, basado en la elección coherente de las soluciones de limpieza, la turbulencia generada en el sistema, el tiempo de recirculación y la temperatura de CIP.

Las fases de limpieza del sistema CIP deben de estar estructurados para proveer al sistema la energía necesaria, tanto mecánica térmica como química, para transformar los residuos incrustados en las paredes y accesorios de los equipos en sólidos suspendidos o disueltos eliminando consecuentemente la mayor cantidad de microorganismos.

El sistema de limpieza CIP con base a las necesidades de trabajo se le puede adicionar un paso más al final del ciclo de limpieza, ya que en caso de que se tenga presencia de microorganismos termorresistentes se debe de llevarse a cabo una esterilización.

Los sistemas automáticos presentan varias ventajas significativas como el ahorro de volúmenes de agua y agentes de limpieza, reducción del tiempo del ciclo de lavado de líneas de producción hasta en un 25 %, y reducción de personal. Al tener este tipo de sistemas bien diseñados genera una mayor disponibilidad en los tanques de almacenamiento y mayor eficiencia que una limpieza manual.

Debido a la desactualización en la tecnología y que no se tienen conocimiento de soluciones que cumplan funciones de ácido y desinfección, se pierde mucho en el descarte de soluciones basándose en criterios visuales y no microbiológicos.

Por otra parte, “aunque por razones de índole económica, se han venido haciendo intentos para reducir los consumos, inicialmente mediante procesos de sedimentación, flotación y centrifugación” (Jung, 1996, pág. 32). Estos estudios han revelado ser ineficaces, por lo que ayuda a enfocar la investigación en reducir los consumos de reactivos y optimizar tiempos en el proceso para lograr un ahorro significativo.

Para la recuperación de agentes de limpieza de las instalaciones de CIP se han realizado varias investigaciones con membranas permeables. No obstante, “estos estudios están centrados en la recuperación de álcalis y de ácidos y no se aplican a la recuperación de detergentes de fase única. En concreto, se ha utilizado la microfiltración, la ultrafiltración y también la nanofiltración” (Henck, 2013, p.217).

Cuando se tiene un constante uso de los agentes de limpieza alcalinos no resulta factible la filtración de estos. Sin embargo, “existe una clara ventaja de utilizar la nanofiltración frente a otras técnicas de separación citas anteriormente que es el mayor grado de regeneración conseguido de las disoluciones de limpieza” (Dresch, 1998, p. 202). Ambos métodos requieren de instalaciones y equipos adicionales según el aporte de estos dos autores, por lo que, para términos de esta investigación, el enfoque será en la efectividad de la limpieza de las soluciones a utilizar o innovar en soluciones nuevas que tenga un doble efecto detergente – ácido o ácido – desinfectante.

1.3.1 Componentes

La mayoría de los sistemas de limpieza CIP utilizan los mismos componentes o agentes de limpieza, estos pueden variar de acuerdo con las características del proceso.

1.3.1.1 Agua

El agua, como componente principal en la preparación de soluciones o agentes de limpieza debe de contener como rango de 0.2 a 0.5 mg de cloro por

litro. El agua desestabiliza la estructura molecular de las incrustaciones orgánicas e inorgánicas. Estas pueden servir de diversas maneras:

- Generador de fuerzas hidrodinámicas
- Solvente
- Medio de transporte hidráulico para los depósitos removidos
- Medio de transporte para la energía térmica

1.3.1.2 Agentes alcalinos

Se utilizan tres compuestos químicos:

- Soda cáustica (NaOH)
- Carbonato de sodio (Na_2CO_3)
- Fosfato de sodio (Na_2PO_4)

La concentración de este tipo de soluciones normalmente se encuentra entre 1.5 y 5 %. Se maneja en temperaturas de 50 a 80 °C.

1.3.1.3 Agentes ácidos

Los ácidos se utilizan para disolver sales y algunas proteínas. Los ácidos de uso común son:

- Ácido nítrico (HNO_3)
- Ácido fosfórico (H_3PO_4)

La concentración de las soluciones ácidas debe de encontrarse entre el 1 al 2 % y la temperatura entre 60 y 70 °C.

1.3.2 Turbulencia

La turbulencia únicamente aplica a los equipos de limpieza automatizado debido a que en los equipos manuales la fuerza mecánica para la limpieza es producto de la fricción que genera la persona al usar herramientas de limpieza contra las paredes del equipo, como por el uso de esponjas o cepillos con cerdas que entran en contacto con los equipos, accesorios, tuberías y paredes.

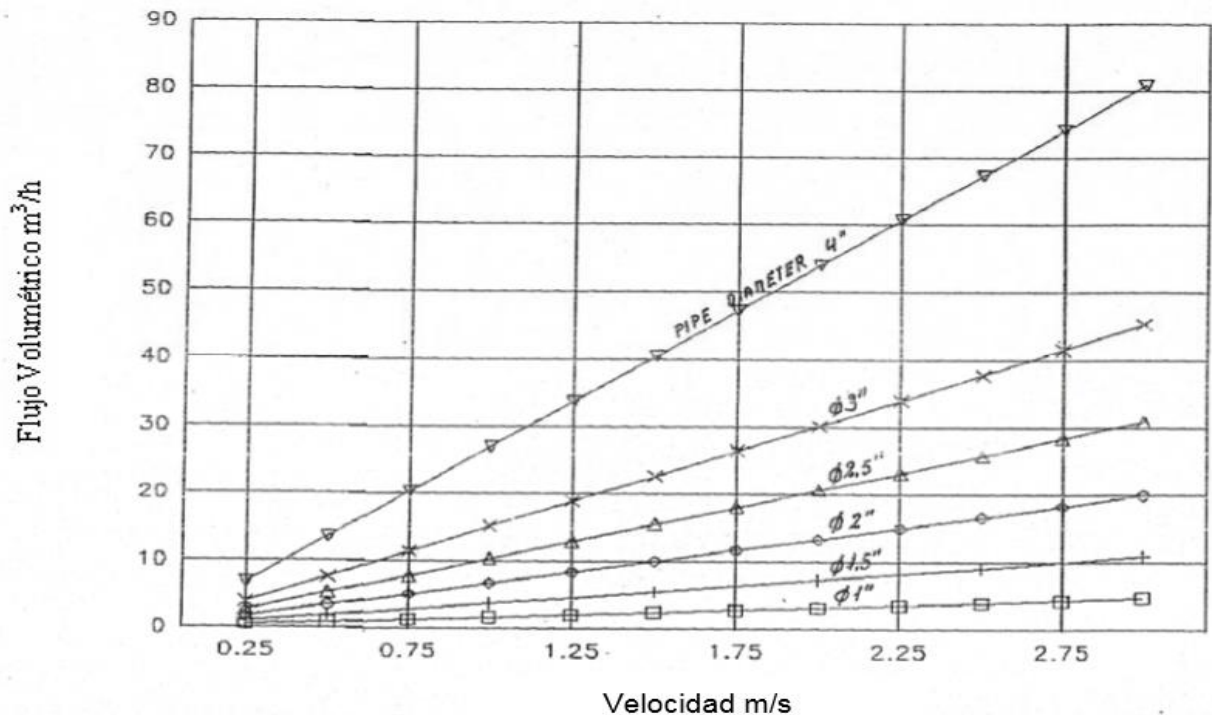
En los sistemas automatizados la bomba centrífuga impulsa el fluido generando turbulencia, lo cual crea la energía mecánica necesaria para limpiar los equipos y tuberías. Dicha energía se disipa por fricción y turbulencia dentro del sistema por el movimiento natural del fluido. Para que limpieza CIP sea efectiva la fricción superficial óptima debe estar dentro del rango de 7 a 10 N/m², de cualquier modo, la energía mecánica no es suficiente si se tienen flujos muy bajos.

La velocidad óptima del fluido se encuentra entre 1.8 a 5 m/s, en cualquier caso, la velocidad de limpieza no debe ser menor de 1.8 m/s, lo cual es independiente del diámetro de la tubería. Los costos de la energía por bombeo de los fluidos representan aproximadamente del 5 al 15 % del total del costo del ciclo de limpieza, los cuales se ven reflejados en el consumo de energía eléctrica.

Al aumentar la velocidad por encima de 5m/s no genera una mejora significativa en la limpieza de la línea de producción, ya que una vez se alcance el valor de fricción superficial óptimo. La fricción extra que se produzca no representa más que un gasto innecesario de energía, pero, en otras circunstancias, si se trabaja con una velocidad del fluido menor a 1.4 m/s los resultados obtenidos en la limpieza son deficientes, ya que para que se de

turbulencia y acción mecánica en puntos muertos en una línea de producción. Es necesario alcanzar al menos 1.4m/s.

Figura 3. **Relación entre flujo volumétrico y velocidad para diferentes diámetros de tubería**



Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

1.3.3 Equipos sanitarios de la tecnología CIP

Constituye que componentes, forma y tipo de material convendría usar para poder tener un sistema de limpieza CIP.

1.3.3.1 Conceptos sanitarios para el procesamiento de líneas

El método de limpieza que se seleccione ya sea manual o por medio de un CIP, siempre debe de incluirse en el concepto del proyecto de montaje de líneas de producción, inclusive dentro de las etapas iniciales del mismo.

Para un CIP los diagramas de flujo de proceso deben incluir los diferentes circuitos de limpieza. La composición de dicho circuito debe de ir asociada con los procesos de manufactura, equipo disponible para la limpieza y los diferentes parámetros que limitan el buen funcionamiento del CIP. El flujo de la solución de limpieza, temperatura, concentración y duración de la limpieza.

1.3.3.2 Detalles para la construcción del equipo

A continuación, se consideran unas directrices que deben tomarse en cuenta durante el diseño del sistema CIP.

- La calidad de las soldaduras debe coincidir con la calidad del material.
- Elementos con ángulos de 135° o menos. Deben tener esquinas redondeadas con radios de por lo menos 6mm.
- Todas las superficies internas del equipo deben entrar en contacto con el líquido de limpieza y ser accesibles para su inspección.
- Las tuberías de producto deben de ser diseñadas para ser de fácil drenaje.
- Las tuberías deben ser lo más cortas posible.
- Todos los accesorios deben ser diseñados para ser limpiados por el CIP.

1.3.3.3 Tubería sanitaria

Actualmente, se utiliza acero inoxidable, tanto para tuberías como para tanques, normalmente 304 o 304 L (bajo en carbón) dando buenos resultados. En casos particulares donde se presentan riesgos elevados de corrosión, se utiliza tubería 316 o 316 L.

El sistema de tuberías diseñado para el CIP debe asegurar una buena distribución de las soluciones de limpieza, en las que el producto entre en contacto con la superficie del equipo, durante los circuitos de producción. Para cumplir con estas condiciones, cambios abruptos de diámetro y puntos muertos deben de ser minimizados. La construcción de tubería debe de cumplir con todos los estándares de higiene acordados por la industria de alimentos.

Las tuberías de cualquier sistema o equipo deben tener, al menos, un declive de 1 % para hacer más sencillo su drenado. Para tuberías largas, debe tenerse un declive en dos direcciones con el fin de evitar largas diferencias de nivel en las tuberías.

1.3.3.4 Accesorios sanitarios

La seguridad y efectividad en equipos, líneas y accesorios se determina en función de la capacidad efectiva de limpieza sin dejar puntos muertos. Evitar la contaminación cruzada del producto con los agentes químicos de limpieza.

1.3.3.5 Placas de acople

Para establecer una barrera física entre los líquidos del producto y los agentes químicos de limpieza. Una placa de acople con abertura a la atmósfera prevé la contaminación cruzada con el ambiente.

