



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA 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 A REALIZARSE  
EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE CERVEZA UBICADA EN LA CIUDAD DE  
GUATEMALA**

**Edgar Augusto Morales Reyes**

Asesorado por la Inga. Claudia Carolina Ronquillo Blau

Guatemala, julio de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA 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 A 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 INGENIERÍA  
POR

**EDGAR AUGUSTO MORALES REYES**  
ASESORADO POR INGA. CLAUDIA CAROLINA RONQUILLO BLAU

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, JULIO DE 2020

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	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADOR	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
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:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA 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 A 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.



**Edgar Augusto Morales Reyes**

Ref. EEPFI-359-2020  
Guatemala, 03 de marzo de 2020

Director  
Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía  
Escuela de Ingeniería Química  
Presente.

Estimado Ing. Álvarez:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: PROPUESTA DE DISEÑO PARA 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, EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE CERVEZA EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante **Edgar Augusto Morales Reyes** carné número **200914945**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Gestión Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular,

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

Mtra. Claudia Carolina Ronquillo Blau  
Asesora

Mtro. Carlos Humberto Aroche Sandoval  
Coordinador de Maestría  
Gestión Industrial

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotti  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Edificio T-5, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala, Centroamérica  
EIQD-REG-SG-007

Ref.EEP.EIQ.006.2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **PROPUESTA DE DISEÑO PARA 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, EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE CERVEZA EN GUATEMALA,** presentado por el estudiante universitario Edgar Augusto Morales Reyes, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.



*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Williams G. Álvarez Mejía: M.I.Q., M.U.I.E.  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, marzo de 2020



Agencia Certificadora de Acreditación  
Tercer Nivel de Acreditación



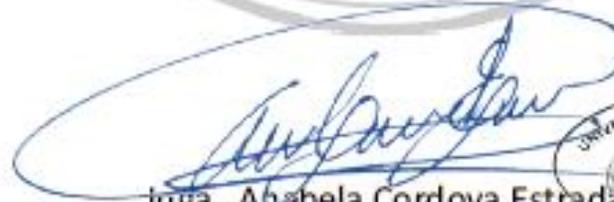
Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



DTG. 414.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA 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 A REALIZARSE EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE CERVEZA UBICADA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Edgar Augusto Morales Reyes**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, noviembre de 2020

AACE/asga

## **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 en siempre darme lo mejor, formándome en el hombre que soy ahora. Gracias por su esfuerzo, lucha y estar siempre apoyándome 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.

### **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, Mabby, Karina, Lorena, Rolando, Eduardo, Javier y Mario Alberto Morales, 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 y amigas** 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, Fernando Sutuc. Porque sin cada uno de ustedes este camino no hubiera sido igual, lleno de aventuras y buenos recuerdos.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
TABLAS .....	VIII
LISTADO DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	7
3.1 Descripción del problema .....	7
3.2 Formulación del problema .....	8
3.2.1 Pregunta central .....	8
3.2.2 Preguntas auxiliares de investigación.....	8
3.3 Delimitación del problema .....	9
3.4 Hipótesis.....	9
3.4.1 Hipótesis alternativa ha .....	9
3.4.2 Hipótesis nula $h_0$ .....	10
3.5 Viabilidad de la investigación .....	10
3.6 Consecuencias de realizar la investigación .....	10
3.6.1 La realización .....	10
3.6.2 De no realizarse.....	11
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS.....	15
5.1 Objetivo general .....	15

5.2	Objetivos específicos .....	15
6.	NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
6.1	Etapas de la investigación .....	17
7.	MARCO TEÓRICO .....	19
7.1	Elaboración de la cerveza.....	19
7.1.1	Ingredientes básicos para la elaboración de la cerveza.....	19
7.1.2	Producción de mosto .....	21
7.1.3	Fermentación .....	23
7.1.4	Filtración y envasado .....	24
7.2	Evaluación y optimización de equipos de limpieza CIP.....	24
7.2.1	Tipos de limpieza .....	25
7.2.2	Métodos de limpieza .....	25
7.2.3	Proceso de limpieza manual .....	25
7.2.4	Sistema de limpieza en el sitio CIP.....	26
7.2.5	Agentes de limpieza.....	26
7.2.6	Detergentes.....	27
7.2.7	Mecanismos de acción de los detergentes de limpieza .....	28
7.2.8	Clasificación de los detergentes .....	28
7.2.8.1	Alcalinos.....	28
7.2.8.2	Ácidos.....	29
7.2.8.3	Surfactantes .....	29
7.2.8.4	Secuestrante .....	30
7.2.9	Desinfección.....	30
7.2.9.1	Propiedades de los desinfectantes.....	30

7.2.10	Mecanismos de acción de los agentes desinfectantes.....	31
7.2.10.1	Desintegración de la estructura de la célula .....	32
7.2.10.2	Interferencia energética celular.....	32
7.2.10.3	Síntesis de proteínas e interferencia con el crecimiento celular .....	32
7.2.11	Factores que intervienen en la desinfección química .....	33
7.2.11.1	Naturaleza química de la sustancia .....	33
7.2.11.2	Presencia de materia orgánica .....	33
7.2.11.3	Temperatura .....	33
7.2.11.4	Tiempo de contacto .....	34
7.2.11.5	Concentración del desinfectante.....	34
7.2.11.6	Concentración de iones de hidrógeno (pH).....	34
7.2.12	Tipos de desinfección .....	34
7.2.12.1	Desinfección en forma física.....	35
7.2.12.2	Desinfección en forma química.....	35
7.2.13	Limpieza automática.....	37
7.2.14	Insumos .....	38
7.2.15	Actividades .....	38
7.2.16	Variables del proceso de saneamiento de líneas de producción .....	40
7.2.17	Tiempo.....	40
7.2.17.1	Fase 1.....	41
7.2.17.2	Fase 2.....	41
7.2.17.3	Fase 3.....	42
7.2.18	Temperatura .....	42

7.2.19	Concentración .....	44
7.2.20	Solubilidad.....	45
7.3	Principios básicos de la remoción de residuos.....	46
7.3.1	Componentes .....	47
7.3.1.1	Agua.....	47
7.3.1.2	Agentes alcalinos .....	47
7.3.1.3	Agentes ácidos.....	48
7.3.2	Turbulencia.....	48
7.3.3	Equipos sanitarios de la tecnología CIP .....	50
7.3.3.1	Conceptos sanitarios para el procesamiento de líneas .....	50
7.3.3.2	Detalles para la construcción del equipo.....	51
7.3.3.3	Tubería sanitaria .....	51
7.3.3.4	Accesorios sanitarios .....	52
7.3.3.5	Placas de acople .....	52
7.3.3.6	Válvulas.....	52
7.3.3.7	Válvulas de mariposa .....	53
7.3.3.8	Válvulas de globo .....	53
7.3.3.9	Válvulas de globo de doble asiento.....	54
7.3.3.10	Bombas centrífugas .....	55
7.3.4	Circuitos de limpieza .....	57
7.3.4.1	Circuito abierto .....	57
7.3.4.2	Circuito cerrado .....	58
7.3.5	Limpieza de tanques .....	59
7.3.6	Accesorios para la limpieza de tanques .....	60
7.3.6.1	Circuito cerrado .....	60
7.3.7	Tipos de sistemas de limpieza automatizados CIP .....	61

7.3.7.1	Sistema sin recirculación de soluciones de limpieza o agua de enjuague.....	61
7.3.7.2	Sistema con recirculación de soluciones de limpieza y agua de enjuague.....	62
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO .....	65
9.	METODOLOGÍA DEL TRABAJO .....	69
9.1	Enfoque mixto .....	69
9.2	Diseño .....	69
9.3	Tipo de estudio.....	70
9.4	Alcance.....	71
9.5	Variables e Indicadores.....	71
9.5.1	Variables dependientes .....	71
9.5.2	Variables independientes .....	72
9.6	Operativización de variables .....	73
9.7	Fases de la investigación.....	74
9.8	Población y muestra.....	75
9.9	Técnicas y metodologías.....	75
9.10	Resultados esperados de la investigación .....	76
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	77
10.1	Análisis estadístico.....	77
10.2	Plan de análisis de resultados.....	77
10.2.1	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables .....	77

10.2.2	Programas para utilizar para análisis de datos .....	78
11.	CRONOGRAMA .....	79
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	81
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	83
14.	APÉNDICES .....	87

