



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado de Ingeniería  
Maestría en Artes en Ciencia y Tecnología de los Alimentos

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÉTODO CIP REGENERATIVO EN UNA PLANTA  
PASTEURIZADORA HTST**

**Lic. Rudy Estuardo Pérez Hurtarte**

Asesorado por el Mtro. Lic. Maynor Alfredo Ordoñez Gutiérrez

Guatemala, septiembre de 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÉTODO CIP REGENERATIVO EN UNA PLANTA  
PASTEURIZADORA HTST**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LIC. RUDY ESTUARDO PÉREZ HURTARTE**  
ASESORADO POR EL MTRO. LIC. MAYNOR ALFREDO ORDOÑEZ  
GUTIÉRREZ

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE  
**MAESTRO EN ARTES EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2022



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO a.i.	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADORA	Mtra. Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
EXAMINADORA	Mtra. Licda. Blanca Azucena Méndez Cerna
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

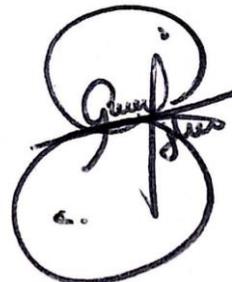


## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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:

### IMPLEMENTACIÓN DE UN MÉTODO CIP REGENERATIVO EN UNA PLANTA PASTEURIZADORA HTST

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 12 de enero de 2022.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rudy Estuardo Pérez Hurtarte', enclosed within a circular scribble.

**Lic. Rudy Estuardo Pérez Hurtarte**

LNG.DECANATO.OI.626.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN MÉTODO CIP REGENERATIVO EN UNA PLANTA PASTEURIZADORA HTST**, presentado por: **Lic. Rudy Estuardo Pérez Hurtarte**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ciencia y tecnología de alimentos después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
DECANO a.i.  
Facultad de Ingeniería

Ing. José Francisco Gómez Rivera

Decano a.i.

Guatemala, septiembre de 2023

JFGR/gaac



**Guatemala, septiembre de 2023**

LNG.EEP.OI.626.2023

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

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÉTODO CIP REGENERATIVO EN UNA PLANTA PASTEURIZADORA HTST”**

presentado por **Lic. Rudy Estuardo Pérez Hurtarte** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ciencia y tecnología de alimentos** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*



**Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada**  
**Directora**

**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**



Guatemala, 25 de mayo de 2022

**M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti**  
**Director**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Presente**

**Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti**

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **IMPLEMENTACIÓN DE UN MÉTODO CIP REGENERATIVO EN UNA PLANTA PASTEURIZADORA HTST** del estudiante **Rudy Estuardo Pérez Hurtarte** quien se identifica con número de carné **202190720** del programa de Ciencia Y Tecnología De Los Alimentos.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

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


**Mtra. Inga. Hilda Piedad Palma Ramos**  
**Coordinador**  
**Ciencia Y Tecnología De Los Alimentos**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**

Guatemala, 05 de octubre 2021

**Ingeniero M. Sc.  
Edgar Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería USAC  
Ciudad Universitaria, Zona 12**

**Distinguido Ingeniero Álvarez:**

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación del estudiante Rudy Estuardo Pérez Hurtarte, Carné número 202190720, cuyo título es **“Implementación de un proceso CIP regenerativo en una planta pasteurizadora HTST”**, para optar al grado académico de Maestro en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, he procedido a la revisión del mismo.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante Pérez Hurtarte, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



**Lic. Maynor Alfredo Ordoñez Gutiérrez**  
Magíster en Administración Industrial  
Asesor

Lic. Maynor A. Ordoñez Gutiérrez  
QUIMICO  
Colegiado No. 1281

Colegiado No. 1281

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	El creador del universo, quién ha cuidado de mí y me ha permitido alcanzar esta y muchas metas más en el transcurso de mi vida.
<b>Mis padres</b>	Baltazar Pérez y Margarita Hurtarte, por su apoyo incondicional, su amor y por siempre querer lo mejor para mí.
<b>Mi familia</b>	Por ser de bendición, por estar conmigo en el transcurso de toda mi vida, por su apoyo y cariño incondicional.
<b>Mis amigos</b>	Por estar conmigo en diferentes etapas de mi vida, por su apoyo incondicional y cariño.
<b>Mi mentore</b>	Ing. José Rosal, por sus enseñanzas, sus consejos, lecciones, por la confianza y el cariño.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por abrirme las puertas y realizarme como profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por darme la oportunidad de seguir aprendiendo y alcanzar un nuevo peldaño en mi vida.
<b>Lic. Maynor Ordoñez</b>	Por ser mi asesor y catedrático, por su apoyo incondicional, la paciencia, las enseñanzas, y por sus aportes en la presente investigación.
<b>Ing. José Rosal</b>	Por compartir sus conocimientos y apoyo en la presente investigación.
<b>Mis amigos</b>	Por su ayuda en el transcurso de la maestría.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVII
OBJETIVOS .....	XIX
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Procedimientos de limpieza en sitio (CIP) en plantas pasteurizadoras HTST .....	3
1.2.1. Definición .....	3
1.2.2. Estructuración de proceso de producción y limpieza en sitio (CIP) .....	5
1.3. Soluciones de limpieza .....	10
1.3.1. Definición .....	10
1.3.2. Composición .....	12
1.3.3. Clasificación de soluciones alcalinas / ácidas .....	13
1.4. Proceso (CIP) regenerativo .....	14
1.4.1. Definición .....	14
1.5. Estructuración de procesos .....	15
1.5.1. Modificación y adaptación al sistema de las plantas pasteurizadoras HTST .....	16

1.5.2.	Separación agua / detergentes.....	17
1.5.3.	Filtración de soluciones de limpieza .....	18
1.5.4.	Almacenaje de soluciones de limpieza .....	18
1.5.5.	Regeneración de concentraciones de soluciones de limpieza .....	20
1.5.6.	Reutilización de detergentes .....	21
1.6.	Validación de curva de desgaste de las soluciones de limpieza.....	21
1.6.1.	Definición rango de concentraciones adecuadas....	21
1.6.2.	Análisis de pérdida de ingredientes activos .....	22
1.6.3.	Definir capacidad de producción en <i>batches</i> procesados para la renovación total de las soluciones de limpieza .....	23
1.7.	Validación parámetros microbiológicos que aseguren la inocuidad.....	23
1.7.1.	Análisis microbiológicos de las soluciones de limpieza .....	23
1.7.2.	Análisis microbiológicos de superficies (máquina) ..	24
1.7.3.	Análisis microbiológicos de producto terminado .....	24
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	27
2.1.	Implementación del nuevo proceso CIP .....	27
2.1.1.	Determinación de volúmenes de consumo de soluciones de limpieza .....	27
2.1.2.	Determinación de consumos de agua de proceso	31
2.1.3.	Definición de rendimientos y ciclos regenerativos de las soluciones de limpieza .....	33
2.1.4.	Estimación del costo beneficio de la implementación .....	34

2.1.5.	Estimación del retorno de inversión .....	35
2.2.	Validación de parámetros de inocuidad .....	37
2.2.1.	Evaluación de parámetros microbiológicos .....	37
2.2.2.	Análisis de vida en anaquel de productos fabricados con el nuevo procedimiento .....	40
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	43
3.1.	Reducción en el consumo de agua de proceso CIP.....	43
3.2.	Reducción en el consumo de soluciones de limpieza .....	44
3.3.	Ahorro obtenido con la implementación de un proceso CIP regenerativo.....	46
3.4.	Validación de la efectividad de la limpieza.....	47
3.5.	Tiempo de retorno de inversión .....	48
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	51
	CONCLUSIONES.....	55
	RECOMENDACIONES.....	57
	REFERENCIAS .....	59
	APÉNDICES.....	63



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Intercambiador de placas.....	6
<b>Figura 2.</b>	Tubos de retención o serpentín .....	7
<b>Figura 3.</b>	Descripción gráfica del proceso de limpieza en sitio (CIP) .....	9
<b>Figura 4.</b>	Superficie interna de tuberías antes del proceso de limpieza en sitio (CIP).....	10
<b>Figura 5.</b>	Descripción gráfica del proceso de limpieza en sitio (CIP) regenerativo.....	16
<b>Figura 6.</b>	Diseño del tanque de almacenamiento de soluciones de limpieza .....	19
<b>Figura 7.</b>	Diseño interior de un tanque de almacenamiento de soluciones de limpieza.....	20
<b>Figura 8.</b>	Titulación de concentraciones.....	30
<b>Figura 9.</b>	Retorno de soluciones de limpieza .....	30
<b>Figura 10.</b>	Separación agua / soda posterior al CIP .....	32
<b>Figura 11.</b>	Tolvas de filtración .....	33
<b>Figura 12.</b>	Accesorios utilizados en la adaptación.....	36
<b>Figura 13.</b>	Tanque de retorno de soluciones de limpieza .....	36
<b>Figura 14.</b>	Análisis microbiológico de superficies de maquinaria y equipo ....	39
<b>Figura 15.</b>	Análisis microbiológicos del producto terminado .....	41

### TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Descripción de variables .....	XXII
-----------------	--------------------------------	------

<b>Tabla 2.</b>	Elementos del proceso de limpieza en sitio (CIP) .....	4
<b>Tabla 3.</b>	VARIABLES para determinar la turbulencia .....	11
<b>Tabla 4.</b>	Caudal de las soluciones de limpieza .....	12
<b>Tabla 5.</b>	Registro del historial de consumo en litros (hidróxido de sodio) en el CIP .....	27
<b>Tabla 6.</b>	Guía para regenerar las concentraciones de la solución de limpieza .....	29
<b>Tabla 7.</b>	Titulación de concentraciones V/V .....	29
<b>Tabla 8.</b>	Registro del historial de consumo en litros de agua del proceso CIP .....	31
<b>Tabla 9.</b>	Rendimiento de las soluciones de limpieza en un CIP regenerativo .....	34
<b>Tabla 10.</b>	Estimación de reducción de costos .....	35
<b>Tabla 11.</b>	Proyección de ahorros.....	37
<b>Tabla 12.</b>	Reducción de consumo de agua .....	44
<b>Tabla 13.</b>	Proyección de ahorro en consumo de agua .....	44
<b>Tabla 14.</b>	Comparativo de consumo de soda en el proceso CIP .....	45
<b>Tabla 15.</b>	Proyección reducción anual.....	45
<b>Tabla 16.</b>	Comparativo de costos en el consumo de soda .....	46
<b>Tabla 17.</b>	Proyección de ahorro .....	46
<b>Tabla 18.</b>	Validación microbiológica de superficies de máquina limpia .....	47
<b>Tabla 19.</b>	Parámetros de aceptación establecidos .....	48
<b>Tabla 20.</b>	Detalles de la inversión .....	49

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>HNO<sub>3</sub></b>	Ácido nítrico
<b>ATP</b>	Adenosín trifosfato
<b>Cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado
<b>°</b>	Grados
<b>NaOH</b>	Hidróxido de sodio
<b>≥</b>	Igual o mayor que
<b>≤</b>	Igual o menor que
<b>H<sup>+</sup></b>	Iones de hidrógeno
<b>Psi</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>Lt.</b>	Litros
<b>&gt;</b>	Mayor que
<b>pH</b>	Medida de acidez o alcalinidad
<b>&lt;</b>	Menor que
<b>µm</b>	Micrón o micra
<b>ml</b>	Mililitros
<b>Q</b>	Moneda quetzal guatemalteco
<b>NO<sub>3</sub></b>	Nitratos derivados del hidrógeno
<b>v/v</b>	Porcentaje volumen a volumen
<b>oH</b>	Radical hidróxido
<b>N<sup>+</sup></b>	Sodio
<b>UFC</b>	Unidad formadora de colonia



## GLOSARIO

<b>Aguas residuales</b>	Las aguas residuales o llamadas también aguas servidas son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica.
<b><i>Batch</i></b>	<i>Batch</i> o procesamiento por lotes, es un conjunto de registros que garantizan la integridad de los datos y la trazabilidad en los procesos productivos.
<b>Bomba centrífuga</b>	Las bombas centrífugas son un tipo de bomba hidráulica que transforma energía mecánica en energía cinética de presión a un fluido.
<b>CIP desechable</b>	Acción de no recuperación de las soluciones de limpieza, se utilizan 1 sola vez y se desechan.
<b>CIP regenerativo</b>	Acción que recupera las soluciones de limpieza mediante una regeneración de las características químicas para un próximo reusó.
<b>CIP regenerativo</b>	Acción que recupera las soluciones de limpieza mediante una regeneración de las características químicas para un próximo reusó.

<b>CIP</b>	Del inglés <i>clean in place</i> , es un método de limpieza automatizada de las superficies interiores de tuberías, recipientes, equipos, filtros y accesorios asociados, sin un desmontaje importante.
<b>Clamp</b>	Es una herramienta manual de uso común en muchas profesiones, se compone de dos mordazas, regulables con un tornillo que al girar en uno de sus extremos ejerce presión sobre la pieza de madera colocada entre dichas mordazas.
<b><i>Clean in place</i></b>	Limpieza en sitio.
<b>Coliformes</b>	La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.
<b>E-coli</b>	<i>Escherichia coli</i> es una bacteria miembro de la familia de las enterobacterias y forma parte de la microbiota del tracto gastrointestinal de animales homeotermos, como por ejemplo el ser humano.
<b>Glicol</b>	Es un compuesto químico orgánico que pertenece al grupo de los dioles. Es un líquido transparente, incoloro, ligeramente espeso como el almíbar y de leve sabor dulce.

<b>hidróxido de sodio</b>	El hidróxido de sodio, hidróxido sódico o hidrato de sodio, también conocido como sosa o soda cáustica es una solución de limpieza utilizada como detergente.
<b>HTST</b>	Del inglés <i>High temperature short time</i> , que significa alta temperatura en corto tiempo.
<b>Inocuidad</b>	La inocuidad en lo alimentos puede referirse como el conjunto La inocuidad de los alimentos puede definirse como el conjunto de condiciones y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de alimentos para asegurar que una vez ingeridos, no representen un riesgo para la salud. consumo.
<b>Intercambiador</b>	Se refiere a un intercambiador de calor, el cual es un dispositivo diseñado para transferir calor entre 2 fluidos o entre un fluido y un sólido que está en contacto con dos fluidos.
<b>Materia orgánica</b>	La materia orgánica es una materia conformada por compuestos orgánicos que provienen de los restos de organismos que alguna vez estuvieron vivos, tales como plantas, animales y sus productos de residuo en el ambiente natural.
<b>Micrones</b>	Micrón o micra es una unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro. Su símbolo es $\mu\text{m}$ .

