

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



### TESIS

**“Diseño de un sistema automatizado de limpieza in situ CIP  
(Clean-In-Place) en la fabricación de leche UHT de una empresa de  
la industria láctea”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Elaborado por

Fernando Eduardo Dolores Cachay

 [0009-0005-8305-9829](https://orcid.org/0009-0005-8305-9829)

Asesor

Dr. Freedy Sotelo Valer

 [0000-0003-3079-2857](https://orcid.org/0000-0003-3079-2857)

LIMA-PERU

2023

## ***Dedicatoria***

*Dedico este trabajo a mi familia por sus palabras de aliento.*

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional de Ingeniería, y los docentes que formaron parte de mi carrera universitaria; gracias por sus enseñanzas y apoyo

En especial a los docentes que me motivaron en alcanzar este importante logro:  
al Dr. Freedy Sotelo por su mentoría en el presente trabajo.

A mi familia, por su apoyo a lo largo de mi carrera universitaria

## Resumen

En la industria láctea resulta crucial que durante el proceso de fabricación de sus productos los productos mantengan un nivel de inocuidad de acuerdo a los estándares y normas vigentes. Específicamente, durante el proceso de fabricación de leche UHT, las superficies de los equipos como tanques, accesorios, pasteurizadores y tuberías tienen contacto directo con la leche cruda y son proclives al crecimiento de microorganismos generado por la acumulación de residuos de leche en las superficies. Dicha situación obliga a la industria láctea a tener un estricto control en la limpieza de los equipos.

El presente trabajo se realizó con la finalidad de plantear un sistema de limpieza automatizado Clean-in-place (CIP) para el proceso de fabricación de leche Ultra High Temperature (UHT) en una empresa de fabricación de productos derivados de lacteos, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso de limpieza ya que, como veremos, las características del proceso de limpieza manual acarrearán riesgos humanos y del producto final, además de ineficiencias en el uso de recursos.

En el primer capítulo se detalla la importancia de las condiciones de limpieza y desinfección requeridas en la industria alimentaria, especialmente en la industria láctea, todo según la normativa vigente.

En el capítulo dos se detallan los antecedentes nacionales e internacionales, los criterios de limpieza e inocuidad, además de los principios y leyes que rigen el concepto de limpieza, además de los distintos sistemas de limpieza en la industria láctea y círculo de Sinner.

En el tercer capítulo se hace un diseño mecánico de un sistema CIP, planteando el tipo de sistema, dispositivos, así como el dimensionamiento de equipamiento mecánico que pueda ser empleado especialmente en la industria de fabricación de lácteos.

En el cuarto capítulo se complementa el diseño con el equipamiento eléctrico, potencia, calibre de conductores, sistemas de protección, secuencia de operaciones, PLC e instrumentación a emplear.

En el capítulo cinco se presentan y discuten los resultados obtenidos.

Palabras claves: clean in place, UHT, industria láctea, círculo de Sinner

## **Abstract**

In the dairy industry, it is crucial that during the manufacturing process of its products, the products maintain a level of safety in accordance with current standards and norms. Specifically, during the UHT milk manufacturing process, the surfaces of equipment such as tanks, accessories, pasteurizers and pipes have direct contact with raw milk and are prone to the growth of microorganisms generated by the accumulation of milk residues on the surfaces. This situation obliges the dairy industry to have a strict control in the cleaning of equipment.

This work was carried out with the purpose of proposing an automated Clean-in-place (CIP) cleaning system for the Ultra High Temperature (UHT) milk manufacturing process in a dairy products manufacturing company, in order to improve the efficiency of the cleaning process since, as we will see, the characteristics of the manual cleaning process entail human and final product risks, as well as inefficiencies in the use of resources.

The first chapter details the importance of the cleaning and disinfection conditions required in the food industry, especially in the dairy industry, all according to current regulations.

Chapter two details the national and international background, the cleaning and safety criteria, as well as the principles and laws that govern the concept of cleaning, and the different cleaning systems in the dairy industry and Sinner's circle.

In the third chapter, a mechanical design of a CIP system is made, considering the type of system, devices, as well as the dimensioning of mechanical equipment that can be used especially in the dairy manufacturing industry.

The fourth chapter complements the design with the electrical equipment, power, conductor size, protection systems, sequence of operations, PLC and instrumentation to be used.

Chapter five presents and discusses the results obtained.

Key words: clean in place, UHT, dairy industry, Sinner's circle.

## INDICE

Resumen	iv
INDICE DE TABLAS	xii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación del proyecto	1
1.2. Problemática	2
1.3. Formulación del problema	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
1.5. Hipótesis	7
1.5.1. Hipótesis general	7
1.5.2. Hipótesis específicas	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	9
2.1. Antecedentes	9
2.1.1. Antecedentes internacionales	9
2.1.2. Antecedentes nacionales	11
2.2. Bases teóricas	12
2.2.2. Teorema de Bernoulli	13
2.2.3. Ecuación de Darcy-Weisbach	13
2.2.4. Pérdidas en accesorios	15
2.2.5. Ecuación de Arrhenius	17
2.2.6. Número de Reynolds	18
2.3. Marco conceptual	19
2.3.1. Proceso de fabricación de leche UHT	19
2.3.2. Criterios de limpieza e inocuidad	20
2.3.3. Factores de un sistema de limpieza	23
2.3.4. Tipos de sistemas de limpieza	28
2.3.5. El sistema de limpieza CIP	30
2.3.6. Tipos de limpieza CIP	36
2.3.7. Componentes de un sistema CIP	38

CAPITULO III: DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA DE LIMPIEZA CIP	53
3.1. Presentación del problema	53
3.2. Diseño de pulverizadores	54
3.3. Diseño de tuberías	58
3.4. Diseño del tanque CIP	60
3.5. Diseño del depósito de soda caustica	63
3.6. Diseño del depósito de ácido	64
3.7. Diseño de las bombas	65
CAPITULO IV: DISEÑO ELECTRICO Y CONTROL DEL SISTEMA DE LIMPIEZA CIP	80
4.1. Diseño del sistema de fuerza electrobombas	80
4.2. Diseño tablero de distribución CIP	81
4.3. Diseño del calibre de conductores	83
4.4. Diseño de Interruptor termomagnético	86
4.5. Cuadro de cargas	89
4.6. Caída de tensión	91
4.7. Diseño del Grado de protección de tablero	91
4.8. Diagrama unifilar del tablero	93
4.9. Selección del PLC	94
CAPITULO V: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	99
5.1. Resultado del diseño de detalle	99
5.2. Resultado del tiempo de lavado	100
5.3. Contrastación de resultado con la hipótesis	101
5.4. Contrastación con estudios similares	107
CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Montaje de tuberías para determinación de ecuación de Darcy-Weibach	14
Figura 2 Efecto de la temperatura en el tiempo de limpieza	18
Figura 3 Diagrama de flujos de fabricación leche UHT	19
Figura 4 Curva de crecimiento de bacterias	20
Figura 5 Círculo de Sinner	23
Figura 6 Depósitos de soda caustica	25
Figura 7 Velocidad del flujo vs ancho de capa sub-laminar.	27
Figura 8 Lavado de equipos en industria de alimentos	29
Figura 9 Limpieza de tanques de forma manual	29
Figura 10 Diagrama de proceso de un sistema CIP de reúso	31
Figura 11 Esquema de la superficie durante la operación CIP de 5 etapas	32
Figura 12 Diagrama de flujo de un proceso de limpieza CIP	33
Figura 13 Limpieza de “piedras de leche” formadas en superficie de acero inoxidable	35
Figura 14 Sistema de limpieza CIP automatizado	38
Figura 15 Tanques de limpieza CIP de soda, acido y agua	39
Figura 16 Diagrama de bomba centrífuga modelo Alfa Laval Solid C.	40
Figura 17 Abrazadera de bisagra sanitaria de un solo perno	41
Figura 18 Electroválvula Alfa Laval Unique Mixproof	42
Figura 19 Sensor de nivel Liquiphant FTL33 marca Endress+Houser	43
Figura 20 Equipos de conductividad Smartec CLD134 Endress Hauser	44
Figura 21 Válvula “check” o antirretorno	45
Figura 22 Trampa de vapor ADCA Modelo FLT 17 utilizadas en el proyecto	46
Figura 23 Placa de interconexión de tuberías utilizado en el sistema de limpieza	47
Figura 25. PLC modelo SIMATIC S7-1200	48
Figura 26: Aspersores estáticos (Static Fixed Spray Balls)	49
Figura 27: Tipos de pulverizadores estáticos	50
Figura 28: Pulverizador de cabezal giratorio	51
Figura 29: Pulverizador rotatorios de cabeza de chorro tipo “jet”	52

Figura 30: Bolas pulverizadoras 360° usados en el sistema CIP	57
Figura 31: Soda caustica liquida 50% de 300 L	63
Figura 32: Zona de recipientes de soda y ácido para trasvase	64
Figura 33: Diagrama de Moody.	71
Figura 34: Disposición de la etapa de limpieza de solución alcalina	73
Figura 35: Diagrama de flujo de bomba Alfa Laval Solid C (60Hz,3600 rpm)	75
Figura 36: Disposición de la etapa de retorno CIP	77
Figura 37: Diagrama de flujo de bomba Alfa Laval Solid C (60Hz, 3600 rpm)	79
Figura 38: Arrancador suave para motores Altistart 01	80
Figura 39. Interruptores automáticos de caja moldeada	88
Figura 40. Diagrama unifilar tablero CIP	93
Figura 41. Secuencia limpieza CIP pre enjuague	95
Figura 42: Touch panel SIMATIC S7-1200	97
Figura 43: Diseño del sistema de limpieza CIP	100
Figura 44: Ejemplo de limpieza mecánica.	102
Figura 45: Limpieza de un tanque realizada por un operario	103
Figura 46: Trabajador de fabrica configurando touch panel	105
Figura 47: Matriz de riesgos laborales	106

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Producción de leches industriales industria láctea, toneladas, 2015-2020.	2
Tabla 2 : Pérdidas menores en tuberías	16
Tabla 3 : Tipos de depósito, facilidad de eliminación y alteración por el calor	22
Tabla 4: Equipamiento mecánico proyecto CIP	54
Tabla 5: Comparación de distintos tipos de pulverizadores	55
Tabla 6: Diámetros de los tanques de recepción UHT	56
Tabla 7: Características de pulverizadores estáticos Pipeline Products LTD	58
Tabla 8: Limpieza mecánica – caudal mínimo recomendado en tuberías	60
Tabla 9: Tiempos de cada etapa del proceso de limpieza	61
Tabla 10: Tabla de volumen requerido para cada etapa del proceso de limpieza CIP	62
Tabla 11: Volumen de los tanques para el sistema de limpieza CIP	62
Tabla 12: Caída de presión solución alcalina.	74
Tabla 13: Caída de presión línea de retorno CIP	77
Tabla 14: Características del arrancador Altistart 01	81
Tabla 15: Selección de método de instalación	84
Tabla 16: Capacidad de corriente nominal para métodos de instalación	85
Tabla 17: Diseño de calibre de equipos tablero de distribución	86
Tabla 18: Selección de método de instalación	87
Tabla 19: Selección de método de instalación	88
Tabla 20: Selección de método de instalación	90
Tabla 21: Selección de método de instalación	91
Tabla 22: Selección de método de instalación	92
Tabla 23: Señales de elementos de control del sistema CIP	96
Tabla 24: Características del PLC Siemens s7-1200.	98
Tabla 25: Equipamiento eléctrico proyecto CIP	98
Tabla 24: Listado de riesgos laborales	104
Tabla 25: Listado de riesgos laborales	105

## **CAPITULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Justificación del proyecto**

El proyecto actual se propone con la finalidad de mejorar los procesos de limpieza durante la fabricación de la leche tanto industriales como de pequeña y mediana empresa, de modo que se utilicen los recursos económicos y naturales de manera más eficiente. Teniendo en cuenta el especial cuidado en la inocuidad de sus productos fabricados durante toda la cadena productiva. Esto consiste en eliminar las fuentes de contaminación de forma que los productos producidos cumplan los estándares vigentes en la norma de inocuidad exigidos en el reglamento de las autoridades gubernamentales (DIGESA, 2017). Un sistema automático de limpieza in-situ o CIP (clean-in-place por sus siglas en inglés) brindará un mejor uso hídrico, reduciendo tiempos y uso de personal, además que permitirá a las empresas a cumplir sus niveles de inocuidad y de seguridad en el trabajo.

## 1.2. Problemática

En el Perú, la producción de leche industrial pasteurizada o UHT presentó un crecimiento de 7.56% en el periodo del 2015 al 2020 de acuerdo a la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Producción de leches industriales industria láctea, toneladas, 2015-2020.*

<b>Categorías</b>	<b>2015</b>	<b>2017</b>	<b>2019</b>	<b>2020 p/</b>	<b>Var. %15/20</b>
<b>Evaporada</b>	499,856	459,133	455,242	472,959	-5.38%
<b>Pasteurizada</b>	143,437	163,788	174,523	154,287	7.56%
<b>Leche condensada</b>	6,666	6,353	8,053	5,826	-12.60%
<b>Leches industriales</b>	649,960	629,274	637,819	633,072	-2.60%

Fuente. Adaptado del Informe de lanzamiento del estudio de mercado sobre el sector lácteo en el Perú. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2021).

De acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, el consumo anual per cápita de leche fluida en el Perú fue de 81,0 kilogramos en el 2020 (INDECOPI, 2020). Esto representa aproximadamente un 6% de la canasta familiar.

La empresa en estudio está dedicada a la fabricación de productos alimenticios derivados de la leche, cuenta con una planta industrial ubicada en el distrito de Ate Vitarte, Lima, se elaboran distintos productos como leche fresca, leche condensada, yogures, quesos entre otros.

Durante el proceso de fabricación de leche pasteurizada o UHT, las superficies de los equipos como tanques, accesorios, pasteurizadores y tuberías tienen contacto directo con la leche cruda, con lo que son proclives al crecimiento de

microorganismos generado por la acumulación de residuos de leche en las superficies. Dicha situación obliga a la industria láctea a tener un estricto control en la limpieza de los equipos, cada vez que hay un arranque de producción tanto antes (si es que ha transcurrido un tiempo considerable de tiempo) como después.

La automatización de procesos usando control y tecnología de información reducen la necesidad del trabajo humano, sus principales ventajas son: “reemplazar a los operadores humanos en ambientes peligrosos, tareas monótonas, actividades que implican gran desgaste físico o que van más allá de las capacidades humanas de tamaño, fuerza, resistencia o velocidad, y el mejoramiento económico” (SILVA, 2017).

Una etapa importante de la cadena de producción de leche es el de la limpieza que suele encontrarse definida en los procedimientos de BPM (Buenas Prácticas de Manufactura). Los procesos de recepción y traslado de leche cruda (o sin tratar) contaminan los equipos utilizados en las distintas etapas del proceso (tanques de acero inoxidable para la recepción y tuberías de acero inoxidable para la descarga), lo que hace que estos requieran ser constantemente limpiados para eliminar los restos de material orgánico, propenso por su composición biológica a desarrollar el crecimiento de microbacterias generados por la acumulación de residuos de producto en las superficies internas de los tanques, tuberías y pasteurizadores obliga a la industria láctea a la correcta sanitización de los equipos cada vez de arranque

de producción (LEMA, 2007), garantizando los niveles de inocuidad requeridos en el reglamento de la leche y productos lácteos para su posterior consumo (SENASA, 2021). Esta tarea es particularmente difícil en la industria láctea, debido a que los restos son usualmente la suma de lípidos, glúcidos, proteínas, posos minerales y microorganismos (CHEFTEL, 1976).

La limpieza de tanques y accesorios en la fabricación de leche UHT de recepción de leche en plantas industriales puede ser manual o automatizada. La limpieza COP (Clean-out-Place) o limpieza fuera de sitio es realizada manualmente por el operador, desmontando las tuberías y accesorios de los equipos y limpiándolos con cepillos y detergentes (LEMA, 2007). Por la naturaleza de la operación, la limpieza manual expone al personal operativo a peligros derivados de trabajos en espacios confinados, quemaduras por uso de agua a alta temperaturas y enfermedades ocupacionales.

Como alternativa se tiene la limpieza “in situ”, o Clean-Place-Según o CIP por sus siglas en ingles. Según la empresa CSI Designs, las principales ventajas de la limpieza CIP sobre otros métodos de limpieza como el fregado manual representa un buen número de ventajas como (CSI Designs, 2019):

- Controlar los parámetros y factores de limpieza más importantes como son temperatura de lavado, caudal y presión constante, concentración de productos químicos y tiempos de lavado;

- Reducir el riesgo de accidentes de los operarios en comparación de la realización de una limpieza de forma manual, esto dado que la dosificación de los mismos se realiza de forma automática.
- Optimizar el consumo de recursos hídricos y reducir cantidad de soluciones de limpieza que son vertidas como desechos líquidos.
- Optimización los consumos energéticos.
- Reduce el riesgo de contaminación del producto final.

La presente tesis evalúa las desventajas de una limpieza manual y presenta los beneficios de la implementación de un sistema de limpieza CIP automatizado.

### **1.3. Formulación del problema**

Durante el proceso de fabricación de leche, las superficies de los equipos tienen contacto directo con la leche cruda, elementos que son proclives al crecimiento de microorganismos generado por la acumulación de residuos de leche en las superficies.

Es por ello que la industria láctea debe tener un estricto control en la limpieza de los equipos involucrados en la fabricación de leche. En algunos casos, la limpieza de los equipos suelen realizarla los operarios de manera manual, este método es una limitante para garantizar la inocuidad de los productos fabricados, además de su baja eficiencia.