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Carga orgánica del sistema CIP procedente de la línea de producción durante las diferentes etapas del ciclo de limpieza. ....	39
2.	Efecto de la temperatura de la solución de limpieza básica con respecto a la eficiencia del ciclo. ....	44
3.	Relación entre flujo volumétrico y velocidad para diferentes diámetros de tubería. ....	50
4.	Direcciones de flujo posibles en una válvula de globo .....	53
5.	Puntos muertos en <i>manifolds</i> de válvulas de globo. ....	54
6.	Válvula <i>mix proof</i> direcciones de flujo posibles en una válvula de globo. ....	55
7.	Diagrama de bomba CIP para un tanque de abastecimiento. ....	56
8.	Diagrama completo de sistema CIP para un circuito abierto. ....	58
9.	Puntos muertos durante el lavado de un taque de abastecimiento utilizando <i>spray balls</i> . ....	61
10.	Lavado de un tanque de abastecimiento sin reutilización de soluciones de limpieza o agua de enjuague. ....	62
11.	Cronograma del trabajo de investigación. ....	79

## TABLAS

I.	Descripción de la fase 1 de limpieza de un sistema CIP.....	41
II.	Temperaturas del agua y soluciones alcalina y ácida para un sistema CIP .....	42
III.	Solubilidad de constituyentes comunes en la industria alimenticia .....	45
IV.	Flujo volumétrico dentro de una tubería para diferentes diámetros .....	59
V.	Volúmenes de descarga estándares para soluciones sanitizantes de acuerdo al volumen y dimensiones del tanque .....	60
VI.	Operativización de variables .....	73
VII.	Presupuesto relacionado a la investigación .....	82

## LISTADO DE SÍMBOLOS

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



## **GLOSARIO**

<b>BBT</b>	Briht Beer Tank. Traducido al español: tanques de cerveza brillante, comúnmente conocidos como tanques de gobierno.
<b>Cerveza</b>	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.
<b>CIP</b>	Clean In Place. Traducido al español: limpieza en sitio sin desarmar equipos.
<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas.
<b>Coliformes</b>	Bacterias que tienen ciertas características bioquímicas en común.
<b>Desinfectante</b>	Sustancia o producto que elimina los microorganismos evitando su crecimiento y desarrollo.
<b>Detergente</b>	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.

# 1. INTRODUCCIÓN

Se pretende optimizar la operación y el proceso de un sistema de limpieza CIP a 5 pasos, para cumplir con todas las condiciones establecidas y garantizar los estándares de higiene en la industria cervecera. También es importante la optimización de estas para lograr una limpieza más rápida, ahorrar recursos y reducir costos en soluciones de limpieza. Situaciones como velocidades y concentraciones bajas de los agentes de limpieza, dentro de las tuberías, pueden incidir en la calidad de los productos elaborados, tiempo y dinero de la empresa.

La fábrica productora de cerveza presenta un alto costo por circuitos de limpieza CIP de 7 pasos debido a la alta demanda de producción, la falta de optimización de dicho sistema incurre en el incremento de uso de soluciones de limpieza, energía eléctrica y pago de horas extras al personal. El objetivo de un buen programa de limpieza, incluyendo la desinfección, es lograr que un equipo o superficie que entra en contacto con los alimentos quede libre de residuos sólidos a un costo bajo. Los sistemas de limpieza en sitio, o Clean in Place (CIP), son los más utilizados para el lavado de equipos y tuberías, debido a su facilidad en la automatización del sistema y su adaptación a la industria alimenticia y cervecera.

Los sistemas CIP siguen como norma básica el ciclo de enjuague inicial (con agua), lavado con soluciones básicas, segundo enjuague, lavado con soluciones ácidas y enjuague final. En cada una de las etapas, el agua de enjuague y las soluciones deben de cumplir con estándares de temperatura, concentración, tiempo de exposición y flujo volumétrico, por lo cual se centrará el

estudio de investigación en optimizar estas condiciones de proceso. Realizando estudios microbiológicos de acuerdo a la Norma COGUANOR (coliformes NGO 34 155 h3, recuento total NGO 34 155 h2 y moho-levadura NGO 34 155 h4), se determinará si es factible o no, para la fábrica y así obtener un ahorro en costos.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizarán métodos empíricos, estos se basan en la experimentación y análisis de datos estadísticos, ya que posibilitan la interpretación conceptual de los datos empíricos encontrados. Se recopilará la información por medio de la experimentación científica y se comparará con datos históricos recopilados para elaborar una propuesta final que aporte un desarrollo viable para la operación.

El contenido propuesto para el informe final comprenderá el capítulo uno, el marco teórico abarca todas las bases de la investigación. El capítulo dos, se determina el problema y su solución. El capítulo tres, se recolecta la información y se determinan los resultados. El capítulo cuatro, se realiza la discusión de resultados y conclusiones. El capítulo cinco, se elabora la propuesta final. Por último, el capítulo seis, la elaboración y entrega del informe final.

## 2. ANTECEDENTES

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). La mayoría de las industrias de productos lácteos, bebidas carbonatadas y no carbonatadas, alimentos, elaboración de cerveza y productos farmacéuticos tienen procesos automatizados de CIP debido a los altos estándares de higiene que deben de cumplir.

En su tesis, 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 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)

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 conocimientos 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.

En la actualidad, 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, 1993, p.217). Cuando se tiene un constante uso de los agentes de limpieza alcalinos no resulta factible la filtración de los mismos. 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.

Por la evolución constante y necesidad de optimizar procedimientos garantizando los estándares de calidad. El trabajo de investigación pretende establecer un diseño de optimización en 5 pasos a temperatura ambiente, en sustitución de un procedimiento de 7 pasos en las mismas condiciones, utilizando un producto que cumpla con el poder ácido y desinfectante en un solo paso. Se obtiene un ahorro en tiempo, agua, recurso humano y químicos aplicados en la industria cervecera.



### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

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.

#### **3.1 Descripción del problema**

El sistema de limpieza CIP convencional está compuesto de 7 pasos, agua, soda cáustica, agua, ácido, agua, desinfectante, agua, para garantizar la inocuidad del equipo. Al agua del enjuague final, que es el último paso de CIP de estos equipos, se realiza un análisis microbiológico para determinar la ausencia de bacterias y residuos sólidos, y garantizar una limpieza efectiva. Esto conlleva un tiempo de realización de aproximadamente 6 horas, lo que incurre en gastos de horas hombre, electricidad, consumo de agua y tiempo de operación. Al no contar con una evaluación para optimizar el sistema CIP a uno de 5 pasos, utilizando un ácido-desinfectante, se incrementan todos estos gastos de operación anteriormente mencionados.

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. El equipo de aseguramiento de calidad es el encargado de tomar las muestras de las últimas aguas del enjuague, después de culminar todos los pasos del sistema de limpieza CIP para su análisis y entrega de resultados una semana después.

La fábrica de cerveza no cuenta con un diseño de un sistema de limpieza CIP de 5 pasos para los tanques de gobierno y líneas de distribución de cerveza, 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.

### **3.2 Formulación del problema**

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

#### **3.2.1 Pregunta central**

¿Cuál es el sistema de limpieza CIP a 5 pasos a temperatura ambiente, para la industria cervecera?

#### **3.2.2 Preguntas auxiliares de investigación**

- ¿Cuál es la eficiencia del ácido-desinfectante tomando en cuenta la microbiología y parámetros de calidad de los equipos y producto?

- ¿Qué ahorro de tiempo, agua y químicos en el proceso de ácido-desinfectante mediante un estudio económico?
- ¿Cuál es el procedimiento que garantice la efectividad del CIP de 5 pasos en la industria cervecera?

### **3.3 Delimitación del problema**

El trabajo de investigación se realizará en la línea de producción de tanques de gobierno y distribución de cerveza de la fábrica Industria Cervecera S.A., en Guatemala. El periodo de ejecución de la investigación será desde el mes de junio del 2019 a noviembre de 2020.

### **3.4 Hipótesis**

Con el sistema de limpieza interna CIP de 5 pasos se obtendrá una limpieza igual de efectiva y eficiente de los equipos y tuberías, que utilizando un sistema de limpieza interna CIP de 7 pasos. Cada ciclo limpieza CIP a un costo de operación menor.

#### **3.4.1 Hipótesis alternativa $h_a$**

$H_a$ , = La efectividad de limpieza del sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos no es igual a la efectividad de limpieza del sistema de limpieza interna CIP a 7 pasos. Ambas evaluadas para un mismo ciclo de limpieza CIP del mismo tanque de cerveza filtrada.

### **3.4.2 Hipótesis nula $h_0$**

$H_0$ , = La efectividad de limpieza del sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos es igual a la efectividad de limpieza del sistema de limpieza interna CIP a 7 pasos, ambas evaluadas para un mismo ciclo de limpieza CIP del mismo tanque de cerveza filtrada.

### **3.5 Viabilidad de la investigación**

La fábrica Industria Cervecera S.A. autoriza la ejecución del trabajo de investigación, proporcionando toda la documentación necesaria para los datos históricos, también los insumos de limpieza, equipos industriales y recurso humano necesario para realizar el estudio. De igual manera, los gastos y costos en los que se incurra para realizar la investigación.