<b>Pasteurización</b>	Procedimiento que consiste en someter un alimento, generalmente líquido, a una temperatura aproximada de 80 grados durante un corto período de tiempo enfriándose después rápidamente, con el fin de destruir los microorganismos sin alterar la composición y cualidades del líquido.
<b>Pasteurizadores HTST</b>	La pasteurización relámpago o pasteurización <i>flash</i> , también conocida por la sigla HTST es un proceso térmico aplicado a ciertos alimentos con el objeto de reducir las poblaciones de bacterias.
<b>Patógenos</b>	Un patógeno es cualquier microorganismo que causa una enfermedad.
<b>pH</b>	El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución acuosa. El pH indica la concentración de iones de hidrógeno presentes en determinadas disoluciones. La sigla significa potencial de hidrógeno o potencial de hidrogeniones.
<b>Planta</b>	Se refiere a una fábrica, también denominada planta industrial o recinto fabril, es un lugar físico, abastecido de máquinas, herramientas, y espacio, necesarios para la elaboración o producción de algún objeto material o de algún servicio.
<b>RAT</b>	Recuento aeróbico total.

**Regeneración**

La regeneración es el proceso por el que se recupera la estructura y la función de algo.

**Soda**

Denominación popular para el hidróxido de sodio o soda cáustica.

**Tamiz**

Un cedazo, es un utensilio que se emplea para separar materiales de diferente grosor.



## RESUMEN

En la presente investigación se implementó un proceso CIP regenerativo en una planta pasteurizadora HTST. Definiendo los principales beneficios obtenidos con este rediseño.

Se detalla la reducción de costos operativos obtenidos en los consumos de químicos de limpieza, esto mediante un análisis histórico comparativo entre un método tradicional y un método regenerativo CIP en el cual se establecen rangos adecuados y las guías para el proceso de regeneración de concentraciones de las soluciones de limpieza.

En la reducción de los consumos de agua de proceso se definen los ciclos regenerativos de las soluciones de limpieza, esto mediante el análisis de concentraciones y rendimientos contra la producción obtenida, lo cual da como resultado la métrica a utilizar denominada soda consumida por litro producido, misma que será la variable para determinar los consumos de agua para la renovación de los *batches* de soluciones de limpieza en los procesos CIP.

El análisis y verificación de la eficacia de la limpieza se obtiene mediante la evaluación de rangos microbiológicos existentes en las superficies de la maquinaria y equipo en contacto directo con el alimento incluyendo la totalidad del circuito cerrado de las tuberías de producción y del puente de retorno hacia la unidad de filtración y almacenaje de las soluciones de limpieza, por último se realizó un estudio de vida de anaquel del producto para validar que el rediseño en proceso de limpieza en sitio CIP no afecta las características de calidad e inocuidad del producto terminado.



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las plantas pasteurizadoras de flujo continuo desechan soluciones químicas utilizadas en el proceso de limpieza y sanitización de las líneas de producción, estas altas concentraciones de detergentes son desaprovechadas y desechadas inmediatamente debido a la falta de un proceso regenerativo que permite volver a usarlos y que cumplan con su objetivo principal que es el efecto limpieza lo cual está ligado directamente con la inocuidad del proceso de pasteurización.

En una planta pasteurizadora de flujo continuo concebida con un sistema de maquinaria y equipo básicos esenciales, generalmente no complementan el sistema para un proceso CIP regenerativo, dicha planta cumple perfectamente con la esencia del proceso el cual es efectuar el proceso de pasteurización de un alimento, pero desaprovechan recursos valiosos en el proceso de limpieza.

Las plantas pasteurizadoras sin un sistema enfocado en el CIP generalmente aplican los métodos tradicionales de limpieza los cuales se conforman de un desecho inmediato de las soluciones detergentes utilizadas en el proceso CIP, esto debido a que no cuentan con un sistema regenerativo que permite ciclar nuevamente las soluciones detergentes; a esto se le denomina un proceso CIP desechable.

Aplicar un CIP desechable en una planta pasteurizadora de flujo continuo HTST afecta la rentabilidad del macro productivo y elevan los costos de producción, ya que las soluciones detergentes se desechan en un estado intacto en su composición química, dichas soluciones permiten bajo un manejo

controlado regenerarse y ejecutar el efecto de limpieza varias veces más sin afectar la inocuidad del proceso.

La ejecución de un CIP desechable incurre en altos consumos de agua, ya que no existe un retorno de soluciones detergentes, por ende, se debe desechar la totalidad de la solución utilizada en el circuito de limpieza.

Las plantas pasteurizadoras que ejecutan un CIP desechable generan abundantes aguas residuales con altos porcentajes de agentes detergentes activos, lo cual produce aguas de desecho con alta demanda química de oxígeno que complica su tratamiento y/o reutilización.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Qué beneficios tiene la implementación de un sistema CIP regenerativo en una planta pasteurizadora HTST?

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cómo reducirá los costos de producción la implementación de un proceso CIP regenerativo y cuánto será el costo de inversión?
- ¿Cómo se verá impactado el consumo de agua al implementar un proceso CIP regenerativo?
- ¿Cómo saber si es efectiva la limpieza usando un proceso CIP regenerativo?

## **OBJETIVOS**

### **General**

Definir los beneficios que tiene la implementación de un sistema CIP regenerativo en una planta pasteurizadora HTST

### **Específicos**

1. Detallar los montos de inversión y el retorno de la misma con los ahorros obtenidos en el consumo de químicos de limpieza al implementar un proceso CIP regenerativo.
2. Estudiar la reducción del consumo de agua y químicos de limpieza al implementar un proceso CIP regenerativo.
3. Analizar la efectividad de la limpieza usando un proceso CIP regenerativo mediante análisis microbiológicos.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

El presente estudio es de tipo cuantitativo con un alcance descriptivo, dado que consideró el rediseño de un método ya existente midiendo sus cualidades y definiendo variables para su implementación.

Se realizó un diseño de tipo experimental transeccional descriptivo, ya que se hizo una toma de datos en la implementación del nuevo diseño en el método de limpieza en sitio *clean in place* estas muestras fueron no probabilísticas, dado que constaba de varias combinaciones de los elementos que conforman el proceso a conveniencia de obtener los mejores resultados.

La determinación de la reducción de costos operativos con la implementación de sistema CIP regenerativo se hizo por medio del estudio del historial de consumo en litros de los químicos de limpieza versus los consumos ya implementado el rediseño en el sistema. Cabe mencionar que este nuevo sistema afectó únicamente el consumo del agente químico de limpieza de la parte básica del CIP, es decir las soluciones alcalinas (Hidróxido de sodio), comparando los consumos en un periodo de tiempo de 1 semana productiva, siendo esto un periodo de lunes a viernes para dar un total de 5 días productivos a la semana, mismo método para determinar la reducción de los costos operativos y también el consumo de agua en el proceso.

Para validar que la implementación de un sistema CIP regenerativo no afectó los parámetros establecidos de inocuidad en el producto terminado se realizó un análisis microbiológico en 5 muestras, las cuales formarán parte de un estudio abarcando el 100 % del periodo de tiempo determinado como vida en

anaquel del producto al mismo tiempo haciendo un comparativo de los parámetros microbiológicos ya establecidos como los son: unidades formadoras de colonia en un recuento aeróbico total, unidades formadoras de colonia en coliformes y presencia o ausencia de *E-coli*.

Por último, se presentó los complementos necesarios para convertir un procedimiento CIP desechable en un CIP regenerativo aplicado a una planta pasteurizadora HTST, mismo que fue validado por medio de análisis microbiológicos del producto terminado para confirmar que el rediseño en el procedimiento no afectó parámetros de inocuidad.

- Variables del estudio

En la tabla 1 se presenta la descripción de las variables que serán evaluadas en el presente estudio.

**Tabla 1.**

*Descripción de variables*

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>
Volúmenes	El volumen es la cantidad de espacio ocupado por un cuerpo.	El volumen es la magnitud derivada, que encuentra multiplicando 3 dimensiones: ancho, profundidad y longitud (cm <sup>3</sup> ).
Cantidad de maquinaria	Todas las máquinas y equipos destinados al proceso de producción de bienes y/o servicios.	La maquinaria y equipo necesario son los complementos requeridos para completar el sistema CIP regenerativo en un sistema CIP Desechable ya existente, dichos elementos se contabilizarán con la unidad de medida unitaria. (1, 2, entre otros).

Continuación de la tabla 1.

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>
Litros consumidos	Cantidad total de un elemento en estado líquido	La cantidad de litros consumidos se obtendrán del resultado de los cm <sup>3</sup> por mil, empleados en un proceso CIP (litros).
Costo	La valoración económica de la totalidad de recursos empleados para la obtención de un fin productivo.	El costo total de la maquinaria y equipo que conforman los complementos necesarios para la implementación de un sistema CIP regenerativo (moneda quetzal guatemalteco Q.).
Costo Beneficio	Es una herramienta financiera que compara el costo de un producto versus el beneficio que entrega para evaluar de forma efectiva la mejor decisión a tomar en términos de inversión.	Se define el valor monetario de la maquinaria y equipo que conforman los complementos necesarios para la implementación de un sistema CIP regenerativo (moneda quetzal guatemalteco Q.).
Retorno de inversión	Es un indicador que nos permite evaluar la rentabilidad de una inversión en base al capital destinado y al beneficio obtenido.	Se define el retorno de inversión (ROI) para analizar la utilidad de la inversión en tiempo (días, meses, años).
Recuento aeróbico total (RAT)	Es una técnica utilizada para estimar el número de microorganismos en muestras de alimentos, esto resulta útil para evaluar la calidad del producto.	Indicador de la población bacteriana en el alimento como producto terminado procesado empleando un sistema regenerativo CIP. (unidad formadora de colonia UFC).

Continuación de la tabla 1.

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>
Coliformes	Es la denominación genérica designada a un grupo de bacterias que tienen ciertas características bioquímicas en común a <i>Escherichia Coli</i> , es utilizado como un indicador de contaminación en los alimentos.	Indicador de la población bacteriana en el alimento como producto terminado procesado empleando un sistema regenerativo CIP. (unidad formadora de colonia UFC).
E. Coli	Es denominada así a la bacteria <i>Escherichia Coli</i> , miembro de la familia de las enterobacterias y forma parte de la microbiota del tracto intestinal de los animales homeotermos como los humanos.	Indicador de la población bacteriana en el alimento como producto terminado procesado empleando un sistema regenerativo CIP. (unidad formadora de colonia UFC).

*Nota.* Definición de variables por aplicación, propiedades cualitativas y cuantitativas. Elaboración propia, realizado en Excel.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, los procedimientos de limpieza en sitio CIP en las plantas pasteurizadoras HTST son de crucial importancia para asegurar características inocuas esenciales de un producto para consumo humano, por tal razón la empresas manufactureras de alimentos no escatiman recursos para lograr esos estándares de inocuidad no negociables, para esto optan por métodos que, si bien es cierto logran su objetivo, desperdician soluciones de limpieza con ingredientes activos aun dentro de parámetros seguros, generando sobreconsumos de agua de procesos y encareciendo los costos de producción, generando grandes cantidades de aguas residuales y causando sobrecapacidad de operación en las plantas de tratamiento.

Esta investigación busca estudiar la implementación de un proceso CIP regenerativo en una planta pasteurizadora HTST, resaltando los beneficios cuantitativos como una optimización del proceso. Se determinará a detalle los complementos necesarios para obtener una reducción de costos de producción y consumo de agua, todo esto ligado a un método validación para asegurar que el rediseño no afecte parámetros de inocuidad en el producto terminado.

El rediseño en el método, enfatiza en un sistema de recuperación de las soluciones de limpieza creando un puente de conexión entre el circuito cerrado del proceso de limpieza en sitio y un medio de almacenaje, enfoca importancia en la fase de separación de agua y detergentes para evitar la dilución y pérdida de ingredientes activos, específica también características importantes en el rediseño del sistema de filtración para evitar recontaminación de las soluciones por materia orgánica y métodos de regeneración de ingredientes activos lo cual

es la clave para asegurar los parámetros de inocuidad de los productos procesados utilizando un método CIP regenerativo en las plantas pasteurizadoras HTST.

En el capítulo 1 se presenta el marco teórico, empezando por un resumen investigaciones previas sobre el tema, así también se hace una exploración bibliográfica de la base teórica de un sistema de limpieza en sitio CIP. En el capítulo 2 se presenta el desarrollo de la investigación, dentro del cual se amplían los detalles principales para la implementación de un proceso CIP regenerativo.

En el capítulo 3 se presentan los resultados de la investigación y su discusión se presenta en el capítulo 4, Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones respecto a detalles sobresalientes en la ejecución de la investigación.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Antecedentes

En Guatemala, no existen estudios enfocados a la regeneración de las soluciones químicas de limpieza utilizadas en un sistema CIP, sin embargo, existen estudios en los cuales se detalla el proceso como parte de un sistema global de limpieza para las plantas pasteurizadoras o proceso productivos que implican extensos circuitos cerrados de tuberías, tanques e intercambiadores, de estos estudios resaltan las siguientes publicaciones:

García (2012), en su trabajo de graduación *Evaluación de un sistema de limpieza en sitio (CIP) 3 pasos a temperatura ambiente en sustitución de un sistema de limpieza en sitio (CIP) 5 pasos a temperatura ambiente en líneas de embotellado, para la industria de bebidas carbonatadas y no carbonatadas en un cambio de sabor*, describe el proceso de regeneración de los químicos de limpieza como parte de un proceso de limpieza denominado por recirculación en el cual detalla un sistema de retorno de los detergentes hacia un tanque de almacenamiento por medio de bombas adicionales, También especifica como factor importante a considerar las concentraciones en las soluciones químicas utilizadas, lo cual es la base fundamental para la implementación de un proceso regenerativo CIP.

En otros países se encontraron estudios que al igual que en Guatemala enmarcan el proceso regenerativo CIP como parte del sistema de limpieza y sanitización. A continuación, se presentan las publicaciones más destacadas.

Reyes (2009), en su trabajo de graduación *Reingeniería del sistema de limpieza y sanitización por el método CIP para las envasadoras de bebidas gaseosas*, detalla las concentraciones ideales de las soluciones a base de hidróxido de sodio aplicadas en un sistema CIP, las cuales pueden ser el punto inicial que detonará el proceso de validación de las concentraciones que nuestro estudio pretende establecer como rango de regeneración.

Muñoz (2012), en su trabajo de graduación *Diseño e implementación de sistema CIP para industria productora de leche*, atribuye al sistema CIP conformado por un proceso regenerativo de las soluciones detergentes como una variable que permite a las plantas ser más productivas, con altos parámetros de calidad en limpieza y desinfección, con menor consumo de insumos químicos y menor desperdicio de agua utilizándose al máximo y contribuyendo a la preservación del medio ambiente, detalla también rangos de pH propicios para desarrollo de microorganismos como bacterias, hongos y levaduras especificando los porcentajes volumen por volumen que deben cumplir las soluciones de hidróxido de sodio para modificar la atmósfera y crear un ambiente no apto para la proliferación de dichos organismos, lo cual es el esencia del presente estudio.