1.3.3.6 Válvulas

Las válvulas son los puntos críticos en los sistemas de tubería. Estos elementos deben satisfacer estrictas normas de seguridad e higiene (BPM). La elección sobre el tipo de válvula por utilizar es un factor decisivo tanto en los costos como en la rentabilidad y mantenimiento. De igual forma, debe contemplarse la posibilidad de una futura automatización si la instalación es manual.

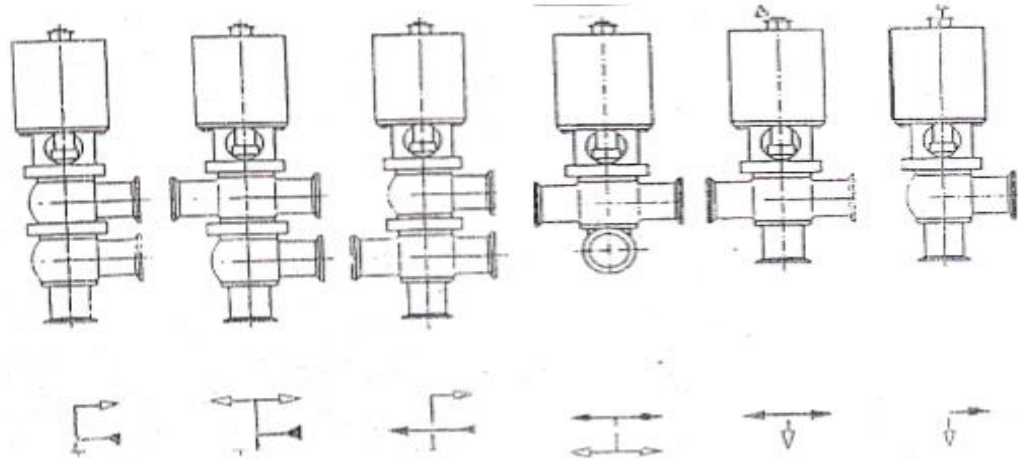
1.3.3.7 Válvulas de mariposa

Estas válvulas satisfacen la mayoría de los requerimientos dado que es de fácil limpieza, no es cara y el mantenimiento es relativamente simple. Se tiene la facilidad de instalar un actuador automático si se requiere.

1.3.3.8 Válvulas de globo

Esta válvula es más compleja y costosa. Es buena para la construcción de manifolds de válvulas para líneas automáticas, dado que la utilización de estas válvulas permite la creación de circuitos compactos de tubería. A continuación, se presentan los esquemas de válvulas de globo y las direcciones de flujo que estas permiten.

Figura 4. **Direcciones de flujo posibles en una válvula de globo**

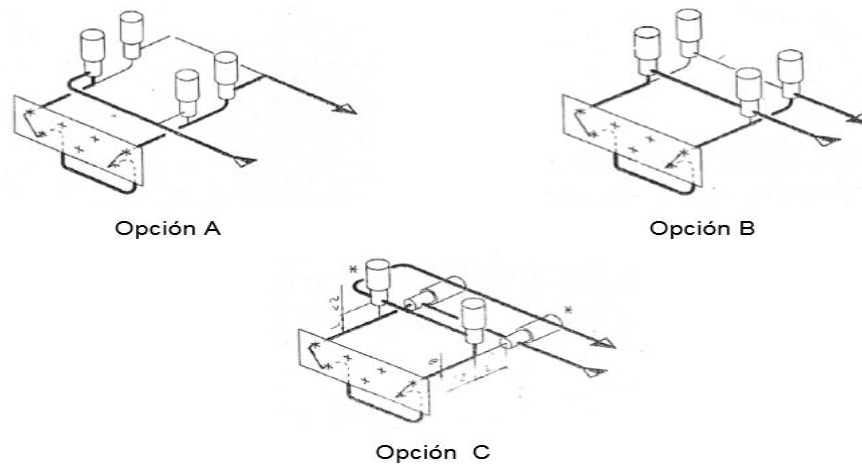


Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

Por otra parte “La ventaja de una válvula de globo es el fácil acceso al asiento y al pistón mediante la remoción de la parte superior de la válvula. Para la limpieza, el flujo del líquido sanitizante debe de pasar a través de la válvula. Es importante tomar en cuenta que la cámara de la válvula no puede ser limpiada si no se tiene turbulencia en el flujo de limpieza” (Estrada, 2007, p.24).

A continuación, se presentan diferentes diagramas donde se muestran el tipo de dificultades que normalmente se crean por la mala elección del circuito de limpieza. La opción A como la B, presentan puntos muertos (líneas delgadas), mientras que en la opción C no se presentan dichos puntos muertos.

Figura 5. **Puntos muertos en manifolds de válvulas de globo**



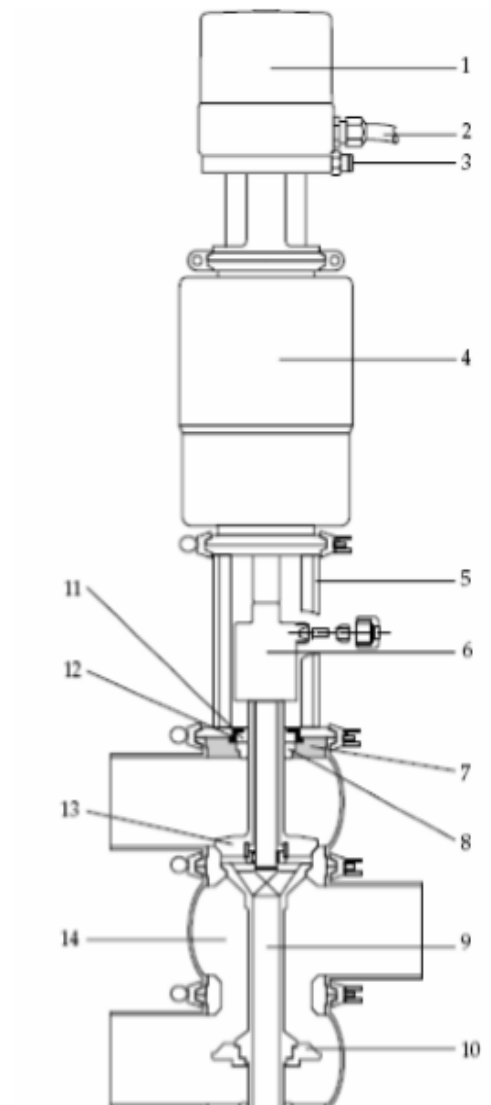
Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

1.3.3.9 Válvulas de globo de doble asiento

El uso de válvulas de doble asiento para el manejo de dos fluidos diferentes elimina la necesidad de utilización de las placas de acople, lo cual simplifica en gran medida el circuito de tuberías.

Figura 6. **Válvula *mix proof* direcciones de flujo posibles en una válvula de globo**

- 1 Cabeza de conexión S o Cabeza de conexión T.VIS
- 2 Conexión eléctrica
- 3 Toma de aire comprimido
- 4 Accionamiento
- 5 Linterna
- 6 Cubierta de limpieza
- 7 Arandela obturadora
- 8 Anillo obturador
- 9 Disco de la válvula D
- 10 Disco adicional Y
- 11 Cojinete
- 12 Arandela del cojinete
- 13 Disco de doble asiento
- 14 Carcasa de la válvula

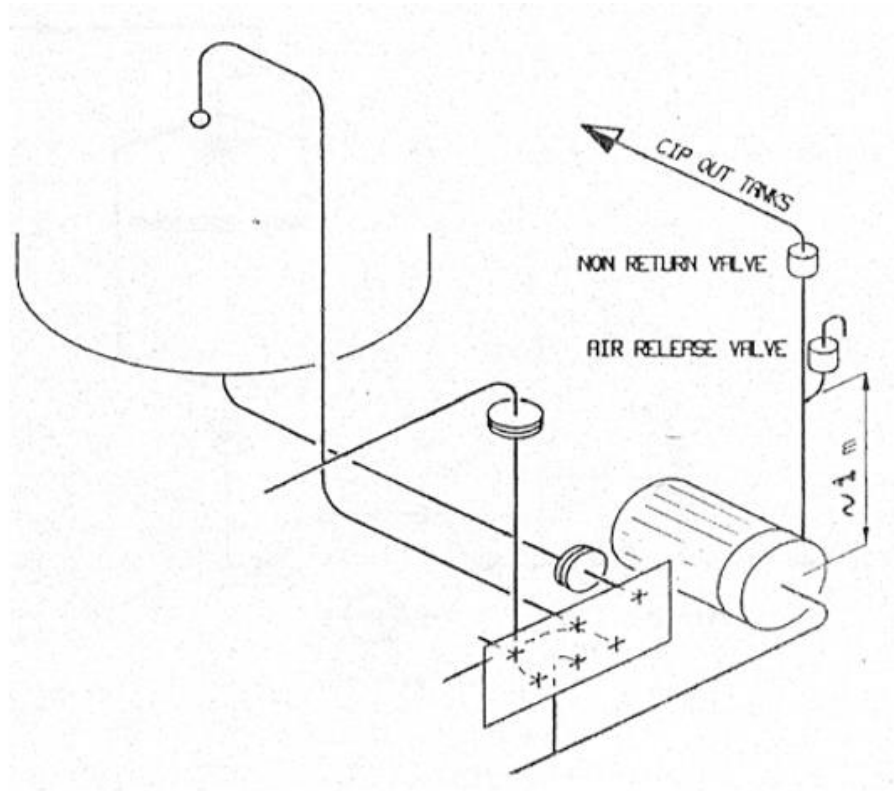


Fuente: Gea T., (2019). *The core component of matrix-pipped process plants. Varivent valves.*

1.3.3.10 Bombas centrífugas

El tipo de bombas y la cantidad que se debe utilizar para el sistema se define de acuerdo con la capacidad y al tipo de circuito que se esté limpiando. Normalmente para alimentar la línea de producción desde el sistema CIP hacia el tanque de preparación se emplea una bomba centrífuga simple y para retornar el líquido, se utiliza una bomba autocebante. Primero, se deben de elegir las bombas que se utilizaran en la línea de producción. Es imperativo tomar en cuenta que el impeler y el resto de los accesorios de la bomba deben de estar diseñados para ser limpiados por este sistema. Seguido se muestra un bosquejo del proceso CIP de un sistema de almacenaje de néctares en donde se detalla la posición adecuada de la bomba centrífuga que alimenta el circuito de limpieza del sistema CIP para un tanque de despacho.

Figura 7. **Diagrama de bomba CIP para un tanque de abastecimiento**



Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

1.3.4 Circuitos de limpieza

Los circuitos de limpieza se realizan de acuerdo con el tipo de producto que se maneje dentro de la tubería y la frecuencia definida por el proceso productivo.