### **3.6 Consecuencias de realizar la investigación**

Se analizan los beneficios y consecuencias de realizar la propuesta de diseño de los sistemas de limpieza en sitio para la fábrica industria cervecera.

#### **3.6.1 La realización**

- Garantizar que la limpieza sea efectiva cumpliendo con la norma realizando estudios microbiológicos de acuerdo con la Norma COGUANOR (coliformes NGO 34 155 h3, recuento total NGO 34 155 h2 y moho levadura NGO 34 155 h4).
- Ahorro de costos de energía eléctrica y agua.

- Ahorro de tiempo en la limpieza interna CIP semanal, lo que aumenta el tiempo de producción.
- Optimización de insumos de limpieza interna CIP teniendo un ahorro mensual considerable.
- Eficiencia de procesos logísticos de limpieza y producción.

### **3.6.2 De no realizarse**

- Deficiencias en la optimización de recursos eléctricos e hídricos, así como costos en insumos para la limpieza interna CIP.
- Pérdida de la mejora continua en procesos de limpieza y procesos logísticos.
- Falta de versatilidad en la ejecución del sistema de limpieza CIP, mala optimización de los tiempos de limpieza.



## 4. JUSTIFICACIÓN

La línea de investigación de la maestría de gestión industrial, y con la que se realiza el 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.

El trabajo de graduación surge debido a que se desea realizar un ahorro en el uso de químicos utilizados para la limpieza en sitio, de los equipos utilizados en el proceso de producción de almacenamiento y distribución de cerveza en una industria cervecera. Para ello se analizará el histórico de datos que se tienen en el sistema y se compararan con los datos del nuevo diseño del sistema CIP. Por lo que, este trabajo buscará investigar, comparar y dar respuesta a los objetivos de tener una limpieza optima, realizando un análisis comparativo en los resultados microbiológicos, para los cuales sus resultados no deberían de variar o podrían ser mejores.

Tomando en cuenta el ahorro que se pretende realizar en la utilización de un ácido-desinfectante, garantizando la efectividad de limpieza. Se tendría que ver un aumento en las horas productivas y utilización del equipo, menor gasto energía eléctrica, una disminución en el uso de enjuagues y ahorro de agua. Por supuesto, un menor impacto ambiental.

La motivación del investigador es el de aportar soluciones prácticas y cuantificables para la optimización de recursos y mejoras en los procesos. Los cuales pueden servir de base para futuros proyectos de investigación de este tipo.

Uno de los principales beneficios es el ahorro en tiempos de limpieza interna en tanques de cerveza filtrada optimizando su automatización, teniendo ahorros en energía y agua; contribuyendo con el impacto ambiental. Se tendría un ahorro en el pago de horas extras por los trabajos de limpieza extendidos en el fin de semana y supervisión del personal.

Se ven principalmente beneficiados el sector cervecero, ya que la inocuidad es la base para garantizar la calidad, que es lo que se busca mantener con la optimización de un sistema de limpieza interna CIP a 5 pasos, el cual se podría replicar al sector alimenticio o de bebidas carbonatadas y no carbonatadas.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema de limpieza CIP de 5 pasos a temperatura ambiente, para la industria cervecera.

### **5.2 Objetivos específicos**

- Evaluar la eficiencia del ácido-desinfectante tomando en cuenta la microbiología y parámetros de calidad, de los equipos y producto.
- Determinar el ahorro de tiempo, agua y químicos en el proceso de ácido-desinfectante mediante un estudio económico.
- Establecer un procedimiento que garantice la efectividad del CIP de 5 pasos en la industria cervecera.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

La principal necesidad que cubrir en el aspecto laboral con el estudio de investigación es diseñar un sistema de limpieza CIP de 5 pasos en sustitución de un sistema de limpieza CIP de 7 pasos en la fábrica de cerveza industrial de Guatemala.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizarán métodos empíricos y teóricos, así como experimentales. Estos métodos se basan en la experimentación y análisis de datos estadísticos, ya que posibilitan la interpretación conceptual de los datos empíricos encontrados. Se recopilará la información por medio de la experimentación científica y se comparará con datos históricos recopilados para elaborar una propuesta final que aporte un desarrollo viable para la operación.

### **6.1 Etapas de la investigación**

Primera etapa: corresponde a la revisión documental y literaria para la recolección de información para la elaboración del diseño y protocolo de tesis.

Segunda etapa: conocimiento de utilización del equipo y métodos para efectuar los análisis correspondientes y parámetros de control en el sistema de limpieza CIP. Recolección de muestras y análisis de estas.

Tercera etapa: diseño de la optimización del sistema CIP, mediante la información previamente recolectada e implementación del nuevo procedimiento de limpieza de 5 pasos.

Cuarta etapa: analizar las variaciones de los datos obtenidos con los datos históricos. Identificar las causas de variación y proponer puntos de mejora. Elaboración del informe final de investigación y presentación del proyecto a la fábrica industrial de cerveza.

## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1 Elaboración de la cerveza**

La elaboración de cerveza comprende de dos bloques. 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 en el grano de malta. 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 para la elaboración de 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).

#### **7.1.1 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: su nombre científico es *Humulus lupulus*. Es una planta de la familia de las *cannabis*, la cual es trepadora, da el sabor amargo característico de la cerveza y ayuda a la estabilización de la espuma. La mayoría de los lúpulos de Estado 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 (CO<sub>2</sub>) durante el proceso de fermentación. De acuerdo con su temperatura, la fermentación puede ser alta si trabaja entre los 18 °C a 35 °C. Se utiliza levadura provenientes de la familia de las *Saccharomyces cerevisiae* que generan cervezas tipo Ale y las que trabajan en temperatura entre los 7 °C y 17 °C, donde se utiliza levadura proveniente de la familia de las *Saccharomyces carlsbergensis* ó *Saccharomyces uvarum*. Se precipitan al fondo y 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 otro tipo 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.):

- Producción de mosto para elaborar cerveza.
- Fermentación del mosto en cerveza.
- Filtración de la cerveza madura.
- Envasado y embotellado.

### **7.1.2 Producción de mosto**

Primero los ingredientes se esterilizan y se limpian 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 al estilo de cerveza que se desea fabricar. Esta mezcla luego se hierve 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. Antes 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.

### **7.1.3 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. 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 contantemente 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 azucares 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 CO<sub>2</sub> 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.

#### **7.1.4 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.

### **7.2 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.

### **7.2.1 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.

### **7.2.2 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.

### **7.2.3 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.

#### **7.2.4 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 empleada 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. Garcia (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).

#### **7.2.5 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.

### **7.2.6 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.

### **7.2.7 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.

### **7.2.8 Clasificación de los detergentes**

Según sus propiedades químicas los detergentes guardan la siguiente clasificación.

#### **7.2.8.1 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, según 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  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , también conocido como ceniza de soda, usado para disolver incrustaciones orgánicas y mugre en general, económico, medianamente alcalino. (p.381)

### **7.2.8.2 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.

### **7.2.8.3 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.

#### **7.2.8.4 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.

#### **7.2.9 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.

##### **7.2.9.1 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.

#### **7.2.10 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.

### **7.2.10.1 Desintegración de la estructura de la célula**

Dañan la estructura ordenada de las proteínas y lípidos de la célula. 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.

### **7.2.10.2 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 ATPasa 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 tetracloresalicilánida, 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.

### **7.2.10.3 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.

## **7.2.11 Factores que intervienen en la desinfección química**

Durante la desinfección intervienen los siguientes factores.

### **7.2.11.1 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.

### **7.2.11.2 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.

### **7.2.11.3 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.

#### **7.2.11.4 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.

#### **7.2.11.5 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.

#### **7.2.11.6 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.

### **7.2.12 Tipos de desinfección**

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

### **7.2.12.1 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 al 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, algunas veces, 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. Termina siendo un método no tan efectivo, por su corta vida útil de la lámpara y su alto costo de mantenimiento.

### **7.2.12.2 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 espora. Cuando se le agrega al agua cloro o hipoclorito, el cloro al reaccionar 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.

Yodóforos: es 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, esta depende de la clase y las proporciones de surfactante se esté agregando. También tienen un amplio rango bactericida, pueden trabajar en concentraciones bajas, no se ven muy afectados por la presencia de materia orgánica como los compuestos clorados. Son efectivos al destruir las paredes de las células.

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. Estos pierden sus propiedades a un pH menor a 5, son buenos humectantes y corrosivos. La materia orgánica no inactiva tan fácilmente sus propiedades.

Ácidos: un 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 hidrogeno 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 los 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).

### **7.2.13 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 a 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.