Rosania (2017), en su trabajo de graduación *Optimización del programa de saneamiento con la implementación de un sistema CIP*, describe un sistema conformado con el proceso de regeneración de las soluciones detergentes desde el diseño original, al cual le atribuye un aspecto ambiental por la reducción en el uso y disminución de las aguas residuales contaminadas, lo que se verá reflejado en ahorros operativos

Zapata (2019), en su trabajo de graduación *Automatización del sistema de distribución de la red principal de químicos para limpieza en sitio CIP en planta*

*Lácteos Colanta*, denomina un sistema CIP desechable como descentralizado, conformado por un método antiguo utilizado a finales de los años mil novecientos cincuenta y menciona como característica principal de este método un alto consumo de detergentes lo que implicaba un método de limpieza con altos costos productivos. Al proceso CIP regenerativo lo identifica como un método CIP centralizado el cual permite retornar las soluciones detergentes mediante bombas y así recuperarlas, de esta manera se pueden ajustar nuevamente las concentraciones para su posterior reutilización.

## **1.2. Procedimientos de limpieza en sitio (CIP) en plantas pasteurizadoras HTST**

Los procedimientos de limpieza son importantísimos en un proceso de producción de alimentos, ya que de ellos depende la inocuidad de los mismos, es indispensable que existan procedimientos pre y post producción en cualquier planta de producción.

### **1.2.1. Definición**

Los procedimientos de limpieza en sitio por sus siglas en inglés CIP (*clean in place*) tienen como finalidad retirar toda la materia orgánica depositada, estancada y/o incrustada en las superficies de todas las líneas de producción de una planta pasteurizadora HTST, esto incluye tuberías, bombas, intercambiador, tubos de retención, tanques de almacenamiento o transitorios y envasadoras. Esta materia orgánica es el remanente generado del producto trabajado en el equipo, por lo cual generalmente representa fuentes de proteínas, grasas y minerales las cuales son un foco de contaminación debido a su alto contenido nutricional y rica fuente de proliferación microbiológica, la característica principal de un sistema de limpieza en sitio (CIP) es ejecutar los procedimientos de

limpieza y desinfección sin necesidad de desmontar tuberías y equipos por medio de la recirculación de agua y soluciones químicas de limpieza las cuales tienen como objetivo principal la remoción de suciedad y eliminación de microorganismos patógenos de las superficies en contacto directo con el producto (Bocanegra & Castellanos, 2004).

Los elementos determinantes para una correcta limpieza en sitio (CIP) son:

## Tabla 2

### *Elementos del proceso de limpieza en sitio (CIP)*

No.	Elemento	Descripción
1	Tiempo	Duración del procedimiento de limpieza.
2	Agente de limpieza	Elementos químicos o fusión de ellos.
3	Concentraciones	% de ingrediente activo en soluciones de limpieza.
4	Temperatura	Las altas temperaturas generan efectos de limpieza más rápidos y efectivos.
5	Caudal	Velocidad en la que viajan las soluciones de limpieza dentro de las tuberías y equipos.
6	Turbulencia	Acción mecánica de limpieza en los procedimientos CIP.
7	Frecuencia	Tiempo o producción entre cada ciclo CIP.

*Nota.* Tabla de limpieza de sitio de tipo sanitario, utilizado en las industrias de alimentos lácteos. Obtenido de S. Nazareno (2015). *Plan de mejoramiento del sistema de limpieza (CIP) en una planta de elaboración de helados*. [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional.

Entre las ventajas que posee un procedimiento de limpieza en sitio (CIP) es la reducción del tiempo invertido en procesos de limpieza, lo cual repercute a generar más tiempo productivo y aumentar las capacidades de producción, lo cual concluye en una reducción de costos unitarios sin descuidar el concepto de

producción segura enfocado en temas de inocuidad y la fabricación de productos seguros para el consumidor final (Bonilla y Cordero, 2010).

El sistema de limpieza CIP incursionó en la industria de alimentos para solucionar problemas de limpieza frecuente en las partes internas de las líneas de producción, tuberías de acero inoxidable, sistemas de tubos de retención, intercambiadores de calor, bombas de producto y envasadoras, cumpliendo con altos estándares de higienización y desinfección en equipos que procesan alimentos con altos valores nutricionales como lo son los lácteos, néctares, refrescos, cerveza y bebidas no carbonatadas (Nazareno, 2015).

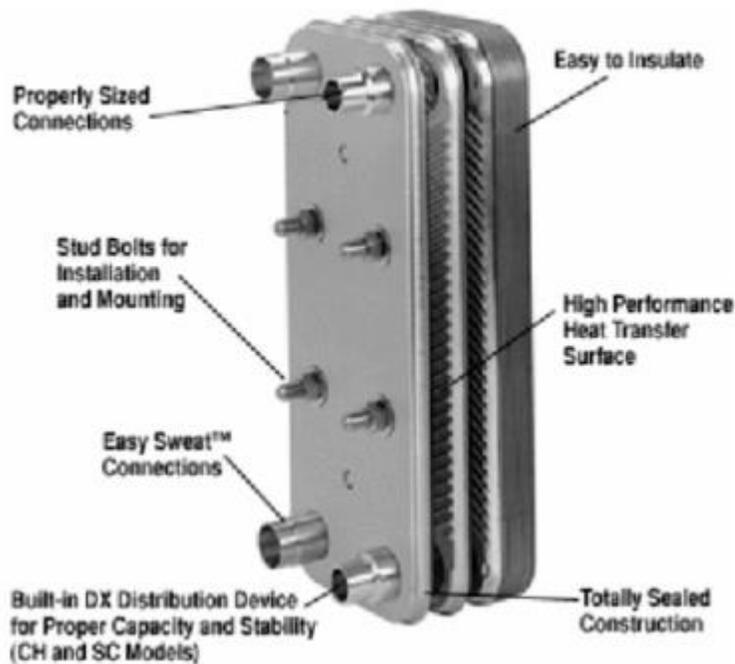
### **1.2.2. Estructuración de proceso de producción y limpieza en sitio (CIP)**

Las líneas de producción de una planta pasteurizadora HTST inician desde el tanque balance, el cual se encarga de controlar el efecto inundación de líneas lo que permite una producción de flujo continuo y evita vacíos que puedan generar variaciones de temperatura, pero lo más importantes es evitar el efecto cavitación u operación en vacío de las bombas centrifugas, lo cual puede generar daños irreparables en estos equipos.

Procede, el intercambiador de calor, este dispositivo es compuesto por 3 fases, la primera fase se denomina de precalentamiento la cual usa como vehículo de temperatura el retorno del producto después de los tubos de retención, este es el punto de quiebre de la temperatura ambiente, sin embargo, no llega a la temperatura requerida según el proceso establecido y estandarizado de pasteurización.

## Figura 1.

### *Intercambiador de placas*



*Nota.* Tipo especial de intercambiadores de calor, permiten transportar energía térmica entre dos materiales. Obtenido de J. Bonilla y E. Cordero (2010). *Diseño y análisis de un sistema de instrumentación y automatización industrial aplicado al proceso de pasteurización de una planta de elaboración de cerveza.* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio institucional.

La 2da. fase del intercambiador es el calentamiento, esta fase utiliza como vehículo de temperatura agua calentada indirectamente con vapor, es decir que el vapor nunca tiene contacto directo con el agua, en esta fase por medio del intercambio de calor se lleva la temperatura final de pasteurización al producto.

Seguido, los tubos de retención, estos son sistemas de tuberías que prolongan el curso del producto, es decir el producto se transporta en un efecto

de vaivén siempre sometido a la temperatura final de pasteurización durante el tiempo estipulado según el producto que se trabaje para asegurar el efecto de pasteurización. Aquí es donde se controla generalmente el punto crítico de control de una pasteurizadora, ya que la temperatura no se debe de perder mientras se transporta en los tubos de retención.

**Figura 2.**

*Tubos de retención o serpentín*



*Nota.* Sistemas de tuberías con el fin de prolongar y de mantener la temperatura adecuada durante el proceso de pasteurización. Obtenido de J. Bonilla y E. Cordero (2010). *Diseño y análisis de un sistema de instrumentación y automatización industrial aplicado al proceso de pasteurización de una planta de elaboración de cerveza.* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio institucional.

Luego, el producto regresa a la 3ra. Fase del intercambiador, la cual es la fase de frío, luego de cumplir el tiempo de retención, regresa al intercambiador de placas para bajarle la temperatura y crear condiciones adecuadas para un envasado a temperatura ambiente o frío ( entre 0° y 4° Celsius) según especificaciones de almacenaje que requiera el producto, el vehículo de temperatura fría es representado por un agente refrigerante, generalmente usado el Glicol, el cual por medio de enfriadores intercambiar la temperatura indirectamente al producto.

Una vez, el producto sale de la fase de frío, automáticamente gana el nombre de producto terminado ya que es una mezcla ya pasteurizada y lista para el envasado, por lo cual por medio de una bomba centrífuga se envía el producto hacia los tanques de envasado, para procesar el mismo según las diferentes presentaciones en volumen que requiera el cliente final.

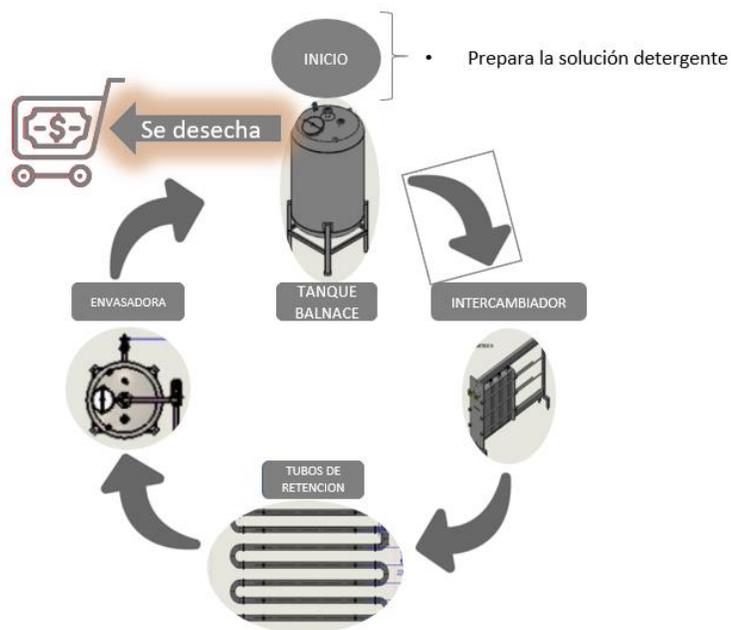
Las líneas del proceso de limpieza en sitio (CIP) son exactamente las líneas de producción, con la diferencia de que en la última fase, que es en la envasadora se instala un dispositivo denominado puente de retorno el cual cierra el circuito conectándose a las líneas de retorno directas hacia el tanque balance que es donde inicia el proceso, dando lugar a un circuito cerrado el cual es la estructura básica de operación para un sistema de limpieza en sitio (CIP), por este circuito cerrado se hace recircular la solución de limpieza a una temperatura definida y durante un tiempo definido para efectuar el efecto de limpieza, remoción, desincrustación y eliminación de la suciedad de todas las líneas y equipos que conforman el sistema de producción de una planta pasteurizadora HTST.

Cabe mencionar que al finalizar el proceso de limpieza en sitio (CIP) la solución de limpieza es drenada hacia la salida de aguas residuales en un efecto

de empuje mediante la inyección de agua potable desde el tanque balance, el cual es el punto de inicio del circuito, lo cual genera un efecto de purga de las líneas de producción.

### Figura 3.

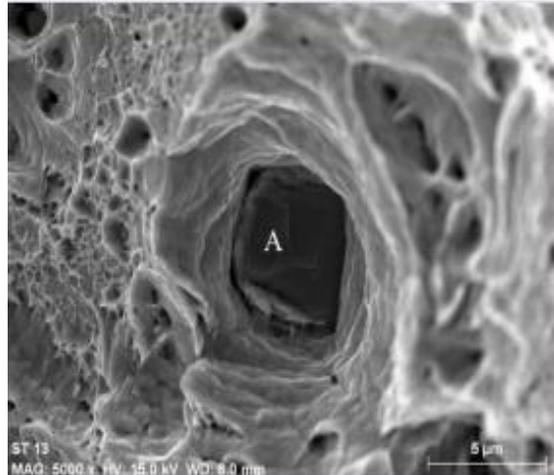
*Descripción gráfica del proceso de limpieza en sitio (CIP)*



*Nota. Proceso de limpieza y desinfección CIP de acuerdo al tipo de producción y nivel de limpieza que requiera cada aplicación. Obtenido de Robayo, J. (2016). Diseño e implementación de un sistema de realidad virtual para una planta pasteurizadora de leche. [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle]. Repositorio institucional.*

## Figura 4.

*Superficie interna de tuberías antes del proceso de limpieza en sitio (CIP)*



*Nota.* El efecto de limpieza se realiza por deslizamiento de las disoluciones de limpieza por las paredes del circuito cerrado. Obtenido de R. Briones, A. Ruiz, C. Rubio y H. Carreón (2014). Caracterización microestructural y mecánica de una soldadura disímil de aceros inoxidable 316L/AL-6XN. *La revista latinoamericana de metalurgia y materiales*, 34(2), p. 306. <http://ve.scielo.org/pdf/rlmm/v34n2/art14.pdf>

### 1.3. Soluciones de limpieza

Las soluciones de limpieza son compuestos químicos detergentes y desincrustantes los cuales se diluyen en agua para lograr concentraciones adecuadas para el efecto de limpieza.

#### 1.3.1. Definición

En las líneas y equipos de producción de una planta pasteurizadora HTST, estas soluciones de limpieza son las que inundan las líneas de producción y por medio de los puentes de retorno recirculan realizando el efecto de limpieza, la

acción mecánica interna se logra por medio de las bombas que empujan las soluciones, mismas que son programadas para que cambien su caudal continuamente durante la ejecución de la limpieza en sitio (CIP) generando turbulencia y empujes agresivos los cuales favorecen el retiro de la materia orgánica incrustada en las tuberías y equipo, los elementos agua y químicos de limpieza son los que representan altos costos de operación por sus elevados consumos, pero también son la esencia del proceso de producción en una planta pasteurizadora HTST, ya que una limpieza deficiente puede resultar en grandes cantidades de producto contaminado que al final tienen un impacto negativo económicamente hablando, porque se convierte en costos de la no calidad (Bonilla y Cordero, 2010).

Para lograr un aprovechamiento al máximo de las soluciones de limpieza se debe establecer una turbulencia acorde al diámetro de la tubería para que se genere la suficiente acción mecánica para remover los residuos en las superficies, para esto es necesario contemplar las siguientes variables para calcular los caudales adecuados (Nazareno, 2015).

**Tabla 3.**

*Variables para determinar la turbulencia*

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>
D	Diámetro de las tuberías CIP.
Q	Caudal de las soluciones de limpieza.
M	Viscosidad dinámica de las soluciones de limpieza.
P	Densidad del fluido de las soluciones de limpieza.

*Nota.* Las variables para determinar la turbulencia adecuada de las soluciones de limpieza en un procedimiento de limpieza en sitio (CIP) son esenciales para el éxito de la operación. Elaboración propia, realizado con Word.