1.3.4.1 Circuito abierto

La presencia de un tanque dentro de un circuito de limpieza determina si el mismo es abierto o cerrado. Un circuito abierto es el que requiere de una bomba adicional que provea de energía mecánica al fluido que retorna a la

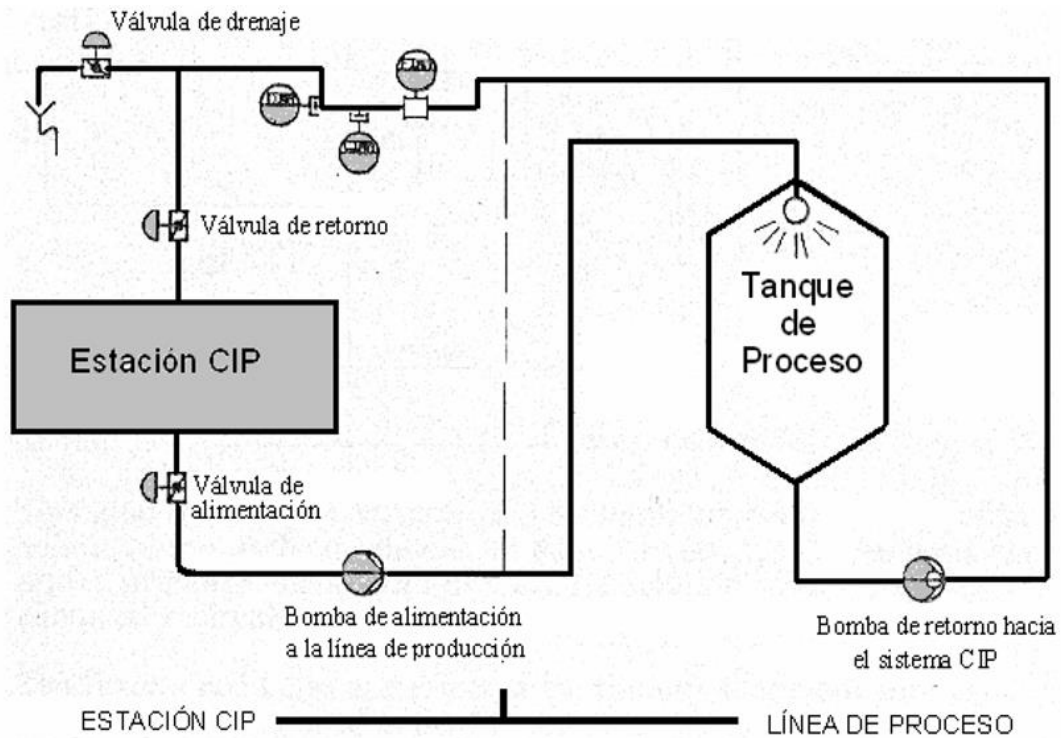
estación CIP debido a que en una de sus etapas se encuentra un tanque que ocasiona una pérdida de presión.

En estos circuitos la acción mecánica de limpieza de los tanques debe de realizarse mediante espray dirigido a la superficie del equipo, cabe señalar que en los circuitos cerrados la acción mecánica de limpieza se realiza mediante turbulencia.

Para la inyección de soluciones al tanque con espray del CIP, pueden utilizarse dos técnicas:

- Limpieza a alta presión. El rango de presión se encuentra entre 10 y 100 bares.
- Limpieza a baja presión. El rango de presión se encuentra entre 1 y 5 bares.

Figura 8. **Diagrama completo de sistema CIP para un circuito abierto**



Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

1.3.4.2 Circuito cerrado

Debido a que en varios puntos se puede perder presión en el circuito de limpieza es necesario colocar una bomba adicional para mantener una velocidad de flujo recomendada, de lo contrario esta bomba no es necesaria. Los circuitos cerrados requieren volúmenes mínimos de líquido desinfectante. En estos circuitos, los equipos están bajo presión y en contacto completo con las soluciones de limpieza, lo cual permite tener una recirculación constante de esta.

Para obtener un buen efecto de limpieza se requiere un flujo de turbulencia constante, manteniendo en promedio una velocidad de 1.5 m/s. En la tabla V se muestran los flujos volumétricos mínimos que se deberían manejar de acuerdo

con el diámetro de la tubería, para tener una turbulencia adecuada que garantice una limpieza CIP eficiente.

Tabla V. **Flujo volumétrico dentro de una tubería para diferentes diámetros**

Diámetro de tubería (pulgadas)	Flujo volumétrico (m ³ /h)
1	2.5
1.5	6
2	10
2.5	16
3	23
4	40

Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

1.3.5 Limpieza de tanques

Para la limpieza de tanques estándar un valor entre 0.06 a 0.08 litros por metro cuadrado de superficie interna por segundo es suficiente (1 a 5 metros de radio). Para tanques verticales los volúmenes de descarga de las soluciones sanitizantes dependen del diámetro y la altura del tanque. Generalmente a diámetros iguales o mayores de 3.5 m se maneja un flujo volumétrico de aproximadamente 25 a 45 m³/h y para diámetros iguales a 3 m se presentan flujos de entre 15 y 27 m³/h. En la tabla VI se presentan datos de flujo volumétrico, diámetro de tubería y diámetro de tanque para diferentes alturas y volúmenes de tanques de almacenamiento o abastecimiento. Dichos diámetros son los más comunes dentro de la industria alimenticia.

Tabla VI. **Volúmenes de descarga estándares para soluciones sanitizantes de acuerdo con el volumen y dimensiones del tanque**

Tanque m ³	Diámetro m	Altura m	Rango de flujo		Tubería pulgadas
			<i>mínimo</i> 0.06dm ³ /m ² .s m ³ /h	<i>máximo</i> 0.08dm ³ /m ² .s m ³ /h	
40	3	6	15	20	2 ½
60	3	8.5	20	27	3
80	3.5	8.5	24	32	3
100	3.5	10.5	29	39	3
120	3.5	12.5	34	45	4

Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

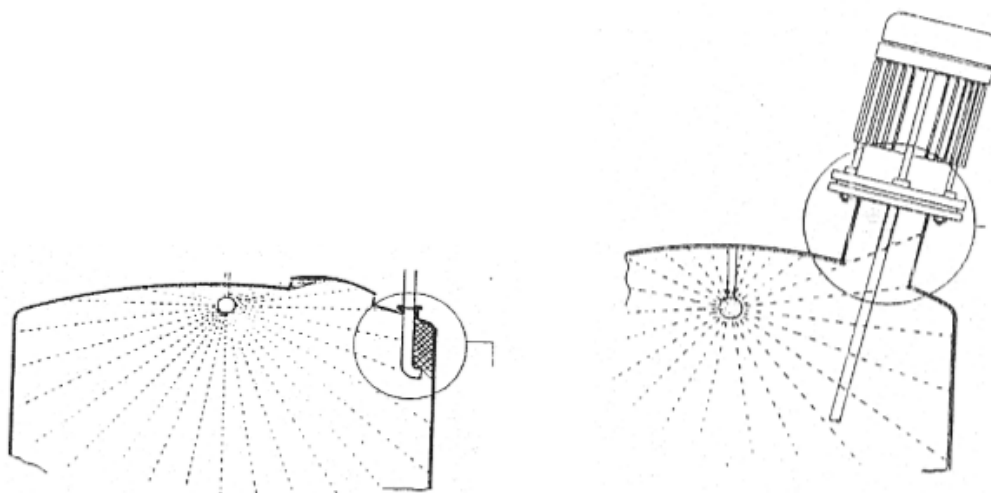
1.3.6 Accesorios para la limpieza de tanques

Los accesorios son indispensables para que la limpieza dentro del tanque sea efectiva y poder mantener un flujo constante de la solución. También mantienen estables las condiciones de proceso como por ejemplo la conductividad de la solución de limpieza.

1.3.6.1 Circuito cerrado

Existen varios equipos de dispersión en el mercado, pero por razones de costo y simplicidad se recomiendan las esferas llamadas *espray balls*. Al momento de limpiar equipos con estos instrumentos es necesario eliminar cualquier punto muerto del sistema.

Figura 9. **Puntos muertos durante el lavado de un taque de abastecimiento utilizando espray *balls***



Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

1.3.7 Tipos de sistemas de limpieza automatizados CIP

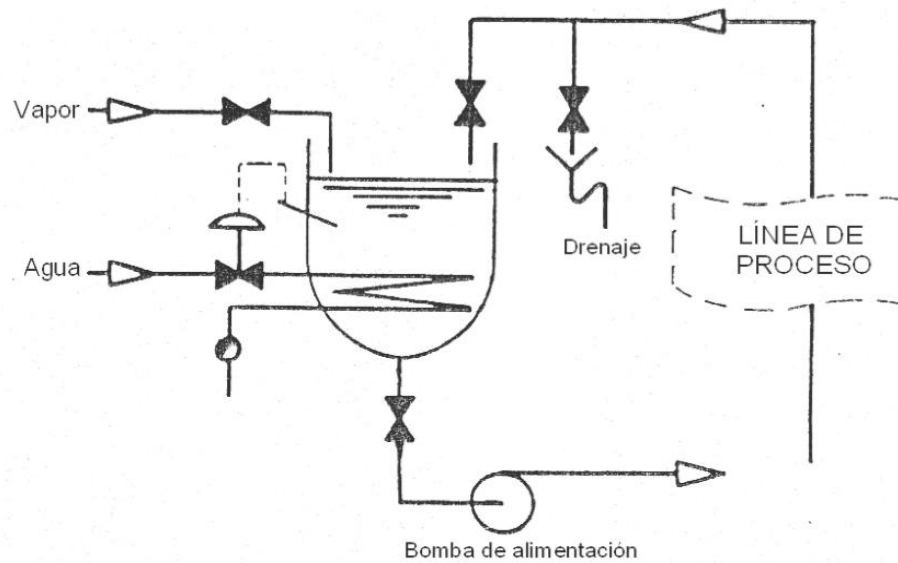
Se diferencian por tener circuitos integrados para el control de apertura y cierre de válvulas, motores y drenajes. También se pueden programar sensores de nivel y programar cadenas de proceso.

1.3.7.1 Sistema sin recirculación de soluciones de limpieza o agua de enjuague

Por razones ecológicas y de costos de operación este concepto de limpieza se utiliza cada vez menos; dado que el costo del ciclo de limpieza con este tipo de proceso es de 5 a 7 veces mayor que el ciclo con recuperación de soluciones. Este tipo de sistema se utiliza comúnmente en pequeñas instalaciones de refrigeración de leche. Otro problema con este proceso radica en que es necesario neutralizar los efluentes de descarga, obviamente por

razones ecológicas. En la figura 10 se muestra el diseño de un sistema sin reutilización de soluciones de limpieza o enjuague.

Figura 10. **Lavado de un tanque de abastecimiento sin reutilización de soluciones de limpieza o agua de enjuague**



Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

1.3.7.2 Sistema con recirculación de soluciones de limpieza y agua de enjuague

Una estación de CIP con reutilización de soluciones al menos debe de presentar los siguientes elementos:

- Tanque para almacenar una solución de soda cáustica con o sin serpentines de calentamiento.
- Tanque para almacenar una solución ácida con o sin serpentín de calentamiento.
- Tanque para agua de recuperación.
- Tanque para agua fresca.

- Sistemas con válvulas automáticas.
- Bombas de distribución.
- Panel de control.

Es importante saber el costo de un sistema de limpieza CIP. Las soluciones de limpieza se reutilizan hasta seis a ocho veces más que un sistema sin estas facilidades. Se necesita un mantenimiento constante del pH de las soluciones de limpieza mediante un control regular con el proceso de titulación y un descarte de los sólidos precipitados, así como refuerzos de la solución por medio de la conductividad. La corrección del pH puede variar de acuerdo con el tipo de insumo que se maneje en la producción, sea líquido o sólido.

La elección del sistema de dosificación depende de factores como frecuencia de uso de las soluciones, tamaño de la estación de CIP y de la tecnología de los sistemas de producción que se desean limpiar. Es crucial realizar titulaciones durante las recirculaciones de las soluciones de limpieza y revisar el contenido de materia orgánica, precipitado o en suspensión, en los depósitos del CIP. Realizar la limpieza de los depósitos periódicamente, para ello es necesario realizar un análisis COD (Chemical Oxygen Demand). Las soluciones deben ser purgadas periódicamente mediante una válvula lo suficientemente grande para que logre drenar los residuos sólidos, así como reforzar las soluciones dependiendo su conductividad para que no pierdan su efectividad.