#### **7.2.14 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).

#### **7.2.15 Actividades**

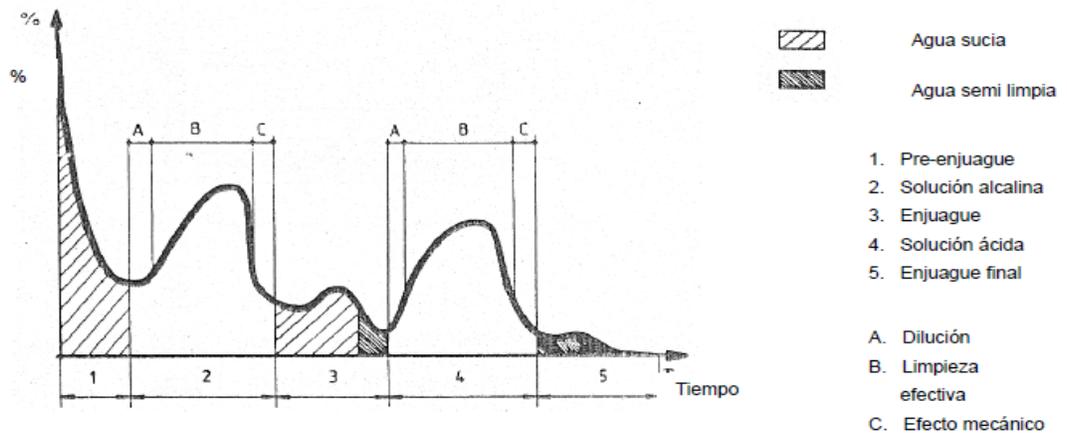
A continuación se describen las actividades propias de la limpieza de líneas de producción que permanecen casi invariables al comparar un sistema manual con un automático de CIP. La diferencia radica, principalmente, en los insumos y la fuente de energía mecánica que se utiliza para llevar a cabo dicha 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 con que etapa del proceso de limpieza se debe de iniciar el CIP. La medida de la carga orgánica en la línea de producción es medida mediante el muestreo visual y químico de la solución de limpieza que se esté utilizando durante el ciclo de limpieza. En la figura 1 presenta un diagrama de cómo se comporta 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, provocando un ahorro de tiempo efectivo de trabajo en un 70 % comparado con la limpieza manual.

#### **7.2.16 Variables del proceso de saneamiento de líneas de producción**

Las variables pueden cambiar de acuerdo con el tipo de producto que se haya encontrado antes en la tubería o equipo.

#### **7.2.17 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. La limpieza manual es prácticamente imposible determinar un tiempo exacto de limpieza, ya que este tiempo depende de la habilidad de los operadores que realicen las actividades de limpieza. 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 del mismo 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.

### 7.2.17.1 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 I. 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*.

### 7.2.17.2 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.

### 7.2.17.3 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.

### 7.2.18 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 II. **Temperaturas del agua y soluciones alcalina y ácida para un sistema CIP**

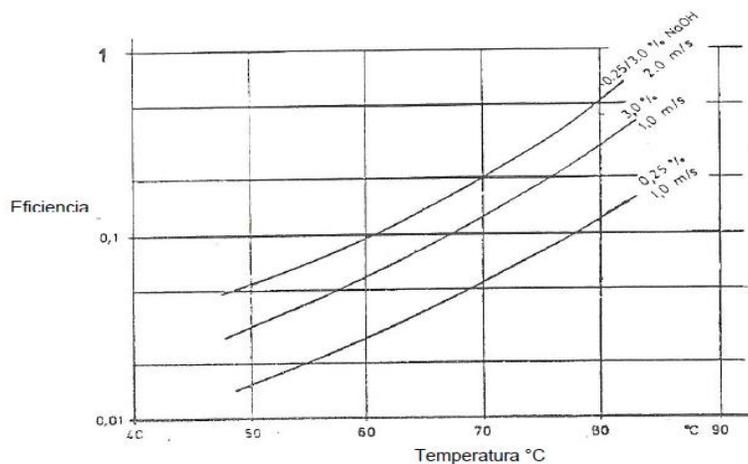
Agua de enjuague	Temperatura ambiente, de 15 a 30°C.
Solución ácida	Temperatura de 60 a 70°C.
Solución alcalina	Temperatura de 70 a 80°C.

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 es posible observar la relación solución de limpieza y una solución de limpieza con su temperatura correspondiente, así como el desempeño de limpieza en la superficie a diferentes concentraciones de dicha solución, a partir de esta gráfica es posible determinar la temperatura y la concentración óptima para alcanzar una eficiencia operacional tanto técnica como 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*.

### 7.2.19 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).

### 7.2.20 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 III. **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*.

### **7.3 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 funciones 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.

### **7.3.1 Componentes**

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

#### **7.3.1.1 Agua**

El agua utilizada como componente principal en la preparación de soluciones o agentes de limpieza, esta 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.

#### **7.3.1.2 Agentes alcalinos**

Principalmente se utilizan tres compuestos químicos como agentes alcalinos en las soluciones de limpieza, estos son:

- Soda cáustica (NaOH)
- Carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)
- Fosfato de sodio (Na<sub>2</sub> PO<sub>4</sub>)

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

### **7.3.1.3 Agentes ácidos**

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

- Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ )
- Ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )

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

### **7.3.2 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.

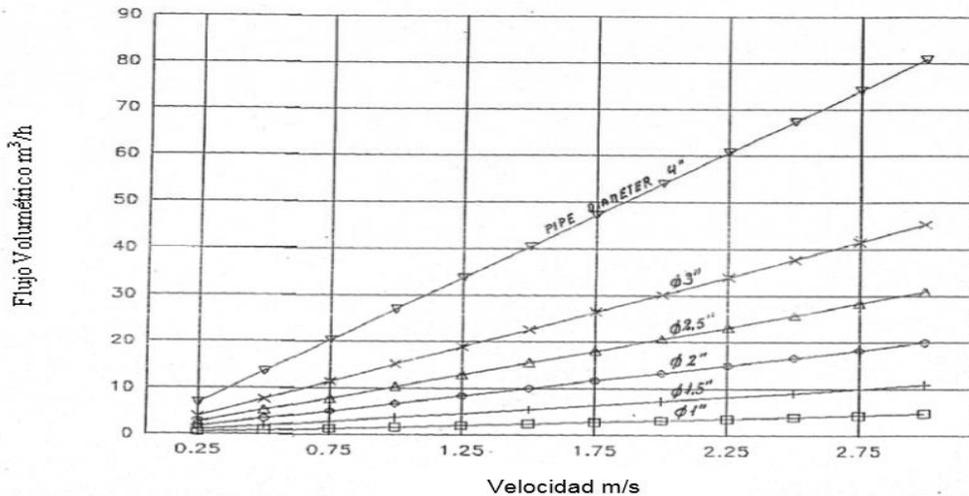
En los sistemas automatizados la bomba centrífuga impulsa el fluido generando turbulencia, lo cual crea la energía mecánica necesaria para limpiar los equipos y tuberías. Dicha energía se disipa por fricción y turbulencia dentro del sistema por el movimiento natural del fluido. Para que limpieza CIP sea efectiva la fricción superficial óptima debe estar dentro del rango de 7 a 10 N/m<sup>2</sup>,

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. En un buen diseño los puntos muertos no deben sobrepasar el doble del diámetro de la tubería.

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



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

### 7.3.3 Equipos sanitarios de la tecnología CIP

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

#### 7.3.3.1 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.

### **7.3.3.2 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 6 mm.
- 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.

### **7.3.3.3 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.

#### **7.3.3.4 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.

#### **7.3.3.5 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.

#### **7.3.3.6 Válvulas**

Las válvulas son los puntos críticos en los sistemas de tubería. Estos elementos deben satisfacer estrictas normas de seguridad e higiene (BPM's). La elección sobre el tipo de válvula a 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.

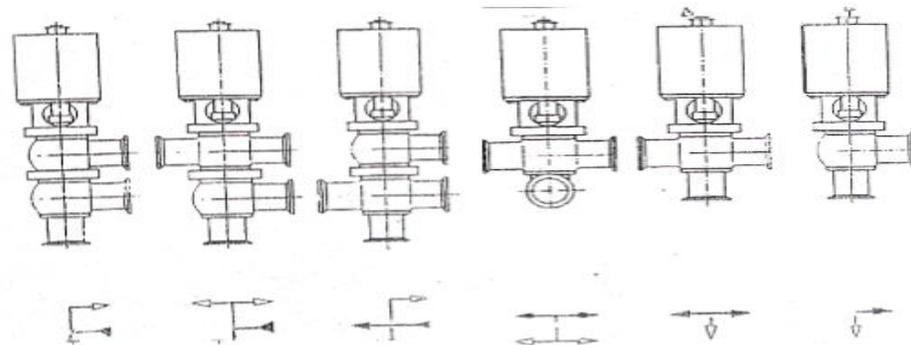
### 7.3.3.7 Válvulas de mariposa

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.