El efecto de turbulencia más eficiente para las soluciones químicas de limpieza en procedimiento de limpieza en sitio (CIP) se logra con velocidades dentro de las tuberías de 1.5 a 3.0 metros por segundo y se muestra una tabla Guía que sugiere el caudal adecuado para diferentes diámetros de tuberías (Nazareno, 2015).

**Tabla 4.**

*Caudal de las soluciones de limpieza*

<b>Diámetro de la tubería</b>	<b>Velocidades de las soluciones (metro / segundo)</b>	<b>Caudal (metros cúbicos / hora)</b>
25	2.8	5.4
40	2.0	9.0
50	1.7	12.0
65	1.48	18.2
80	1.36	25.2
100	1.34	37.9

*Nota.* Constantes para un efecto óptimo según el diámetro de las tuberías del sistema de limpieza en sitio (CIP). Obtenido de S. Nazareno (2015). *Plan de mejoramiento del sistema de limpieza (CIP) en una planta de elaboración de helados.* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional.

### **1.3.2. Composición**

La composición química de las soluciones de limpieza generalmente están compuestas a base de hidróxido de sodio como detergentes alcalinos, estas soluciones son diluidas en agua para lograr una concentración volumen por volumen de entre 2 y 2.5 por ciento, logrando una alcalinidad de entre 11 y 13 de pH, estas características químicas generan el efecto de limpieza y crean

atmósferas condicionadas que aniquilan microorganismos y no favorecen la propagación microbiana dentro de las líneas de producción , también son usadas soluciones a base de detergentes ácidos con composiciones químicas a base de ácidos sulfúricos o fosfóricos como desincrustantes, estas soluciones son diluidas en agua para lograr una concentración volumen por volumen de entre 0.5 y 1 por ciento, logrando una atmósfera ácida de entre 2 y 4 de pH. Estas características químicas logran el mismo efecto que las soluciones alcalinas (Bonilla y Cordero, 2010).

Se debe tomar en cuenta que debido a la composición química, las soluciones de limpieza solo en si logran realizar el efecto esperado, siempre y cuando se asegure que un contacto prolongado en todas las superficies y con flujo continuo hacia afuera, el efecto de un mal diseño en los sistemas de tuberías y equipos hacen que los líquidos se acumulen al algún sector específico de las líneas de proceso, dando como consecuencia que las composiciones químicas se degradan perdiendo sus características de limpieza generando un desperdicio de químicos de limpieza y poniendo en riesgo la inocuidad del proceso (Bonilla y Cordero, 2010).

### **1.3.3. Clasificación de soluciones alcalinas / ácidas**

La parte ácida de la limpieza en sitio (CIP) es un proceso alternativo complementario el cual es ejecutado en menos frecuencia debido a que la generación de incrustaciones que no pueden ser removidas por la parte del detergente alcalino se van dando paulatinamente, la frecuencia del proceso de limpieza ácida se trata de reducir debido a que genera daños en la estructura y mecanismos de los equipos, tanto de las electroválvulas, bombas e intercambiadores, atacando componentes nobles.

Para efectuar una limpieza óptima de sólidos o materia orgánica en las líneas de producción de una pasteurizadora HTST se utilizan detergentes con elevada alcalinidad o acidez, las soluciones detergentes alcalinas utilizadas como detergentes y desinfectantes al mezclarse con agua se separan en iones negativos y positivos, la soda cáustica o hidróxido de sodio (NaOH) al diluirse se separa y se convierte en  $\text{Na}^+$  y  $\text{OH}^-$ . En el caso de los detergentes ácidos ( $\text{HNO}_3$ ) al diluirse se separan y se convierten en  $\text{H}^+$  y  $\text{NO}_3^-$ . Este efecto de separación hace posible la medición de la concentración mediante el análisis de la conductividad (Ascend Media, 2010).

La parte alcalina de la limpieza en sitio (CIP) es un proceso básico, rotundamente necesario en los cambios de *batch* o cada cierto tiempo de producción, por lo cual este estudio se enfoca directamente en la optimización de los recursos empleados en este proceso, ya que por ser muy frecuente genera altos consumos de químicos y agua en los procesos de limpieza.

#### **1.4. Proceso (CIP) regenerativo**

Un proceso de limpieza en sitio por sus siglas en inglés (CIP) regenerativo implica no desechar las soluciones químicas de limpieza, en cambio se recuperan.

##### **1.4.1. Definición**

Al enfocarse a un método para regenerar propiedades químicas de las soluciones de limpieza, se introduce al campo crítico de un proceso de producción, el cual es la variable más importante en la industria de alimentos, inocuidad (Arbelaez, 2019).

Las soluciones pierden sus concentraciones de ingrediente activo debido a la cantidad de materia orgánica que retiró dentro de las líneas y equipos de producción o el contacto y mezcla con agua que pudo tener en los efectos de empuje y drene de las líneas. Es aquí donde entra a escena el efecto regenerativo el cual representa simplemente la nivelación de las concentraciones establecidas en el proceso mediante el agregado de más solución química concentrada proveniente del proveedor, logrando una regeneración de las propiedades detergentes de limpieza para poder usarla nuevamente, un ciclo repetitivo hasta que la carga de materia orgánica y características microbiológicas en la solución de químicos de limpieza lo permitan.

#### **1.5. Estructuración de procesos**

Las estructuración en las líneas de un proceso regenerativo CIP en una planta pasteurizadora HTST son exactamente iguales a las líneas de producción descritas anteriormente, con la diferencia de que al finalizar el proceso de limpieza en sitio (CIP) se instala un dispositivo denominado puente de retorno el cual redirecciona la solución de limpieza hacia una tolva de filtros los cuales mediante un tamiz a 220 micrones filtran todo rastro de materia orgánica arrastrada en el efecto de limpieza de las líneas de producción.

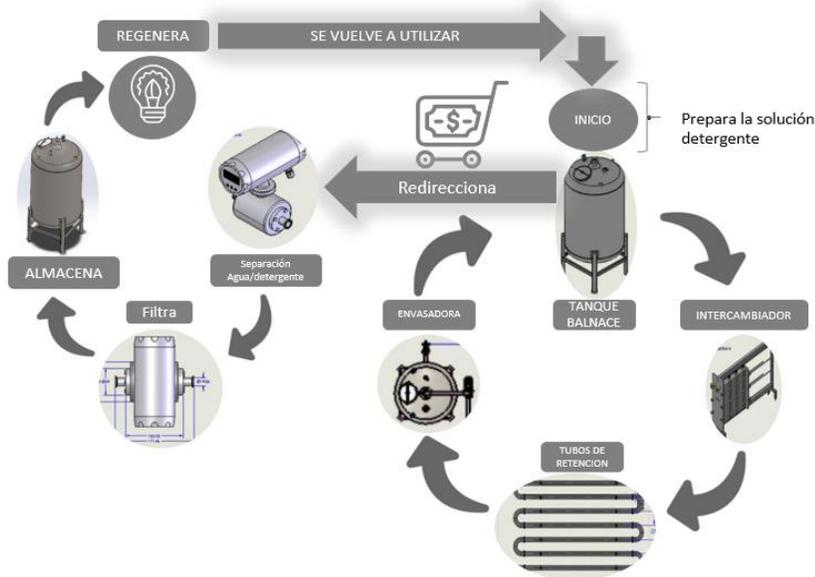
Posterior al proceso de filtración, la solución de limpieza se redirecciona hacia el tanque de almacenamiento mediante el procedimiento normal de empuje y purga de las líneas.

Una vez culminada la recuperación de toda la solución de limpieza se mide concentración, esto con el objetivo de determinar la cantidad de ingrediente activo que necesita para llegar a las concentraciones adecuadas, a esto se le

denomina regeneración una vez niveladas las concentraciones se almacena para un próximo proceso de limpieza en sitio (CIP).

### Figura 5.

*Descripción gráfica del proceso de limpieza en sitio (CIP) regenerativo*



*Nota.* Las soluciones se vuelven a utilizar añadiendo las cantidades de concentración adecuadas. Obtenido de Robayo, J. (2016). Diseño e implementación de un sistema de realidad virtual para una planta pasteurizadora de leche. [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle]. Repositorio institucional.

#### 1.5.1. Modificación y adaptación al sistema de las plantas pasteurizadoras HTST

En la implementación de un proceso CIP regenerativo en una planta pasteurizadora HTST, es necesario primero adaptar un puente de retorno justo en la fase final del circuito cerrado del proceso de limpieza en sitio (CIP), este puente conformado de tuberías de acero inoxidable permitirá eliminar el paso de desecho de las soluciones de limpieza.

Por el efecto de limpieza, las soluciones arrastraran materia orgánica de las líneas de producción, función básica y esencial del proceso, esta materia orgánica necesita ser removida de la solución antes de ser almacenada, para esto es necesario implementar un sistema de filtración, a base de un tamiz a 220 micrones lo que permitirá atrapar trozos de materia orgánica lo cual puede contaminar las soluciones de limpieza dentro del tanque de almacenamiento.

Para efectuar el proceso regenerativo de las soluciones de limpieza es necesaria la implementación de un medio de almacenaje, este debe ser un tanque de acero inoxidable con estructura aséptica, esquinas redondeadas, fondo cónico, dispositivo de carga y descarga con modo clamp, amplia compuerta superior para las tomas de muestras para medir concentraciones de ingrediente activo para nivelar concentraciones requeridas, sistema de descarga por gravedad para facilitar los procedimientos de limpieza. La capacidad de almacenaje del tanque debe superar en un 25 por ciento la cantidad de metros cúbicos que comprende todo el circuito cerrado de limpieza en sitio (CIP) de la planta pasteurizadora HTST con el objetivo de recuperar el 100 % de la solución de limpieza.

Por último, adaptar una bomba y un puente a base de tuberías de acero inoxidable que permita trasladar la solución de limpieza almacenada en el tanque hacia el tanque balance para iniciar nuevamente el ciclo de un proceso de limpieza en sitio (CIP).

### **1.5.2. Separación agua / detergentes**

Este es un punto clave en la implementación del proceso regenerativo CIP en una planta pasteurizadora HTST, ya que de esto depende cuanto ingrediente activo del químico de limpieza se utilizará para el efecto de nivelación de

concentraciones y cuánta solución de limpieza se recuperaría, para esto es necesario realizar un estudio de tiempos de recorrido de líquidos desde el punto A el cual será el inicio del circuito hasta el punto B el cual será el fin del circuito, la aplicación del tiempo de recorrido puede también ser apoyado mediante una medición constante del pH de la solución, establecidos estos dos datos, se ejecuta la separación justo en el puente de retorno de la fase final del circuito mediante un conjunto de llaves que direccionen la solución de limpieza purgada del circuito cerrado del proceso de limpieza en sitio, cuando se cumpla el tiempo de recorrido de líquidos y el pH de la solución esté en menor de 7, se cierra la recuperación y se abre la llave de drenaje, desechando únicamente agua y recuperando la solución química de limpieza.

### **1.5.3. Filtración de soluciones de limpieza**

El proceso de filtración generará una mayor vida útil de la solución de limpieza recuperada, ya que al retirar los trozos de materia orgánica arrastrada en el proceso de limpieza en sitio (CIP) de las líneas de producción detendrán la curva de desgaste del ingrediente activo (hidróxido de sodio) esto reducirá el consumo de químicos utilizados en el proceso de regeneración y la nivelación de concentraciones, optimizando el efecto de limpieza en las soluciones recuperadas. El proceso de filtración se ejecuta automáticamente pasando la solución por la tolva filtrante conformada por un tamiz a 220 micrones antes del almacenamiento.

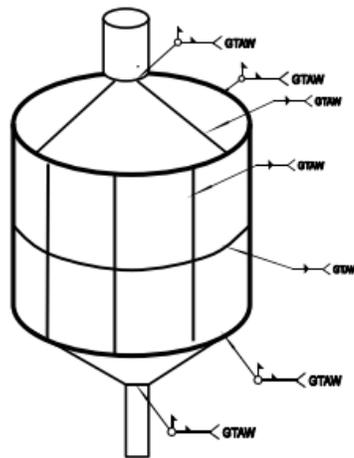
### **1.5.4. Almacenaje de soluciones de limpieza**

Este elemento en la implementación del proceso regenerativo CIP, constituye el factor que más inversión necesita, ya que el medio de almacenamiento de las soluciones de limpieza requiere una estructura acorde

para evitar una re-contaminación y sean capaces de albergar soluciones a altas temperaturas, abonado a esto, una bomba que permita transportar la solución almacenada e inyectarla nuevamente a las líneas del circuito cerrado del procedimiento de limpieza en sitio.

**Figura 6.**

*Diseño del tanque de almacenamiento de soluciones de limpieza*



*Nota.* Permite llevar a cabo recirculaciones sobre el depósito de preparación. Dependiendo del sistema puede ser una o varias. Obtenido de E. Lux (2005). *Estudio técnico para la construcción y montaje de tanques de cocimiento del mosto en la industria de elaboración de cerveza.* [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional.

## **Figura 7.**

*Diseño interior de un tanque de almacenamiento de soluciones de limpieza*



*Nota.* El diseño del sistema de distribución debe minimizar el número de soldaduras, codos y uniones tipo abrazadera. Obtenido de Ascend Media (2011). Mejorando la limpieza sustentable. *Industria Alimenticia*, 22, p. 37.

### **1.5.5. Regeneración de concentraciones de soluciones de limpieza**

Una vez recuperadas toda la solución de limpieza y almacenada en el tanque de recuperación, se mide concentraciones del ingrediente activo, el rango requerido es entre 2 y 2.5 por ciento volúmenes por volumen, dependiendo de la concentración, se decide cuánto volumen de ingrediente activo se agrega, luego se mide nuevamente la concentración como método de corroboración del rango requerido.

### **1.5.6. Reutilización de detergentes**

Con la implementación del procedimiento regenerativo CIP, el circuito de limpieza en sitio cambiará el punto inicial, el nuevo proceso implica iniciar transportando por medio de una bomba centrífuga la solución de limpieza recuperada, regenerada y nivelada en las concentraciones requeridas y almacenada en el tanque de recuperación hacia el tanque balance de la pasteurizadora donde se ejecuta el circuito cerrado de limpieza en sitio, este ciclo de recuperación, regeneración y reutilización puede ser repetido hasta que las condiciones químicas y microbiológicas lo permitan, parámetros que necesitan ser validados mediante análisis en sitio durante la ejecución.

El diseño de un sistema regenerativo de limpieza en sitio (CIP) permite que las soluciones de limpieza se puedan reutilizar varias veces dependiendo del alimento o bebida procesada en la planta pasteurizadora, ya que las propiedades químicas de las soluciones se pueden regenerar una vez recuperadas correctamente (Matt, 2021).

## **1.6. Validación curva de desgaste de las soluciones de limpieza**

Se analiza el desgaste de las soluciones utilizadas, se evalúa la posibilidad para la reutilización de las mismas mediante el rango de concentraciones.