La purga debe realizarse después de que se utilice el quipo, entre 3 a 5 horas luego que se finalizó la limpieza, con el propósito de que la mayoría de sólidos se precipiten al fondo del tanque. La cantidad de líquido a purgar es normalmente entre del 1 al 2 % del volumen del tanque, comúnmente de 30 a 80 litros.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

La idea central de la presente investigación surge debido a la necesidad del ahorro en el uso de químicos; utilizados para el sistema de limpieza CIP, de los equipos utilizados en el proceso de producción, de almacenamiento y distribución de cerveza en una industria cervecera.

Se evaluó y optimizó el proceso, comparando los parámetros de control y análisis microbiológicos, lo que permitió la sustitución de un sistema de limpieza CIP de 7 pasos a 5 pasos. Experimentando, una solución viable para la optimización de las variables de operación y trae consigo un ahorro monetario. Esto sucede por uso de un ácido-desinfectante, el cual ya es usado actualmente en muchas industrias cerveceras.

Se consultaron los registros históricos, del sistema de limpieza CIP a 7 pasos, utilizados en la planta de producción. Se tabularon los parámetros de: control de presión, caudal y velocidad del fluido dentro de la tubería, tomado por el equipo ultrasónico. Se recolectó la información de 12 tanques de almacenaje de cerveza filtrada y 36 resultados microbiológicos para cada uno de los tanques.

En la fase de evaluación, se verificó que la capacidad instalada para la logística, traslado y parámetros de los equipos que se usa para el ácido, se pudiera usar también para el ácido-desinfectante; siendo esta evaluación satisfactoria. En la segunda fase se llevó a cabo la parametrización de la receta automática de CIP, correlacionando la concentración y conductividad del nuevo ácido-desinfectante, evaluado a los parámetros del CIP de 7 pasos y así constatar que la nueva solución se adapta sin problemas al sistema.

La efectividad del sistema CIP a 5 pasos se determinó mediante el análisis microbiológico de las muestras de agua del último enjuague, mediante las normas COGUANOR 34 155 h2, h3 y h4. Esto se llevó a cabo a través de pasar el agua por una filtración de membranas y luego colocarlas en el medio selectivo de crecimiento correspondiente, para ser evaluados en el microscopio y determinar la presencia o ausencia de microorganismos en el medio correspondiente.

La optimización se obtuvo al utilizar un ácido-desinfectante, omitiendo el uso de un desinfectante y un enjuague posterior a este; lo que conlleva un ahorro económico en tiempo, energía eléctrica, agua y químicos. Realizando una comparación entre el gasto que se tiene en un sistema CIP de 7 pasos y el sistema CIP de 5 pasos, se determina el ahorro para la empresa. Alcanzado así todos los objetivos planteados satisfactoriamente.

La investigación finaliza con la propuesta del uso del sistema de limpieza CIP a 5 pasos, para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada; empleando la nueva receta automática, que se deja parametrizada y aprobada por los análisis microbiológicos, que garantizan su efectividad. Se obtuvieron beneficios para la empresa, replicando este procedimiento en la limpieza de otros equipos, ahorrando tiempo, energía eléctrica y costos en químicos.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Se evaluó la optimización de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos a temperatura ambiente, optimizando el sistema de limpieza CIP a 7 pasos, ya instalado, para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada; de acuerdo con los objetivos propuesto se presentan los siguientes resultados.

3.1 Objetivo 1: Determinar si la capacidad de los equipos cumple con los parámetros de presión, caudal, velocidad y conductividad, para la utilización de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos

El sistema de limpieza CIP de 5 pasos está diseñado para utilizar únicamente soda cáustica, ácido-desinfectante y enjuagues intermedios, por lo que se usó la capacidad ya instalada del CIP de 7 pasos para acoplarlo a los requerimientos de esta investigación.

3.1.1 Central de soluciones concentradas

La entrega del ácido-desinfectante se realiza en recipientes de 275 galones al igual que el ácido utilizado para el sistema de limpieza CIP de 7 pasos, por lo que se utilizó ese espacio en la central de soluciones concentradas, para enviar la solución hacia el área de CIP de los tanques de cerveza filtrada. La logística de despacho de los totes de ácido-desinfectante se realizó con montacargas desde el almacén de materia prima a la central de soluciones.

Figura 11. **Ordenamiento de la central de soluciones concentradas**



Fuente: [Fotografía Edgar Morales]. (Planta productora de cerveza, 2019). Colección particular. Guatemala.

En la figura 11, se puede detallar el posicionamiento de la solución de ácido-desinfectante, es el primer tote tomando el orden de izquierda a derecha. Ocupando la posición del tote de ácido que se usa normalmente en el sistema de limpieza CIP de 7 pasos.

Para optimizar los costos de logística y evitar la instalación de nuevas tuberías o bombas, se evaluaron todas las conexiones que se tenían instaladas, y como se puede observar en la figura 11 los toneles de ácido y desinfectante que se utilizaban anteriormente para el CIP de 7 pasos son remplazados por un solo tote de la solución dual de ácido-desinfectante. Esto permite que la logística

que se tiene actualmente de transportar los químicos desde el almacén a la central de soluciones siga siendo la misma.

3.1.2 Tanque de solución concentrada

El ácido-desinfectante enviado desde la central de soluciones se bombeo a razón de 10 litros por minuto hacia el tanque de soluciones concentradas que tiene una capacidad de 400 litros, el tanque se llenó en 40 minutos. La bomba centrífuga, que se utilizó tiene una capacidad de hasta 60 litros por hora.

Figura 12. Tanque de solución concentrada



Fuente: [Fotografía Edgar Morales]. (Planta productora de cerveza, 2019). Colección particular. Guatemala.

La bomba y tubería de distribución que se utiliza para enviar los químicos de la central de soluciones al tanque de soluciones concentradas se adaptó sin problemas al utilizar los mismos adaptadores en los totes. La velocidad de traslado de la solución duró 40 minutos, que es el estándar que se tenía para las soluciones anteriores, se mantuvo el nivel del tanque y no se tuvieron problemas para el refuerzo automático de la solución durante el arranque de la receta automática.

3.1.3 Correlación entre la conductividad y concentración del ácido-desinfectante

La preparación automática de la solución de ácido-desinfectante, se realizó mediante la receta de limpieza CIP automática en el sistema. Esta inició con el aforo del tanque a 9000 litros; luego automáticamente, se bombeó la solución concentrada de ácido-desinfectante, hacia el tanque y se recirculó hasta homogenizarla, este proceso duró 45 minutos. Este tiempo se midió desde que el valor del conductímetro, instalado en la tubería de recirculación a la entrada del tanque, marcaba 0 mS hasta que marcó 36.2 mS, que es el valor máximo que se utilizaría de la solución ácido-desinfectante.

La receta automática de CIP, utilizada anteriormente para el CIP de 7 pasos permito copiarla y crear una nueva receta para el CIP de 5 pasos, logrando así modificar los parámetros de conductividad.

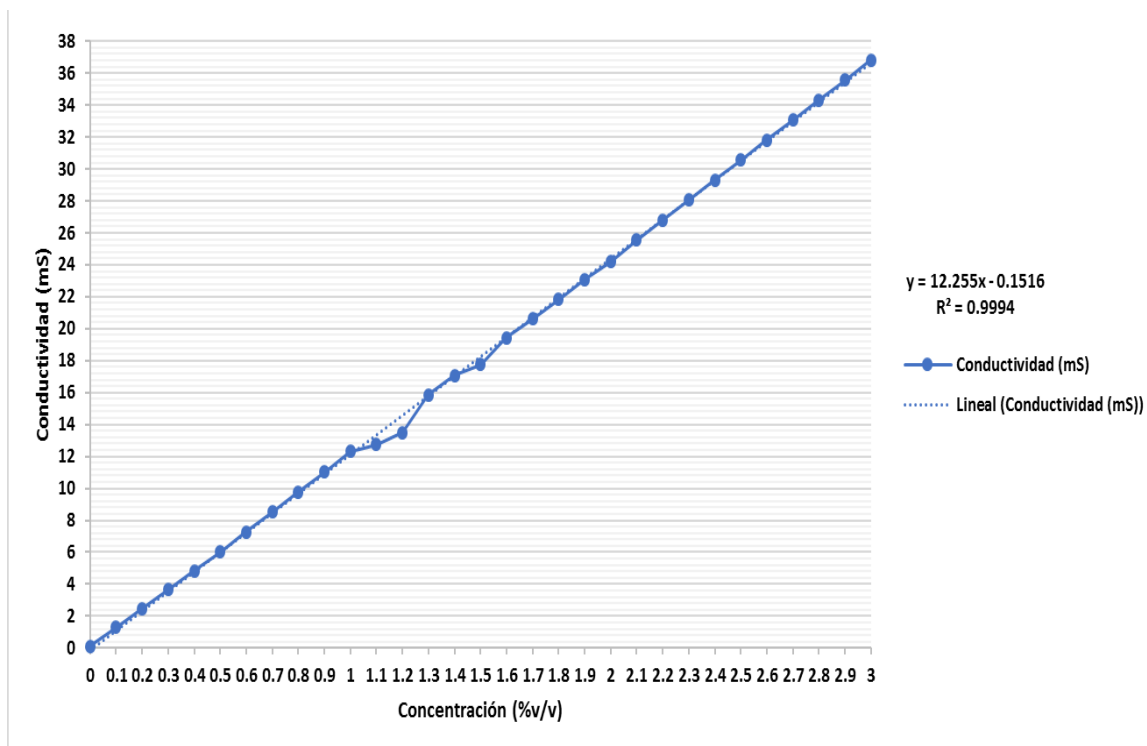
Figura 13. **Sistema de recirculación del tanque de ácido-desinfectante**



Fuente: [Fotografía Edgar Morales]. (Planta productora de cerveza, 2019). Colección particular. Guatemala.

Se correlacionó la conductividad de la solución de ácido-desinfectante con la concentración, mediante la titulación de la solución durante la recirculación, se calculó el valor de concentración y se comparó con la conductividad marcada por el sensor. Las corridas se realizaron desde el inicio de la recirculación de la solución hasta llegar a un 3 %v/v. Teniendo así varios datos para realizar una correlación lineal la cual se muestra a continuación:

Figura 14. **Correlación entre conductividad (mS) y concentración (%v/v) del ácido-desinfectante**



Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

Debido a que la receta automática de CIP de 5 pasos utiliza la conductividad como parámetro para el cambio de pasos, se realizó una correlación entre la conductividad (mS) y la concentración (%v/v), en la figura 14, se muestra como dicha relación corresponde a una correlación lineal, con una confiabilidad del 99 %, por lo que se puede tomar la relación directa entre las dos variables para programar la conductividad a 24 mS, que es el valor de concentración recomendado por el proveedor.

3.1.4 Presiones, caudales y velocidades en los diferentes pasos del sistema de limpieza CIP.

Se midieron los parámetros de presión, caudal y velocidad del fluido en cada una de las etapas de limpieza del circuito de CIP, logrando una comparación entre el sistema de 5 pasos y el de 7 pasos. La presión y el caudal se ven reflejados dentro de la receta automática de CIP, en el sistema gracias a los sensores instalados en la tubería de retorno. Para el análisis de la velocidad del fluido dentro de la tubería, se utilizó un medidor de flujo ultrasónico el cual da una buena referencia, si se cumplen los parámetros establecidos dentro del sistema y realizar la comparación con los dos tipos de ácidos y desinfectantes.