### 7.3.3.8 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



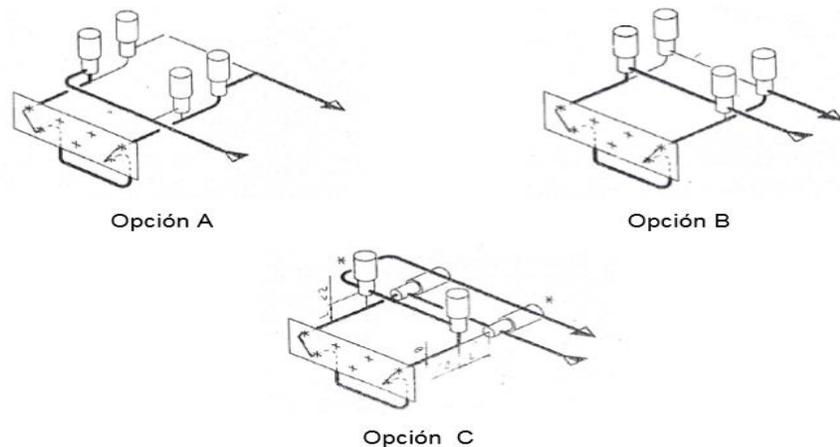
Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

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**

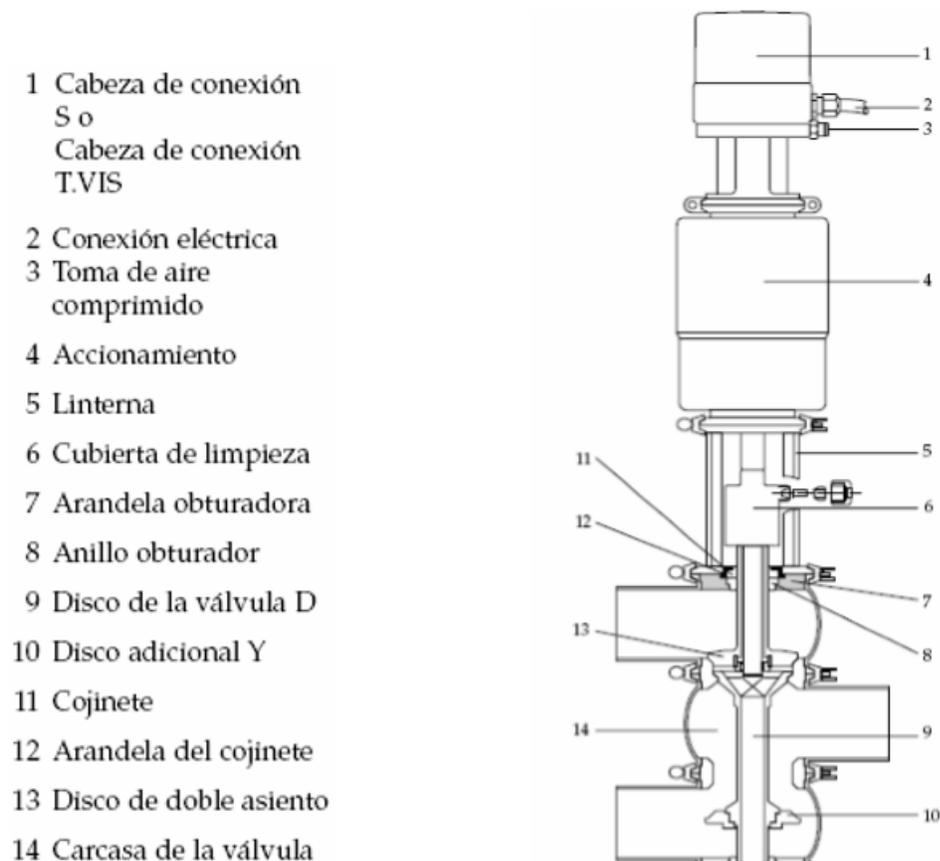


Fuente: Mendoza (1993). *Manual técnico de limpieza en sitio CIP*.

### 7.3.3.9 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**



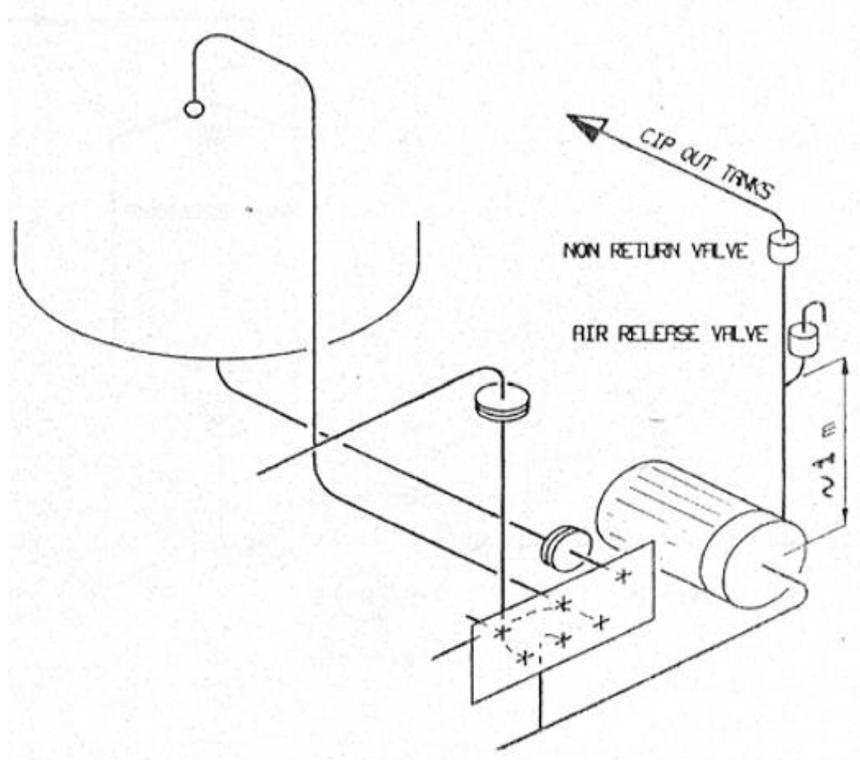
Fuente: Gea T., (2019). *The core component of matrix-pipped process plants. Varivent valves.*

### 7.3.3.10 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.*

### **7.3.4 Circuitos de limpieza**

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

#### **7.3.4.1 Circuito abierto**

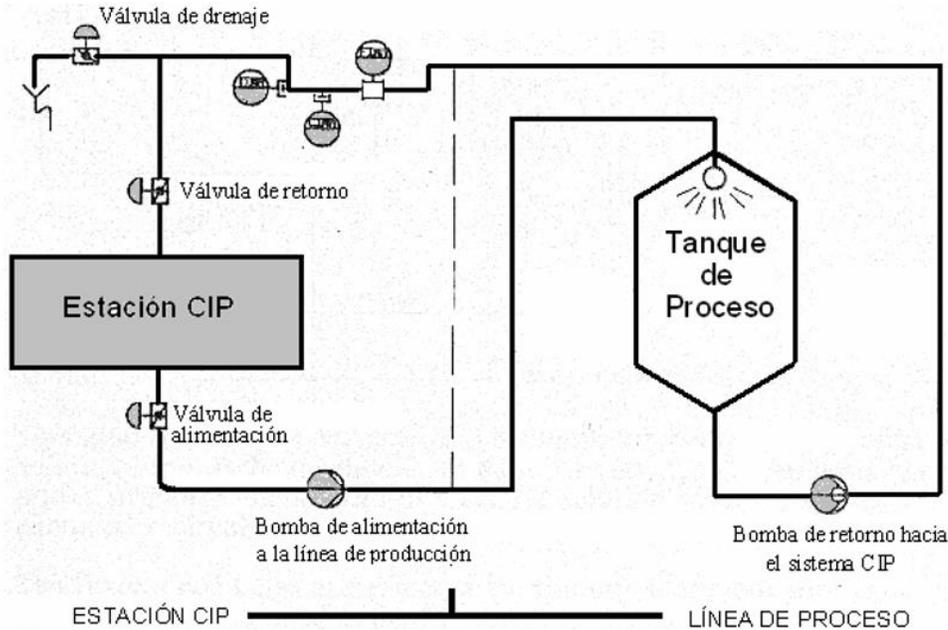
La presencia de un tanque dentro de un circuito de limpieza determina si el mismo es abierto o cerrado. Un circuito abierto es el que requiere de una bomba adicional que provea de energía mecánica al fluido que retorna a la estación CIP debido a que en una de sus etapas se encuentra un tanque que ocasiona una pérdida de presión.