### **1.6.1. Definir rango de concentraciones adecuadas**

Los rangos de las concentraciones adecuadas los definen las fichas técnicas y manuales operativos de la maquinaria y equipo implicado en el circuito cerrado del procedimiento de limpieza en sitio (CIP) ya que generalmente el fabricante recomienda concentraciones cuidado la integridad de los componentes

nobles de los cuales están conformados sus líneas de producción, también es necesario tomar en cuenta las recomendaciones del proveedor de los químicos de limpieza, ya que ellos poseen el máximo conocimiento del comportamiento de los mismos. Todas estas recomendaciones deben ser evaluadas y validadas mediante tirajes industriales en pro de la optimización de recursos invertidos en estos procedimientos asegurando la inocuidad de la cadena productiva y de los productos mismos.

### **1.6.2. Analizar pérdidas de ingredientes activos**

Esto se realiza mediante el registro estadístico de las concentraciones de la soluciones de limpieza recuperadas, conforme se vayan ejecutando los procedimientos de limpieza en sitio (CIP) las soluciones se irán degradando y requiriendo cada vez más volumen de ingrediente activo para nivelar concentraciones, este estudio determinará el punto óptimo en el cual resulta ser conveniente la renovación completa de la solución química de limpieza para lograr los resultados requeridos en la líneas de producción, un método de validación para determinar la eficacia de la limpieza es una inspección visual de las placas del intercambiador, aquí es donde se obtiene el mayor foco de incrustaciones y materia orgánica generado durante la producción, un síntoma de limpieza deficiente derivado de concentraciones fuera de rango es el aumento de presiones (psi) en la entrada del intercambiador, menor volumen de producción por batch y hasta el extremo de generar taponamientos en las líneas de producción, por lo cual el estudio de la degradación de los detergentes es importante para lograr un proceso de limpieza óptimo utilizando un método regenerativo.

### **1.6.3. Definir capacidad de producción en *batches* procesados para la renovación total de las soluciones de limpieza**

La capacidad de producción lograda con soluciones de limpieza regeneradas dependerá de un estudio enfocado en el efecto de limpieza y desincrustación de las líneas de producción y el desgaste de los ingredientes activos, ya que en cierto momento las curvas de desgaste nos demandaran cambio completo de las soluciones químicas de limpieza, en ese preciso momento se define la capacidad de producción y se establece un ciclo repetitivo de regeneración y cambio total de la soluciones, los procesos productivos de las líneas de pasteurización HTST estandarizadas obedecen patrones de comportamiento que ayudarán a establecer el ciclo de producción.

## **1.7. Validación parámetros microbiológicos que aseguren la inocuidad**

Las plantas procesadoras de alimentos deben contar con procesos que aseguren la calidad e inocuidad de los productos.

### **1.7.1. Análisis microbiológicos de las soluciones de limpieza**

Se realiza un tiraje industrial proyectando un ciclado de la solución química de limpieza sometida a un proceso regenerativo y a nivelación de concentraciones durante 5 días, siendo lunes el día de preparación de soluciones químicas de limpieza nuevas y siendo viernes el día de desecho, se deben tomar muestras durante los 5 días, las muestra número 1 será tomada al finalizar el batch de producción del día lunes, repitiendo la toma de muestra el día martes, miércoles, jueves y por último la del día viernes justo antes de desechar la solución de limpieza. Las muestras se enviarán al laboratorio de microbiología

para evaluar la carga microbiana la cual será una base comparativa contra el efecto de limpieza obtenido en cada ciclado.

### **1.7.2. Análisis microbiológicos de superficies (máquina)**

Para validar la eficacia de los procedimientos de limpieza en sitio (CIP) utilizando un proceso regenerativo es necesario realizar análisis de bioluminiscencia ATP en las superficies de:

- Tanque balance
- Entrada del intercambiador
- Salida del intercambiador
- Tubos de retención

Esto se realizará como método de liberación de líneas inmediato, simultáneamente se realizarán hisopados en los mismos puntos, los días 1 y 5 muestras que deberán ser enviadas al laboratorio de microbiología para evaluar la carga microbiana y validar la eficacia de la limpieza en sitio (CIP).

Posterior al día 5, se debe realizar una inspección visual de las partes internas del intercambiador, placas en las 3 fases y empaques para validar la eficacia de la remoción de incrustaciones en las líneas de producción y equipos que conforman el circuito de pasteurización.

### **1.7.3. Análisis microbiológicos de producto terminado**

En la prueba operativa se deben tomar muestras de los productos terminados del día 2 y 5, declarando como muestras de retención 4 de cada una, las cuales se les debe hacer un estudio y seguimiento de vida anaquel cuando

cada una de ellas cumpla 25 % de vida útil, 50 % de vida útil, 75 % de vida útil y 100 % de vida útil. Esto con el objetivo de validar que la implementación de proceso regenerativo CIP se verá reflejada en las características físicas, químicas, organolépticas y microbiológicas del producto.



## 2. DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN

A continuación, se detallan los elementos necesarios para la implementación de un sistema CIP regenerativo en una planta pasteurizadora HTST.

### 2.1. Implementación del nuevo proceso CIP

Para la implementación de un proceso CIP regenerativo se debe tomar en cuenta lo siguiente:

#### 2.1.1. Determinación de volúmenes de consumo de soluciones de limpieza

Para determinar los consumos de las soluciones de limpieza se realizó un registro histórico durante el periodo de ejecución de la corrida industrial registrando la cantidad en litros de la solución de hidróxido de sodio utilizada en los procesos de limpieza en sitio CIP, para esto se utilizó la tabla 5.

**Tabla 5.**

*Registro del historial de consumo en litros (hidróxido de sodio) en el CIP*

<b>Consumo de soda (hidróxido de sodio) en litros como en soluciones de limpieza CIP</b>						
Concepto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Total
Dosis inicial	5	0	0	0	0	5

Continuación de la tabla 5.

<b>Consumo de soda (hidróxido de sodio) en litros como en soluciones de limpieza CIP</b>						
Concepto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Total
Regeneración	0	0	0	2	0	2
Total	5	0	0	2	0	7

*Nota. Registro periódico de consumo de soda en litros en el proceso de limpieza. Elaboración propia, realizado en Word.*

El proceso de registro inició el día 1 (lunes) en el cual se elaboraron las soluciones nuevas, en cuanto obtuvimos la concentración requerida la cual era entre 2 % y 2.5 % V/V misma que fue determinada mediante el kit de titulación facilitado por el proveedor de soluciones de limpieza, la cantidad en litros utilizada en la preparación fue justamente nuestro primer registro, luego al finalizar el proceso CIP ya retornada la solución de hidróxido de sodio en el tanque de almacenamiento se procedió a titular nuevamente para determinar la concentración de la misma ya en su primer uso, en la tabla 6 se muestra la guía para ajustar concentraciones de la solución, acción regenerativa de las concentraciones de las soluciones de limpieza que originaron el título a esta investigación , el día 2 (martes) antes de iniciar el proceso CIP se tituló nuevamente las concentraciones antes de iniciar el proceso CIP, al finalizar se verificó concentraciones nuevamente y se ajustó mediante la guía en la tabla 6. Así sucesivamente se verificó concentraciones y se registraron según tabla 5 en los días 3, 4 y 5 lo cual constituye el ciclo de la ejecución de la investigación.

**Tabla 6.***Guía para regenerar las concentraciones de la solución de limpieza*

Concentración (% V/V)	Agregar (ml)
> 1.5 % < 2 % V/V	2000
> 1 % < 1.5 % V/V	3000
> 0.5 % < 1 % V/V	4000
>0 % < 0.5 % V/V	5000

*Nota.* Guía de ajuste de concentraciones para la reutilización de solución de limpieza. Elaboración propia, realizado en Word.

**Tabla 7.***Titulación de concentraciones V/V*

Titulación de concentraciones de soda (hidróxido de sodio) % V/V a la solución de limpieza CIP					
Concepto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Concentración inicial	2.50 %				
Concentración previo al CIP	2.50 %	2.45 %	2.25 %	2.05 %	2.30 %
Concentración post al CIP	2.47 %	2.30 %	2.15 %	1.90 %	2.20 %
Concentración post ajuste de volumen	2.45%	2.25 %	2.05 %	2.30 %	<b>FIN</b>

*Nota.* Recopilación de información de acuerdo a lecturas periódicas de concentración de soda. Elaboración propia, realizado en Word.

**Figura 8.**

*Titulación de concentraciones*



*Nota.* Fotografía que muestra el proceso de obtención de información para elaborar la titulación de concentraciones. Elaboración propia.

**Figura 9.**

*Retorno de soluciones de limpieza*



*Nota.* Fotografía del proceso de retorno de la solución de limpieza. Elaboración propia.

### 2.1.2. Determinación de consumos de agua de proceso

Para determinar los consumos de agua se realizó un registro histórico durante el periodo de ejecución de la corrida industrial registrando la cantidad en litros de utilizada en los procesos de limpieza en sitio CIP, para esto se utilizó la tabla 8.

**Tabla 8.**

*Registro del historial de consumo en litros de agua del proceso CIP*

<b>Consumo de agua en litros usada en el proceso regenerativo CIP</b>						
Concepto	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	
Volumen solución inicial	200	200	200	200	200	
Volumen solución después del CIP	175	185	185	160	185	
Volumen agua agregada	25	15	15	40	0	<b>Total, consumo</b>
Total, volumen de consumo agua	225	15	15	40	0	295

*Nota.* Este registro documenta meticulosamente la cantidad de agua utilizada en cada ciclo de limpieza, proporcionando información clave para la optimización de recursos. Elaboración propia, realizado con Word.

El proceso de registro inició el día 1 (lunes) en el cual se elaboraron las soluciones nuevas, aforando el *batch* de solución con 200 litros de agua, cantidad necesaria para inundar completamente el circuito de tuberías y equipo involucrados en la limpieza en sitio CIP, aspecto importante en proceso ya que si

no se completa el volumen mencionado existe un inminente riesgo de que las bombas caviten y se generen daños irreversibles. Esta cantidad de agua agregada fue justamente nuestro primer registro, luego al finalizar el proceso CIP ya retornada la solución de hidróxido de sodio en el tanque de almacenamiento se procede a determinar visualmente mediante el aforo del tanque de retorno la cantidad en litros perdida en el proceso de empuje y separación agua / soda y agregar el faltante hasta completar nuevamente los 200 litros. Así sucesivamente se generó el registro en los días 3, 4 y 5 lo cual constituye el ciclo de la ejecución de la investigación.

**Figura 10.**

*Separación agua / soda posterior al CIP*



*Nota.* Tras la limpieza, esta separación eficiente permite aislar las soluciones de soda usadas para su tratamiento y reciclaje adecuado. Elaboración propia.

### 2.1.3. Definición de rendimientos y ciclos regenerativos de las soluciones de limpieza

Para determinar los rendimientos de las soluciones de limpieza, se registró en la tabla 8 la cantidad en litros consumida de soda contra la cantidad en litros de la producción obtenida, así se determinó un rendimiento denominado porcentaje de rendimiento durante el ciclo regenerativo representado por 5 días, periodo en el cual se ejecutó la investigación; la fórmula utilizada para determinar este porcentaje de rendimiento resultó de la división de los litro de soda utilizados dentro de la cantidad de litros producidos multiplicados por 100. Es importante mencionar que el proceso de filtración en los retornos de las soluciones fue pieza clave para lograr los rendimientos obtenidos, ya que gran parte de la materia orgánica se quedaba atrapada en ellos, por ende, se logró concentraciones dentro de los requerido y disminuir las dosis de regeneración.

#### Figura 11.

*Tolvas de filtración*



*Nota.* La tolva está equipada con una salida en su base, donde los sólidos separados se acumulan en un compartimento de recolección. Elaboración propia.

**Tabla 9.***Rendimiento de las soluciones de limpieza en un CIP regenerativo*

Rendimiento de las soluciones de limpieza en un CIP regenerativo						
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Total
<b>Producción (Lt.)</b>	5150	4956	5025	5551	4885	25567
<b>Soda inicial (Lt.)</b>	50	0	0	0	0	5
<b>Total, consumo de soda</b>	0	0	0	2	0	2
<b>% rendimiento <math>\leq</math> 3 % (soda/producción) *100</b>	5	0	0	2	0	7
	<b>10 %</b>	<b>0 %</b>	<b>0 %</b>	<b>4 %</b>	<b>0 %</b>	<b>3 %</b>

*Nota.* Tabla de registro de datos sobre el rendimiento de la limpieza CIP regenerativa. Elaboración propia, realizado con Excel.

La determinación del ciclo regenerativo se realizó mediante el proceso de titulación de las concentraciones de la solución de limpieza retornada justo después de la ejecución de procedimiento CIP, teniendo como objetivo la concentración adecuada ya establecida el proceso, evidenciándose en la tabla 9.

#### **2.1.4. Estimación del costo beneficio de la implementación**

Para estimar el costo beneficio de la implementación de un sistema CIP regenerativo, se realizó un comparativo del costo incurrido en el consumo de soda entre un CIP desechable contra un CIP regenerativo, determinando un ahorro substancial lo cual automáticamente se refleja en una reducción del costo unitario obtenido en la cuenta de limpieza e higiene del centro productivo de la organización, esta reducción impacta directamente al flujo de efectivo ya que las

compras de los insumos de limpieza se verán reducidos, tal como lo muestra la tabla 10.

**Tabla 10.**

*Estimación de reducción de costos*

ESTIMACION DE REDUCCION DE COSTOS EN UN CIP REGENERATIVO							
ASPECTOS A EVALUAR		LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL
CIP DESECHABLE	CONSUMO DE SODA EN LITROS	5	5	5	5	5	25
CIP REGENERATIVO	CONSUMO DE SODA EN LITROS	5	0	0	2	0	7
	VOLUMEN DE REDUCCION	0	5	5	3	5	18
	COSTO POR LITRO	24.45	24.45	24.45	24.45	24.45	Q 24.45
	AHORRO DIARIO	0	122.25	122.25	73.35	122.25	Q 440.10

*Nota.* A través de análisis y proyecciones, se calcula el potencial ahorro en gastos operativos, materiales y recursos. Elaboración propia, realizado con Excel.

### **2.1.5. Estimación del retorno de inversión**

Inicialmente se estimó el costo de los materiales y accesorios utilizados en la adaptación de los circuitos CIP de la planta.

**Figura 12.**

*Accesorios utilizados en la adaptación*



*Nota.* Estos componentes complementarios, como boquillas especiales, conectores y sistemas de monitoreo, permiten ajustar el proceso a las necesidades específicas de limpieza de cada equipo. Elaboración propia.

**Figura 13.**

*Tanque de retorno de soluciones de limpieza*



*Nota.* Este tanque recoge y almacena temporalmente las soluciones de limpieza utilizadas, permitiendo su reutilización en ciclos posteriores. Elaboración propia.