### **1.3.1. Problema general**

¿Es posible el diseño de un sistema de limpieza automatizado CIP en la fabricación de leche UHT de una planta de fabricación de leche?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- ¿De qué forma el uso de un sistema automatizado de limpieza CIP permitirá el ahorro del tiempo de limpieza durante el proceso de fabricación de leche UHT en una fábrica de lácteos?
- ¿De qué forma un sistema de limpieza CIP permite reducir el consumo de agua para la limpieza de equipos durante la fabricación de la leche UHT?
- ¿De qué forma un sistema de limpieza CIP reduce el nivel de riesgos laborales de los operarios de las plantas de fabricación de leche UHT?

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Diseñar un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (Clean-in-Place) en la fabricación de leche UHT de una empresa de la industria láctea.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Diseñar un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (clean-in-place) que permita reducir el tiempo de operación en el proceso de fabricación de leche UHT de una empresa de la industria láctea.

- Diseñar un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (clean-in-place) que permita lograr una reducción en el uso de agua para la limpieza de equipos durante la fabricación de la leche UHT de una empresa de la industria láctea.
- Diseñar un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (clean-in-place) que permita reducir el nivel de riesgo ocupacional de los operarios durante el proceso de fabricación de leche UHT de una empresa de la industria láctea.

## **1.5. Hipótesis**

### ***1.5.1. Hipótesis general***

El diseño de un sistema de limpieza automatizado in situ CIP (Clean-in-Place) en la fabricación de leche UHT de una empresa de la industria láctea permitirá solucionar el problema que se presenta al realizar la limpieza de forma manual.

### ***1.5.2. Hipótesis específicas***

- El diseño de un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (clean-in-place) permitirá reducir los tiempos de operación durante el proceso de fabricación de leche UHT de una empresa de la industria láctea.
- El diseño de un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (clean-in-place) permitirá lograr un ahorro de agua para la limpieza de equipos durante de fabricación de la leche UHT de una empresa de la industria láctea.

- El diseño de un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (clean-in-place) permitirá reducir el nivel de riesgo ocupacional de los operarios en el proceso de fabricación de leche UHT de una empresa de la industria láctea.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **2.1. Antecedentes**

#### ***2.1.1. Antecedentes internacionales***

**Fernández V. (2021)**, realizó la tesis “Diseño de un sistema CIP (clean in place) para una planta farmacéutica” en la Escuela de Ingeniería de Barcelona de la Universidad Politécnica de Cataluña en España en la cual menciona que, en la industria farmacéutica, la limpieza es un proceso crítico en la producción para asegurar que los equipos cumplan las regulaciones de limpieza. Menciona también en la actualidad se utilizan diversos tipos de limpieza, contando cada uno de ellos con sus respectivas ventajas y desventajas, los cuales se pueden clasificar según si la limpieza es automática o manual y si ésta se realiza en el sitio, CIP, o si, por lo contrario, se realiza fuera del lugar de producción, COP (Clean out place). Además, la tesis menciona que la tendencia en la industria farmacéutica es la de reducir la intervención humana en el proceso de limpieza, esto es con el objeto de eliminar el posible error humano. Pese que el estudio se centra en la industria farmacéutica, las exigencias de inocuidad sanitaria en la fabricación hacen que las aplicaciones de limpieza se puedan tomar para la industria láctea, que corresponde al presente estudio.

**Martínez M. (2019)**, realizó la tesis “Sistema de limpieza CIP en una industria de fabricación de quesos” en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid en España, en la cual define las condiciones necesarias de limpieza y desinfección que se requieren en una industria alimentaria, centrándose en la industria láctea dedicada a la fabricación de quesos, todo ello según la normativa vigente de inocuidad. El presente estudio toma como referencia las variables que influyen en el proceso de limpieza como la temperatura, caudal, concentración o presión, además del marco comparativo del sistema propuesto frente a la limpieza manual.

**Revilla, D. (2018)**, en la tesis titulada “Sistema de limpieza CIP en la industria de fabricación de embutidos”, en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid de España. El trabajo está orientado a comprender la necesidad de una buena limpieza en la industria, concretamente en una fábrica de embutidos, donde esta es clave. Se lleva a cabo un rediseño de una planta industrial real, atendiendo a los principios de un Lay-Out eficiente. A su vez, se diseña un sistema de limpieza automático CIP para este rediseño, con cálculos y dimensionamiento de todos sus componentes. También se realizó una valoración económica del proyecto, con los precios proporcionados por los distintos fabricantes y estimando los costes de mano de obra y logísticos. El presente estudio toma como referencia el dimensionamiento de las bombas de trasvase de los elementos de limpieza y las bombas de mando de CIP.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

**Ramírez L. (2021)**, realizó la tesis “Diseño del sistema cleaning in place para reducir el tiempo de lavado en la separadora NX-934B, en una planta pesquera, 2021” en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Energía de la Universidad Nacional del Callao en la cual menciona que las separadoras decantadora NX-934B que operan en las plantas de harina y aceite de pescado son lavadas de forma manual. El trabajo de investigación tuvo como objetivo principal diseñar el sistema Cleaning In Place (CIP) para reducir el tiempo de limpieza. Mediante el uso de un modelo matemático que estima el tiempo de limpieza se evidencia un ahorro del 90.7 % comparado con tiempo de lavado manual que dura 8 horas. El presente estudio toma como referencia los principios teóricos presentes en un sistema de limpieza CIP y el objetivo de optimización de recursos como el tiempo de limpieza en comparación de un lavado manual.

**Chicoma C. (2020)**, realizó la tesis “Diseño de un sistema clean-in-place en cisternas de transporte para mejorar la calidad de la leche fresca en una empresa del sector lácteo” en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte en la cual menciona una empresa del sector lácteo que cuenta con un sistema de limpieza manual de sus cisternas, el cual es deficiente debido a que no elimina todas las impurezas de las superficies provocando el aumento de microorganismos patógenos, los cual provocaba que la leche sea rechazada por su alto nivel de acidez. El estudio propone un

sistema de limpieza automatizado CIP, con la intención de disponer de un método de limpieza eficaz. Después de la implementación del sistema de limpieza Clean In Place en camiones de transporte de leche fresca, se demostró a través de los perfiles microbiológicos la reducción en más de un 95% de Unidades Formadoras de colonias y coliformes. El presente estudio toma como referencia las metodologías de cumplimiento de niveles de inocuidad exigidos por las normas actuales.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Presión hidrostática**

La presión hidrostática es la presión que se somete un cuerpo sumergido en un fluido, debido a la columna de líquido que tiene sobre él.

Partiendo de que en todos los puntos sobre el fluido se encuentran en equilibrio, la presión hidrostática es directamente proporcional a la densidad del líquido, a la profundidad y a la gravedad. La presión obedece la fórmula mostrada en la ecuación 1:

$$P = \rho . g . h \quad (1)$$

Donde:

p: densidad del agua

g: gravedad

h: altura de la columna de agua

### **2.2.2. Teorema de Bernoulli**

La ecuación de Bernoulli, se puede considerar como una apropiada declaración del principio de la conservación de la energía, para el flujo de fluidos. El comportamiento cualitativo que normalmente evocamos con el término "efecto de Bernoulli" tal como se muestra en la ecuación 2, y que es el descenso de la presión del líquido en las regiones donde la velocidad del flujo es mayor. Mientras que, en el flujo de alta velocidad a través de un estrechamiento, se debe incrementar la energía cinética, a expensas de la energía de presión.

$$P_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_1 = P_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot h_2 \quad (2)$$

Donde:

P: presión

$\rho$ : densidad del fluido

v: velocidad del fluido

g: aceleración de la gravedad

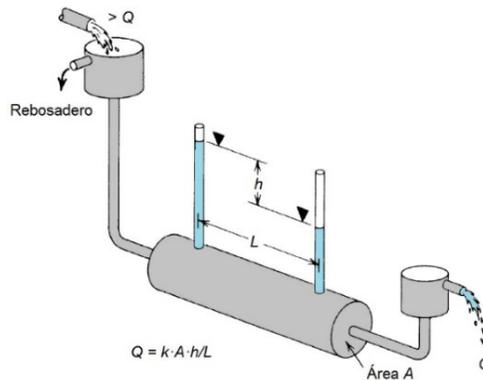
h: altura del punto

### **2.2.3. Ecuación de Darcy-Weisbach**

Para un sistema con flujo turbulento a través de una tubería se usará la ecuación de Darcy-Weisbach, relacionada con las pérdidas por fricción de un fluido, tal como se muestra en la figura 1.

## Figura 1

### Montaje de tuberías para determinación de ecuación de Darcy-Weibach



Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/ley-de-darcy/>

La fórmula general de la ecuación de Darcy-Weibach es la mostrada en la ecuación 3.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{u^2}{2g} \quad (3)$$

Donde:

$h_f$ : pérdida de carga debido a la fricción

$f$ : Factor de fricción de Darcy-Weibach

$L$ : longitud de la tubería

$D$ : diámetro de la tubería

$u$ : velocidad media del fluido

$g$ : aceleración de la gravedad

#### **2.2.4. Pérdidas en accesorios**

Los accesorios (válvulas, codos, conexiones en T, etc.) contribuyen también a la pérdida global del sistema y se denominan pérdidas menores.

La mayor parte de la energía perdida por un sistema se asocia a la fricción en la porciones rectas de la tubería son denominadas pérdidas mayores. Sin embargo, las perdidas asociadas a la instalación de accesorios como válvulas o codos proporcionan de igual forma, resistencia al sistema y produciendo perdidas de presión.

Las perdidas en accesorios obedecen a una derivación de la ecuación de Darcy- Weishbach, y viene representada por la ecuación 4.

$$h_{\text{accesorios}} = k_L \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (4)$$

Donde:

v: velocidad del fluido en el sistema

g: aceleración de la gravedad

kL: coeficiente de perdida para accesorios

Para la obtención del coeficiente de perdidas en accesorios  $k_L$ , se recurren a tablas donde previamente se han estimado de forma empírica los coeficientes según el material, forma geométrica, tipo de accesorio y tipo de conexión

(brida, rosca, etc.), tal como se muestra en la tabla 2, donde se pueden ver los coeficientes de pérdidas en diversos accesorios.

**Tabla 2**

*Pérdidas menores en tuberías*

<b>Accesorio</b>	<b>kL</b>
Codos	
Regular 90°, bridado	0.3
Regular 90°, roscado	1.5
Radio largo 90°, bridado	0.2
Radio largo 90°, roscado	0.4
Codo de retorno 180°	
Codo de retorno 180°, bridado	0.2
Codo de retorno 180°, roscado	1.5
Tees	
En línea, bridado	0.2
En línea, roscado	0.9
Branched Flow, bridado	1
Branched Flow, roscado	2
Unión roscada	0.08
Válvulas	
Globo, totalmente abierta	10
Angulo, totalmente abierta	2
Bola, totalmente abierta	0.05
Compuerta, totalmente abierta	0.15

Fuente: Adaptado de Balsiger, A. (2014)  
[https://www.tfd.chalmers.se/~lada/MoF/assignment\\_2-starccm/Minor-Losses-in-Pipes-Balsiger-Bastos-Behm.pdf](https://www.tfd.chalmers.se/~lada/MoF/assignment_2-starccm/Minor-Losses-in-Pipes-Balsiger-Bastos-Behm.pdf)

### **2.2.5. Ecuación de Arrhenius**

La ecuación de Arrhenius, mostrada en la ecuación 5, se suele utilizar para expresar el efecto de la temperatura sobre los índices de limpieza en el intervalo de temperaturas en el que no se producen alteraciones térmicas de los suelos:

$$r = Ae^{-E_A/RT_A} \quad (5)$$

**Donde:**

R: velocidad de remoción

A: factor exponencial o factor de frecuencia

EA: energía de activación,

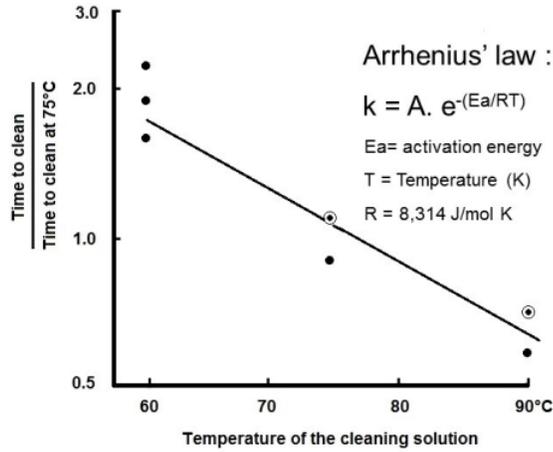
R: constante del gas

TA: temperatura absoluta del depósito.

Timperley y Smeulders (1988) han demostrado que el logaritmo natural del tiempo de limpieza es inversamente proporcional a la temperatura absoluta, lo que significa que cuanto mayor es la temperatura de la solución detergente, más eficaz es su acción limpiadora (Moerman, 2014).

**Figura 2**

*Efecto de la temperatura en el tiempo de limpieza*



Fuente: Timperley, D. (1988). Cleaning of dairy HTST plate heat exchangers: optimization of the single procedure. Journal of the Society of Dairy Technology, Vol. 41.

### **2.2.6. Número de Reynolds**

El efecto del flujo en la limpieza de un depósito suele caracterizarse en términos de velocidad del flujo ( $v$ ), número de Reynolds ( $Re$ ), cuya formula se muestra en la ecuación 6 y tensión de cizallamiento ( $\tau_w$  según la ecuación de Blasius) (COULSON, 1999).

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad (6)$$

Donde:

D: diámetro de la tubería (m)

v: velocidad media del flujo ( $m s^{-1}$ )

$\rho$ : densidad ( $kg m^{-3}$ )

$\mu$ : viscosidad ( $kg m^{-1}s^{-1}$ ) del líquido

Las características de flujo de un líquido en una tubería pueden ser laminares ( $Re < 2000$ ), transitorias ( $Re$ ; 2000-4000) o turbulentas ( $Re > 4000$ ), y están influenciadas por factores como el diámetro de la tubería, el momento de flujo y la viscosidad del fluido (Martínez, 2019).

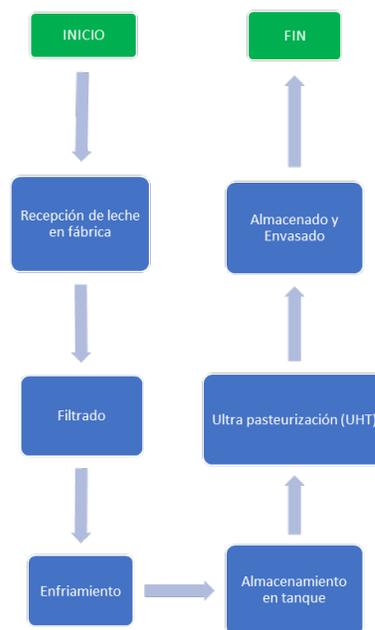
## 2.3. Marco conceptual

### 2.3.1. Proceso de fabricación de leche UHT

En la figura 3, se muestra un diagrama de bloques con el proceso industrial de la leche UHT.

#### Figura 3

Diagrama de flujos de fabricación leche UHT



Fuente: Elaboración propia

### 2.3.2. Criterios de limpieza e inocuidad

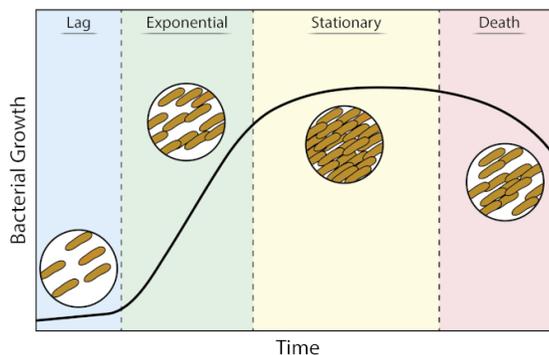
- **Definición de limpieza en la industria de fabricación de lácteos**

Una superficie limpia es una superficie libre de película residual o suciedad (FID-IDF, 1979) y, además, libre de productos de limpieza, que no contaminará los productos alimentarios que estén en contacto con ella. Si se aplica estrictamente este criterio, hay que reconocer que nunca se conseguirá una superficie absolutamente limpia.

Como se muestra en la figura 4, la propagación de los microorganismos y otros posibles contaminantes son de naturaleza logarítmica; esto significa que es imposible llegar a cero restos de suciedad en un tiempo finito. Por lo tanto, deben definirse normas para la denominada limpieza aceptable para cada método (y esto significa con frecuencia: la cantidad de suciedad restante debe estar por debajo de la sensibilidad del método) (HELDMAN, 2006).

**Figura 4**

*Curva de crecimiento de bacterias*



Fuente: <https://www.jove.com/es/v/10511/growth-curves-generating-growth-curves-using-colony-forming-units?language=Spanish>

- **Criterios de inocuidad**

Existen diversos criterios objetivos para la determinación de limpieza en la operación, el criterio de limpieza debe ser desarrollado. Una superficie libre de impurezas es libre de films residuales o impurezas (FID-IDF,1979) y de agentes de limpieza que no contaminará el producto alimenticio o insumo que se ponga en contacto con él (HELDMAN, 2006).

Por un lado, la capacidad de los equipos para producir alimentos de alta calidad depende en gran medida de las condiciones higiénicas y, por otro, la intensidad de los procedimientos de limpieza e higienización necesarios depende de la suciedad o el deterioro previos.

Si la principal preocupación es la recontaminación microbiológica, se fijará un límite superior en el número de microorganismos restantes por unidad de superficie. Este caso concreto es el único ejemplo en el que se han aceptado ampliamente las normas internacionales, que definen los límites de aceptabilidad para los tanques a granel de las granjas en 50 microorganismos/cm<sup>2</sup> de superficie (American Public Health Association, 1972) y para los equipos lácteos industriales en 2 microorganismos/cm<sup>2</sup> (Dommet, 1968; Mckinnon y Cousins, 1969).

- **Tipos de impureza en equipos y accesorios**

La suciedad es simplemente sustancia en el lugar equivocado. Puede tratarse de simples restos de producto en forma de capa y/o microorganismos.