En estos circuitos la acción mecánica de limpieza de los tanques debe de realizarse mediante sprays dirigidos 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 spray 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*.

### 7.3.4.2 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 IV 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 IV. **Flujo volumétrico dentro de una tubería para diferentes diámetros**

Diámetro de tubería (pulgadas)	Flujo volumétrico (m <sup>3</sup> /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*.

### 7.3.5 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 m<sup>3</sup>/h y para diámetros iguales a 3 m se presentan flujos de entre 15 y 27 m<sup>3</sup>/h. En la Tabla V 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 V. **Volúmenes de descarga estándares para soluciones sanitizantes de acuerdo al volumen y dimensiones del tanque**

Tanque m <sup>3</sup>	Diámetro m	Altura m	Rango de flujo		Tubería pulgadas
			<i>mínimo</i> 0.06dm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .s m <sup>3</sup> /h	<i>máximo</i> 0.08dm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .s m <sup>3</sup> /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.*

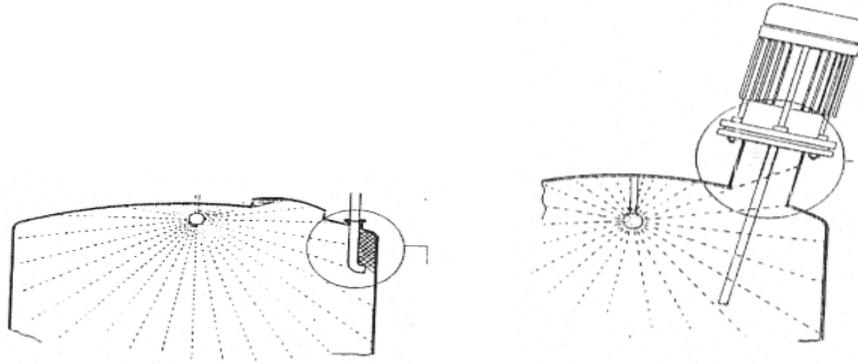
### 7.3.6 Accesorios para la limpieza de tanques

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.

#### 7.3.6.1 Circuito cerrado

Existen varios equipos de dispersión en el mercado, pero por razones de costo y simplicidad se recomiendan las esferas llamadas Spray Balls. Al momento de limpiar equipos con estos instrumentos es necesario eliminar cualquier punto muerto del sistema. Se explica en la figura 9.

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



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

### **7.3.7 Tipos de sistemas de limpieza automatizados CIP**

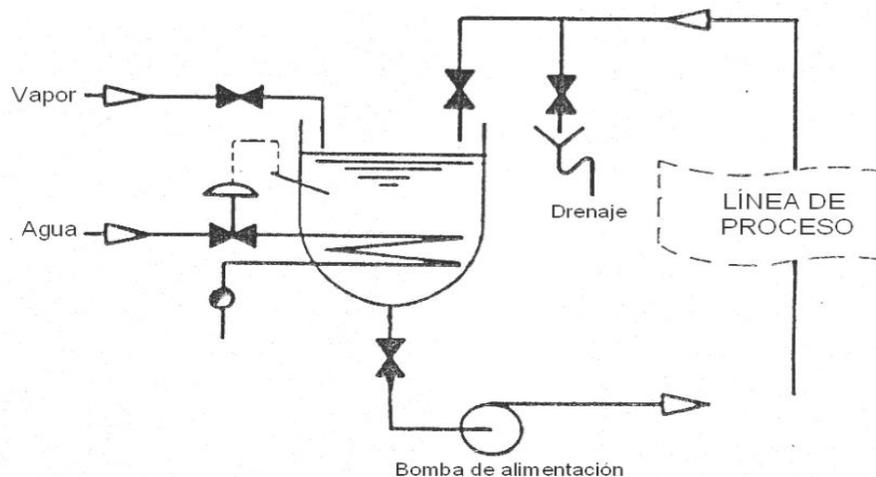
Se diferencian por tener circuitos integrados para el control de apertura y cierre de válvulas, motores y drenajes. También se pueden programar sensores de nivel y programar cadenas de proceso.

#### **7.3.7.1 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*.

### 7.3.7.2 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. Por lo tanto, es posible realizar las correcciones de pH una vez por turno o mediante sistemas de dosificación automatizados.

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.



## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS E HIPÓTESIS (CUANDO PROCEDA)

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1 Elaboración de la cerveza

1.1.1 Ingredientes básicos para la elaboración de la  
cerveza

1.1.2 Producción de mosto

1.1.3 Fermentación

1.1.4 Filtración y envasado

#### 1.2 Evaluación y optimización de equipos de limpieza CIP

1.2.1 Tipos de limpieza

1.2.2 Métodos de limpieza

1.2.3 Proceso de limpieza manual

1.2.4 Sistema de limpieza en el sitio CIP

1.2.5 Agentes de limpieza

1.2.6 Detergentes

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

- 1.2.14 Insumos
- 1.2.15 Actividades
- 1.2.16 Variables del proceso de saneamiento de líneas de producción
- 1.2.17 Tiempo
  - 1.2.17.1 Fase 1
  - 1.2.17.2 Fase 2
  - 1.2.17.3 Fase 3
- 1.2.18 Temperatura
- 1.2.19 Concentración
- 1.2.20 Solubilidad
- 1.3 Principios básicos de la remoción de residuos
  - 1.3.1 Componentes
    - 1.3.1.1 Agua
    - 1.3.1.2 Agentes alcalinos
    - 1.3.1.3 Agentes ácidos
  - 1.3.2 Turbulencia
  - 1.3.3 Equipos sanitarios de la tecnología CIP
    - 1.3.3.1 Conceptos sanitarios para el procesamiento de líneas
    - 1.3.3.2 Detalles para la construcción del equipo
    - 1.3.3.3 Tubería sanitaria
    - 1.3.3.4 Accesorios sanitarios
    - 1.3.3.5 Placas de acople
    - 1.3.3.6 Válvulas
    - 1.3.3.7 Válvulas de mariposa
    - 1.3.3.8 Válvulas de globo
    - 1.3.3.9 Válvulas de globo de doble asiento

- 1.3.3.10 Bombas centrífugas
- 1.3.4 Circuitos de limpieza
  - 1.3.4.1 Circuito abierto
  - 1.3.4.2 Circuito cerrado
- 1.3.5 Limpieza de tanques
- 1.3.6 Accesorios para la limpieza de tanques
  - 1.3.6.1 Circuito cerrado
- 1.3.7 Tipos de sistemas de limpieza automatizados CIP
  - 1.3.7.1 Sistema sin recirculación de soluciones de limpieza o agua de enjuague
  - 1.3.7.2 Sistema con recirculación de soluciones de limpieza y agua de enjuague

## 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

## 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

ANEXOS

## **9. METODOLOGÍA DEL TRABAJO**

Se presenta la metodología de la investigación donde se describe el diseño, tipo de estudio, alcances, variables e indicadores de fases y resultados esperados.

### **9.1 Enfoque mixto**

El enfoque de la investigación será mixto puesto que se toma en cuenta tanto el enfoque cuantitativo como cualitativo. Se tomará el enfoque cuantitativo, ya que se toman 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 los análisis microbiológicos y la inspección visual. Para evaluar el ahorro económico de la solución ácido-desinfectante, si es que hay una limpieza efectiva de los equipos.

El enfoque cualitativo es para 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.

### **9.2 Diseño**

La investigación es de carácter experimental. Para llevar a cabo la recopilación de la información se realizarán diferentes técnicas. Comenzando por la observación y capacitación en la planta de producción de cerveza.

También en el área de casa de cocimientos 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.

Procesamiento de datos mediante registros de control y tablas comparativas para tabular la información y analizar los datos obtenidos mediante fórmulas estadísticas. 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.

### **9.3 Tipo de estudio**

Se utiliza un tipo de estudio transversal porque la investigación está delimitada en tiempo, existe una fecha de inicio y fin del proyecto. Se miden las variables y propiedades importantes del proceso necesarias para el diseño de un sistema de limpieza CIP de dos pasos en los tanques de gobierno y sistema de distribución de cerveza. Midiendo con la mayor precisión posible los datos y compararlos con datos de los reportes históricos, que se llevan del proceso, para detectar los puntos de mejora.

## **9.4 Alcance**

Descriptivo ya que pretende tener un ahorro en el uso de químicos de limpieza, agua, energía, horas hombre, para los circuitos de limpieza en el sistema CIP de los tanques de gobierno y el sistema de distribución de cerveza, mediante la evaluación del uso de un ácido-desinfectante. Se utilizará el nuevo diseño y se comparará con el anterior sistema, para ver cuál es el que mejor se adapta al proceso y genera resultados más rápidos y confiables. Con el fin de que la fábrica de cerveza pueda aplicar de forma efectiva la utilización de un ácido-desinfectante en todos sus procesos que impliquen limpieza CIP. Finalmente, mediante los registros de los análisis fisicoquímicos se tendrá información importante para validar dicha optimización, y una metodología aprobada y efectiva.