La validación de los parámetros de control de los equipos es clave para la optimización del proceso, por lo que se utilizaron los sensores en línea para tomar el caudal y la presión en la tubería. Para medir la velocidad del fluido dentro de la tubería se utilizó un equipo ultrasónico, ya que esta tiene que ser mayor de 3 m/s para lograr suficiente turbulencia y cubrir la mayor área de contacto dentro de la tubería.

En la tabla VII se muestra como la presión está a entre 2.8 bar y 3.2 bar, el caudal se mantiene en 24 m³/h y 25 m³/h y la velocidad arriba de 3 m/s, para ambos sistemas de limpieza CIP en cada paso del proceso, lo que indica que se está operando de manera correcta el equipo, y que las modificaciones realizadas en la receta por el cambio de solución de ácido-desinfectante no influyen directamente en los parámetros de control.

Tabla VII. **Presiones, caudales y velocidades en los diferentes pasos del sistema de limpieza CIP**

PRESION (bar) DENTRO DE LA TUBERIA DEL SISTEMA DE LIMPIEZA CIP			
PASO	ESTANDAR	CIP 7 PASOS	CIP 5 PASOS
ENJUAGUE CON AGUA	2.8	2.84	2.82
SODA CAUSTICA	3.1	3.16	3.15
ENJUAGUE CON AGUA	2.8	2.85	2.83
ÁCIDO / ÁCIDO-DESINFECTANTE	3.1	3.12	3.11
ENJUAGUE CON AGUA	2.8	2.82	2.82
DESINFECTANTE	3.1	3.12	---
ENJUAGUE CON AGUA	2.8	2.86	---
CAUDAL (m ³ /h) DENTRO DE LA TUBERIA DEL SISTEMA DE LIMPIEZA CIP			
PASO	ESTANDAR	CIP 7 PASOS	CIP 5 PASOS
ENJUAGUE CON AGUA	24	25.01	24.97
SODA CAUSTICA	25	25.79	25.16
ENJUAGUE CON AGUA	24	24.98	24.97
ÁCIDO / ÁCIDO-DESINFECTANTE	25	25.24	25.34
ENJUAGUE CON AGUA	24	24.97	24.25
DESINFECTANTE	25	25.67	---
ENJUAGUE CON AGUA	24	24.97	---
VELOCIDAD DEL FLUIDO (m/s) DENTRO DE LA TUBERIA DEL SISTEMA DE LIMPIEZA CIP			
PASO	ESTANDAR	CIP 7 PASOS	CIP 5 PASOS
ENJUAGUE CON AGUA	3	3.01	3.03
SODA CAUSTICA	3	3.20	3.18
ENJUAGUE CON AGUA	3	3.04	3.07
ÁCIDO / ÁCIDO-DESINFECTANTE	3	3.12	3.11
ENJUAGUE CON AGUA	3	3.04	3.05
DESINFECTANTE	3	3.11	---
ENJUAGUE CON AGUA	3	3.01	---

Fuente: [Fotografía Edgar Morales]. (Datos sistema en línea CIP, 2019). Colección particular. Guatemala.

3.1.5 Evaluación y optimización de tiempos en la receta de CIP a 5 pasos

Se realizó una copia de la receta automática de CIP a 7 pasos, dentro del sistema y se modificaron los tiempos con base a la conductividad que tiene que cumplir en cada enjuague y circulación de soluciones. Con respecto a los nuevos requerimientos del CIP de 5 pasos se representan a través de la siguiente tabla:

Tabla VIII. **Tiempos de enjuague y circulación de soluciones estándar por receta automática de CIP**

Paso	Conductividad (mS)	Tiempo (min) CIP 7 Pasos	Conductividad (mS)	Tiempo (min) CIP 5 Pasos
Recirculación de agua	0	40	0	40
Bombear a drenaje	0	20	0	20
Recirculación de soda caustica	70	60	70	60
Bombear a drenaje	0	20	0	20
Recirculación de Agua	0	30	0	30
Bombear a drenaje	0	10	0	10
Recirculación de ácido / ácido-desinfectante	17	60	24	60
Bombear a drenaje	0	20	0	20
Recirculación de Agua	0	30	0	45
Bombear a drenaje	0	10	0	15
Recirculación de desinfectante	7	60	----	----
Bombear a drenaje	0	20	----	----
Recirculación de Agua	0	30	----	----
Bombear a drenaje	0	10	----	----
Tiempo total (min)	----	420	----	320
Tiempo total (horas)	----	7	----	5

Fuente: [Fotografía Edgar Morales]. (Sistema en línea CIP, 2019). Colección particular. Guatemala.

Los nuevos tiempos se compararon con los tiempos de un CIP a 7 pasos, para tener una mayor visualización de las diferencias en general tanto en minutos como los parámetros de conductividad que indican que la solución, fue totalmente evacuada del equipo.

En la ejecución de la receta automática de CIP a 5 pasos, el arranque de las bombas, la apertura de las válvulas de los tanques de soluciones diluidas, la entrada al *espray ball* y salida del tanque de almacenaje de cerveza filtrada, se abrieron correctamente, permitiendo que se ejecutara de forma automática, toda la receta respetando los nuevos parámetros ingresados.

En la tabla VIII se muestran los tiempos que se tienen que cumplir de acuerdo con las condiciones de conductividad definidas en la receta automática de limpieza CIP, debido a que la conductividad del ácido-desinfectante es mayor que la que se utiliza en el ácido, para lograr el mismo efecto de limpieza, se aumenta el tiempo de recirculación de agua a 45 minutos para que se cumpla la condición de que la conductividad tiene que bajar a 0 mS, lo que indica que todo el ácido-desinfectante fue removido totalmente de la tubería y los tanques de almacenaje de cerveza filtrada.

El tiempo de limpieza al utilizar el sistema de limpieza CIP de 5 pasos se reduce a 5 horas ya que se están ahorrando los tiempos de la recirculación del desinfectante y el enjuague final.

Al tener la receta automática de limpieza CIP a 5 con los tiempos y conductividad definidos, y con los parámetros de proceso corroborados, se realizaron las corridas. En total son 12 tanques almacenaje de cerveza filtrada a los cuales se les realizó la limpieza 12 veces, para sacar las muestras del último

enjuague con agua y analizarlas microbiológicamente de acuerdo con las normas COGUARNOR NGO 34 155.

3.2 Objetivo 2: Evaluar si el sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, es eficiente, mediante análisis microbiológico según norma COGUANOR NGO 34 155 h2, h3 y h4

Para determinar la eficiencia de la solución dual ácido-desinfectante, se realizaron siembras microbiológicas, de las muestras tomadas de los últimos enjuagues con agua, para determinar la presencia de materia orgánica o microorganismos, que pudieran estar presentes después del CIP de 5 pasos.

Con los análisis microbiológicos se corroboró la efectividad de la limpieza; utilizando medios de enriquecimiento, o agar, que favorecen el crecimiento de microorganismos. Cada muestra de agua se tomó a la salida del tanque en bolsas estériles, estas muestras se filtraron en membranas para cajas Petri, para luego ser puesta en el agar correspondiente, posteriormente se incubaron a 27 °C por 3 días.

3.2.1 Resultados del recuento total según norma COGUANOR NGO 34 155 h2

Se utilizó el medio de cultivo agar mosto, para determinar la presencia de microorganismos procedentes de cualquier medio de contaminación, en el tanque de almacenaje de cerveza filtrada.

Tabla IX. **Recuento total COGUANOR NGO 34 155 h2**

Control microbiológico BBT		
BBT No.	CIP 7 pasos	CIP 5 pasos
	Promedio recuento total < de 25 UFC/100ml	Promedio recuento total < de 25 UFC/100ml
1	1	1
2	1	1
3	1	0
4	1	1
5	1	1
6	0	0
7	1	0
8	1	1
9	1	0
10	1	1
11	1	1
12	1	1

Fuente: elaboración propia.

En la tabla IX se muestran los resultados del recuento total, según la norma COGUANOR NGO 34 155 h2, en el medio de cultivo agar mosto, que determina la presencia de microorganismos de cualquier tipo presentes en el tanque de almacenaje de cerveza filtrada, como se puede observar el promedio de los resultados fue de 1 UFC/100 ml menor a lo estipulado en la norma de 25 UFC/100ml, lo que indica que la limpieza en los 12 tanques es efectiva.

3.2.2 Resultados de coliformes según norma COGUANOR NGO 34 155 h3

Se utilizó el medio de cultivo cromoculto, para determinar especies bacterianas; que indiquen la contaminación del agua o una posible contaminación posterior en la cerveza almacenada.

Tabla X. **Coliformes COGUANOR NGO 34 155 h3**

Control microbiológico BBT		
BBT No.	CIP 7 pasos	CIP 5 pasos
	Promedio coliforme 0 UFC/100ml	Promedio coliforme 0 UFC/100ml
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0

Fuente: elaboración propia.

Para corroborar la efectividad de la limpieza se analizó, de las muestras de agua del último enjuague, la presencia de coliformes, según la norma COGUANOR NGO 34 155 h3, que como se muestra en la tabla X todos los valores son negativos.

3.2.3 Resultados de mohos y levaduras según norma COGUANOR NGO 34 155 h4

Se utilizó el medio de cultivo NBB-A para determinar el crecimiento de levaduras salvajes provenientes de residuos de cerveza en el tanque de almacenaje.

Tabla XI. **Mohos y levaduras COGUANOR NGO 34 155 h4**

Control microbiológico BBT		
BBT No.	CIP 7 pasos	CIP 5 pasos
	Promedio moho y levadura < de 10 UFC/100ml	Promedio moho y levadura < de 10 UFC/100ml
1	1	1
2	1	1
3	1	0
4	1	1
5	1	1
6	1	1
7	1	1
8	1	0
9	1	1
10	1	1
11	1	1
12	1	1

Fuente: elaboración propia.

La tabla XI que evidencia los resultados del CIP a 5 pasos, menores a 10 UFC/100ml, de mohos y levaduras según la norma COGUANOR NGO 34 155 h4, comparado con la limpieza CIP a 7 pasos es igual de eficiente.

Todas las muestras de la última agua de enjuague del CIP a 5 pasos fueron tomadas semana a semana de los 12 tanques de almacenaje de cerveza filtrada, siendo filtradas en membranas y colocadas en sus respectivos medios de cultivo, para su posterior evaluación microscópica y realizar el recuento respectivo.

Se totalizaron 144 muestras, a las cuales en simultaneo se le corrieron los tres análisis microbiológicos respectivos de acuerdo con las normas

COGUANOR NGO 34 155 h2, h3 y h4, para evidenciar que el uso de ácido-desinfectante era estable y se pudieron obtener datos confiables.

3.3 Objetivo 3: Establecer el ahorro anual de energía eléctrica, costo de horas hombre, agua y químicos, para 576 circuitos de limpieza, utilizando un sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos en los 12 tanques de almacenaje de cerveza filtrada, a través de un estudio económico

En la evaluación económica se utilizaron los precios estándares, de cada parámetro a analizar, que se manejan en la planta productora de cerveza, para obtener resultados confiables y medibles.

Para evaluar el ahorro en tiempo, se tomó como base el valor máximo que tarda cada paso en finalizarse, según los 144 CIP a 7 y 5 pasos evaluados, se sumaron todos estos tiempos y se obtiene cuanto se tarda en completar la limpieza de un tanque de almacenaje de cerveza filtrada en promedio.

El ahorro total anual por el uso del sistema de limpieza CIP de 5 pasos, es de Q. 3,951,797.76. Este valor se obtuvo de la suma del desglose de ahorros que se detalla a continuación.