Los distintos mecanismos de ensuciamiento producirán diferentes tipos de capas formadas que contendrán uno o más de los componentes descritos en la Tabla 3.

Existen distintas clasificaciones posibles de la suciedad o impureza formada, basadas en diferentes criterios. Una clasificación se basa en la contaminación de tipo microbiológico o no microbiológico (HELDMAN, 2017).

La naturaleza y estructura de las impurezas formadas determina sobre el agente de limpieza necesario que se debe elegir (HARPER, 1972; TAMPLIN, 1980).

**Tabla 3**

*Tipos de depósito, facilidad de eliminación y alteración por el calor*

Componente	Solubilidad	Remoción	Alteraciones con el calor
Azúcar	Agua: soluble	Fácil	Caramelización
Grasa	Agua: insoluble	Difícil	Polimerización
	C. Alcalinos: pobre		
	C. ácidos: pobre		
Proteína	Agua: pobre	Difícil	Desnaturalización
	C. Alcalinos: buena		
	C. ácidos: media		
Sales minerales monovalentes	Agua: soluble	Fácil	-
	C. ácidos: soluble		
Sales minerales monovalentes	Agua: insoluble	Difícil	Precipitación
	C. ácidos: soluble		

Fuente. Adaptado de Deeth H. (2017). High Temperature Processing of Milk and Milk Products. p-163 Wiley Blackwell

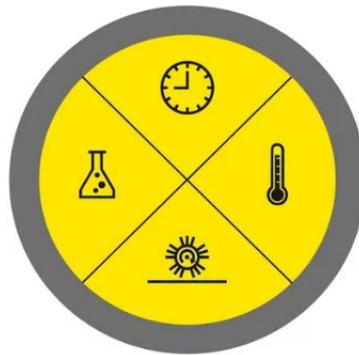
### **2.3.3. Factores de un sistema de limpieza**

La eficiencia en la limpieza del sistema CIP y, por tanto, la remoción de los depósitos incrustados en los tanques, tuberías y accesorios son afectados por distintos factores. Estos factores son derivados del principio del círculo de Sinner, y son la temperatura, concentración de la solución de limpieza, tiempo de contacto, y acción mecánica, que está estrechamente relacionada a la presión y generalmente la turbulencia del flujo, usualmente reflejado en el número de Reynolds (Lorenzen & Tuchenhagen, 2005).

Para completar una limpieza eficiente deben estar presentes los cuatro elementos incluidos en el círculo de Sinner. Si se reduce un factor, los otros factores se deben ampliar.

#### **Figura 5**

*Círculo de Sinner*



Fuente: De La limpieza efectiva con el círculo de Sinner, 2019, Smach  
<https://smach.com.ec/limpieza-efectiva-con-el-circulo-de-sinners/>

## **Tiempo**

Todos los procesos físico-químicos de disolver/dispersar depósitos de suciedad dependen del tiempo. Si se analiza desde el punto de vista de la eficiencia química del detergente, la suciedad se elimina capa a capa; aunque tengamos una alta concentración de detergente, es necesario un cierto tiempo de contacto antes de poder eliminar la última capa de suciedad (POZUELO, 2015).

## **Temperatura**

Diversos tipo de suciedad se disuelven mejor o más rápido gracias a las altas temperaturas. Por tanto, generalmente, los índices de limpieza aumentan al aumentar la temperatura (JENNINGS, 1959). Esto se expresa en la ecuación de Arrhenius.

Para el caso de un sistema CIP, se puede conseguir una limpieza eficaz cuando la temperatura de la solución de limpieza se sitúa entre 55 °C y 70°C (LLOYD, 2008, MAJOOR, 2003). Sin embargo, se debe tener en cuenta que una temperatura demasiado elevada puede dar lugar a partículas de suciedad debido a reacciones de alteración por calor (PALABIYIK, 2013).

## Acción química

A menudo, la suciedad solo puede eliminarse utilizando un detergente, ya que los otros 3 factores del círculo de Sinner no pueden aumentarse indefinidamente. La tensión superficial del agua se reduce para que toda la superficie pueda mojarse y la solución limpiadora penetre incluso en las grietas y poros más finos.

La acción química influye en la limpieza de un sistema CIP en base a la concentración de las soluciones de limpieza, en este caso de la sosa caustica que usualmente es de 1% NaOH o hidróxido de sodio para eliminar grasas y proteínas (LLOYD, 2008, MAJOUR, 2003).

### Figura 6

*Depósitos de soda caustica*



Fuente: elaboración propia

## **Acción mecánica**

La acción mecánica se refiere a la fuerza necesaria para eliminar la suciedad. Se compone de varios factores: la abrasión (efecto de fregado), la presión de contacto y la frecuencia del movimiento. En el caso de un sistema de limpieza CIP, la energía mecánica es suministrada por el flujo en los sistemas de limpieza in situ. También actúa como portador de la energía química y térmica.

Debido a que el sistema de limpieza CIP se basa en la eliminación del material por fuerza de cizallamiento, se prefieren condiciones de flujo turbulento, generalmente con  $Re > 4000$  (LLOYD, 2008, MAJOOR, 2003). Para la correcta limpieza de la tubería debemos considerar un régimen turbulento, con una velocidad recomendable entre 2 y 3 m/s.

Las directrices y publicaciones sobre limpieza e higiene recomiendan una velocidad media del flujo durante la limpieza de al menos 1,5 m/s para garantizar una limpieza suficiente durante la limpieza CIP. Se trata de una buena regla empírica utilizada con éxito en la industria alimentaria (TIMPERLEY, 1980).

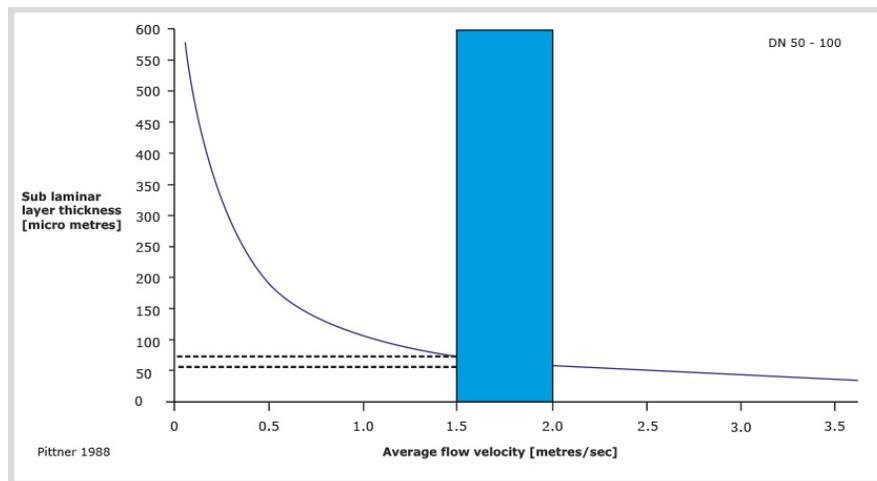
Sin embargo, a la hora de optimizar el diseño geométrico, la velocidad media no es tan importante. Lo que merece atención son las condiciones de flujo locales, es decir, el patrón de flujo. De ahí que una velocidad media de 1,5 m/s pueda dar lugar a zonas de velocidad tanto muy baja como muy

alta, incluso en componentes muy sencillos, como válvulas, ángulos muertos, curvas de tuberías, etc. (NewFood Magazine, 2006)

La velocidad de flujo es la distancia recorrida por tiempo (m/s). La velocidad del fluido varía en el diámetro de la tubería, es más alta en el centro de la tubería y menor en la pared de la tubería (debido a la fricción), esto se denomina perfil de velocidad. La capa de líquido de la superficie cuya velocidad es cero se denomina “capa sub-laminar”. Cuando se aumenta la velocidad, la capa sub-laminar se hace más delgada y la suciedad de la superficie de la tubería recibe la acción mecánica. Para estos fines, la velocidad de flujo recomendable durante el ciclo de limpieza debe estar entre 1.5 y 2 m/s (POZUELO, 2015).

### Figura 7

*Velocidad del flujo vs ancho de capa sub-laminar.*



Fuente: Pozuelo, P. (2015). El sistema de limpieza CIP.

- **Presión**

La presión como factor no está descrita expresamente entre los factores del círculo de Sinner. Sin embargo, se debe considerar que la presión del sistema de limpieza CIP se expresa en la presión dentro de las tuberías y que suele ser de entre 60 y 100 psig para dar una fuerza de chorro y por tanto brindando una mayor acción mecánica; en el caso de los tanques la presión debe ser inferior a 60 psig (LLOYD, 2008, MAJOUR, 2003).

#### ***2.3.4. Tipos de sistemas de limpieza***

En la industria de fabricación de leche UHT existen dos tipos principales de sistemas de limpieza, el COP y el CIP.

- **COP (clean-out-place)**

Los sistemas COP (fuera del lugar por sus siglas en inglés) son usados para limpiar componentes que pertenecen a la maquina principal pero que son removibles. Estos incluyen: abrazaderas, ventiladores de tanque, rotores, impulsores, carcasas, mangueras, tuberías, etc.

Este proceso es usualmente de menor costo e implica que un operario desmonte los equipos y accesorios del sistema de fabricación.

## Figura 8

*Lavado de equipos en industria de alimentos*



Fuente: Lavado de equipos en industria de alimentos <https://procoen.com/lavado-de-equipos-en-industria/>

- **Limpieza manual**

La limpieza de tanques realizados de forma manual, tal como se muestra en la figura 8, requiere que los operadores ingresen a los tanques y realicen la limpieza con el uso de cepillos, mangueras y detergente. La desventaja de este sistema de limpieza es que se pueden cometer errores en la limpieza.

## Figura 9

Limpieza de tanques de forma manual



Fuente: <http://systemcare.com.my/haccp-cleaning-sanitation/>

- **CIP (clean-in-place)**

El sistema CIP es un sistema cerrado e integrado al sistema de producción, y se define como aquel que está construido con tuberías, bombas, válvulas, intercambiadores de calor, etc. y tanques desde los que se limpian sin necesidad de desmontar las piezas o accesorios (GUOZHEN, 2019).

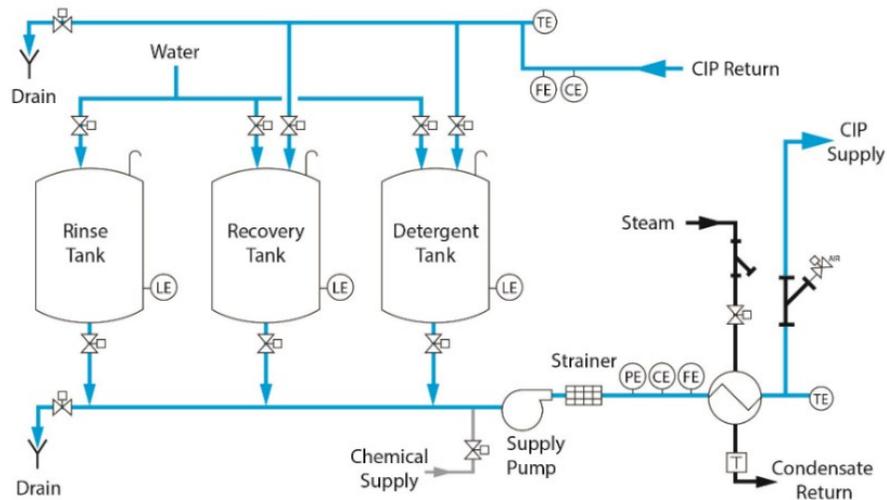
### ***2.3.5. El sistema de limpieza CIP***

En sistemas cerrados, los pasos individuales del procedimiento de limpieza pueden llevarse a cabo bombeando las diferentes soluciones de limpieza (generalmente realizado usando ácido y sosa) a través del equipo a una presión determinada (HELDMAN, 2006). Este método de limpieza cerrado incluye poco o ninguna necesidad de desensamblar equipamiento durante el proceso de limpieza (STEWART, 1996).

La limpieza CIP se desarrolló por primera vez en la década de 1950. Hasta entonces, los sistemas cerrados se desmontaban y limpiaban manualmente usando productos químicos y cepillos. La llegada de la limpieza CIP supuso una ventaja, ya que no era necesario desmontar los sistemas cerrados.

**Figura 10**

*Diagrama de proceso de un sistema CIP de reúso*

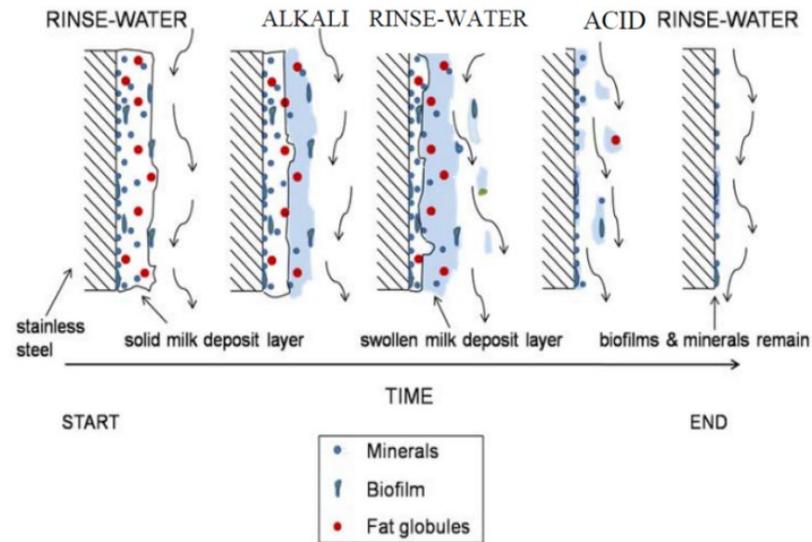


Fuente: Sanimatic. <https://sanimatic.com/custom-cip-systems/>

El objetivo del proceso CIP es de eliminar todo depósito orgánico como proteínas, carbohidratos, grasas, minerales entre otros, lo cual forma la base nutricional para la aparición de bacterias en superficies húmedas (CAROLINE, 2010). Los efectos de remoción de las impurezas (biofilms, proteínas, minerales y grasas) mediante el proceso de limpieza CIP se muestra esquemáticamente en la Figura 11. La figura procede de izquierda a derecha en un eje temporal. El proceso completo de un sistema CIP automatizado suele durar unos 35 minutos (CHANDRAKASH, 2012).

**Figura 11**

*Esquema de la superficie durante la operación CIP de 5 etapas*



Fuente: Chandrakash S. (2012). A new risk analysis of clean-in-place (CIP) milk processing. p-7.

- **Etapas de un sistema CIP**

Las etapas de lavado es un grupo de operaciones ordenadas de tal modo que cada una determina la siguiente. El proceso de limpieza automático CIP está conformado por una secuencia compleja de pasos que se resume en los siguientes pasos (COLE, 2011). Esta operación en 6 etapas se muestra esquemáticamente en la Figura 12.

## Figura 12

### Diagrama de flujo de un proceso de limpieza CIP



Fuente: Elaboración propia

- **Pre enjuague**

Esta etapa sirve para eliminar los depósitos sólidos de suciedad. Este paso suele durar entre 5 a 10 minutos (Bird, 1994). Tiempo suficiente para eliminar la suciedad disolución y/o fuerza de cizallamiento para dejar la superficie menos sucia (Goode, 2010).

Dependiendo de la aplicación la temperatura puede variar. En el caso de lacteos la etapa de pre enjuague debe ser mínimo de 60°C y un máximo de 70°C. Para el caso de estudio se cuenta con una planta de calderos y suministro de vapor, por lo cual no es necesario un intercambiador de calor.

- **Limpieza alcalina**

Esta etapa comprende la acción del producto químico de limpieza alcalina para descomponer la suciedad difícil de eliminar en una forma que pueda eliminarse con el flujo de fluido. El ciclo de limpieza alcalina, utilizado (normalmente conocido como sosa caustica o hidróxido de sodio (NaOH), el álcali utilizado en los lavados cáusticos, tiene un pH muy alto en un rango

de concentración de 0.5-2.0 % en peso) es el paso que tiene mayor impacto en la efectividad de todo el proceso de limpieza (BIRD, 1994).

Para superficies muy sucias pueden utilizarse concentraciones de hasta el 4%. superficies muy sucias. La temperatura usual para esta etapa es de 60°C-85°C. Este paso dura entre 10 y 25 minutos, dependiendo del tamaño de los tanques a limpiar.

- **Enjuague intermedio**

Para eliminar cualquier rastro del detergente o de sus productos de descomposición. En este paso, la solución alcalina se enjuaga con agua. Este paso dura unos 3 minutos.

- **Limpieza con ácido**

Este proceso constituye la desinfección de la superficie con material ácido. Una vez eliminados los restos alcalinos, las superficies húmedas se tratan con ácido (normalmente ácido nítrico HNO<sub>3</sub> o ácido fosfórico H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). La concentración recomendada para la industria láctea es de entre 0.5 y 1% (Alfa Laval, 2020). Este paso dura unos 5 minutos.

En la industria láctea se utilizan lavados ácidos con regularidad para eliminar las incrustaciones de leche llamadas coloquialmente "piedra de leche" (o milkstones, en inglés), tal como se aprecia en la Figura 13, las piedras de leche son sustancias estrechamente relacionada con las incrustaciones de las calderas de los generadores de vapor, ya que son el resultado de un tratamiento térmico (LEEDER, 1956).

### **Figura 13**

*Limpieza de “piedras de leche” formadas en superficie de acero inoxidable*



Fuente: elaboración propia

- **Enjuague final**

Circulación del agua antes de procesar el producto y eliminar agentes de limpieza residuales. Se realiza un aclarado final con agua para eliminar la solución ácida. Este paso dura unos 7 minutos.