## **9.5 Variables e Indicadores**

Se definen de acuerdo con la forma en que se lleva a cabo la operación, lo cual servirá para la realización de los objetivos.

### **9.5.1 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.

### **9.5.2 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.

## 9.6 Operativización de variables

Es el proceso mediante el cual se transforma la variable de conceptos abstractos a términos concretos, observables y medibles.

Tabla VI. Operativización de variables

Operativización de variables				
Objetivos Específicos	Variable	Tipo de variable	Indicador	Técnica
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. mL: mililitros. Recuento total < de 25 UFC/100ml Coliforme 0 UFC/100ml Moho y levadura < de 10 UFC/100ml	Observación microscópica
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 tf: tiempo final UL=kg+M3 Cip M = (tf-to)*UL Costo = M3*Q	Promedio y desviación estandar.
	Ahorro de agua	Cuantitativa	M3: metro cúbico Q: Quetzales Costo=kg*Q	
	Ahorro de químicos	Cuantitativa	kg: kilogramo Q: Quetzales Costo = KWH*Q	
	Ahorro energético	Cuantitativa	KWH: kilowatt hora Q: Quetzales	
3. Establecer un procedimiento que garantice la efectividad del CIP de 5 pasos en la industria cervecera	Contraste de significación	Cuantitativa	t: valor de t calculada $\bar{x}$ : Media n: número de muestras s: desviación estándar $t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$	El criterio de decisión sobre los valores de t calculado y críticos serán los siguientes: Si t calculada < t crítica entonces Ho es aceptada.
	Grados de libertad	Cuantitativa	G.L.: Grados de libertad n: número de muestra s: desviación estándar Ho: hipótesis nula $G.L. = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{s_1^4}{n_1^2(n_1-1)} + \frac{s_2^4}{n_2^2(n_2-1)}}$	

Fuente: elaboración propia.

## **9.7 Fases de la investigación**

El proceso para cumplir los objetivos del diseño de investigación debe llevarse a cabo de la siguiente forma:

Fase 1: corresponde a la revisión documental y literaria para la recolección de información para la elaboración del diseño y protocolo de tesis.

Fase 2: se procederá a la recolección de muestras del ultimo enjuague en la limpieza CIP y sus respectivos análisis de laboratorio para continuar con la tabulación de los resultados en tablas.

Fase 3: se realizará el análisis estadístico de datos y la presentación de los resultados mediante gráficas y diagramas que describan el comportamiento para la generación de resultados y conclusiones.

Fase 4: en función a las conclusiones derivadas del análisis se evaluará la propuesta del diseño un sistema de limpieza CIP de 5 pasos mediante la utilización de un ácido-desinfectante, en el área de tanques de gobierno y sistema de distribución, en la fábrica industria cervecera S.A.

Fase 5: realizar el estudio económico para verificar el ahorro de tiempo, agua y químicos con la mejora del sistema de limpieza CIP de 2 pasos. Realización del informe final y presentación de resultados a la industria cervecera.

## 9.8 Población y muestra

Para la recolección de muestras en total se analizarán 12 equipos para evaluar la efectividad de la limpieza. La fórmula siguiente se calcula 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 analizarán los 12 equipos, los cuales tienen que cumplir con los indicadores de microbiología y fisicoquímicos utilizando ambos sistemas de limpieza CIP.

## 9.9 Técnicas y metodologías

- Se utilizará la técnica de la observación microscópica para la determinación de microorganismos, identificados en la norma COGUANOR.
- Se realizarán análisis estadísticos para comparar los sistemas de limpieza interna CIP de 5 pasos y 7 pasos. Tener varios datos de comparación de los resultados microbiológicos, temperatura, presión, volumen y velocidad.
- Graficas de barras y lineales para determinar tendencias de todos los equipos. Tener una visión grafica de comparación entre ambos sistemas de limpieza interna CIP.

## **9.10 Resultados esperados de la investigación**

Al finalizar en informe final de investigación se espera ver reflejado que el sistema de limpieza interna CIP de 5 pasos es el más efectivo para este tipo de operaciones industriales teniendo un ahorro significativo en tiempo y recursos.

## **10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN**

### **10.1 Análisis estadístico**

Se utilizará la estadística descriptiva para el análisis de la información, esto incluye promedio, desviación estándar, contraste de significación y coeficiente de correlación de Pearson.

### **10.2 Plan de análisis de resultados**

Para este fin, se utilizarán diferentes métodos, modelos y análisis de datos los cuales se describen a continuación.

#### **10.2.1 Métodos y modelos de los datos según tipo de variables**

Los datos obtenidos de los análisis serán analizados gráfica, matemática y estadísticamente, para evaluar las variaciones presentes.

Diagrama Ishikawa, el cual servirá para visualizar las causas y efectos que produce el sistema de limpieza CIP de 5 pasos en una representación gráfica, con lo que se obtiene una herramienta para la toma de decisiones. Graficas de líneas para mostrar la relación entre dos variables cuantitativas, como lo es la concentración en el eje (y) y el tiempo en el eje (x).

### **10.2.2 Programas para utilizar para análisis de datos**

Se utilizará el sistema operativo Windows 8 Professional, por ende, el escritorio y los paquetes que pertenecen a dicho sistema.

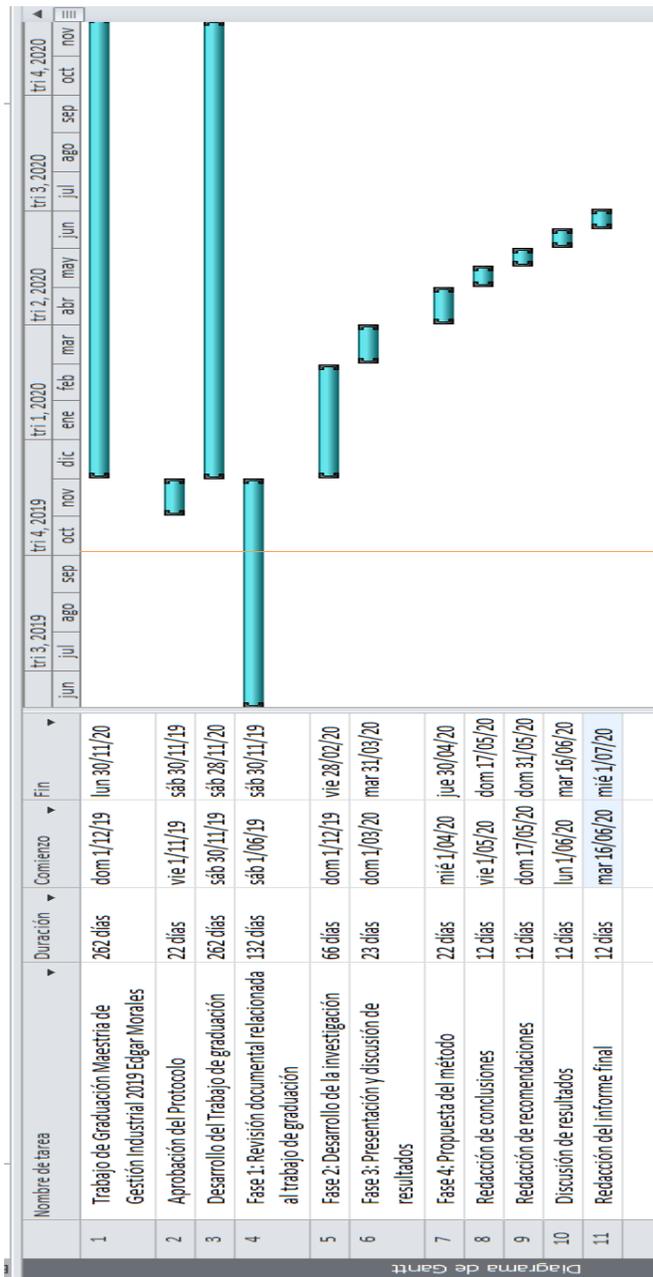
Microsoft Word: el mejor procesador de texto, el cual permite crear y editar documentos de texto agregando gráficas, imágenes y tablas.

Microsoft Excel: es una herramienta para crear hojas de cálculo con capacidad de realizar cálculos avanzados, programación y analizar información.

Microsoft Power Point: permite crear y editar presentaciones de forma sencilla y efectiva.

# 11. CRONOGRAMA

Figura 11. Cronograma del trabajo de investigación



Fuente: elaboración propia.