3.3.1 Ahorro de tiempo en horas por el uso del sistema de limpieza CIP a 5 pasos

El ahorro en horas y el costo de horas hombre, entre cada sistema de limpieza CIP se ve reflejado en la siguiente tabla:

Tabla XII. **Ahorro en horas del uso del sistema de limpieza CIP a 5 pasos**

	CIP 7 pasos (horas)	CIP 5 pasos (horas)	Ahorro en horas por CIP	No. CIP mensual	Ahorro mensual en horas por CIP 5 pasos	Ahorro anual en horas por CIP 5 pasos
Tiempo promedio CIP (horas)	6	4.5	1.5	48	72	864

Fuente: elaboración propia.

Según la tabla XII un CIP de 7 pasos en promedio tarda 6 horas y 4.5 horas en promedio para un CIP de 5 pasos, siendo más eficiente el CIP a 5 pasos por 1.5 horas.

Semanalmente, se tienen que realizar la limpieza de los 12 tanques que se tienen instalados actualmente, siendo 4 semanas efectivas al mes nos da un total de 48 tanques que se deben de limpiar. Como se muestra en la tabla XII si se utiliza el sistema de limpieza CIP a 5 pasos mensualmente se tendría un ahorro de 72 horas y anualmente 864 horas, tiempo que se podría disponer para otras actividades.

Tabla XIII. **Ahorro en el costo de horas hombre por operación del equipo de limpieza CIP**

	CIP 7 Pasos	CIP 5 Pasos	Ahorro Mensual CIP a 5 pasos	Ahorro Anual CIP a 5 pasos
Tiempo promedio CIP (horas)	6	4.5	72	864
Costo horas hombre (Q.) por CIP por 2 operadores por turno	9.72	9.72	9.72	9.72
No. CIP por mes	48	48	-----	-----
Costo total por CIP (Q.)	2799.36	2099.52	699.84	8398.08

Fuente: elaboración propia.

Las limpiezas se realizan los fines de semana en dos turnos de veinticuatro horas por dos operadores, los cuales están obligados a terminar a completar los CIP de los 12 tanques, la hora extra promedio los fines de semana es de Q.4.86 por operador. El ahorro se obtuvo de la diferencia de realizar la limpieza de los 48 tanques al mes con dos operadores usando el CIP a 7 pasos y el CIP a 5 pasos. Como se muestra en la tabla XIII el ahorro del pago de horas extras mensuales sería de Q.600.84 y anualmente de Q.8398.08.

3.3.2 Ahorro de energía eléctrica por el uso del sistema de limpieza CIP a 5 pasos

Se contabilizó el ahorro calculando las horas en que no se estaría utilizando la bomba de envío y recirculación de CIP, ya que el resto del sistema de válvulas utiliza aire comprimido para operar.

Tabla XIV. **Ahorro en quetzales de energía eléctrica**

Ahorro tiempo promedio CIP 5 pasos (horas)	1.5
Potencia bomba (kw)	22
Costo kw/hora (Q.)	Q. 2.86
Ahorro total por CIP 5 pasos (Q.)	Q. 94.38
Ahorro mensual por CIP 5 pasos (Q.)	Q. 4,530.24
Ahorro anual por CIP 5 pasos (Q.)	Q. 54,362.88

Fuente: elaboración propia.

El ahorro de energía eléctrica viene dado por el tiempo que no se utiliza la bomba de recirculación, ya que todas las demás válvulas utilizan aire comprimido para operar. En la tabla XIV se muestra que por CIP de 5 pasos se ahorran Q.94.38 y anualmente Q.54,362.88.

3.3.3 Ahorro de químicos y agua, por el uso del sistema de limpieza CIP a 5 pasos

Se calculó el ahorro en quetzales, que se tuvo al tener menos enjuagues de agua y el no utilizar un desinfectante en el sistema de limpieza CIP a 5 pasos.

Tabla XV. **Ahorro de agua por el uso de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos**

Agua utilizada CIP 7 pasos (m3)	124
Agua utilizada CIP 5 pasos (m3)	64
Ahorro de agua (m3)	60
Costo m3 de agua (Q.)	Q. 10.95
Ahorro de agua por CIP (Q.)	Q. 657.00
Ahorro de agua mensual (Q.)	Q. 31,536.00
Ahorro de agua anual (Q.)	Q. 378,432.00

Fuente: elaboración propia.

En la tubería se cuenta con contadores de flujo, y se logró determinar que en promedio al no realizar el ultimo enjuague de agua se ahorran 60 m³, cada metro cúbico tiene un costo de Q.10.95 lo que al año según la tabla XV representa un ahorro de Q.378,432.00.

Tabla XVI. **Ahorro de desinfectante por el uso de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos**

Desinfectante utilizado CIP 7 pasos (gal)	40
Desinfectante utilizado CIP 5 pasos (gal)	0
Ahorro de desinfectante por CIP (gal)	40
Costo del galón de desinfectante (Q.)	Q. 152.37
Ahorro de desinfectante por CIP (Q.)	Q. 6,094.80
Ahorro de desinfectante mensual (Q.)	Q. 292,550.40
Ahorro de desinfectante anual (Q.)	Q. 3,510,604.80

Fuente: elaboración propia.

Debido a que el ácido-desinfectante, ya realiza el proceso de desinfección del equipo, este último químico desinfectante utilizado en el CIP de 7 pasos ya no es necesario para la limpieza, el cual suele ser un poco caro en el mercado por las propiedades que debe tener al aplicarse en productos alimenticios. Por lo que se omitió su uso totalmente del proceso lo que represento según la tabla XVI un ahorro mensual de Q.292,550.40 y anual de Q.3,510,604.80, siendo este uno de los ahorros más significativos para la empresa.

3.4 Propuesta: Optimización del sistema de limpieza interna CIP (*Clean In Place*) a 5 pasos a temperatura ambiente, en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada

La propuesta de optimización cumple con el objetivo general de la investigación, utilizando un sistema de limpieza CIP a 5 pasos para garantizar la

estandarización y la efectividad de la limpieza en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, obteniendo un ahorro en agua, energía eléctrica y tiempo.

Para cumplir con esta optimización se necesita cumplir con los siguientes procedimientos:

3.4.1 Crear una nueva receta automática de limpieza CIP a 5 pasos

En el plan de investigación se copió la receta de CIP a 7 pasos y se eliminaron los pasos de desinfección y enjuague de agua. Con esto se modificaron los parámetros de acuerdo con los resultados de la experimentación y resultados microbiológicos. Así se creó la receta automática de limpieza CIP a 5 pasos que se adapta a todos los tanques de almacenaje de cerveza filtrada. La receta automática nueva a 5 pasos se detalla así:

- Enjuague con agua
- Recirculación de soda caustica
- Enjuague con agua
- Recirculación de ácido-desinfectante
- Enjuague con agua

Al utilizar un ácido-desinfectante se mejoran los aspectos reflejados en las figuras 20 y 21.

La receta del sistema de limpieza CIP a 5 pasos se valida porque los resultados microbiológicos en las tablas II, III y IV son iguales que los de un sistema de limpieza CIP a 7 pasos; por lo que se concluye que el sistema es igual de eficiente.

Tabla XVII. **Parámetros de la receta automática de limpieza CIP a 5 pasos**

Paso	Conductividad (mS)	Tiempo máximo (min)	Tiempo mínimo (min)
Recirculación de agua	0	40	20
Bompear a drenaje	0	20	10
Recirculación de soda caustica	70	60	40
Bompear a drenaje	0	20	10
Recirculación de Agua	0	30	15
Bompear a drenaje	0	10	5
Recirculación de ácido- desinfectante	24	60	40
Bompear a drenaje	0	20	10
Recirculación de Agua	0	45	20
Bompear a drenaje	0	15	5
Tiempo total (min)	----	320	175
Tiempo total (min)	----	5	3

Fuente: elaboración propia.

Para la propuesta de implementación del sistema de limpieza CIP a 5 pasos para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, se determinó el tiempo y conductividad, mínima y máxima que debería tener la receta automática de CIP, con base a los resultados obtenidos para cada paso de la cadena, medidos y comprobados durante la experimentación, esta receta se ve reflejada en la tabla XVII.

3.4.2 Programación de la receta automática de limpieza CIP a 5 pasos

La receta requiere que dentro de los pasos se cumpla con los parámetros de tiempo y concentración, como se detallan en la figura 15, con esto se logra la

eficiencia de la receta y tener un rango de operación amplio. Esto beneficia a los operadores para la toma de decisiones.

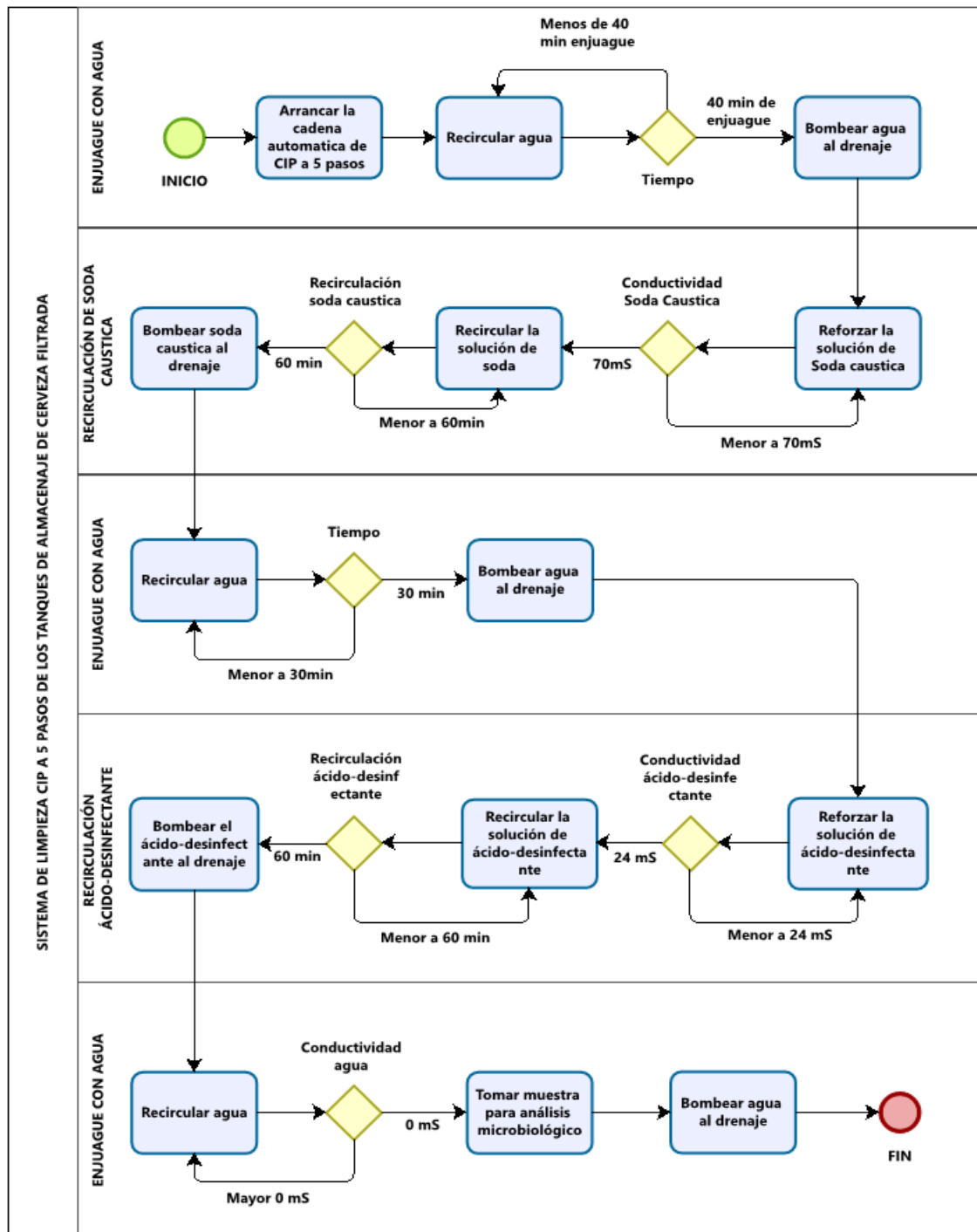
El programa utilizado para la automatización de la receta es *Braumat* en su versión 4. Esta aplicación es exclusiva para procesos productivos, en los cuales se debe de cambiar únicamente los parámetros anteriormente encontrados, en especial los tiempos y la conductividad. Con estos cambios ya se puede desplegar el resto de información mediante medidores de flujo y sensores en línea.