### **Ventajas del sistema de limpieza CIP**

El sistema de limpieza CIP cuenta con algunas de las siguientes ventajas:

- Menor consumo de agua
- Menor consumo de solución desinfectante
- Reducción de los tiempos de trabajo
- Reducción de los costos operativos
- Maniobras más seguras para el operario.

### **2.3.6. Tipos de limpieza CIP**

En función de la situación y la escala, existen dos tipos de sistemas de limpieza, son el CIP de uso único y de reúso, ambos tipos tienen la opción de automatizarse, lo que reduce el riesgo de accidentes laborales por parte de los operarios y mejora la eficacia de insumos y precisión.

- **Limpieza CIP de uso único (single)**

El uso y desecho de las soluciones de limpieza como sistema de un solo uso no está muy extendido (Chandrakash, 2012).

Este tipo de sistema usa la solución de limpieza solo una vez y es drenada después del uso. Esto se llama generalmente sistema descentralizado de limpieza CIP. Se suelen utilizar en unidades pequeñas y cercanas al equipo a limpiar.

Los equipos muy sucios son adecuados para un sistema de un solo uso, ya que la solución de limpieza y el agua de aclarado se utilizan una sola vez.

- **Sistema de limpieza CIP de reúso (reuse)**

En este sistema, que en su mayoría es un sistema de limpieza, las soluciones de limpieza se reutilizan mediante la circulación desde los tanques que los almacenan para su uso posterior de los productos químicos permite reutilizarlos. La adición de un tercer depósito permite recuperar el agua de enjuague de un ciclo anterior para reutilizarla en el paso de pre enjuague del

ciclo siguiente (RODEM, N.D.). La concentración y la temperatura de las soluciones se mantienen en estos tanques. Debido a los pre enjuagues, los detergentes no se contaminan mucho.

- **Sistema de limpieza CIP automatizado**

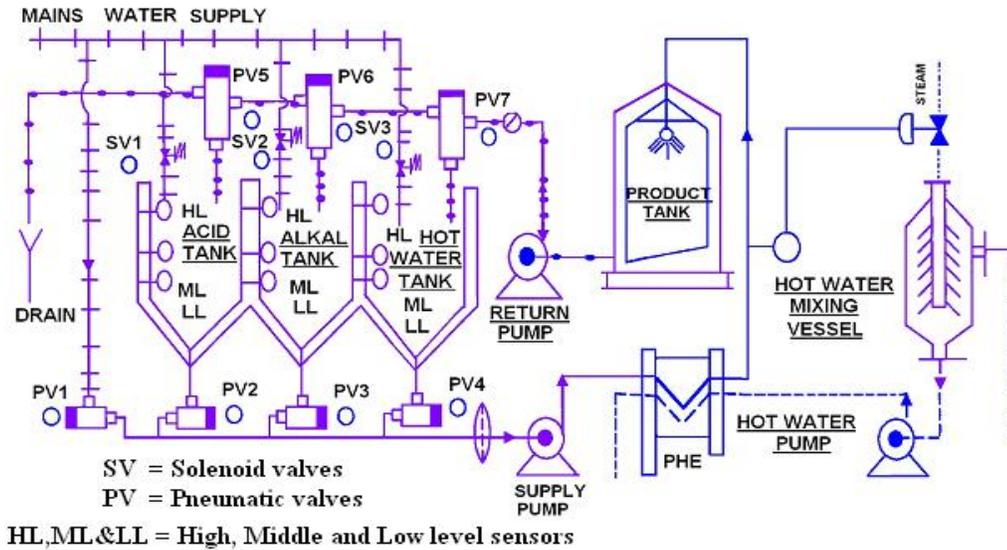
Debido a que el proceso de limpieza CIP es potencialmente peligroso (uso de soluciones de ácido y soda a alta temperatura) la actividad no está exenta de peligro de fugas y causar daños a las personas, por tanto, tal como se muestra en la Figura 14, su funcionamiento es automatizado en la mayoría de aplicaciones que los que se utilizan. También se mejora la precisión en el proceso que no se podría obtener haciéndolo mediante métodos manuales.

El proceso de bombeo de las soluciones se controla mediante el controlador PLC. De igual forma, el paso y la secuencia de las soluciones de limpieza, mediante el uso de válvulas neumáticas.

Por otro lado, la verificación de la concentración de la solución de limpieza consiste en la comprobación de la conductividad eléctrica mediante un sensor de conductividad.

**Figura 14**

*Sistema de limpieza CIP automatizado*



Fuente. <http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=3071>

### **2.3.7. Componentes de un sistema CIP**

#### **Tanques de acero inoxidable**

Debido a que el sistema de limpieza CIP va a ser implementado con el fin de realizar limpieza de tanques, las soluciones deberán ser almacenados en tanques. Como se muestra en la Figura 15, para este proyecto se ha contemplado contar con 3 tanques independientes, para solución básica (soda), solución ácida (ácido nítrico) y un estanque de agua (balanza).

## Figura 15

*Tanques de limpieza CIP de soda, acido y agua*



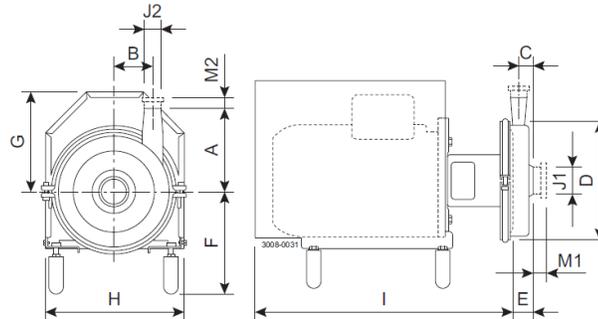
Fuente: elaboración propia.

## Bomba centrífuga

De presión para lavado y retorno. Para la transportación de los líquidos de limpieza desde el sistema CIP hacia los equipos que requieren limpieza se deben instalar bombas centrífugas de alta presión. Para el retorno de las soluciones se recomienda usar las bombas especialmente diseñadas para el efecto, ya que el líquido de retorno puede contener aire, fenómeno, conocido como cavitación. Como se muestra en la Figura 16, en el presente proyecto se utilizaron bombas del fabricante Alfa Laval, modelo Solid C.

## Figura 16

Diagrama de bomba centrífuga modelo Alfa Laval Solid C.



Fuente: <https://www.alfalaval.lat/productos-y-soluciones/manejo-de-fluidos/bombas/bombas-centrifugas/solidc/>

## Redes de tuberías

Las redes diseñadas para el transporte de las soluciones de limpieza cuyo flujo estarán en función de la presión de bomba y caudal.

En la limpieza de redes de tuberías y presión para el proceso CIP se debe tener en cuenta el caudal, velocidad y presión de flujo. Las condiciones mecánicas se consiguen durante la limpieza con un flujo turbulento.

En nuestro caso la tubería de presión de lavado será de acero inoxidable 2" y en algunos casos serán unidas mediante abrazaderas sanitarias tal como se muestra en la figura 17.

## **Figura 17**

*Abrazadera de bisagra sanitaria de un solo perno*



Fuente: <https://rubberfab.com/es/products/sanitary-clamps/single-pin-sanitary-hinge-clamp/>

## **Válvulas y actuadores neumáticos**

Estos elementos son los que permiten el direccionamiento de los líquidos de limpieza, así como los líquidos residuales productos de la misma. Por medio de ellos y mediante el sistema de control automatizado se cumplirán los diferentes ciclos de limpieza definidos para el CIP.

Para el presente proyecto se utilizaron electroválvulas de marca Alfa Laval modelo Unique Mixproof tal como se aprecia en la figura 18.

En la página web del fabricante Alfa Laval, se indica que la válvula Unique Mixproof CIP es idónea para la limpieza in situ (CIP). Esta válvula ligera de doble bloqueo y purga, diseñada específicamente para el enrutamiento de medios CIP, garantiza la seguridad de la línea CIP. Dirige los fluidos de

limpieza a presión hacia la zona que requiere limpieza sin riesgo de contaminación cruzada.

### **Figura 18**

*Electroválvula Alfa Laval Unique Mixproof*



Fuente: <https://www.alfalaval.com/>

### **Sensores de nivel**

El Sensor de nivel es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente líquidos, dentro de un tanque u otro recipiente.

Los sensores de nivel se dividen en dos tipos principales: Los sensores de nivel de punto se utilizan para marcar una altura de un líquido en un determinado nivel preestablecido. Los sensores de nivel continuos son más sofisticados y pueden realizar el seguimiento del nivel de todo un sistema en tiempo real (OMEGA, N.D.).

Para el sistema de limpieza CIP del presente proyecto se utilizaron sensores de capacitancia y de nivel continuo de marca Endress + Houser, especial para aplicaciones sanitarias, tal como se muestra en la figura 19.

### **Figura 19**

*Sensor de nivel Liquiphant FTL33 marca Endress+Houser*



Fuente: Elaboración propia

### **Sensores de conductividad**

La conductividad es la capacidad que tiene un material para conducir una corriente eléctrica, es decir, una medida de la concentración iónica total que tienen una disolución.

Los conductímetros proporcionan una evaluación inmediata del valor de conductividad en muchas aplicaciones; en algunos casos se conoce la naturaleza de los iones y se utiliza para determinar la concentración de los mismos; utilizando los medidores de conductividad se obtiene con muy buena

aproximación, el valor de dureza del agua, los valores del PH, conductividad eléctrica, oxígeno y para la medición de la temperatura, por lo que se convierte en un instrumento ideal para el análisis en el campo (KALSTEIN, N.D.)

Tal como se muestra en la Figura 20, en el presente proyecto de sistema de limpieza se utilizaron medidores de conductividad modelo Smartec CLD 134 de la marca Endres+Hauser para las líneas de envío y retorno CIP.

### **Figura 20**

*Equipos de conductividad Smartec CLD134 Endress Hauser*



Fuente: Elaboración propia

### **Válvulas “check” o antirretorno**

Una válvula antirretorno, tal como se muestra en la figura 21, es una de las piezas principales de los circuitos por los que circulan fluidos. A este tipo de válvulas se las conoce también con el nombre de válvulas de retención o

unidireccionales. Su principal misión es cerrar el paso de un fluido (líquido o gas) que está circulando en una dirección determinada por un circuito.

### **Figura 21**

*Válvula “check” o antirretorno*



Fuente: <http://valtecsac.com/producto/valvula-check-swing-br-12-con-orificio-332-fppi/>

### **Intercambiador de calor**

Los intercambiadores de calor son dispositivos donde dos corrientes de fluido en movimiento intercambian calor sin mezclarse. Los intercambiadores de calor tienen como principio la conservación de la masa en operación permanente, es decir, que las relaciones de flujo de masa entrantes deben ser iguales a la suma de las relaciones de flujo saliente (ILI, 2010).

Con un intercambiador de calor tipo placa, el calor penetra en la superficie, lo que separa el medio caliente del frío con facilidad (ALFA LAVAL, N.D.).

En el caso del presente proyecto el agua proviene de una sección de calderas de vapor con la finalidad de calentar las soluciones del sistema CIP.

### **Trampa de vapor**

Para este intercambiador, se debe instalar una trampa de vapor, que es una válvula automática que descarga condensado sin permitir que escape vapor recalentado. Para el presente proyecto de sistema de limpieza CIP se utilizó una trampa de vapor marca ADCA modelo FLT 17, tal como se muestra en la figura 22.

### **Figura 22**

*Trampa de vapor ADCA Modelo FLT 17 utilizadas en el proyecto*



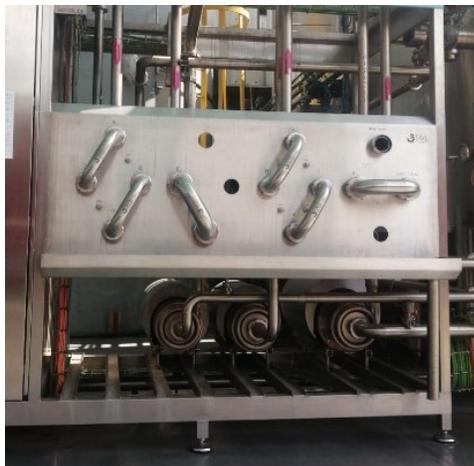
Fuente: elaboración propia

## **Placa de interconexión de tuberías**

En diversas industrias, especialmente la industria láctea, se realiza la conexión de líneas de flujo mediante el uso de placas de interconexión, esto hace innecesaria la construcción de líneas de tuberías adicionales y mediante la llegada hacia el panel, se realiza un “bypass” mediante el uso de tuberías que unen un punto de entrada al de salida, tal como se muestra en la figura 23.

### **Figura 23**

*Placa de interconexión de tuberías utilizado en el sistema de limpieza*



Fuente: Elaboración propia

## **PLC de control**

Controlador Lógico programable (o Programmable Logic Controller por sus siglas en inglés) es un autómata capaz de recibir señales de entrada y transformarlas en instrucciones y en función de un programa diseñado realiza

el control de los elementos de campo para cumplir las funciones definidas en los ciclos CIP de limpieza (CUADRADO, 2018)

Para el proyecto de limpieza CIP actual se utilizó un PLC marca Siemens modelo Simatic S7 1200 CUP 1214C, tal como se muestra en la figura 24.

### Figura 24

*PLC modelo SIMATIC S7-1200*



Fuente: Siemens <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7214-1AG40-0XB0>

### Sistemas de dispersión (sprayballs)

Otro de los elementos principales de un CIP, son los dispositivos dispersores o *sprayballs* para el lavado de los tanques que permiten alcanzar la totalidad de superficie a limpiar. Estos se escogen dependiendo del tamaño, la forma y los accesorios del tanque.

- **Pulverizador de cabezales estáticos**

Esta es la forma más básica de limpieza. El material del sprayball de pulverización estática golpea el interior del depósito siguiendo un patrón de

limpieza predefinido por los orificios perforados en la bola estática, tal como se puede apreciar en la figura 25. Este chorro limpia las paredes del depósito, pero requiere un tiempo relativamente largo y puede provocar un consumo excesivo de agua y productos químicos (INTANK, 2020).

### **Figura 25**

*Aspersores estáticos (Static Fixed Spray Balls)*



Fuente: Intank Technologies. (2020). How to determine which style of cleaning head is best suited to your tank.

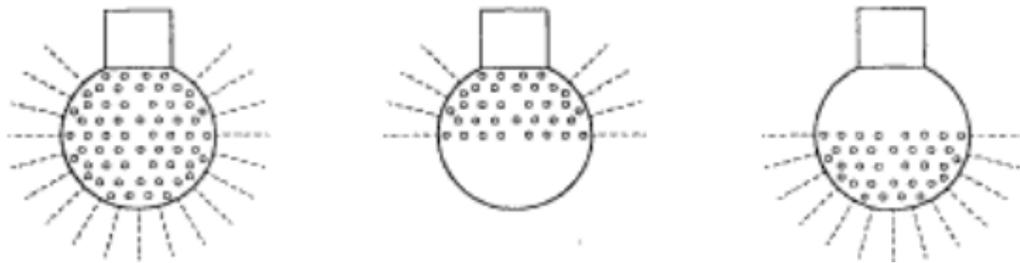
El chorro de pulverización fijo puede crear zonas de sombra en el depósito (que no son limpiadas por el chorro). Las zonas de sombra dentro de un depósito se deben a que los patrones de pulverización estándar no pueden centrarse en las zonas del depósito que necesitan una limpieza concentrada, como las bocas de acceso, las conexiones de las boquillas, los deflectores, etc.

Dentro de los pulverizadores de cabezal estático se encuentra la configuración de agujeros que puede ser de cuatro tipos tal como se ve en la Figura 26.

- Pulverizador 360°: contiene agujeros en todas direcciones.
- Pulverizador 180° arriba: para limpieza en la parte superior del tanque
- Pulverizador 180° abajo: para limpieza de la parte inferior del tanque, es usual cuando hay instrumentos como equipos de medición.

**Figura 26**

*Tipos de pulverizadores estáticos*



Fuente: <http://www.sudmo.com.au/spray-balls/>

- **Pulverizador de cabezal giratorio**

El cabezal de pulverización giratorio ofrece un patrón de pulverización en abanico giratorio que, en un patrón dinámico en cascada, humedece las superficies internas de las paredes del depósito. El abanico crea una vibración en las superficies internas del depósito, agitando los residuos y facilitando su remoción.

Este cabezal de limpieza giratorio reduce el consumo de agua y productos químicos hasta en un 30% en comparación con las bolas de pulverización fijas, (INTANK, 2020).

El diámetro de acción máximo para estos cabezales suele ser de 5 metros, tal como se aprecia en la figura 27 (Alpha Laval, 2020).

### **Figura 27**

*Pulverizador de cabezal giratorio*



Fuente: Intank Technologies. (2020). How to determine which style of cleaning head is best suited to your tank.

- **Pulverizador con cabezal tipo jet**

La tecnología del cabezal de chorro rotativo es tan avanzada y eficaz que puede reducir el consumo de agua y productos químicos hasta en un 70% en comparación con las bolas de pulverización estándar, al tiempo que reduce la duración de los ciclos de limpieza en más de un 50%. Adecuado para depósitos con una longitud de alcance máxima de 26 m y una longitud de alcance de impacto de 14 metros (INTANK, 2020). Tal como se muestra en la figura 28.

**Figura 28**

*Pulverizador rotatorios de cabeza de chorro tipo "jet"*



Fuente: Intank Technologies. (2020). How to determine which style of cleaning head is best suited to your tank.

## **CAPITULO III: DISEÑO MECÁNICO DEL SISTEMA DE LIMPIEZA CIP**

### **3.1. Presentación del problema**

Una empresa de fabricación de lacteos requiere un sistema de limpieza CIP en su planta de recepción de leche UHT en Perú, para el lavado de los tanques de proceso de su línea de producción.

Por ello, se ha realizado el diseño preliminar de un sistema de lavado CIP, en el Anexo 10, se muestra el plano del proceso. Tras cada lote de recepción de leche en tanques a 4°C, se limpiarán los tanques de recepción mediante un sistema de limpieza CIP.