Adicional se estimó el costo de las pruebas de laboratorio (hisopados) realizados en las tuberías y equipo involucrado en el circuito de limpieza, y por último se determinó el costo de los análisis microbiológicos aplicados al producto terminado con el objetivo de validar que el producto terminado resultará sin ninguna alteración en los parámetros de inocuidad; de esta manera obtuvimos el monto de inversión del proyecto; luego, una vez implementado el sistema regenerativo CIP se determinó el ahorro obtenido mediante en el consumo de soluciones de limpieza, proyectando así un ahorro capitalizable semanalmente, mensualmente y anualmente detallado en la tabla VIII. Mediante una división entre el monto total de la inversión dentro del ahorro mensual obtenido se determinó el retorno de inversión en un tiempo estipulado de la implementación del sistema regenerativo CIP en la planta.

**Tabla 11.**

*Proyección de ahorros*

<b>Proyección de ahorros</b>	
Semana	Q. 440.10
Mes	Q. 1,760.40
Año	Q. 21,124.80

*Nota.* A través de análisis y cálculos, se anticipan los posibles recortes de costos y eficiencias en procesos. Elaboración propia, realizado con Word.

## **2.2. Validación de parámetros de inocuidad**

Este paso fue crucial para validar la eficacia de la limpieza obtenida ejecutando un proceso CIP regenerativo, ya que de los resultados obtenidos se determinaría si el procedimiento es seguro en aspectos de inocuidad, y por ende determinaba la viabilidad del proyecto.

### **2.2.1. Evaluación de parámetros microbiológicos**

Esta evaluación se realizó mediante hisopados en las tuberías y equipos involucrados en el circuito CIP utilizado, determinando mediante análisis microbiológicos el recuento aeróbico total el cual es un indicador de la población bacteriana en las superficies y expresándose en una unidad formadora de colonia (UFC), también se determinó la presencia de coliformes lo cual también es un indicador de la población bacteriana existente al igual que la ausencia de *Escherichia Coli*, parámetros de inocuidad establecidos para declarar superficies y equipo limpios. De esta manera se validó que la implementación de un sistema regenerativo CIP no representa un peligro a la inocuidad de los productos fabricados en estas líneas.

**Figura 14.**

*Análisis microbiológico de superficies de maquinaria y equipo*

	<b>Informe de Análisis de Superficies Petrifilm</b>	L-Fo-18 FC 01-06-17 UR 04-01-2021 Página 1 de 1
---	---	--

<b>FECHA DE INGRESO:</b>	05/02/2021	<b>HORA DE INGRESO:</b>	14:00
--------------------------	------------	-------------------------	-------

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>			
<b>PROCESO:</b>	CLASIFICADORA Y OVOPRODUCTOS	<b>FECHA DE TOMA:</b>	5/02/21
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	SUPERFICIE	<b>HORA DE TOMA:</b>	14:00:00
<b>EN ATENCIÓN A:</b>	RUDY HURTARTE	<b>RESPONSABLE DE TOMA:</b>	ERICK VILLELA
<b>OBSERVACIONES:</b>	-		

<b>RESULTADOS</b>							
CÓDIGO DE MUESTRA	LUGAR DE TOMA	DESCRIPCIÓN	RAT, UFC/20cm <sup>2</sup>	Coliformes Totales UFC/20cm <sup>2</sup>	<i>E. Coli</i>	Hongos, Mohos y Levaduras, UFC/30cm <sup>2</sup>	OBSERVACIONES
21-0262	HLP	LLENADORA NO.3 MANGUERA	<10	<10	AUSENTE	<10	AREA LIMPIA
21-0263	HLP	LLENADORA NO.3 TUBERIA DE EGRESO	<10	<10	AUSENTE	<10	AREA LIMPIA
21-0264	HLP	TANQUE DE BALNCE NO. 2	<10	<10	AUSENTE	<10	AREA LIMPIA
21-0265	HLP	TUBO DE RETENCION	<10	<10	AUSENTE	<10	AREA LIMPIA
21-0266	HLP	TUBERIA, ENTRADA DE INTERCAMBIADOR	<10	<10	AUSENTE	<10	AREA LIMPIA
21-0267	HLP	TUBERIA, SALIDA DE INTERCAMBIADOR	<10	<10	AUSENTE	<10	AREA LIMPIA

UFC: unidad Formadora de Colonia. MNPC: May Numbero Para Contar, Metodología: Compendium of methods for the Microbiological Examination of Food, 4th Edition 2001. RAT, CT, E.coli y Hongos y Levaduras con Metodos Petrifilm aprobados por AOAC international.

REFERENCIA	Superficies en uso	Superficies limpias
RAT	≤400 UFC/20cm <sup>2</sup>	≤80 UFC/20cm <sup>2</sup>
Coliformes	<80 UFC/20 cm <sup>2</sup>	<10 UFC/20cm <sup>2</sup>
<i>E. Coli</i>	AUSENTE	AUSENTE
Recuento total de hongos y levaduras:	-	-

Estos resultados son únicamente valederos para las muestras analizadas.

Licda. Elena Ortiz  
Supervisor de Laboratorio

Licda. Gabriela Villanueva  
Gestora de Laboratorio PROAVISIA

Última Línea

*Nota.* El análisis microbiológico de superficies de maquinaria y equipo es un procedimiento clave en la seguridad y calidad industrial. Elaboración propia, realizado con Excel.

### **2.2.2. Análisis de vida en anaquel de productos fabricados con el nuevo procedimiento**

Otro de los indicadores que nos pueden dar una referencia confiable de que el nuevo sistema CIP no afectó parámetros de calidad en los productos fabricados en las líneas involucradas es la vida de anaquel, para esto se tomó 5 muestras producidas bajo el nuevo método, las cuales se almacenaron siguiendo las instrucciones de manejo y almacenamiento del producto, a las mismas se analizó parámetros microbiológicos en toda la línea de tiempo que representa su vida útil declarada, en este caso el producto fabricado fue declarado con 30 días de vida en anaquel.

La primera muestra analizada representaba el día de fabricación, la segunda muestra representaba el 25 % de su vida en anaquel, la tercera muestra representaba el 50 % de su vida en anaquel, la cuarta muestra representaba el 75 % de su vida en anaquel y, por último, se analizó la quinta muestra justo en el último día de vida en anaquel declarado.

## Figura 15.

### Análisis microbiológicos del producto terminado

	Informe de Análisis Microbiológico de Alimentos/Materias Primas	L-Fo-05 FC 28-05-15 UR 05-01-2021 Página 1 de 1
---	---	--

CÓDIGO:	21-0928	FECHA DE RECEPCIÓN:	8/09/2021	HORA DE RECEPCIÓN:	12:00:00 PM
---------	---------	---------------------	-----------	--------------------	-------------

<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>			
PROCESO	CLASIFICADORA Y OVOPRODUCTOS	FECHA DE TOMA:	25/08/2021
TIPO DE MUESTRA:	PRODUCTO TERMINADO	HORA DE TOMA:	5:29:00 PM
LUGAR DE TOMA:	HLP		
DESCRIPCIÓN:	Doy pack 1 litro HLP, lote 250807		
EN ATENCIÓN A:	RUDY HURTARTE	RESPONSABLE DE TOMA Y ENVÍO	Doris Solares
OBSERVACIONES:			

ANÁLISIS REQUERIDOS	RESULTADOS	REFERENCIA HLP/HE
RAT:	<10 UFC/g	<5000 UFC/g
Coliformes Totales:	<10 UFC/g	<10 UFC/g
E. Coli:	AUSENTE	<3 NMP/g (ausente)
Hongos y levaduras:	<10 UFC/g	<10 UFC/g

UFC: unidad Formadora de Colonia. RAT: Recuento Aeróbico Total. MNPC: Muy Numeroso Para Contar; Metodología: Compendium of methods for the Microbiological Examination of Food, 4th Edition 2001. RAT, CT, E.coli y Hongos y Levaduras con Metodos Petrifilm aprobados por AOAC International.

Otros:	
--------	--

Estos resultados son únicamente valederos para las muestras analizadas.

Llida. Elena Ortiz  
Supervisor de Laboratorio

Llida. Gabriela Villanueva  
Gestora de Laboratorio PROAVISA

<b>ULTIMA LINEA</b>		
Laboratorio GranJazul	Camino a aldea las Trojes, Amatlán	16/09/2021

*Nota.* Este análisis respalda estándares sanitarios, previene riesgos y garantiza la integridad del proceso de producción. Elaboración propia, realizado con Excel.



### **3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS**

Llevada a la práctica todo lo establecido en esta investigación se obtuvieron los siguientes resultados:

#### **3.1. Reducción en el consumo de agua de proceso CIP**

En la implementación del proceso CIP regenerativo se obtuvo una reducción en uso de agua de 705 litros semanales, ciclo en el cual se ejecutó la investigación según tabla 7. Proyectando un ahorro de 33,840 litros de agua al año según tabla 8.

Esto generado por la acción de separación agua / soda en el retorno y regeneración de soluciones de limpieza. En el primer día se obtuvo un sobre consumo de 25 litros, dicha cantidad fue perdida en el proceso de separación agua / soda el cual se ejecutó con rangos muy estrictos en la medición de pH y determinación del punto exacto para hacer el cambio de llaves y dejar de drenar e iniciar el retorno de la solución de limpieza, dicho punto de control se estableció al obtener una medición de 7 pH. Lo cual permitió asegurar altas concentración de soda en la solución y drenar lo más posible la mezcla de agua y detergente.

**Tabla 12.***Reducción de consumo de agua*

<b>Comparativo de consumo de agua proceso CIP en litros</b>						
<b>Método</b>	LUNES	MARTES	MIÉRCOLE	JUEVES	VIERNE	TOTAL
			S		S	
<b>CIP desechable</b>	200	200	200	200	200	<b>1000</b>
<b>CIP regenerativo</b>	225	15	15	40	0	<b>295</b>
<b>Reducción de consumo</b>	<b>-25</b>	<b>185</b>	<b>185</b>	<b>160</b>	<b>200</b>	<b>705</b>

*Nota.* Permite comparar y registrar datos sobre el ahorro o diferencias en el consumo de agua en el proceso CIP. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 13.***Proyección de ahorro en el consumo de agua*

<b>Proyección en reducción anual en litros del consumo de agua</b>	
Semana	705
Mes	2820
Año	33840

*Nota.* Es un enfoque estratégico crucial en la gestión sostenible. A través de análisis y estimaciones, se anticipan las reducciones potenciales en el uso de agua en procesos industriales. Elaboración propia, realizado con Excel.

### **3.2. Reducción en el consumo de soluciones de limpieza**

En la implementación del proceso CIP regenerativo se obtuvo una reducción en el consumo de Soda (Hidróxido de sodio) de 18 litros semanales, ciclo en el cual se ejecutó la investigación según tabla XIV. Proyectando un

ahorro de 864 litros de soda al año según tabla XIII. En el día 1 del ciclo no hubo ninguna reducción, ya que por ser el inicio del ciclo es necesario elaborar las soluciones nuevas, en día 2 se observó que las concentraciones de las solución aún estaban en rango aun cuanto se ajustó niveles de volúmenes en las soluciones, mismo caso para el día 3, pero en el día 4 posterior a ajustar niveles de volúmenes en la solución se observó una caída en las concentraciones, por lo cual fue necesario agregar más soda para ajustar concentraciones, acción que representa el proceso de regeneración de las soluciones de limpieza.

**Tabla 14.**

*Comparativo de consumo de soda en el proceso CIP*

<b>Comparativo de consumo de soda proceso CIP en litros</b>						
<b>Método</b>	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Total
<b>CIP desechable</b>	5	5	5	5	5	<b>25</b>
<b>CIP regenerativo</b>	5	0	0	2	0	<b>7</b>
<b>Reducción de consumo</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>18</b>

*Nota.* Al comparar el consumo de este químico en diferentes ciclos de limpieza, se optimiza su utilización y se minimizan costos. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 15.**

*Proyección de reducción anual*

<b>Proyección en reducción anual en litros del consumo de soda</b>	
Semana	18
Mes	72
Año	864

*Nota.* cálculos en base a registros que nos muestran la reducción en consumo de soda (hidróxido de sodio) en los plazos: semanal, mensual y anual. Elaboración propia, realizado con Excel.

### 3.3. Ahorro obtenido con la implementación de un proceso CIP regenerativo

En la implementación del proceso CIP regenerativo se obtuvo un ahorro en el consumo de soda (hidróxido de sodio) de Q. 440.10 semanales, ciclo en el cual se ejecutó la investigación según tabla 16. Proyectando un ahorro de Q. 21,124.80 al año en el consumo, tabla 17. Dicha proyección contempla que el proveedor mantenga el precio de Q. 24.45 por litro de soda.

**Tabla 16.**

*Comparativo de costos en el consumo de soda*

<b>Comparativo de consumo de soda</b>						
<b>Método</b>	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Total
<b>CIP desechable</b>	Q. 122.25	Q. 122.25	Q. 122.25	Q. 122.25	Q. 122.25	<b>Q. 611.25</b>
<b>CIP regenerativo</b>	Q. 122.25	Q. -	Q. -	Q. 48.90	Q. -	<b>Q. 171.15</b>
<b>Ahorro obtenido</b>	<b>Q. -</b>	<b>Q. 122.25</b>	<b>Q. 122.25</b>	<b>Q. 73.35</b>	<b>Q. 122.25</b>	<b>Q. 440.10</b>

*Nota.* Esta optimización, en el transcurso de una semana, subraya el compromiso con la sostenibilidad y la eficiencia en las operaciones. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 17.**

*Proyección de ahorro*

<b>Proyección de ahorro anual en el consumo de soda</b>	
Semana	Q 440.10
Mes	Q 1,760.40
Año	Q 21,124.80

*Nota.* Esta estrategia eficiente mejoró la limpieza de equipos, y además también redujo notablemente los costos de este producto químico. Elaboración propia, realizado con Excel.

### 3.4. Validación de la efectividad de la limpieza

En el análisis de microbiología de las superficies de máquina lavadas bajo el nuevo método, se obtuvieron resultados aceptables, Tabla XIX. Todos dentro de parámetros según los criterios de aceptabilidad establecidos según tabla XVI, el método empleado para los análisis microbiológicos fue el *compendium of method for the microbiological examination of food, 4th. Edition 2001, RAT, CT, E-coli*. Los hisopados fueron realizados justo al final del ciclo de la ejecución del nuevo método y comparados con los resultados obtenidos anteriormente utilizando el método CIP convencional denominado desechable.