La cadena de CIP arranca automáticamente y dentro de ella se asignaron confirmaciones para que los operadores verifiquen que se cumplen con las condiciones en cada paso. De no ser ejecutado correctamente algún parámetro los operadores únicamente oprimen el botón de incompleto para que el paso se reinicie nuevamente hasta cumplir la condición asignada.

En varios casos, puede que el paso de enjuague termine mucho antes del tiempo asignado, debido a la frecuencia con que se limpia un tanque de filtración o los parámetros de conductividad, por lo que se ahorra tiempo y los operadores únicamente deben de confirmar en la receta de seguir con el siguiente paso de la cadena.

Como se quiere lograr que se entienda el proceso del sistema de limpieza CIP a 5 pasos, para los nuevos operadores y el personal a cargo de esta operación, se elaboró un diagrama de proceso, figura 15, el cual detalla cada proceso dentro de los pasos de la receta.

Figura 15 Diagrama de proceso del sistema de limpieza CIP a 5 pasos para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada



Fuente: elaboración propia, realizado con draw.io.

En la figura 15 se muestra el diagrama de los 5 pasos a los cuales se optimizó el sistema de limpieza CIP. En cada paso se detallan los tiempos de recirculación y conductividad de las soluciones de limpieza, de los pasos de soda, enjuague y ácido-desinfectante.

Durante la experimentación se observó que se pueden acortar los tiempos de los pasos subiendo la potencia de la bomba en un 10% logrando que los caudales se mantengan en 35 m³/h, lo que nos da los tiempos mínimos que debería de operar la receta automática de CIP a 5 pasos para que siga siendo efectiva y se ve reflejado en la tabla XVIII en la columna de tiempo mínimo.

La holgura en la receta permite tener un rango mayor de operación lo que brinda más versatilidad a la ejecución de la limpieza de CIP de 5 pasos de un tanque almacenaje de cerveza filtrada, dando lugar a proyectos de mejora a medida que se afinen los tiempos en la recirculación de soluciones y enjuagues con agua.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan la discusión de los resultados obtenidos, la cual se encuentra conformada por: un análisis interno, para confirmar la validez de los datos de la investigación; un análisis externo, para determinar que tanto se puede generalizar el estudio a otras áreas de la empresa, que operen con un sistema CIP y una integración de resultados, para comparar con la base teórica las semejanzas o diferencias.

4.1 Análisis interno

Los resultados obtenidos son confiables, ya que fueron obtenidos, del registro histórico del sistema de limpieza CIP a 7 pasos que maneja la empresa y de medidores de presión, tiempo y flujo en línea, que por temas de confidenciales se usó un factor para mantener las tendencias. La veracidad de la información se refleja en las tablas de comparación de presiones, tiempos, conductividades y datos microbiológicos, para los sistemas CIP a 7 pasos.

La herramienta propuesta, es clave para optimizar un sistema de limpieza CIP a 5 pasos para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, utilizando una solución dual de ácido-desinfectante, ya que permite realizar una implementación de dicho sistema acoplándose a la capacidad instalada y automatizada de la empresa.

Las limitaciones por considerar para futuros estudios, es la falta de fundamentos teóricos en el uso de soluciones duales de limpieza, ya que son nuevas tecnologías que se van descubriendo y aplicando en la actualidad.

Normalmente estos nuevos químicos no son muy aceptados por las empresas debido a la falta de implementación en otras plantas o fundamentos experimentales.

Los resultados reflejan que la empresa no ha invertido en nuevas tecnologías de CIP, aun teniendo la capacidad operativa necesaria para llevarlos a cabo y obtener soluciones que se adapten a sus nuevos ritmos de producción.

4.2 Análisis externo

Los resultados obtenidos corresponden a la implementación del sistema de limpieza CIP a 5 pasos, en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada. Se puede generalizar la implementación a todos los sistemas de CIP a 7 pasos, dentro de la empresa, que utilicen tanques de almacenaje, realizando la evaluación de la capacidad instalada para las soluciones concentradas, parámetros de operación y microbiológicos, creación de recetas automáticas, como se indica en este estudio de investigación. Mas no es certero generalizarlo a equipos que ejecuten otra función que no sea de almacenaje.

La herramienta utilizada para la evaluación, optimización e implementación de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos puede ser generalizada a otros equipos de almacenaje ya que cumple con la definición de Moerman (2014), sobre CIP, la cual define que es “Un método perfeccionado y automático de limpieza dirigido a eliminar la suciedad del equipamiento de una planta y las conducciones sin necesidad de desmontar dicho equipamiento” (p.305).

Torres (2012), comenta que “El beneficio para las industrias que utilizan el CIP es que la limpieza es más rápida, menos mano de obra y más repetible, y presenta menos riesgo de exposición a sustancias químicas a las

personas” (p.17). Todos estos beneficios anteriormente mencionados se ven mejorados con el diseño e implementación del sistema de limpieza CIP a 5 pasos, usando un ácido-desinfectante, en comparación con el sistema de limpieza CIP a 7 pasos que usa actualmente la empresa.

4.3 Integración

El resultado principal de la investigación y que se puede relacionar con la base teórica es la evaluación, optimización y diseño de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos. Se confirma que esta implementación es importante e indispensable para que la empresa incurse en nuevas opciones tecnológicas; y obtener un ahorro de tiempo, agua, energía eléctrica y costo de horas hombre.

García (2012), menciona que: “es conveniente la rotación del agente desinfectante, debido a la tendencia de los microorganismos a desarrollar resistencia a la acción de un mismo desinfectante. La temperatura de las soluciones de limpieza y el tiempo de acción tienen especial importancia, así como la concentración de las sustancias empleadas” (p.10). En la comparación de los resultados microbiológicos y parámetros de operación, se determinó que el uso de un ácido-desinfectante permite acortar un CIP a 7 pasos a uno de 5 pasos, garantizando la eficiencia de la desinfección.

Debido a la desactualización en la tecnología y que no se cuentan con muchos estudios de eficiencia de soluciones que cumplan funciones de ácido y desinfección, se pierde mucho en el descarte de soluciones basándose en criterios visuales y no microbiológicos.

Por otra parte, “aunque por razones de índole económica, se han venido haciendo intentos para reducir los consumos, inicialmente mediante procesos de

sedimentación, flotación y centrifugación” (Jung, 1996, pág. 32). Estos estudios han revelado ser ineficaces, debido a su alto costo de implementación y mantenimiento.

La optimización de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos, logra aportar un estudio cuantitativo con soluciones tecnológicas actuales basadas en resultados microbiológicos contundentes. Tal y como se observó en la presentación de resultados el ahorro para la empresa, al usar la herramienta propuesta, fue de Q 3,951,797.76, sin invertir en procesos y equipos, únicamente usando la capacidad que ya se tiene instalada.

Así mismo, la herramienta propuesta puede ser utilizada como base para futuras investigaciones, debido a la falta de antecedentes en el uso de sistemas de limpieza CIP a 5 pasos, usando soluciones duales de limpieza ácido-desinfectante.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que la capacidad de los equipos cumple con los parámetros de presión entre 2.8 bar y 3.2 bar, el caudal en 24 m³/h y 25 m³/h, la velocidad arriba de 3 m/s y la correlación de conductividad del ácido-desinfectante de 99 %, para la utilización un sistema de limpieza CIP a 5 pasos.
2. El sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos es en los tanques de cerveza es eficiente, ya que cumple con lo establecido en la norma COGUANOR NGO 34 155 h2, h3 y h4, dado que tiene un recuento total fue menor a 1 UFC/100 ml, negativo en todos los valores la presencia de coliformes y el recuento de mohos y levaduras, menores a 10 UFC/100ml.
3. Se estableció, a través de un estudio económico, que el ahorro anual de energía eléctrica, costo de horas hombre, agua y químicos, para 576 circuitos de limpieza, utilizando un sistema de limpieza CIP a 5 pasos en los 12 tanques de almacenaje de cerveza filtrada es de Q 3,951,797.76.
4. Se logró la optimización de un sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos a temperatura ambiente para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada mediante el diseño y parametrización de una receta automática, que garantiza un procedimiento estandarizado y eficaz.

RECOMENDACIONES

1. Revisar los parámetros de presión, caudal, velocidad y conductividad, por lo menos una vez al mes, para verificar que el sistema de limpieza CIP a 5 pasos, en los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, este cumpliendo con la capacidad instalada de los equipos.
2. Realizar el análisis microbiológico con base en las normas COGUANOR NGO 34 155 h2, h3 y h4, de todos los tanques de almacenaje de cerveza filtrada por lo menos una vez al mes, para garantizar la efectividad de la limpieza del sistema CIP a 5 pasos.
3. Utilizar la receta automática del sistema de limpieza CIP a 5 pasos dentro del límite inferior del rango establecido en los parámetros encontrados, para lograr obtener un mayor ahorro en tiempo, costo de horas hombre, agua, energía eléctrica y químicos.
4. Implementar el sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos para los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, como sustituto del sistema de limpieza a 7 pasos, como un proyecto de mejora para el ahorro de tiempo, energía eléctrica, agua y químicos.

REFERENCIAS

1. Álvarez, N., Gésan-Guizieu, G., y Daufin, G. (2007). The role of surface tension of re-used caustic soda on the cleaning efficiency in dairy plants. *International Dairy Journal*, 17, p.403-411. doi: 10.1016/j.idairyj.2006.04.008.
2. Bureau of Indian Standards. (Octubre de 1991). *Indian Standard Caustic soda, pure and technical - Specification*. Nueva Delhi, India, p.2-12.
3. Dresch, M. (1998). *Membrane processes for the recovery of dairy cleaning-in-place solutions* (Tesis doctoral), Universidad de Rennes. Recuperado de https://lait.dairyjournal.org/articles/lait/pdf/1999/02/lait_79_1999_220.pdf.
4. Estrada, B. L. (2007). *Análisis Técnico-Económico de sistemas de limpieza para líneas de producción en la industria de alimentos* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
5. Furic, M., Elain, A., Blel, W., y Sire, O. (2015). Regeneration of lyes of cleaning in place (CIP) processes in dairies: comparisson of recycled potash and soda solutions cleaning properties. *American journal of applied sciences*, 12, p.329-334. Recuperado de <https://doi.org/10.3844/ajassp.20153.29.334>.
6. Garland, C., Nibler, J., y Shoemaker, D. (2008). *Experiments in Physical Chemistry*. Estados Unidos: McGraw-Hill Education.