En la tabla 4, se muestra el listado de quipos mecánicos del presente proyecto.

**Tabla 4***Equipamiento mecánico proyecto CIP*

<b>Equipamiento</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Marca</b>
Tanque de acero inoxidable 8m3	u	3	N.D.
Electrovalvulas	u	19	Alfa Laval
Bombas centrífugas envío y retorno	u	4	Alfa Laval
Bombas dosificadoras	u	2	Aro
Pulverizadores	u	10	Pipeline Products
Tubería inoxidable DN50 ANSI 304	m	200	N.D.
Abrazaderas de bisagras acero inox 2"	u	1	N.D.
Codo 90° acero inox de 2"	u	26	N.D.
T acero inoxidable 2"	u	6	N.D.
Placa interconexion acero inox.	u	2	N.D.
Valvula check antirretorno	u	4	N.D.

Fuente: elaboración propia

**3.2. Diseño de pulverizadores**

En el capítulo anterior vimos la diferencia principal entre cada tipo de pulverizador. A continuación, se muestra el resumen de cada pulverizador, cada uno tiene un patrón geométrico distinto y, por tanto, un impacto en la limpieza y eficiencia en tiempo, además del costo.

De acuerdo la necesidad en limpieza, se debe considerar otros factores como los mostrados en la Tabla 5, como flujo, radio de acción, costo, entre otros. Todos a partir de la industria en la que serán aplicados, las exigencias de inocuidad y la dificultad de remoción de las impurezas.

**Tabla 5**

*Comparación de distintos tipos de pulverizadores*

Dispositivos	Pulverizador estático	Pulverizador de cabezal giratorio	Cabezal giratorio de chorro o "jet"
Imagen			
Rotación	No hay rotación	Rotación de un solo eje	Rotación en dos ejes
Método	limpieza por puntos y caída de película	Limpieza por "abanico" de agua	Limpieza por chorro de alto impacto
Impacto mecánico	Bajo	Medio	Alto
	De 3 a 5 metros	5 a 15 metros	+15 metros
Caudal	Alto	Medio	Bajo
Costo operativo	Alto	Medio	Bajo
Aplicaciones	Bajo coste inicial	bajo coste de explotación	bajo coste de funcionamiento
	requisitos de higiene limitados	buenos requisitos de higiene	elevados requisitos de higiene
	tamaño pequeño del tanque	tamaño reducido del depósito	gran tamaño del depósito
	impureza débil	impureza media	impurezas difíciles

Fuente: Adaptado de Jifeng, Y. 2018. *Novel Strategies for Cleaning-in-Place Operations*. p-20

Para la elección de los pulverizadores se toma en cuenta el tamaño de los tanques a limpiar, específicamente el diámetro. Tal como lo indica en la tabla

6, el diámetro de los 10 tanques existentes en el área de recepción UHT; el diámetro de chorro del pulverizador debe ser capaz de poder como mínimo alcanzar las dimensiones del tanque.

**Tabla 6**

*Diámetros de los tanques de recepción UHT*

<b>Tanque de recepción UHT</b>	<b>Diámetro (m)</b>
Tanque 1	2.5
Tanque 2	2.5
Tanque 3	2.5
Tanque 4	2.29
Tanque 5	2.29
Tanque 6	3.96
Tanque 7	3.96
Tanque 8	2.29
Tanque 9	2.5
Tanque 10	1.77

Fuente: elaboración propia

Por tanto, el chorro debe ser capaz de alcanzar un diámetro de 4 metros. La información del diámetro de los tanques descarta el pulverizador giratorio y el tipo “jet”, dado que tienen diámetros de acción de entre 5 a 15 metros para el cabezal giratorio y un diámetro de acción mayor a 15 metros para el pulverizador de jet, por lo que estaría sobredimensionado.

Por lo tanto, para el presente proyecto se eligió un pulverizador estático 360°, tal como se muestra en la figura 29.

## Figura 29

*Bolas pulverizadoras 360° usados en el sistema CIP*



Fuente: elaboración propia

Se realizó la búsqueda en el proveedor Pipeline products LTD. De acuerdo a la ficha técnica de la Tabla 6, considerando que el diámetro del chorro debe ser de 4 metros, descartamos el modelo de 1" TSB-10 que tiene 3.6 metros de diámetro de alcance. De igual forma se descarta el modelo el TSB-15 y TSB-075 por estar sobredimensionados al radio de chorro que se quiere alcanzar. Por tanto, para el presente proyecto el sprayball a elegir será el TSB-20, tal como se aprecia en la tabla 7.

**Tabla 7***Características de pulverizadores estáticos Pipeline Products LTD*

Tubo OD		Presión	Flujo	Radio chorro	Código
Pulgadas	mm	bar	m3/h	m	
0.75	19.05	1	5.1	4.7	TSB-075
1	25.4	1	15.7	1.8	TSB-10
1.5	38.1	1	18.3	3	TSB-15
2	50.8	1	19	2	TSB-20

Fuente: Adaptado de Pipeline Products LTD <https://www.pipeline-products.co.uk/product/spray-ball-360/>

**3.3. Diseño de tuberías**

Para el diseño de las tuberías del sistema, debemos considerar en primer lugar las condiciones de operación. Dado que se trata de una fábrica de leche, planta de recepción UHT, el material adecuado para la tubería es de acero inoxidable ANSI 304.

En segundo lugar, tenemos el requerimiento del diámetro. Dado que el pulverizador será conectado mediante rosca, el diámetro de la boca del pulverizador debe coincidir con la tubería de limpieza CIP. Por lo tanto, dado que el modelo del pulverizador TSB-20 es de 2" de diámetro, para el presente proyecto será seleccionada una tubería DN50 ANSI 304.

Una vez definidas las características de la tubería, se debe comprobar que el flujo en el proceso de limpieza CIP sea turbulento para lograr que las condiciones de limpieza sean eficaces. Las características de flujo de un

líquido en una tubería turbulenta están determinadas con un número de Reynolds mayor a  $Re > 4000$ , y definidas en la ecuación 7.

$$Re = \frac{Dv\rho}{\mu} \quad (7)$$

Donde:

D: diámetro de la tubería (m)

v: velocidad media del flujo ( $m\ s^{-1}$ )

$\rho$ : densidad ( $kg\ m^{-3}$ )

$\mu$ : viscosidad ( $kg\ m^{-1}s^{-1}$ ) del líquido

Suponiendo un flujo turbulento  $Re > 4000$ , se calculó que la velocidad mínima necesaria en la tubería:

$$\text{Numero de Reynolds: } 4000 \leq \frac{(0.05m) \cdot v \cdot 995.6 \frac{kg}{m^3}}{0.8007 \times 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}}$$

$$0.064 \text{ m/s} \leq v$$

Esto cumple la recomendación de la empresa Alfa Laval como se muestra en la Tabla 8, de caudal y velocidad a partir de la selección de tubería. Dado que el presente proyecto contempla tubería de acero inoxidable DN50, el caudal del sistema de cada tubería recomendada es de 12  $m^3/h$  y una velocidad de 1.7  $m/s$ .

**Tabla 8**

*Limpieza mecánica – caudal mínimo recomendado en tuberías*

<b>Tamaño de tubería</b>	<b>Caudal mínimo</b>	<b>Velocidad</b>
DN 25	30 l/h	1.7 m/s
DN 40	80 l/h	1.8 m/s
DN 50	120 l/h	1.7 m/s
DN 65	200 l/h	1.7 m/s
DN 80	300 l/h	1.6 m/s
DN 100	400 l/h	1.4 m/s

Fuente: Adaptado de Alfa Laval. (2020). Principles of cleaning and CIP – CIP in the brewery (and food and beverage applications).

### **3.4. Diseño del tanque CIP**

Para el diseño de los tanques de almacenamiento de las soluciones de limpieza, se debe definir el volumen de estos de acuerdo con el circuito de mayor volumen a limpiar o con la mayor cantidad de circuitos de limpieza a efectuar (aplicando un factor de sobredimensionamiento). Se recomienda que esos tanques sean de acero inoxidable y enchaquetado si requiere alta temperatura (CHACÓN, 2011).

El siguiente paso es el diseño de las dimensiones de los tanques de limpieza CIP. Para esto se debe considerar el flujo de operación requerido para la limpieza. Como se vio en el apartado anterior, el caudal requerido para tener un flujo turbulento es de 12 m<sup>3</sup>/h. Dado que se trata del caudal de un equipo a limpiar, se tiene en cuenta que el sistema de limpieza sea capaz de abastecer 4 equipos a la vez, por lo tanto, el flujo del sistema que los tanques deben abastecer es de 48 m<sup>3</sup>/h.

El siguiente paso es obtener los tiempos de cada etapa de la limpieza, tal como se detalla en el Tabla 9, vemos además que el tiempo total de la limpieza es de 37 minutos, dentro del estándar en la industria.

**Tabla 9**

*Tiempos de cada etapa del proceso de limpieza*

<b>Etapa</b>	<b>tiempo (min)</b>
Preenjuague	10
Lavado sosa	10
Enjuague intermedio	5
Lavado ácido	5
Enjuague final	7
Total	37

Fuente: elaboración propia

Con los tiempos definidos para cada proceso, mediante el uso de la fórmula del volumen a partir del caudal y tiempo; y, tal como se muestra en la tabla 10, obtenemos los volúmenes requeridos para cada tanque de agua para enjuague y recuperada, solución alcalina y solución de acida a partir de la ecuación 8.

$$V = Q \cdot t \quad (8)$$

Donde:

Q: caudal del sistema

T: tiempo de la etapa

**Tabla 10**

*Tabla de volumen requerido para cada etapa del proceso de limpieza CIP*

<b>Proceso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Volumen</b>
Pre enjuague	m3	8.00
Lavado sosa	m3	8.00
Enjuague intermedio	m3	4.00
Lavado acido	m3	4.00
Enjuague final	m3	5.60

Fuente: elaboración propia

Dado que el volumen de pre enjuague es el mismo proceso de enjuague intermedio y enjuague final, procedemos a elegir el volumen de los tanques del sistema CIP, tal como se resume en la Tabla 11.

**Tabla 11**

Volumen de los tanques para el sistema de limpieza CIP

<b>Tanque</b>	<b>Unidad</b>	<b>Volumen</b>
Agua	m3	8.00
Soda	m3	8.00
Acido	m3	4.00

Fuente: elaboración propia

Por practicidad en el diseño se optó por que los tres tanques del sistema de limpieza CIP sean de 8 m3.

### 3.5. Diseño del depósito de soda caustica

Para la determinación del recipiente de la soda caustica se debe tomar en cuenta el tiempo del proceso que es de 10 minutos, y dado que la solución alcalina tendrá una concentración del 1.5% de acuerdo a los niveles recomendados como se trató en el capítulo II.

De acuerdo al volumen total de disolución alcalina de 8000L, por tanto, se requerirá 120 L de sosa cáustica para cada ciclo.

Dado que la concentración de la soda caustica comercial es del 50%, se ha elegido un depósito de soda caustica no menor a 240 L.

Para el presente proyecto se eligió utilizar el depósito de soda caustica al 50% de 300 L, tal como se muestra en la Figura 30, el cual cumple el requerimiento del depósito dimensionado.

#### Figura 30

Soda caustica liquida 50% de 300 L



Fuente: <https://homecarebqto.com/producto/soda-caustica-liquida-3/>

### 3.6. Diseño del depósito de ácido

Para la determinación del recipiente de la ácido se debe tomar en cuenta que la solución alcalina tendrá una concentración del 1%.

El volumen total de disolución ácida de 8000L, por tanto, se requerirá 80 L de sosa cáustica para cada ciclo.

Dado que la concentración del ácido nítrico comercial es del 50%, se ha elegido un depósito de ácido nítrico no menor a 160 L.

Para el presente proyecto se eligió utilizar el depósito de ácido nítrico al 50% de 300 L, el cual cumple el requerimiento del depósito dimensionado.

En la Figura 31 se muestra la disposición de los recipientes de soda caustica y ácido nítrico.

#### **Figura 31**

Zona de recipientes de soda y ácido para trasvase



Fuente: elaboración propia

### 3.7. Diseño de las bombas

Para el diseño de las bombas se utilizó el principio de caída de presión utilizando el teorema de Bernoulli.

- **Bombas dosificadora de soda caustica**

Para la selección de la bomba de dosificación de soda caustica se debe considerar el flujo y la presión interior del tanque que debe vencer, la cual considera la presión atmosférica y la presión de la columna de agua del tanque, tal como se vio en la sección 2.2.3 y cuya formula se aprecia en la ecuación 9.

$$p_t = p_{atm} + p_{col.agua} \quad (9)$$

Donde:

$p_{atm}$ : presión atmosférica

$\rho$ : densidad del líquido

$g$ : aceleración de la gravedad

$h$ : altura del recipiente

$$p_t = 101300 \text{ Pa} + \rho \cdot g \cdot h$$

$$p_t = 101300 \text{ Pa} + 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \times 2.55$$

$$p_t = 126315 \text{ Pa}$$

Otro desafío para la selección del trasvase de la soda caustica es que es altamente corrosiva, funcionando como reactivo con algunos metales y aleaciones como aluminio y acero al carbono. Debido al riesgo a la corrosión,

se recomienda bombas no metálicas, sin sellos o empaquetadura, por ejemplo, el caso de las bombas de diafragma (Allpumps Argentina, 2019).

Para el presente proyecto se seleccionó una bomba no metálica de polipropileno EXP de 2" de la marca ARO®, de presión hasta 120 bar, accionada por aire.

- **Bomba dosificadora de ácido nítrico**

De igual forma que la soda caustica, la selección de la bomba de dosificación de ácido se debe considerar el flujo y la presión interior de la bomba deberá ser la presión atmosférica y la presión de la columna de agua.

$$p_t = 126315 Pa$$

Para el presente proyecto se seleccionó una bomba no metálica de polipropileno EXP de 2" de la marca ARO®, de presión hasta 120 bar, accionada por aire.

- **Bombas de mando de tanques CIP**

Existen 3 tanques a partir de los cuales se necesita impulsar el líquido de su interior hasta los pulverizadores o sprayballs, esto mediante el uso de bombas de impulsión hacia cada tanque de recepción de leche fresca para su transformación en leche UHT.

El líquido proveniente de cada depósito, una vez impulsado, se dirigirá a cada una de las 10 máquinas que se van a abastecer por medio de electroválvulas. Cada máquina tendrá una electroválvula correspondiente a cada tanque, que se abrirá cuando se quiera limpiar esta máquina con la sustancia deseada.

Para el cálculo de las bombas de impulsión es necesario recordar una serie de datos de la instalación:

- Caudal de ciclo de 48 m<sup>3</sup>/h. Se va a dimensionar el sistema para que se puedan limpiar hasta 4 máquinas de forma simultánea. Por lo tanto, el caudal que hay que tomar como referencia es de 12.6 m<sup>3</sup>/h.
- Los fluidos a utilizar son agua, solución alcalina al 1.5% y solución ácida al 1%. Todos estos líquidos oscilarán entre temperaturas de 0°C y 80°C.
- La bomba será centrífuga debido a la baja viscosidad de los fluidos.

Para ello tomaremos la ecuación proveniente del teorema de Bernoulli para calcular las pérdidas de presión en el tramo del layout del sistema CIP tanto en el tramo horizontal y vertical.