## **12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO**

El trabajo de investigación es factible porque se cuenta con los recursos necesarios para ejecutar cada una de las fases y cumplir con los objetivos propuestos. El material y equipo utilizados para es prestado por la empresa. Debido a confidencialidad que solicita la empresa no se han proporcionado los costos de equipos reales utilizados, así como el costo de los reactivos utilizados para llevar la preparación de las soluciones y análisis de las muestras. Se ha procedido a investigar el precio de los equipos que se van a utilizar o buscar equipos que se parezcan en características a los originales.

El análisis de las muestras será realizado junto con el analista de laboratorio dentro de un periodo de 15 días, para recaudar los datos necesarios para el análisis de resultados. Los resultados serán evaluados junto al asesor de tesis sin costo alguno, dentro de un periodo de 4 días, para concluir todo lo que se plantea dentro de los objetivos.

Tabla VII. **Presupuesto relacionado a la investigación**

No.	Recurso	Descripción del gasto	Monto en quetzales	Porcentaje
1	Insumo	Soda caustica al 50 % presentación 5 galones	Q 2, 696. 52	1.5 %
2	Insumo	TRIMETA CD 7.5 % presentación 5 galones	Q 3, 187. 80	1.7 %
3	Insumo	Paquete de reactivos para la medición de concentración de soluciones de limpieza	Q 1, 705. 70	0.9 %
4	Insumo	Medios de cultivo	Q 866. 05	0.5 %
5	Equipo	Dosificador automático para el sistema CIP integrado	Q 135, 900. 00	73.4 %
6	Equipo	<i>Spectroquant Picco de Merck</i>	Q 12, 080. 00	6.5 %
7	Equipo	Incubadora	Q 3, 500 . 00	1.9 %
8	Intelectual	Tiempo propio de Inversión	Q 16, 000. 00	8.6 %
9	Tecnológico	Internet	Q 500. 00	0.3 %
10	Varios	Imprevistos	Q 8, 821 . 80	4.8 %
TOTALES			Q 185, 257 . 87	100 %

Fuente: elaboración propia.

### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Alvarez, N., Gésan-Guiziu, 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](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 scciences*, 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.

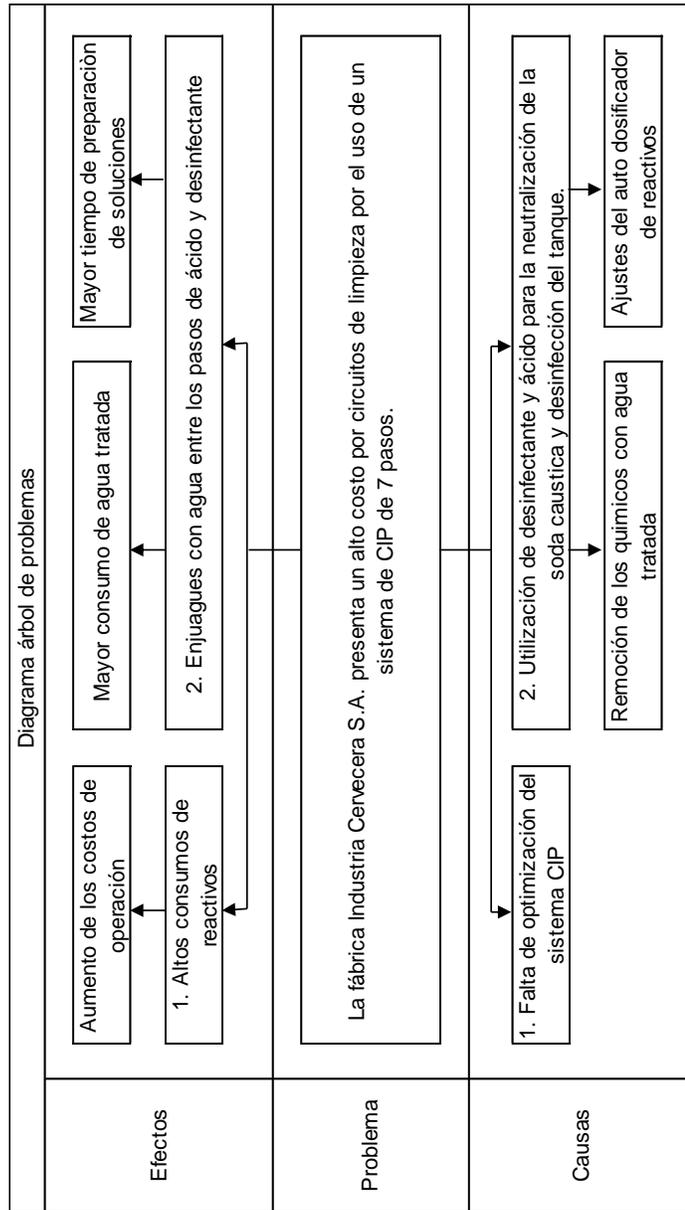
7. Gea T., (26 de julio de 2019). The core component of matrix-pipped process plants. *Varivent valves*, 6. Recuperado de <https://www.advancedpro.ca/application/files/5114/2637/6711/610e-VARIVENT-Valves-11-20-20101.pdf>.
8. Heck, M.A. 1993. *Recycling of caustic cleaning solutions using cross-flow filtration 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 waste water. *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-Guiziu, 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:0pmlxltslO64J: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.



# 14. APÉNDICES

## Apéndice 1. Árbol del problema



Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. 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. mL: mililitros. Recuento total < de Coliforme 0 UFC/100ml Moho y levadura <	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.
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 tf: tiempo final UL=kg+M3 Cip M = (tf-to)*UL	Promedio y desviación estandar.	Interpretación de resultados por medio de gráficas y tablas de excel para evaluar las dos propuestas.
	Ahorro de agua	Cuantitativa	Costo = M3*Q M3: metro cúbico Q: Quetzales		
	Ahorro de químicos	Cuantitativa	Costo=kg*Q kg: kilogramo Q: Quetzales		
	Ahorro energético	Cuantitativa	Costo = KWH*Q KWH: kilowatt hora Q: Quetzales		
3. Establecer un procedimiento que garantice la efectividad del CIP de 5 pasos en la industria cervecera	Contraste de significación	Cuantitativa	t: valor de t calculada $\bar{x}$ : Media n: número de muestras s: desviación estándar $t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$	El criterio de decisión sobre los valores de t calculado y críticos serán los siguientes: Si t calculada < t crítica entonces Ho es aceptada.	En base a la hipótesis definida se toma una decisión sobre el tipo de procedimiento a adoptar en la práctica para el sistema de limpieza CIP en los tanques de cerveza filtrada.
	Grados de libertad	Cuantitativa	G.L.: Grados de libertad n: número de muestra s: desviación estándar Ho: hipótesis nula $G.L. = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{s_1^4}{n_1^2(n_1-1)} + \frac{s_2^4}{n_2^2(n_2-1)}}$		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3.

**Control de limpiezas CIP, concentración de soluciones y tiempos**



**CONTROL DE LIMPIEZAS CIP, AREAS DE TRABAJO Y EQUIPOS, EN TANQUES DE PRESION**

SEMANA: \_\_\_\_\_

**CONTROL DE CIP**

No.	TANQUES						CONDUCTIVIDAD (mS)			Concentración Desinf. (%)	CONSUMOS (L): Inicio / Final / Consumo		
	INICIO			FINAL			Soda	Ácido	Soda		Ácido	Desinfectante	
	Fecha	Hora	Firma	Hora	Firma								
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	
No.										/	/	/	

Salón	TUBERÍAS A SALONES						CONDUCTIVIDAD (mS)			Concentración Desinf. (%)	CONSUMOS (L): Inicio / Final / Consumo		
	INICIO			FINAL			Soda	Ácido	Soda		Ácido	Desinfectante	
	Fecha	Hora	Firma	Hora	Firma								
Salón										/	/	/	
Salón										/	/	/	
Salón										/	/	/	
Salón										/	/	/	
Salón										/	/	/	
Salón										/	/	/	
Salón										/	/	/	
Salón										/	/	/	
Salón										/	/	/	
Salón										/	/	/	
Salón										/	/	/	
Salón										/	/	/	
Salón										/	/	/	
Linea Refiltración										/	/	/	
Cip Mangueras										/	/	/	

OBSERVACIONES:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Varios:	Conduc-tividad	Concen-tración	Estado Tanques Soluciones				
Soda							
Ácido							
Desinf.							
			Color				
			Olor				
			Pared tanque				
			Sedimentos				
			Spray/ball				
			Purga				
FIRMA	Agua						
	Soda						
	Ácido						
	Desinfectante						

FIRMA ASISTENTE DE ELABORACIÓN \_\_\_\_\_

Fuente: elaboración propia.