**Tabla 18.**

*Validación microbiológica de superficies de máquina limpia*

VALIDACION MICROBIOLÓGICA DE SUPERFICIES DE MAQUINA LIMPIA			
AREA	MICROBIOLOGIA	CIP DESECHABLE	CIP REGENERATIVO
LLENADORA	RAT UFC/20m2	20	<10
	COLIFORMES TOTALES UFC/20m2	<10	<10
	E-COLI	Ausente	Ausente
TANQUE BALANCE	RAT UFC/20m2	10	<10
	COLIFORMES TOTALES UFC/20m2	<10	<10
	E-COLI	Ausente	Ausente
TUBOS DE RENTECION	RAT UFC/20m2	20	<10
	COLIFORMES TOTALES UFC/20m2	<10	<10
	E-COLI	Ausente	Ausente
ENTRADA INTERCAMBIADOR	RAT UFC/20m2	<10	<10
	COLIFORMES TOTALES UFC/20m2	<10	<10
	E-COLI	Ausente	Ausente
SALIDA INTERCAMBIADOR	RAT UFC/20m2	10	<10
	COLIFORMES TOTALES UFC/20m2	<10	<10
	E-COLI	Ausente	Ausente

*Nota.* A través de pruebas y análisis, se verifica que los procedimientos de limpieza hayan eliminado de manera satisfactoria los contaminantes y residuos. Elaboración propia, realizado con Excel.

**Tabla 19.**

*Parámetros de aceptación establecidos*

REFERENCIA	Superficies en uso	Superficies limpias
RAT	≤400 UFC/20cm <sup>2</sup>	<80 UFC/20cm <sup>2</sup>
Coliformes	<80 UFC/ 20 cm <sup>2</sup>	<10 UFC/20cm <sup>2</sup>
<i>E. Coli</i>	AUSENTE	AUSENTE
<i>Recuento total de hongos y levaduras.</i>	-	-

*Nota. Al cumplir con estos parámetros, se asegura la conformidad del producto, garantizando su calidad. Elaboración propia, realizado con Excel.*

### **3.5. Tiempo de retorno de inversión**

La implementación del proceso CIP regenerativo requirió de una inversión total de Q. 39,223.00, costos conformados por la maquinaria, equipos y accesorios necesarios para completar el circuito de retorno de las soluciones de limpieza, tales llaves sanitarias, tuberías, codos, clamps, tolvas filtrantes y el tanque de almacenaje de las soluciones todo en acero inoxidable y acabados grado alimenticio, también fue necesario recurrir a un laboratorio para realizar análisis microbiológicos de validación tanto de las superficies de maquinaria y equipo lavada como los análisis del producto terminado para determinar la vida en anaquel de los producto producidos bajo en el método CIP regenerativo, Tabla 22.

**Tabla 20.***Detalles de la inversión*

CONCEPTO	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Maquinaria, equipo y accesorios necesarios para la implementacion	Tuberia de acero inoxidable de 2"	Metro lineal	Q 45.00	7	Q 315.00
	Codos de acero inoxidable de 2"	Unidad	Q 33.00	3	Q 99.00
	Llaves sanitarias manuales	Unidad	Q 178.00	5	Q 890.00
	Clamps de acero inoxidable (Conectores sanitarios)	Unidad	Q 25.00	8	Q 200.00
	Tolva mas filtro con mesh de 230 micrones de acero inoxidable	Unidad	Q 7,150.00	1	Q 7,150.00
	Tanque de acero inoxidable con capacidad para 500 litros,	Unidad	Q 27,500.00	1	Q 27,500.00
	Validacion de la efectividad de la limpieza, microbiologia de superficies	Recuento aerobico total (RAT) tomado en tubo y procesado en	Unidad	Q 18.00	3
Recuento de coliformes, tomado en tubo y procesado en petrifilm		Unidad	Q 39.00	3	Q 117.00
Aislamiento e identificacion de E-coli, tomado en tubo y procesado		Unidad	Q 39.00	3	Q 117.00
Validacion de parametros de inocuidad, Vida util del producto, microbiologia al alimento	Recuento aerobico total (RAT)	Unidad	Q 309.00	3	Q 927.00
	Recuento de coliformes totales	Unidad	Q 309.00	3	Q 927.00
	aislamiento e identificacion de E-	Unidad	Q 309.00	3	Q 927.00
				Total	Q 39,223.00

*Nota.* Los detalles de la inversión brindan una visión precisa del desembolso financiero necesario para este proyecto. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tomando en cuenta que el ahorro obtenido en la reducción de consumo de químicos de limpieza asciende a Q. 21,124.80 al año, se determina que el retorno de la inversión se obtendrá en 1 año, 10 meses y 9 días, considerando que la vida útil de los equipos que representaron el complemento del circuito de retorno de soluciones es de 10 años, se determina una utilidad de Q. 172,025.00, adicional a eso otros beneficios ligados a la reducción del consumo de agua de proceso y reducción de los volúmenes de aguas residuales que se transforma en menos horas de operación de la planta de tratamiento y aguas de desecho con menos niveles de contaminación.



## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la reducción del consumo de agua de proceso estuvieron estrechamente ligados al proceso de separación agua / detergente justo en el *By Pass* instalado en el retorno de las soluciones de limpieza, este proceso se realizó manualmente midiendo el pH de la solución con un potenciómetro, esperando encontrar un  $>10$  para proceder a detener la recuperación de la solución de limpieza, se estimó que justo en ese proceso se perdió hasta un 13 % del volumen de la solución, lo que se traduce en la leve pérdida registrada en el volumen inicial.

Si no se efectúa una medición puntual en el pH de la solución en ese punto, el consumo de agua se incrementa y por ende las soluciones de limpieza se perderían, por lo cual, resulta crucial este punto de control ya que de ello depende el éxito del proceso.

El día 1, justo cuando inició la corrida industrial, se pudo constatar que el consumo de agua incrementó un 13 % por el ajuste de volumen final derivado del proceso antes mencionado, único día declarado que se supera el volumen ejecutando un CIP desechable, sin embargo los siguientes días con el proceso CIP regenerativo se logró una reducción en el consumo de hasta un 92 % menos, obteniendo la misma tendencia en los días 3, 4 y 5 del ciclo regenerativo, lo cual constituye un rotundo éxito en la implementación.

El sistema regenerativo CIP, logró una reducción total de 97.5 % en el consumo de agua en los procedimientos de limpieza de la planta pasteurizadora, esto repercute en grandes beneficios asociados a los costos de operación de la

planta de tratamiento de aguas residuales, disminuyendo las horas de operación y los materiales e insumos utilizados en el proceso, la implementación de este método también contribuyó a reforzar los proyectos de sostenibilidad y economía circular recién implementados en la corporación, cumpliendo con el primer mandato del programa el cual es reducir y adaptándose perfectamente en los planes del programa como modelo para la implementación en las demás plantas de producción del corporativo.

En la reducción del consumo de soda (hidróxido de sodio) también fue crucial la eficacia del proceso de separación detergente / agua ya que pudo repercutir en el desecho de los ingredientes activos que necesitamos, otro factor influyente es el proceso de filtración antes de almacenar las soluciones de limpieza, esto porque mientras más materia orgánica se retorna al tanque de almacenamiento, más soda pura se necesitaría para efectuar el proceso regenerativo y alcanzar las concentraciones adecuadas de las soluciones, muy importante que los instrumentos de medición de pH estén en óptimas condiciones y calibrados, esto para garantizar concentraciones adecuadas y que pongan en peligro los ingredientes activos que no permiten la prosperidad microbiana en las soluciones y por ende no representen un peligro a la inocuidad del proceso de producción.

La ejecución de esta investigación, demostró que si existe una correcta separación de agua / detergente se puede lograr optimizar esa primera dosis 2 días más, logrando una reducción del consumo de soda de hasta el 100 % en el segundo, tercero y quinto día del ciclo regenerativo, el agregado que se evidenció en el cuarto día, representa una deficiente separación derivada de una mala medición o falta de monitoreo en el proceso de separación, excluyendo la causa a contaminación por materia orgánica ya que existe la barrera del filtrado antes del almacenamiento de las soluciones de limpieza.

El ahorro obtenido en la implementación del proceso CIP regenerativo mostró mucho potencial, ya que las soluciones en el último día del ciclo regenerativo determinado en esta investigación mostraron muy poca contaminación evidenciada en las concentraciones, color, olor y densidades, abonado a esto excelentes resultados en los análisis microbiológicos de las superficies de la maquinaria y equipo en la cual actuó las soluciones de limpieza ya regeneradas, cabe recalcar también que estos resultados se asimilaron en el producto terminado, validando así que el método no afecta cualidades comerciales y de inocuidad de los productos fabricados con este método, características que brindan altas probabilidades de poder extender el ciclo regenerativo, sin embargo dentro del marco del alcance determinado en esta investigación ya se logró un ahorro del 100 % en el día 2, 3, 5 y un 92 % en el día 4, que fue cuando se realizó la regeneración de concentraciones.

La estimación basada a la depreciación de activos, según datos técnicos brindados por el fabricante del tanque de almacenamiento del retorno de las soluciones de limpieza, la vida útil del equipo que conformó la adaptación del circuito del proceso CIP regenerativo está limitada a 10 años, representando así una rentabilidad neta de Q. 172,025.00 ya restando el monto de la inversión inicial, estos 10 años de vida útil aún se pueden prolongar en un 50 % más (15 años), si se le brinda un riguroso mantenimiento y cuidado enfocado en la integridad física, por lo cual representa un potencial de hasta Q. 105,624.00 de rentabilidad, extra de lo ya estipulado en este estudio.



## CONCLUSIONES

1. La reducción de los costos asciende a Q. 21,124.80 al año, generado principalmente por los consumos de químicos de limpieza ya que es el factor principal que determinará el beneficio de la implementación.
2. La reducción del consumo de agua asciende a 33,840 litros al año, variable muy importante, ya que representa un valor considerable entre los costos de operación generados por el sistema de tratamiento de agua de alimentación de la planta.
3. En el análisis de la efectividad de la limpieza se determinó que no existe un alza en los parámetros microbiológicos tanto en las superficies de la maquinaria y equipo que conforma el circuito cerrado de limpieza CIP, mismos resultados obtenidos en el producto terminado.



## RECOMENDACIONES

1. Utilizar el método definido en esta investigación en otros equipos o líneas de producción que impliquen un sistema de limpieza en sitio CIP, tales como tanques de mezcla o almacenamiento, homogeneizadoras, envasadoras y marmitas.
2. Recomendar a la academia, impulsar o seguir proponiendo metodologías y manuales que aporten a la industria de alimentos nuevas y diferentes perspectivas en la ejecución de procesos ya existentes, logrando con esto una mejora continua ligada muy estrechamente a la optimización de recursos.
3. Exhortar los profesionales que se dedican a la industria de alimentos, específicamente a las plantas pasteurizadoras que procesan todo tipo de alimentos para que utilicen los datos del presente estudio para adaptar a su entorno las recomendaciones técnicas dadas y con ello puedan reducir sus costos de producción y contribuyendo a iniciativas de sostenibilidad y/o economía circular.



## REFERENCIAS

- Arbelaez, L. (2019). *Automatización del sistema de distribución de la red principal de químicos para limpieza en sitio (CIP) en planta lácteos Colanta*. [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico Metropolitano]. Repositorio institucional.
- Ascend Media, (2010). Conductividad y concentración química. *Industria Alimenticia*, 21, 18-19.
- Ascend Media, (2011). Mejorando la limpieza sustentable. *Industria Alimenticia*, 22, 37-39.
- Bocanegra, J., & Castellanos, A. (2004). *Evaluación técnica y económica de una alternativa de mejoramiento CIP (cleaning in place – Limpieza en sitio) en el área de filtración de cervecería Leona S.A.* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio institucional.
- Bonilla, J., y Cordero, E. (2010). *Diseño y análisis de un sistema de instrumentación y automatización industrial aplicado al proceso de pasteurización de una planta de elaboración de cerveza*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio institucional.
- Briones, R., Ruiz, A., Rubio, C., y Carreón, H. (2014). Caracterización microestructural y mecánica de una soldadura disímil de aceros

inoxidables 316L/AL-6XN. *La revista latinoamericana de metalurgia y materiales*, 34(2), 306-315. <http://ve.scielo.org/pdf/rlmm/v34n2/art14.pdf>

García, E. (2012). *Evaluación de un sistema de limpieza en sitio (CIP) 3 pasos a temperatura ambiente en sustitución de un sistema de limpieza en sitio (CIP) 5 pasos a temperatura ambiente en líneas de embotellado para industrias de bebidas carbonatadas y no carbonatadas en un cambio de sabor*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional.

Lux, E. (2005). *Estudio técnico para la construcción y montaje de tanques de cocimiento del mosto en la industria de elaboración de cerveza*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio institucional.

Matt, H. (2021). Consideraciones para sistemas CIP eficaces. *Dairy Industries International*, 1, 20-21.

Muñoz, A. (2012). *Diseño e implementación de sistema CIP para industria productora de leche*. [Tesis de pregrado, Universidad de Santo Tomas]. Repositorio institucional.

Nazareno, S. (2015). *Plan de mejoramiento del sistema de limpieza (CIP) en una planta de elaboración de helados*. [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional.

Reyes, L. (2009). *Reingeniería del sistema de limpieza y sanitización por el método CIP para las envasadoras de bebidas gaseosas*. [Tesis de

pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio institucional.

Robayo, J. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de realidad virtual para una planta pasteurizadora de leche*. [Tesis de pregrado, Universidad de la Salle]. Repositorio institucional.

Rosania, W. (2017). *Optimización del programa de saneamiento con la implementación de un sistema CIP*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio institucional.

Zapata, L. (2019). *Automatización del sistema de distribución de la red principal de químicos para limpieza en sitio CIP en la planta Lácteos Colanta*. [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico Metropolitano]. Repositorio institucional.



## APÉNDICES

### Apéndice 1.

#### *Matriz de coherencia*

<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Variables</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>Recomendaciones</b>
<b>Pregunta Principal:</b> ¿Qué beneficios tiene la implementación de un sistema CIP regenerativo en una planta pasteurizadora HTST?	<b>Objetivo general:</b> Definir qué beneficios tiene la implementación de un proceso CIP regenerativo en una planta pasteurizadora HTST.			
<b>Preguntas auxiliares:</b> 1. ¿Cómo reducirá los costos de producción la implementación de un proceso CIP regenerativo y cuánto será el costo de inversión?	<b>Objetivos Específicos:</b> 1. Detallar la reducción de los costos de producción e inversión al implementar un proceso regenerativo.	Volúmenes de consumo de químicos limpieza. Maquinaria y equipo necesario.	La reducción de los costos en la implementación asciende a Q. 21,124.80 al año, generado principalmente por los consumos de químicos de limpieza ya que es el factor principal que determinará el beneficio de la implementación.	Utilizar el método definido en esta investigación en otros equipos o líneas de producción que impliquen un sistema de limpieza en sitio CIP, tales como tanques de mezcla o almacenamiento, homogeneizadoras, envasadoras y marmitas.

Continuación del apéndice 1.