➤ **Caída de presión en tramo horizontal**

Para esto aplicamos el teorema de Bernoulli para la caída de presión en un tramo horizontal, como se aprecia en la ecuación 10.

$$\left( p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot z_2 \right) - \left( p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot z_1 \right) = h_1 \quad (10)$$

Donde:

P: presión

$\rho$ : densidad del fluido

v: velocidad del fluido

g: aceleración de la gravedad

h: altura del punto

Para los supuestos del tramo horizontal se debe considerar:

- Área de la tubería en el punto 1 y 2 son los mismos
- Misma velocidad en punto 1 y 2, es decir  $v_1 = v_2$
- Mismo nivel horizontal, es decir  $z_1 = z_2$

La ecuación de Bernoulli se reduce a la expresión mostrada en la ecuación 11.

$$p_2 - p_1 = \Delta p = h_1 \quad (11)$$

Donde:

$p_2$ : presión en punto 2

$p_1$ : presión punto 1

h1: altura del punto

Dado que h1 se refiere a las pérdidas horizontales, estas se pueden definir con la fórmula de Darcy-Weibach, mostrada en la ecuación 12.

$$h_1 = \frac{f \cdot L \cdot \rho \cdot v^2}{2 \cdot \phi} \quad (12)$$

Donde:

f: factor de fricción de Darcy Weibach

L: longitud de la tubería

$\rho$ : densidad del fluido

$\phi$ : diámetro de la tubería

Para calcular el factor de fricción “f” debemos obtener primero el número de Reynolds utilizando la formula vista en la ecuación 6.

$$Re = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 1.7 \text{ m/s} \cdot 0.05\text{m}}{8 \cdot 10^{-4} \text{ Ns/m}^2}$$

$$Re = 106250 \text{ (turbulento)}$$

Para el cálculo de la rugosidad relativa se utilizará la fórmula mostrada en la ecuación 13. Para ello se requiere la rugosidad absoluta, en el presente proyecto se considera tubería de acero inoxidable, cuyo valor de rugosidad absoluta es de 0.002 mm, y el diámetro de la tubería es DN50

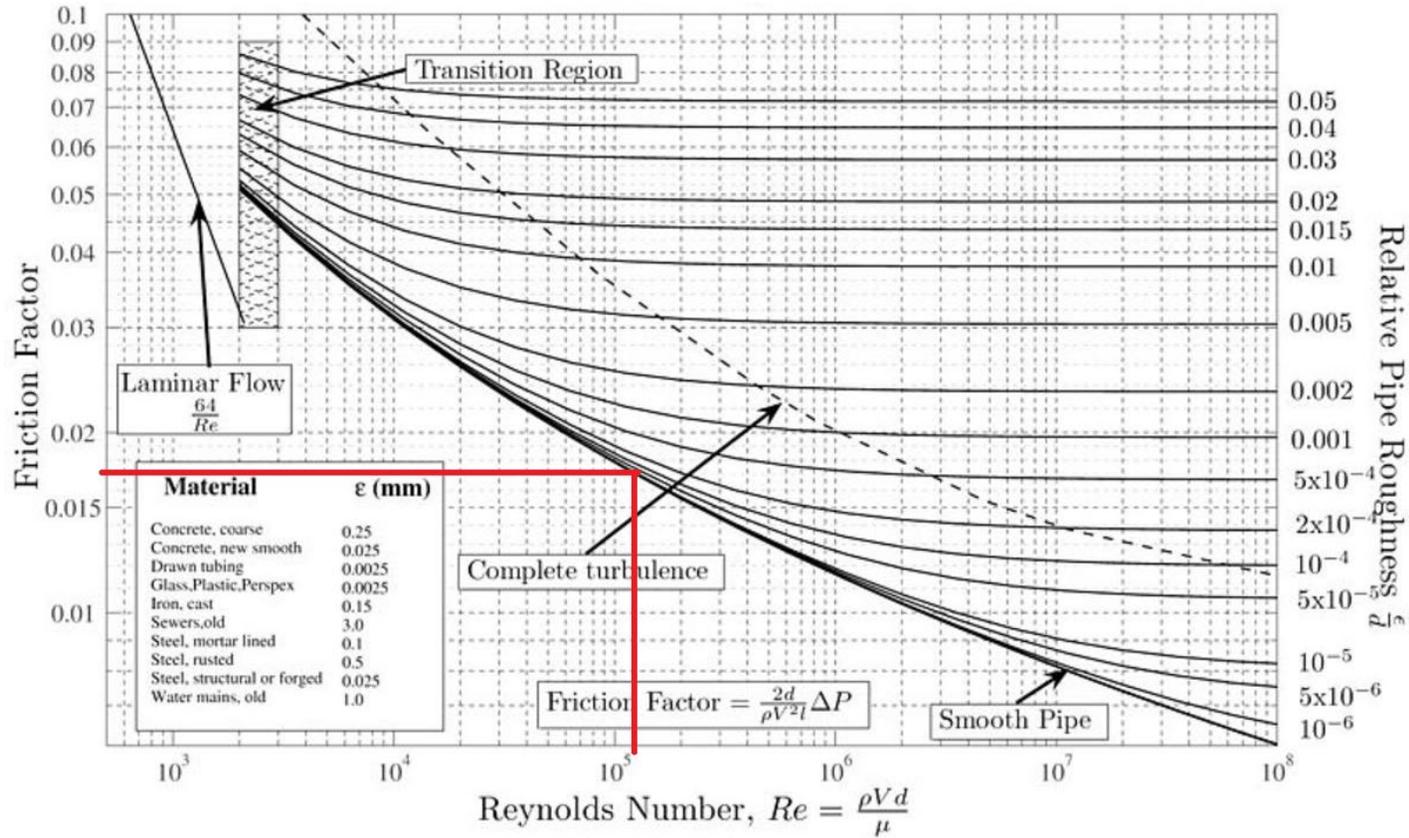
$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{\varepsilon}{\phi} \quad (13)$$

$$\frac{\varepsilon}{\phi} = \frac{0.002 \text{ mm}}{50 \text{ mm}} = 4 \cdot 10^{-5}$$

Con los datos de rugosidad relativa y el número de Reynolds se puede verificar el valor del factor de fricción (f) en el diagrama de Moody. En la Figura 32 se puede ver el diagrama y se determina que  $f = 0.0179857$ .

**Figura 32**

Diagrama de Moody



Fuente: <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-diagrama-cambiante-definicion/>

Con el valor del coeficiente de fricción sustituimos en la fórmula de Darcy-Werbach.

$$h_1 = \frac{f \cdot L \cdot \rho \cdot v^2}{2 \cdot \phi}$$

$$h_1 = \frac{0.0179857 \cdot L \cdot 1000 \frac{kg}{m^3} \cdot 1.7^2 \frac{m^2}{s^2}}{2 \cdot 0.05 m}$$

$$h_1 = 519.78 \cdot L \text{ Pa/m}$$

➤ **Caída de presión en tramo vertical**

En los tramos verticales, la presión está determinada por la columna de agua.

Para esto, se asume lo siguiente:

- Sección transversal constante.
- Pérdidas por fricción despreciables.

Para esto aplicamos el teorema de Bernoulli, mostrada en la ecuación 14.

$$(p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2) - (p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1) = 0 \quad (14)$$

$$p_2 - p_1 = \Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta z$$

$$\Delta p = 1000 \cdot 9.81 \cdot h$$

$$\Delta p_v = 9810 \cdot h \left( \frac{Pa}{m} \right)$$

➤ **Caída de presión en tramo accesorios**

Para el cálculo de la caída de presión en accesorios se debe tomar en cuenta las constantes de fricción de los accesorios, tal como se vio en la sección de base teórica.

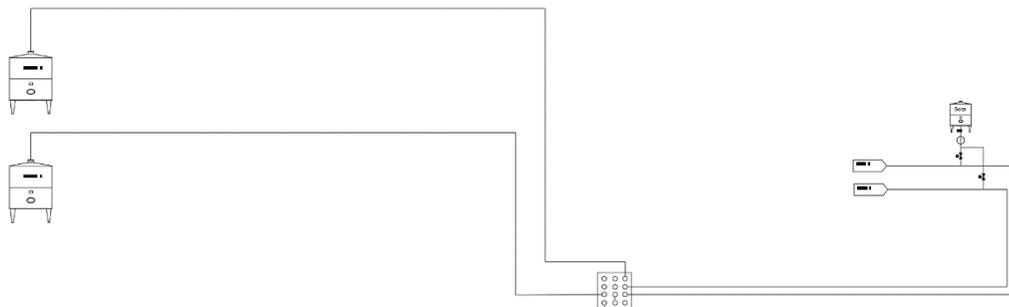
➤ **Bomba de mando solución alcalina**

Se va a utilizar una bomba centrífuga, ya que el fluido a tratar es una solución alcalina y es de baja viscosidad. El caudal que va a llegar a cada máquina es de 12 m<sup>3</sup>/h, ya que el diseño va a realizarse para una limpieza instantánea de 2 máquinas como máximo. Por lo tanto, la bomba debe tener una capacidad mínima de 24 m<sup>3</sup>/h.

Para el cálculo se han supuesto que se limpian el tanque 1 y 2 ya que son equipos más alejados al tanque de solución CIP, tal como lo muestra la Figura 33.

**Figura 33**

Disposición de la etapa de limpieza de solución alcalina



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 12, se detallan las caídas de presión en tuberías y accesorios para el circuito de solución alcalina, correspondiente al tanque de solución alcalina.

**Tabla 12**

*Caída de presión solución alcalina.*

Caída de presión	Cantidad	U.M.	$\Delta P$ (Pa)	$\Delta P$ (mH <sub>2</sub> O)
Tubería horizontal	93	m	48,339.54	4.93
Tubería vertical	15	m	147,150.00	15.01
Codo 90°	13	Unidad	28,702.76	2.93
"T"en válvula	3	Unidad	8,831.62	0.90
Electroválvulas	2	Unidad	16,191.30	1.65
Válvula check	2	Unidad	5,887.75	0.60
Rociador	2	Unidad	206,071.10	21.01
		Total	461,174.07	47.03

Fuente: elaboración propia

Por tanto, la bomba necesaria deberá impulsar un caudal de 24 m<sup>3</sup>/h venciendo una altura manométrica de 47.03 mca. De acuerdo con estas características y tras consultar con varios proveedores, se optó por el fabricante "ALFA LAVAL".

Considerando la información de caída de presión y caudal, se decidió para el proyecto la bomba modelo Alfa Laval SolidC. Esto dado que, según la ficha técnica incluida en el Anexo 1, la bomba es de acero inoxidable 316L, diseñada especialmente para aplicaciones de limpieza in situ (CIP), el Alfa Laval SolidC es ideal para tareas básicas en las industrias láctea, alimentaria bebidas y cuidado personal en las que se requiera un tratamiento higiénico. Las aplicaciones típicas son el bombeo de soluciones CIP, agua de refrigeración o

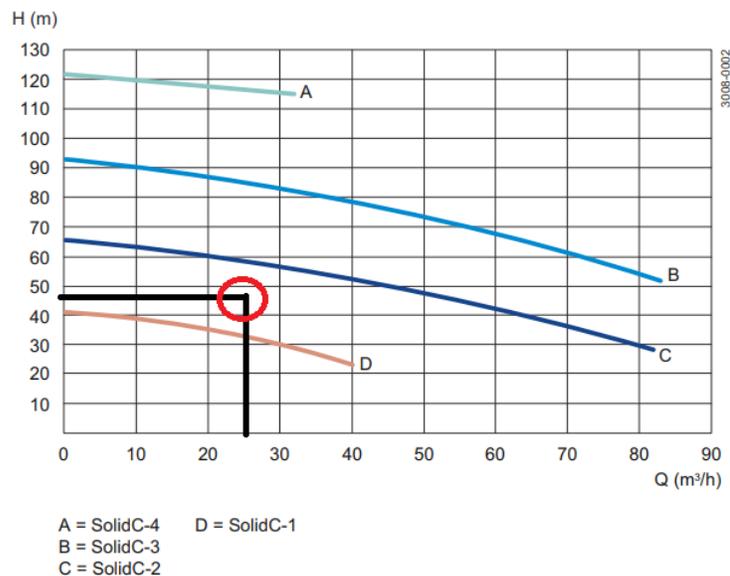
calefacción, y otras tareas de transporte sencillas. La bomba SolidC está disponible en cuatro tamaños para manejar capacidades hasta 75 m<sup>3</sup>/hora y presiones diferenciales de hasta 8 bar a 60 Hz.

Dado que el presente proyecto tiene un caudal de 24 m<sup>3</sup>/h para el envío de solución alcalina y 4.7 bar, con lo que la bomba propuesta cumple los requerimientos.

Para la selección del modelo y capacidad recurriremos a la tabla de flujo del fabricante. Tal como se muestra en la Figura 33, para el flujo y presión de trabajo, seleccionamos el modelo **Alfa Laval SolidC-2**.

### Figura 34

*Diagrama de flujo de bomba Alfa Laval Solid C (60Hz, 3600 rpm)*



Fuente: Adaptado de Ficha técnica Alfa Laval Solid C centrifugal pump, producto leaflet

➤ **Bomba de mando solución ácida**

Dado que la configuración del sistema de limpieza CIP de la solución alcalina es similar a la de la solución ácida en cuanto a distancias y ubicación, la selección de la bomba para las condiciones del flujo y presión de trabajo será la misma, por lo que seleccionaremos el modelo de bomba Alfa Laval SolidC-2.

➤ **Bomba de mando solución de reúso**

Dado que la configuración del sistema de limpieza CIP de la solución alcalina es similar a la de la solución de reúso en cuanto a distancias y ubicación, la selección de la bomba para las condiciones del flujo y presión de trabajo será la misma, por lo que seleccionaremos el modelo de bomba Alfa Laval SolidC-2.

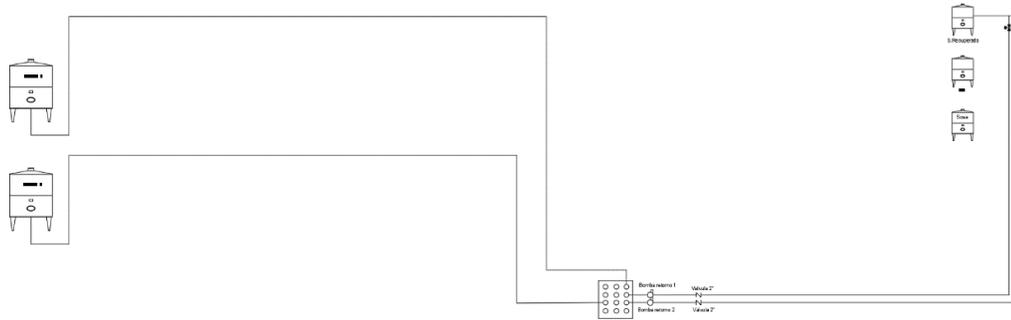
➤ **Bomba de retorno**

Una vez que los tanques y equipos han sido limpiados, la solución debe retornar mediante el impulso de una bomba hacia el tanque de reúso, esto para su reutilización si es que la solución tiene un nivel aceptable de impurezas. Para elegir la bomba de retorno, se debe de considerar el recorrido vertical y horizontal de los tanques y las pérdidas de presión de los accesorios en el plano de la operación, tal como se muestra en la Figura 35. De igual forma que en la bomba de mando CIP, se considera que, para el retorno, se

pueden poner a trabajar en simultáneo dos bombas, por lo que el caudal es de 24 m<sup>3</sup>/h.

**Figura 35**

*Disposición de la etapa de retorno CIP*



Fuente: elaboración propia

En la Tabla 13, se detallan las caídas de presión en tuberías y accesorios para el circuito de solución alcalina, correspondiente al tanque de solución alcalina.

**Tabla 13**

*Caída de presión línea de retorno CIP*

Elemento	Cant.	U.M.	$\Delta P$ (Pa)	$\Delta P$ (mH <sub>2</sub> O)
Tubería horizontal	93	m	48,339.54	4.93
Tubería vertical	7	m	68,670.00	7.00
Codo 90°	13	Unidad	28,702.76	2.93
T en valvula	3	Unidad	8,831.62	0.90
Electrovalvulas	2	Unidad	16,191.30	1.65
Valvula check	2	Unidad	5,887.75	0.60
		Total	176,622.97	18.01

Fuente: elaboración propia

Para la aplicación de la bomba de retorno será necesario impulsar un caudal de 24 m<sup>3</sup>/h venciendo una altura manométrica de 18.01 mca. De acuerdo con estas características se optó por el fabricante “ALFA LAVAL”.

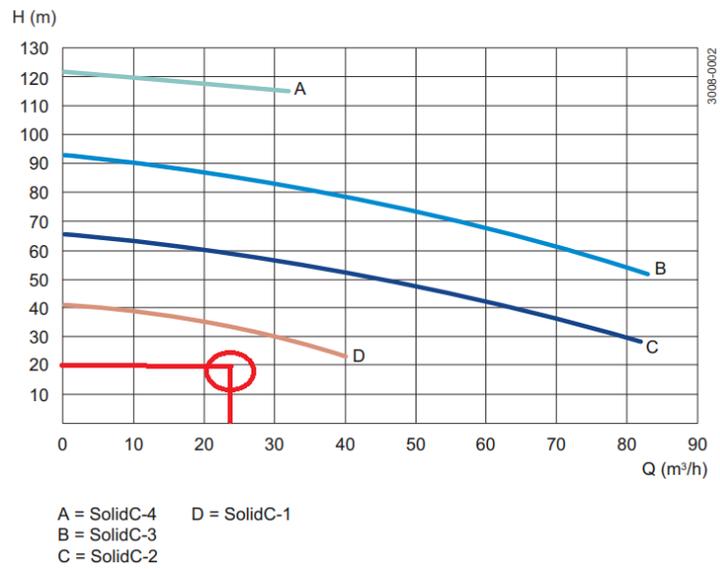
Considerando la información de caída de presión y caudal, se decidió para el proyecto la bomba modelo Alfa Laval SolidC. Esto dado que, según la ficha técnica incluida en el Anexo 1, la bomba es de acero inoxidable 316L, diseñada especialmente para aplicaciones de limpieza in situ (CIP), el Alfa Laval SolidC es ideal para tareas básicas en las industrias láctea, alimentaria bebidas y cuidado personal en las que se requiera un tratamiento higiénico. La bomba SolidC está disponible en cuatro tamaños para manejar capacidades hasta 75 m<sup>3</sup>/hora y presiones diferenciales de hasta 8 bar a 60 Hz.

Dado que el presente proyecto tiene un caudal de 24 m<sup>3</sup>/h y 1.8 bar, con lo que la bomba propuesta cumple los requerimientos.

Para la selección del modelo y capacidad recurriremos a la tabla de flujo del fabricante. Tal como se muestra en la Figura 35, para el flujo y presión de trabajo, seleccionamos el modelo **Alfa Laval SolidC-1**.

**Figura 36**

*Diagrama de flujo de bomba Alfa Laval Solid C (60Hz, 3600 rpm)*



Fuente: Adaptado de Ficha técnica Alfa Laval Solid C centrifugal pump, producto leaflet

## CAPITULO IV: DISEÑO ELECTRICO Y CONTROL DEL SISTEMA DE LIMPIEZA CIP

### 4.1. Diseño del sistema de fuerza electrobombas

Para el cálculo del arrancador debemos determinar la corriente de operación de las bombas de envío y retorno CIP que son de una potencia de 7.5kW a una tensión de operación trifásica de 220V AC.

Bajo dichas premisas se eligieron los arrancadores de marca Schneider modelo ATS01N232LU, con las características de acuerdo se muestra en la Figura 37.

#### Figura 37

*Arrancador suave para motores Altistart 01*



Fuente: Página web del fabricante Schneider

De acuerdo a las especificaciones técnicas se construyó la Tabla 14, con los principales atributos de operación.