7. Gea T., (26 de julio de 2019). The core component of matrix-pipped process plants. *Varivent valves*, 6. Recuperado de <https://www.advancedpro.ca/application/files/5114/2637/6711/610e-VARIVENT-Valves-11-20-20101.pdf>.
8. Heck, M.A. 1993. *Recycling of caustic cleaning solutions using crossflow filtration in the dairy industry*. (Tesis doctoral). Universidad de Zurich. Recuperado de <https://agris.fao.org/agris-search.do?recordID=US201300305066>
9. Jung, C. (1996). The recovery of washing caustic from CIP wastewater. *European Dairy Magazine*, 32-34. Recuperado de <https://hal.archives-ouvertes.fr/index/index>
10. Kulkarni, S., Arnold, R., & Maxcy, R. (1975). Reuse Limits and Regeneration of Solutions for Cleaning Dairy Equipment. *Journal of Dairy Science*, 58 (8), p.1095-1100.
11. Lense, K., y Schlecht, E. (1996). *Katechismus der Brauerei-Praxis*. Munich: Carl Hanser Verlag.
12. Mendoza J.D. (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*. España: Gea.
13. Merin, U., Gésan-Guizieu, G., Boyaval, E., y Daufin, G. (2002). *Cleaning-in-place in the dairy industry: criteria for reuse of caustic (NaOH) solutions*. *Le Lait*, 82(3). Recuperado de <https://doi.org/10.1051/lait:2002016>

14. Moerman F, Rizoulières P, Majoor FA. (2014) Cleaning in place (CIP) in food processing. *Hygiene in Food Processing: Principles and Practice, Second Edition*, p.305-383. doi:10.1533/9780857098634.3.305.
15. Poce-Fatou, J. (8 de agosto de 2006). A Superficial Overview of Detergency. *Journal of Chemical Education*, 83(8), p.1147-1151.
16. Reuter, Prof. Dr. H. (2013). Verfahrenstechnik der Bundesanstalt für Milchwirtschaft. *Die Molkerei-Zeitung, Welt der Milch*, 54(6) pag.105-160.
17. Texas Comptroller of Public Accounts. (30 de julio de 2019). *Texas Specification No. 180-58-02B Sodium hydroxide (causitc soda) - liquid, 50%*. Estados Unidos: Texas specifications. Recuperado de <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:0pmxltslO64J:c papubs.com/purchasig/publications/specifications-library/1805802B.pdf+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=gt>.
18. Torres, C. A. (2012). *Diseño de un sistema de limpieza en el sitio de tipo sanitario (cip) para una línea de llenado en un salón de embotellado en la industria de cerveza*, (Tesis de licenciatura), Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
19. Wilson, P. C. (1997). Water quality notes: alkalinity and hardness. *IFAS extensión University of Florida*, 332(1). Recuperado de <http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/SS/SS54000.pdf>, p.2.

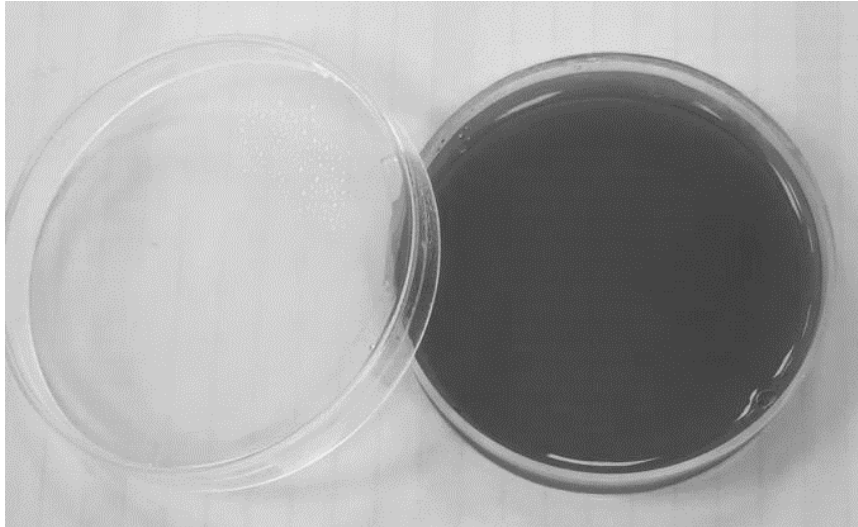
APÉNDICES

Apéndice 1. Toma de la muestra del último enjuague de agua del CIP a 5 pasos



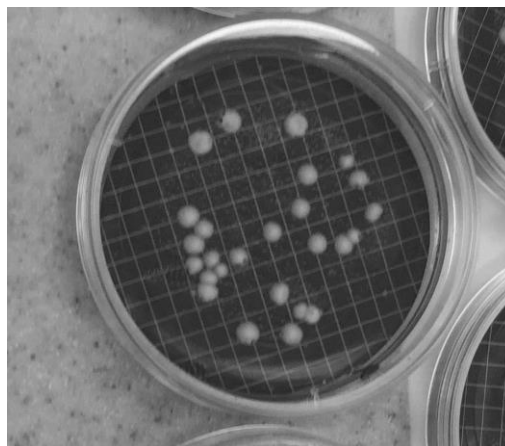
Fuente: [Fotografía de Edgar Morales]. (tanques de almacenaje de cerveza filtrada en la planta productora de cerveza de Guatemala. 2019). Planta productora de cerveza, Guatemala.

Apéndice 2. Medio de cultivo NBB-A



Fuente: [Fotografía de Edgar Morales]. (laboratorio de microbiología en la planta productora de cerveza de Guatemala. 2019). Planta productora de cerveza, Guatemala.

Apéndice 3. Resultado positivo forzado de crecimiento de moho



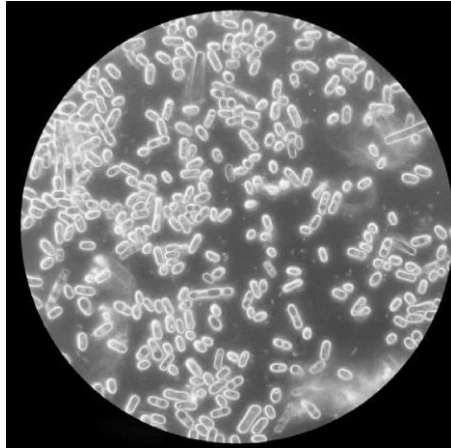
Fuente: [Fotografía de Edgar Morales]. (laboratorio de microbiología en la planta productora de cerveza de Guatemala. 2019). Planta productora de cerveza, Guatemala.

Apéndice 4. Microscopio Leica utilizado para realizar las pruebas microbiológicas



Fuente: [Fotografía de Edgar Morales]. (laboratorio de microbiología en la planta productora de cerveza de Guatemala. 2019). Planta productora de cerveza, Guatemala.

Apéndice 5. **Levadura salvaje observada en el microscopio Leica**



Fuente: [Fotografía de Edgar Morales]. (laboratorio de microbiología en la planta productora de cerveza de Guatemala. 2019). Planta productora de cerveza, Guatemala.

Apéndice 6. Receta automática de limpieza CIP a 5 pasos

EL	N° ROP	Nombre	Tiempo	Setpoint 1	Setpoint 2	Setpoint 3	Setpoint 4	Setpoint 5
1		Inicio						
2	120	CIP_Tq_ARRANQUE	Tiempo	00:00:10	0.0	0.0	0.0	0.0
3	121	Tq_LIMP_AGUA	Tiempo	00:10:10	10.0	0.0	0.0	0.0
4	152	Tq_BOMBEAR_DREN	Tiempo	00:07:10	7.0	0.1	0.0	0.0
5	121	Tq_LIMP_AGUA	Tiempo	00:10:10	10.0	0.0	0.0	0.0
6	152	Tq_BOMBEAR_DREN	Tiempo	00:07:10	7.0	0.1	0.0	0.0
7	121	Tq_LIMP_AGUA	Tiempo	00:10:10	10.0	0.0	0.0	0.0
8	152	Tq_BOMBEAR_DREN	Tiempo	00:07:10	7.0	0.1	0.0	0.0
9	135	Tq_ACID_AG>CAV	Tiempo	00:10:10	10.0	0.0	0.0	0.0
10	139	Tq_ACID_DOS+CIRC	Tiempo	01:30:10	90.0	60.0	0.0	0.0
11	152	Tq_BOMBEAR_DREN	Tiempo	00:10:10	10.0	0.1	0.0	0.0
12	121	Tq_LIMP_AGUA	Tiempo	00:15:10	15.0	0.0	0.0	0.0
13	152	Tq_BOMBEAR_DREN	Tiempo	00:07:10	7.0	0.1	0.0	0.0
14	121	Tq_LIMP_AGUA	Tiempo	00:15:10	15.0	0.0	0.0	0.0
15	152	Tq_BOMBEAR_DREN	Tiempo	00:07:10	7.0	0.1	0.0	0.0
16	121	Tq_LIMP_AGUA	Tiempo	00:15:10	15.0	0.0	0.0	0.0
17	152	Tq_BOMBEAR_DREN	Tiempo	00:07:10	7.0	0.1	0.0	0.0
18	142	Tq_DEST_PUMP_DRE	Tiempo	00:04:10	4.0	0.0	0.0	0.0
19	152	Tq_BOMBEAR_DREN	Tiempo	00:07:10	7.0	0.1	0.0	0.0

Fuente: [Fotografía de Edgar Morales]. (programa en línea de los tanques de almacenaje de cerveza filtrada, en la planta productora de cerveza de Guatemala. 2019). Planta productora de cerveza, Guatemala.

Apéndice 7. Tanques de almacenaje de cerveza filtrada



Fuente: [Fotografía de Edgar Morales]. (tanques de almacenaje de cerveza filtrada en la planta productora de cerveza de Guatemala. 2019). Planta productora de cerveza, Guatemala.

Apéndice 8. Matriz de coherencia

Matriz de Coherencia					
Objetivos Específicos	Variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica	Plan de Trabajo
1. Evaluar la eficiencia del ácido / desinfectante tomando en cuenta la microbiología y parámetros de calidad, de los equipos y producto.	Efectividad de la limpieza del equipo	Cuantitativa	UFC: unidad formadora de colonias.	Observación microscópica	% de satisfactorias de cuenta total, en agua de enjuague de equipo. % de satisfactorias de levaduras, en agua de enjuague de equipo. Tablas de datos.
			mL: mililitros.		
			Recuento total < de 25 UFC/100ml		
			Coliforme 0 UFC/100ml		
			Moho y levadura < de 10 UFC/100ml		
2. Determinar el ahorro de tiempo, agua y químicos en el proceso de ácido / desinfectante, mediante un estudio económico.	Ahorro de tiempo	Cuantitativa	to: tiempo inicial	Promedio y desviación estándar.	Interpretación de resultados por medio de gráficas y tablas de Excel para evaluar las dos propuestas.
			tf: tiempo final		
			UL=kg+M3		
			Cip M = (tf-to)*UL		
	Ahorro de agua	Cuantitativa	Costo = M3*Q		
			M3: metro cúbico		
			Q: Quetzales		
	Ahorro de químicos	Cuantitativa	Costo=kg*Q		
			kg: kilogramo		
			Q: Quetzales		
3. Establecer un procedimiento que garantice la efectividad del CIP de 5 pasos en la industria cervecera	Receta de limpieza CIP a 5 pasos	Cuantitativa	t: tiempo	Promedio y desviación estándar.	Procedimiento para adoptar en la práctica para el sistema de limpieza CIP en los tanques de cerveza filtrada.
			mS: conductividad milisiemens		
	Diagrama de proceso	Cuantitativa	t: tiempo	Promedio y desviación estándar.	
			mS: conductividad milisiemens		

Fuente: elaboración propia.