Problema	Objetivos	Variables	Conclusiones	Recomendaciones
2. ¿Cómo se verá impactado el consumo de agua al implementar un proceso regenerativo?	2. Determinar la reducción del consumo de agua al implementar un proceso regenerativo CIP	Volúmenes de consumo de agua	La reducción del consumo de agua en la implementación asciende a 33,840 litros al año, variable muy importante, ya que representa un valor considerable entre los costos de operación generados por el sistema de tratamiento de agua de alimentación de la planta.	A la academia, seguir proponiendo metodologías y manuales que aporten a la industria de alimentos nuevas y diferentes perspectivas en la ejecución de procesos ya existentes, logrando con esto una mejora continua ligada muy estrechamente a la optimización de recursos.
3. ¿Cómo saber si es efectiva la limpieza usando un proceso regenerativo?	3. Analizar la efectividad de la limpieza usando un proceso regenerativo mediante análisis microbiológicos.	RAT UFC/20cm2 (<80UFC720 cm2) Coliformes UFC/20cm2 (<10UFC/20cm2) <i>E. Coli</i> (Ausente)	En el análisis de la efectividad de la limpieza se determinó que no existe un alza en los parámetros microbiológicos tanto en las superficies de la maquinaria y equipo que conforma el circuito cerrado de limpieza CIP, mismos resultados obtenidos en el producto terminado.	Los profesionales que se dedican a la industria de alimentos, específicamente a las plantas pasteurizadoras que procesan todo tipo de alimentos pueden utilizar los datos del presente estudio para adaptar a su entorno las recomendaciones técnicas dadas y con ello puedan reducir sus costos de producción.

Nota. Matriz de coherencia. Elaboración propia.

## Apéndice 2.

Formulario utilizado para el registro de producción

	<b>FORMULARIO Producción HLP</b>	Hlp-Fo-04 FC 30-11-12 UR 15-05-19 Página 1 de 2
--	--------------------------------------	--

Fecha: \_\_\_\_\_ Hora entrada: \_\_\_\_\_

PASTEURIZADO		
--------------	--	--

<b><i>Bach No. 1</i></b>	<b><i>Bach No. 2</i></b>	<b><i>Bach No. 3</i></b>
Hora Inicio: _____	Hora Inicio: _____	Hora Inicio: _____
Hora Fin: _____	Hora Fin: _____	Hora Fin: _____
T. Ambiente: _____	T. Ambiente: _____	T. Ambiente: _____
Humedad: _____	Humedad: _____	Humedad: _____

<b>Quebrado</b>	<b>Mezcla</b>
-----------------	---------------

Mat. Prima	Cantidad (K)	Lote	Tiempo mezclado
FORMULA No. 1			
Goma xantano			
FORMULA No. 2			
Goma xantano			
Ácido cítrico			
Sal			
S. Mantequilla			
FORMULA No. 3			
Ácido cítrico			
Vivapur MCG500			
Butter Buds32X			
Butter sauce #6			
Sorbato potasio			
Pimienta blanca			
Sal			

CONTROL DE MERMAS (kg.)	
BATCH 1	
Evacuacion Inicial: _____	* Brix _____
Evacuacion Final: _____	* Brix _____
Otros: _____	* Brix _____
CONTROL DE MERMAS (kg.)	
BATCH 2	
Evacuacion Inicial: _____	* Brix _____
Evacuacion Final: _____	* Brix _____
Otros: _____	* Brix _____
CONTROL DE MERMAS (kg.)	
BATCH 3	
Evacuacion Inicial: _____	* Brix _____
Evacuacion Final: _____	* Brix _____
Otros: _____	* Brix _____

<b><i>Bach No. 1</i></b>	<b><i>No. Lote:</i></b>
<b>PASTEURIZADORA</b>	<b><i>% salidos crudo</i></b>
	<b><i>% salidos past.</i></b>

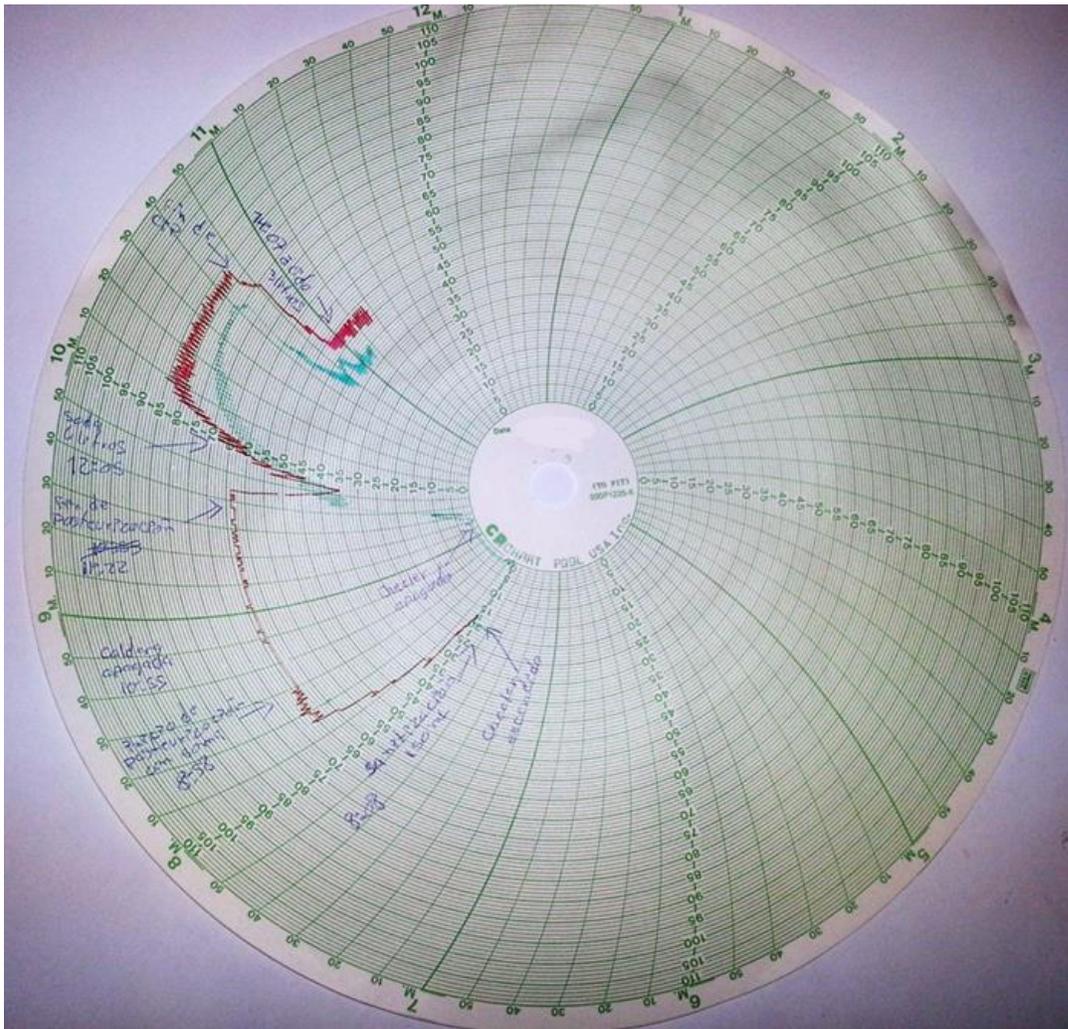
<b>Presiones: (PSI)</b>	<b>Temperaturas: (°C)</b>
Refrigerante: _____ Vapor: _____	Temp. Producto Past.: _____
Agua Caliente: _____ Bomba Producto: _____	Temp. Producto Terminado: _____
Bomba Sincr Ent: _____	Temp. Refrigerante: _____
	Temp. Agua Caliente: _____
	Temp. Controlador: _____
	Temp. Entrada tubos retención: _____

Presión Bomba Sincr Sld:	Hora	Presión	Hora	Presión

*Nota.* Este documento estructurado permite capturar de manera organizada datos relacionados con la producción, como cantidades, fechas y detalles específicos de los productos. Elaboración propia.

### Apéndice 3.

#### Graficación de temperaturas CIP



*Nota.* Al analizar estos gráficos, se puede asegurar que las condiciones de limpieza sean óptimas, garantizando la eliminación efectiva de contaminantes y manteniendo la calidad e integridad del producto. Elaboración propia.

## Apéndice 4.

### Formulario de registro CIP

	<b>Formulario Limpieza y sanitización (CIP)</b>	<b>Hlp-Fo-12 FC 21-08-15 UR - - - - - Página 1 de 2</b>
--	---	---

Fecha: \_\_\_\_\_ Máquina pasteurizadora: \_\_\_\_\_

<b>Sanitización Inicial</b>	
Hora inicio:	
Hora final:	
Cantidad:	
Concentración: (150ppm-300ppm)	
Temperatura:	
Sustancia usada:	
Tiempo:	
Concentración Final: (0 ppm)	

<b>CIP INTERMEDIO</b>			
<b>Parte Básica</b>		<b>Sanitización</b>	
Hora inicio:		Hora inicio:	
Hora final:		Hora final:	
Cantidad:		Cantidad:	
No. gotas:		Concentración: (150ppm-300ppm)	
Concentración: (1%-3.5% v/v)			
Temperatura:		Temperatura:	
Sustancia usada:		Sustancia usada:	
pH Inicial:		Tiempo:	
pH Final:		Concentración Final: (0 ppm)	

Continuación de apéndice 4.

	<b>Formulario Limpieza y sanitización (CIP)</b>	<b>Hlp-Fo-12 FC 21-08-15 UI Página 2 de 2</b>
--	---	---

CIP INTERMEDIO			
Parte Básica		Sanitización	
Hora inicio:		Hora inicio:	
Hora final:		Hora final:	
Cantidad:		Cantidad:	
No. gotas:		Concentración: (150ppm-300ppm)	
Concentración: (1%-3.5% v/v)			
Temperatura:		Temperatura:	
Sustancia usada:		Sustancia usada:	
pH Inicial:		Tiempo:	
pH Final:		Concentración Final: (0 ppm)	

CIP FINAL			
Parte Básica		Parte Ácida	
Hora inicio:		Hora inicio:	
Hora final:		Hora final:	
Cantidad:		Cantidad:	
No. gotas:		No. gotas:	
Concentración: (1%-3.5% v/v)		Concentración: (0.5%-5% v/v)	
Temperatura:		Temperatura:	
Sustancia usada:		Sustancia usada:	
pH Inicial:		pH inicial:	
pH Final:		pH Final:	

Nombre y firma de operario: \_\_\_\_\_

Nombre y firma de supervisor: \_\_\_\_\_

Nombre y firma de verificación: \_\_\_\_\_

*Nota. El formulario facilita el seguimiento detallado de cada ciclo CIP. Elaboración propia.*

## Apéndice 5.

### Proforma unidad de almacenamiento de soluciones de limpieza

CC

Numero: 320 Fecha: 26/5/2021	Validez: 3 días
---------------------------------	--------------------

<b>Industrias Santizo</b> Nit: 355722-7 Calzada Aguilar Batres 44-31 zona 12 Colonia Monte María I Tel: 4294-8652	Cliente: GRANJA AZUL NIT: 123026-3 Direccion: camino a aldea los trojes. Amatitan Ciudad: Guatemala Teléfono: 66284838
---	--

Industriassantizo.com.gt

Item	Descripción	Precio	Cantidad	Importe
1	Fabricación de tanque para detergente según especificaciones dadas por cliente	Q 27,200.00	Q 1.00	Q 27,200.00

Todo trabajo en tomo, cepillo, fresadora, barnero mdal, todo tipo de soldadura

Datos de deposito si se llega aprobar cotizaon  
 Depositar a la Cuenta  
 No. 8100-99269-0  
 Miguel Ramon Santizo Albizurez  
 Cuenta Monetaria  
 INTERBANCO

Observaciones:	
Tiempo de entrega: Despues de obtener la orden de compra 2 Semanas habiles	

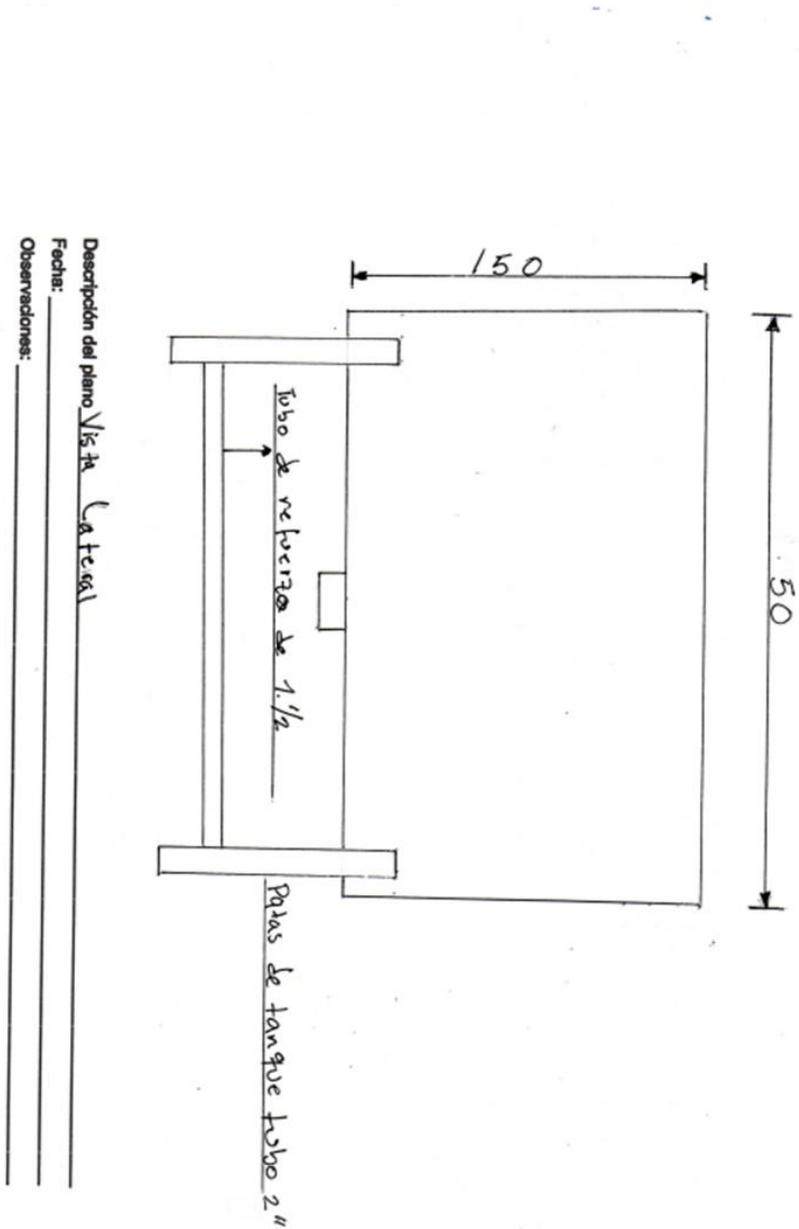
Gran Total	Q 27,200.00
Total	Q 27,200.00

Somos el engranaje que mueve a la industria

*Nota.* La proforma para una unidad de almacenamiento de soluciones de limpieza ofrece una vista anticipada de los costos y detalles de este equipo. Elaboración propia.

## Apéndice 6.

Plano mecánico del tanque de almacenamiento de soluciones de limpieza



*Nota.* El plano mecánico es un dibujo técnico esencial que representa la estructura y detalles del tanque. Elaboración propia.