**Tabla 14**

*Características del arrancador Altistart 01*

<b>Atributo</b>	<b>Valor</b>
Marca	Schneider
Modelo	Altistart 01
Serie	ATS01N232LU
Tipo de producto	Arrancador suave
Número de fases	3
Tension de alimentacion	200-240 V
Potencia del motor	7.5 kW
Bar aislado flexibles	32 A
Frecuencia de operación	50-60 Hz
Dimensiones	154x45x131 mm
Grado de proteccion	IP20

Fuente: elaboración propia

**4.2. Diseño tablero de distribución CIP**

- **Máxima Demanda**

Para el cálculo de Interruptores (Amp) y calibres de cable eléctrico es necesario primero definir la Máxima Demanda, para ello se utiliza la empleó la siguiente formula 15.

$$MD=P*FMD \quad (15)$$

Donde:

MD = Máxima Demanda en (Watts)

P = Potencia de consumo de los equipos eléctricos en (Watts)

FMD = Factor de Máxima Demanda

- **Corriente nominal**

Para la selección del tablero es necesario conocer el detalle del calibre de los cables a utilizar en el sistema de limpieza CIP. Para ello se debe determinar la corriente de operación de acuerdo a la tensión, en un sistema trifásico aplicamos la ecuación 16 para el cálculo de potencia, tensión y corriente.

$$I_n = \frac{MD}{K.V.fdp} \quad (16)$$

Donde:

Donde:

$I_n$  = Corriente Nominal en Amperios (Amp)

MD = Máxima Demanda en (Watts)

K = 1.73, si la corriente es Trifásico

K = 1, si la corriente es Monofásica

V = Tensión en (Voltios)

fdp = Factor de Potencia

- **Corriente de diseño**

La corriente de diseño utilizada para la selección de conductores e interruptores, se define a través de la corriente nominal y está definida en la fórmula 17:

$$I_d = 1.25 * I_n \quad (17)$$

Donde:

$I_n$  = Interruptor Nominal en Amperios

$I_d$  = Interruptor de Diseño en Amperios

#### **4.3. Diseño del calibre de conductores**

- **Alimentador llave principal**

Para el presente proyecto se debe seleccionar un a partir buscar un calibre de una corriente de diseño de 180.83 amperios.

Recurrimos al Código Nacional de Electricidad – Utilización para la selección del calibre del cable de acuerdo al amperaje, se requiere el método de instalación. Debido a que el cable irá en tubería adosada, el método recomendado es el A2, tal como se muestra en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Selección de método de instalación*

Método referencial de instalación		Tabla y columna						Factor de temperatura ambiente	Factor de reducción por agrupamiento
		Capacidades de corriente nominal para circuitos simples				Factor de temperatura ambiente	Factor de reducción por agrupamiento		
		Aislamiento PVC		Aislamiento XLPE / EPR					
		Número de conductores		Número de conductores		Número de conductores			
1	2	3	4	5	6	7	8		
	Conductores aislados dentro de un tubo empotrado en una pared	A1	Tabla 2 Col. 2	Tabla 2 Col. 3	Tabla 2 Col. 14	Tabla 2 Col. 15	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Cable multipolar en un tubo empotrado dentro de una pared	A2	Tabla 2 Col. 4	Tabla 2 Col. 5	Tabla 2 Col. 16	Tabla 2 Col. 17	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Conductores aislados dentro de un tubo sobre una pared de madera	B1	Tabla 2 Col. 6	Tabla 2 Col. 7	Tabla 2 Col. 18	Tabla 2 Col. 19	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Cable multipolar dentro de un tubo sobre una pared de madera	B2	Tabla 2 Col. 8	Tabla 2 Col. 9	Tabla 2 Col. 20	Tabla 2 Col. 21	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Cable unipolar o multipolar sobre una pared de madera	C	Tabla 2 Col. 10	Tabla 2 Col. 11	Tabla 2 Col. 22	Tabla 2 Col. 23	Tabla 5A	Tabla 5C	
	Cable multipolar en ductos enterrados	D	Tabla 2 Col. 12	Tabla 2 Col. 13	Tabla 2 Col. 24	Tabla 2 Col. 25	Tabla 5A	Tabla 5D	

Fuente: adaptado de Código Nacional de Electricidad – Utilización, Ministerio de Energía y Minas

De acuerdo a la Tabla 16, de acuerdo al método de instalación A3 y número de conductores que es 3, además del amperaje de 180 amperios, lo recomendable sería utilizar un cable de 95 mm<sup>2</sup>.

**Tabla 16**

*Capacidad de corriente nominal para métodos de instalación*

Sección nominal del conductor [mm <sup>2</sup> ]	Método de instalación de acuerdo a la NTP 370.301 (IEC 60364-5-523)											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
												
Aislamiento	XLPE o EPR		XLPE o EPR		XLPE o EPR		XLPE o EPR		XLPE o EPR		XLPE o EPR	
Temperatura	90 °C		90 °C		90 °C		90 °C		90 °C		90 °C	
Cantidad de conductores	2		3		2		3		2		3	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cobre	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	68	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	69	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	-	-	-	-	441	371	324	271
185	362	324	329	295	-	-	-	-	506	424	363	304
240	424	380	386	346	-	-	-	-	599	500	419	351
300	486	435	442	39	-	-	-	-	693	576	474	396

Fuente: adaptado de Código Nacional de Electricidad – Utilización, Ministerio de Energía y Minas

Para el presente proyecto se consideró el cable de la marca INDECO N2XOH 3-1x95mm<sup>2</sup> (F), para el suministro hacia la llave general del tablero CIP.

De igual forma se tal como se muestra en la tabla 17, se muestran las selecciones de los calibres de la alimentación de las bombas y tablero de control.

**Tabla 17***Diseño de calibre de equipos tablero de distribución*

<b>POLO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>In (A)</b>	<b>Id(A)</b>	<b>Cable</b>
C1	ALIMENTACION BOMBA LINEA ENVIO REUSO	22.14	27.68	3-1x4mm2 (F) + 1x4mm2(T) LSOH
C2	ALIMENTACION BOMBA LINEA ENVIO ACIDO	22.14	27.68	3-1x4mm2 (F) + 1x4mm2(T) LSOH
C3	ALIMENTACION BOMBA LINEA ENVIO SOSA	22.14	27.68	3-1x4mm2 (F) + 1x4mm2(T) LSOH
C4	ALIMENTACION BOMBA LINEA RETORNO 1	22.14	27.68	3-1x4mm2 (F) + 1x4mm2(T) LSOH
C5	ALIMENTACION BOMBA LINEA RETORNO 2	22.14	27.68	3-1x4mm2 (F) + 1x4mm2(T) LSOH
C6	SISTEMA CONTROL CIP	7.38	9.23	3-1x6mm2 (F) + 1x6mm2(T) LSOH
C7	BOMBA TRASVASE ACIDO	11.81	14.76	3-1x4mm2 (F) + 1x4mm2(T) LSOH
C8	BOMBA TRASVASE SOSA	11.81	14.76	3-1x4mm2 (F) + 1x4mm2(T) LSOH
C9	RESERVA			
<b>PRINCIP.</b>	<b>INTERRUPTOR PRINCIPAL</b>	<b>144.67</b>	<b>180.83</b>	<b>3-1x95mm2 (F) + 1x50mm2(T) LSOH</b>

Fuente: elaboración propia

#### 4.4. Diseño de Interruptor termomagnético

- **Alimentador principal**

Para el alimentador principal se debe considerar una corriente de nominal de 144.67 A, y una corriente de diseño de 180.83 A.

De acuerdo al CNE-U en la regla 080-104 y 160-204, se tiene la 3VM1225-4EE32-0AA0, tal como se muestra en la tabla 18, se debe elegir un dispositivo de sobre corriente de 200A.

**Tabla 18***Selección de método de instalación*

Capacidad de corriente del conductor [A]	Capacidad nominal o ajuste del dispositivo de sobrecorriente [A]	Capacidad de corriente del conductor [A]	Capacidad nominal o ajuste del dispositivo de sobrecorriente [A]
0-15	15	126-150	150
16-20	20	151-175	175
21-25	25	176-200	200
26-30	30	201-225	225
31-35	35	226-250	250
36-40	40	251-275	300
41-45	45	276-300	300
46-50	50	301-325	350
51-60	60	326-350	350
61-70	70	351-400	400
71-80	80	401-450	450
81-90	90	451-500	500
91-100	100	501-525	600
101-110	110	526-550	600
111-125	125	551-600	600

Fuente: Código Nacional de electricidad, Utilización – Sección 160. Ministerio de Energía y Minas.

Para el proyecto se seleccionaron interruptores termomagnéticos de caja moldeada de la marca Siemens modelo 3VM1225-4EE32-0AA0 que tiene una capacidad de 175 a 250 Amperes, tal como se muestra en la ficha técnica mostrada en la Figura 38.

## Figura 38

### Interruptores automáticos de caja moldeada



Fuente: Ficha tecnica del fabricante

De igual forma se tal como se muestra en la tabla 19, se muestran las selecciones de los interruptores de la alimentación de las bombas y tablero de control.

## Tabla 19

### Selección de método de instalación

POLO	DESCRIPCION	In (A)	Id(A)	ITM
C1	Alimentacion bomba linea envio reuso	22.14	27.68	30.00
C2	Alimentacion bomba linea envio acido	22.14	27.68	30.00
C3	Alimentacion bomba linea envio sosa	22.14	27.68	30.00
C4	Alimentacion bomba linea retorno 1	22.14	27.68	30.00
C5	Alimentacion bomba linea retorno 2	22.14	27.68	30.00
C6	Sistema control cip	7.38	9.23	15.00
C7	Bomba trasvase acido	11.81	14.76	15.00
C8	Bomba trasvase sosa	11.81	14.76	15.00
C9	RESERVA			
<b>PRINCIP.</b>	<b>INTERRUPTOR PRINCIPAL</b>	<b>144.67</b>	<b>180.83</b>	<b>200.00</b>

Fuente: elaboración propia

#### **4.5. Cuadro de cargas**

Para determinar el calibre, tipo de protección eléctrica y caída de tensión resumimos en el cuadro de cargas de acuerdo a lo mostrado en la tabla 20. Considerar que se tienen 5 electrobombas (3 de envío y 2 de retorno), y dos bombas de trasvase de sosa y ácido.

**Tabla 20***Selección de método de instalación*

N°	DESCRIPCION	POT. (kW)	F.M.D.	M.D. (W)	FASES	fdp	V	In (A)	Id(A)	ITM	Ø (mm <sup>2</sup> )	Cable
C1	ALIMENTACION BOMBA LINEA ENVIO REUSO	7.5	0.9	6750	3	0.8	220	22.14	27.68	30	4	3-1x4mm <sup>2</sup> (F) + 1x4mm <sup>2</sup> (T) LSOH
C2	ALIMENTACION BOMBA LINEA ENVIO ACIDO	7.5	0.9	6750	3	0.8	220	22.14	27.68	30	4	3-1x4mm <sup>2</sup> (F) + 1x4mm <sup>2</sup> (T) LSOH
C3	ALIMENTACION BOMBA LINEA ENVIO SOSA	7.5	0.9	6750	3	0.8	220	22.14	27.68	30	4	3-1x4mm <sup>2</sup> (F) + 1x4mm <sup>2</sup> (T) LSOH
C4	ALIMENTACION BOMBA LINEA RETORNO 1	7.5	0.9	6750	3	0.8	220	22.14	27.68	30	4	3-1x4mm <sup>2</sup> (F) + 1x4mm <sup>2</sup> (T) LSOH
C5	ALIMENTACION BOMBA LINEA RETORNO 2	7.5	0.9	6750	3	0.8	220	22.14	27.68	30	4	3-1x4mm <sup>2</sup> (F) + 1x4mm <sup>2</sup> (T) LSOH
C6	SISTEMA CONTROL CIP	2.5	0.9	2250	3	0.8	220	7.38	9.23	15	6	3-1x6mm <sup>2</sup> (F) + 1x6mm <sup>2</sup> (T) LSOH
C7	BOMBA TRASVASE ACIDO	4.0	0.9	3600	3	0.8	220	11.81	14.76	15	4	3-1x4mm <sup>2</sup> (F) + 1x4mm <sup>2</sup> (T) LSOH
C8	BOMBA TRASVASE SOSA	4.0	0.9	3600	3	0.8	220	11.81	14.76	15	4	3-1x4mm <sup>2</sup> (F) + 1x4mm <sup>2</sup> (T) LSOH
C9	RESERVA	1.0	0.9	900								
<b>Princ.</b>	<b>INTERRUPTOR PRINCIPAL</b>	<b>49.0</b>		<b>44100</b>	<b>3</b>	<b>0.8</b>	<b>220</b>	<b>144.67</b>	<b>180.83</b>	<b>200</b>	<b>95</b>	<b>3-1x95mm<sup>2</sup> (F) + 1x50mm<sup>2</sup>(T) LSOH</b>

Fuente: Elaboración propia

## Caída de tensión

Adicionalmente, realizamos el cuadro de caída de tensión, de acuerdo a las distancias, como se muestra en la tabla 21, vemos que cumple con lo requerido en el CNE-U, que no supera el 2.5%.

**Tabla 21**

*Selección de método de instalación*

<b>POLO</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>K</b>	<b>Id (A)</b>	<b>L (m)</b>	<b>%V</b>
C1	ALIMENTACION BOMBA LINEA ENVIO REUSO	1.73	27.68	15	1.1%
C2	ALIMENTACION BOMBA LINEA ENVIO ACIDO	1.73	27.68	15	1.1%
C3	ALIMENTACION BOMBA LINEA ENVIO SOSA	1.73	27.68	15	1.1%
C4	ALIMENTACION BOMBA LINEA RETORNO 1	1.73	27.68	20	1.5%
C5	ALIMENTACION BOMBA LINEA RETORNO 2	1.73	27.68	20	1.5%
C6	SISTEMA CONTROL CIP	1.73	9.23		0.0%
C7	BOMBA TRASVASE ACIDO	1.73	14.76	10	0.4%
C8	BOMBA TRASVASE SOSA	1.73	14.76	10	0.4%
C9	RESERVA				
<b>PRINCIP.</b>	<b>INTERRUPTOR PRINCIPAL</b>	<b>1.73</b>	<b>180.83</b>	<b>10</b>	<b>0.2%</b>

Fuente: elaboración propia

## 4.6. Diseño del Grado de protección de tablero

El grado de protección IP (Ingress Protection por sus siglas en inglés) es una forma de mostrar la eficacia de los tableros eléctricos para bloquear cuerpos extraños como el polvo, la humedad, los líquidos y el contacto accidental, tal como se muestra en la tabla 22.

**Tabla 22***Selección de método de instalación*

<b>Nivel</b>	<b>Nivel de protección</b>	<b>Protección a objetos</b>	<b>Protección a líquidos</b>
IP20	Polvo	2 <12.5 mm	0 Sin protección
IP21	Goteo vertical de agua	2 <12.5 mm	1 Goteo de agua
IP23	A prueba de lluvia	2 <12.5 mm	3 Agua nebulizada (spray)
IP44	Resistente al agua (adecuado en el baño o la ducha)	4 <1 mm	4 Chorros de agua
IP54	Resistente al agua / a prueba de polvo	5 Protección contra polvo	4 Chorros de agua
IP65	Protegido contra chorros de agua	6 Protección completa contra polvo	5 Chorros de agua
IP67	A prueba de polvo / inmersión durante 30 minutos (adecuado para el uso en el baño o en la ducha)	6 Protección completa contra polvo	7 Inmersión completa en agua
IP68	A prueba de polvo / protegida bajo el agua	6 Protección completa contra polvo	8 Inmersión completa y continua en agua

Fuente: Adaptado de Clases de Protección IP <https://www.efectoled.com/blog/es/guia-grado-de-proteccion-ip/#indices-de-proteccion-ip-ms-comunes>

Para el presente proyecto, las condiciones de trabajo son una exposición completa a la intemperie, por lo que la protección a objetos tendrá que ser contra completa contra polvo y dado que hay operarios realizando limpieza y maniobras continuas con líquidos y chorros de agua, necesitará una protección contra chorros de agua, resultando en un tablero con grado de protección IP55.

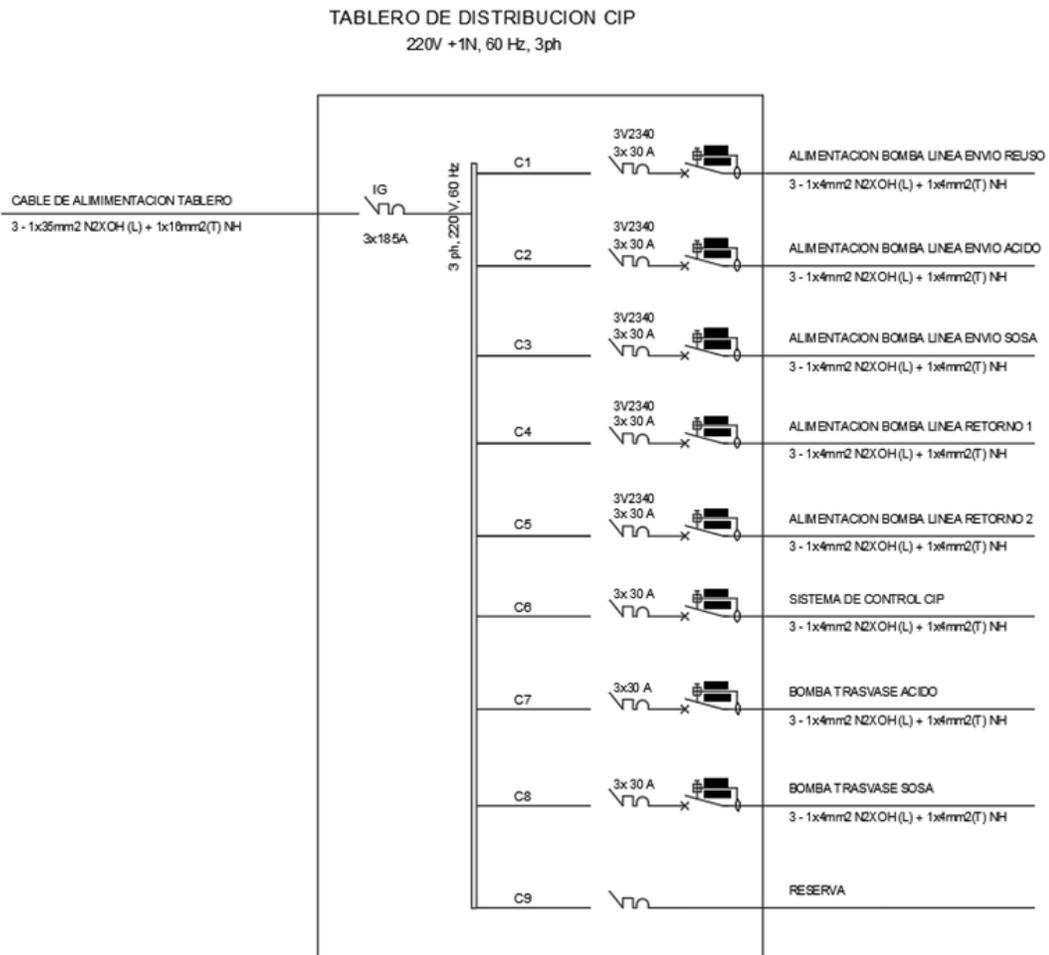
De igual forma se elige para el tablero de control un gabinete IP55, tal como se ve en la ficha del fabricante mostrado en el anexo 12.

#### 4.7. Diagrama unifilar del tablero

Finalmente podemos configurar el tablero de distribución para el sistema de limpieza CIP, tal como se muestra en la Figura 39.

**Figura 39**

*Diagrama unifilar tablero CIP*



Fuente: elaboración propia

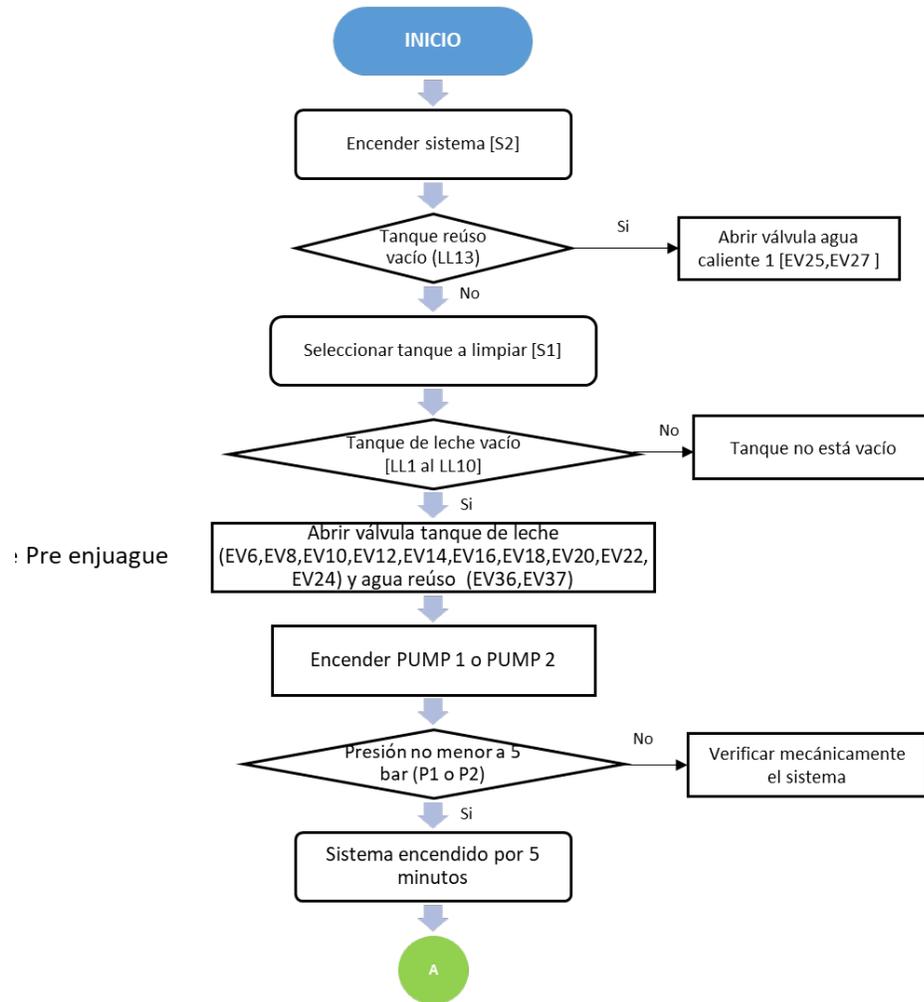
#### **4.9. Selección del PLC**

El sistema tiene 2 circuitos de impulsión, en los que se abastecerán de 3 tanques: solución alcalina, solución ácida y agua recuperada, mientras que hay 2 circuitos de retorno. El agua bruta ingresará de la red que cuenta una caldera externa que se encarga de calentarla. Se tendrá el control y monitoreo del nivel de los tanques y la presión del sistema.

En la figura 40 se muestra la secuencia de operaciones de la etapa pre enjuague del sistema Clean In Place. El detalle de las 5 etapas que consta el proceso de limpieza CIP se encuentra en el anexo 14.

**Figura 40**

**Secuencia limpieza CIP pre enjuague**



Fuente: elaboración propia

Para el PLC, deben identificarse los tipos de señales, entradas y salidas, de los elementos de control que participan en el sistema CIP. La información de las principales señales del PLC se muestra en la Tabla 23 y el listado completo en el anexo 17.

**Tabla 23**

Principales señales de elementos de control del sistema CIP

Nombre	Variable	Input/Output	Elemento	Funcion
EV1	Booleana	O	Electrovalvula	Electrovalvula retorno CIP 1
EV2	Booleana	O	Electrovalvula	Electrovalvula retorno CIP 2
EV3	Booleana	O	Electrovalvula	Electrovalvula envio CIP 1
LL1	Booleana	I	Sensor nivel	Nivel bajo tanque leche 1
LL2	Booleana	I	Sensor nivel	Nivel bajo tanque leche 2
LL3	Booleana	I	Sensor nivel	Nivel bajo tanque leche 3
PUMP1	Booleana	O	Bomba 1	Bomba envio CIP linea 1
PUMP2	Booleana	O	Bomba 2	Bomba envio CIP linea 2
PUMP3	Booleana	O	Bomba 3	Bomba retorno CIP linea 1
F1	Analogico	I	Flujometro 1	Medidor linea envio CIP 1
F2	Analogico	I	Flujometro 1	Medidor linea envio CIP 2
P1	Analogico	I	Presostato 1	Medidor de presion solucion limpieza 1
P2	Analogico	I	Presostato 2	Medidor de presion solucion limpieza 2
T1	Analogico	I	Sensor de temperat. 1	Sensor de temperatura tanque reuso
T2	Analogico	I	Sensor de temperat. 2	Sensor de temperatura tanque acido
T3	Analogico	I	Sensor de temperat. 3	Sensor de temperatura tanque sosa
S1	Booleana	O	Selector	Selección de tanque a limpiar
B1	Booleana	O	Pulsador	Pulsador de arranque
B2	Booleana	O	Pulsador	Pulsador de parada
HMI1	Float	O	HMI	Pantalla de operación
S2	Booleana	O	Selector	Encendido general del sistema

Fuente: elaboración propia

El resultado da 50 salidas y 23 entradas, lo que significa que se requiere un PLC que tenga dicho número de accesos.

Para el presente trabajo se utilizará el PLCs SIEMENS S7-1200 CPU1214C que cuenta con 14 entradas y 10 salidas. Para cumplir con el número de

señales se utilizarán módulos de entradas adicionales al PLC conectado mediante red ethernet.

El PLCs estará comunicado a su vez mediante red ethernet a un switch de 4 puertos que estará conectado a un touch panel marca Siemens SIMATIC HMI KTP700, que se muestra en la Figura 41.

### **Figura 41**

Touch panel SIMATIC S7-1200



Fuente: <https://support.industry.siemens.com/forum/pe/en/posts/simatic-s7-1200-touch-panel/229075>

De acuerdo a la ficha técnica del fabricante, se muestran las características del PLC seleccionado son como las mostradas en la Tabla 24:

**Tabla 24***Características del PLC Siemens s7-1200.*

<b>Atributo</b>	<b>Valor</b>
Marca	SIEMENS
Designacion del equipo	CPU 1214C DC/DC/DC
Tension de alimentacion	24 V DC
Tension de salida para "0"	0.1 V
Tension de salida para "1"	20 V
Consumo (valor nominal)	500 mA; Solo CPU
Pérdidas, típ.	12 W
Tipo de interfaz	PROFINET
Numero de entradas digitales	14
Numero de salidas digitales	10
Dimensiones	110x100x75 mm
Peso	415 g
Grado de proteccion	IP20

Fuente: Adaptado de

<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7214-1AG40-0XB0>

Por último, se muestra en la tabla 25 el listado de componentes electricos y de control del presente proyecto:

**Tabla 25***Equipamiento electrico proyecto CIP*

<b>Equipamiento</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Marca</b>
Tablero fuerza GP. IP55	1	Rittal
Tablero control GP. IP55	1	Rittal
Sensores de nivel	6	Endress + Houser
Sensores de presion	2	Baumer
Sensores de temperatura	3	Baumer
Arrancador de motor	4	Schneider
PLC	1	Siemens

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO V: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS**

### **5.1. Resultado del diseño de detalle**

El presente diseño de un sistema de limpieza CIP considera con tuberías de acero inoxidable ANSI 304 de 2" DN50. El sistema cuenta con tres tanques de limpieza CIP: solución alcalina, solución acida y reúso, impulsadas con bombas SolidC de la empresa Alfa Laval. Además, cuentan con dos depósitos de trasvase para la soda caustica y el ácido impulsadas hacia los tanques respectivos mediante bombas de diafragma.

El sistema cuenta con una línea de vapor proveniente de la sección de calderos por lo que no fue necesario el diseño de un intercambiador de calor.

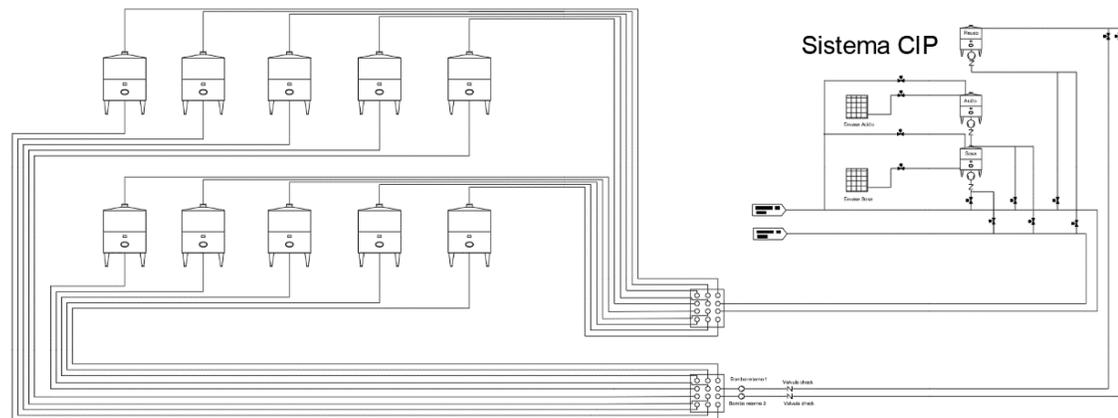
El sistema CIP está destinado a lavar 10 tanques de recepción de leche UHT, sin embargo, la limpieza simultanea se realizará en dos líneas 1 y 2, conectadas mediante el uso de placas de distribución de acero inoxidable. El retorno de la solución de limpieza es impulsado mediante una línea de retorno CIP, que es enviada al tanque de reúso.

El sistema es impulsado mediante un PLC marca Siemens Simatic S7-1200, y alimentado por un tablero de distribución eléctrico.

Finalmente, tal como se muestra en la Figura 42, el diseño del sistema CIP queda distribuido de la siguiente forma:

### Figura 42

Diseño del sistema de limpieza CIP



Fuente: elaboración propia.

## 5.2. Resultado del tiempo de lavado

La empresa láctea del presente estudio recibe en dos turnos por día las descargas de leche acopiada en camiones cisterna enchaquetadas a una temperatura de 4°C. Cada camión tiene una capacidad entre 20 y 35 m<sup>3</sup>, por lo que la cantidad de leche en recepción UHT asciende a entre 40 y 70 m<sup>3</sup>. De acuerdo a las capacidades de los tanques de recepción de leche, la leche acopiada puede ser almacenada en 1 o 2 tanques por cada turno como máximo.

En el primer turno, el tiempo de lavado es de 32 minutos en una secuencia que cuenta con 5 ciclos.

En el segundo turno, el tiempo de lavado es de 27 minutos, dado que se reduce el tiempo de pre enjuague con el reúso de solución. También consta de 5 ciclos.

El tiempo de lavado por día es de 59 minutos al día. En base a la literatura en limpieza manual, en promedio el tiempo empleado en el lavado manual suele ser de 8 horas incluyendo desmontaje, desarmado, rearmado de los equipos (Ramirez,2021; Cuadrado, 2018).

Con lo que contamos con un ahorro de 87.7% del tiempo de lavado empleando mediante el sistema de limpieza CIP en comparación con la limpieza manual.

### **5.3. Contrastación de resultado con la hipótesis**

#### **Hipótesis #01**

*El diseño de un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (clean-in-place) permitirá usar los recursos hídricos de manera eficiente en el proceso de fabricación de leche UHT de una empresa de la industria láctea.*

El recurso en consideración fue el tiempo. Dado que el tiempo de lavado empleado mediante el uso de un sistema de limpieza automatizado CIP por día es de 59 minutos al día. Realizando la comparación con una limpieza promedio manual, se cuenta con un ahorro de 87.7% del tiempo de lavado

empleando mediante el sistema de limpieza CIP en comparación con la limpieza manual.

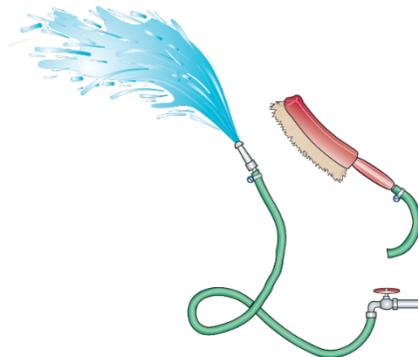
## Hipótesis #02

*El diseño de un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (clean-in-place) permitirá lograr los niveles de inocuidad de fabricación de la leche UHT de una empresa de la industria láctea.*

Para la comprobación de esta hipótesis debemos considerar que la limpieza manual de equipos en la industria láctea se realiza mediante el uso de mangueras con agua a alta velocidad (entre 1.5 a 3 m/s) para conseguir flujos turbulentos y escobillas para el raspado de las superficies con el fin de eliminar las impurezas, tal como se muestra en la Figura 43.

### Figura 43

Ejemplo de limpieza mecánica.



Fuente: <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/cleaning-dairy-equipment>

Dado que el volumen de agua utilizado depende del caudal y el tiempo, y dado que el caudal es igual para conseguir el flujo turbulento, y dado que el tiempo

de limpieza manual es mayor que el del sistema automatizado CIP, se concluye que el uso de volumen de agua usado en la limpieza manual es mayor que en el sistema CIP.

### **Hipótesis #03**

*El diseño de un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (clean-in-place) permitirá reducir el nivel de riesgo ocupacional de los operarios en el proceso de fabricación de leche UHT de una empresa de la industria láctea.*

Para evaluar los riesgos de la limpieza manual, para el presente estudio se realizó consulta con expertos en temas de seguridad y supervisores de Seguridad y Salud Ocupacional y medio Ambiente (SSOMA) evaluando la operación de limpieza de forma manual, tal como se muestra en la Figura 44.

### **Figura 44**

Limpieza de un tanque realizada por un operario



Fuente: <https://www.alffumingperu.com/servicios/limpieza-desinfeccion-de-tanques-y-cisternas-de-agua/>

Como resultado de la consulta a expertos, se obtuvo el listado de riesgos tal como muestra la Tabla 26.

**Tabla 26**

*Listado de riesgos laborales*

<b>Tipo de riesgo</b>	<b>Riesgo laboral</b>
Químicos	Al estar en contacto con detergentes se puede producir reacciones alérgicas o irritación
Mecánicos	al estar en un entorno nocivo como un tanque que puede contener sustancias de limpieza resbaladizas con detergente, esto puede derivar en una operación en superficie insegura.
Físicos	dado que para lograr la remoción de las incrustaciones de suciedad se requiere el uso de agua a temperatura por encima de la temperatura de ambiente, la exposición puede generar malestar general, disminución de la destreza manual e intelectual, muerte por parada cardíaca, calambres, agotamiento, golpe de calor, quemaduras, enfermedades respiratorias, etc.
Ergonómicos	al realizar esfuerzo de lavado mediante el uso del cuerpo, la adopción de posturas forzadas, manipulación manual de cargas; por la realización de movimientos repetitivos y estar en una misma posición puede ocasionar trastornos músculo-esqueléticos (TME).
Psicosociales	claustrofobia: al estar dentro de los tanques para su limpieza

Fuente: elaboración propia.

La operación de un operario para inspección visual, del manejo de las ordenes en el panel PLC, y limpieza ocasional del lugar de trabajo, similar a como se muestra en la Figura 45.

## Figura 45

Trabajador de fabrica configurando touch panel



Fuente: <https://www.istockphoto.com>

De forma similar, para el presente proyecto se considera la elaboración de riesgos de la implementación de un sistema de limpieza CIP automatizado tal como se muestra en la Tabla 27.

## Tabla 27

*Listado de riesgos laborales*

Tipo de riesgo	Riesgo laboral
Químicos	Ninguno, dado que no tiene exposición al detergente o químicos
Mecánicos	Ninguno, dado que no accede al tanque para limpiarlo.
Físicos	Ninguno
Ergnomicos	Al realizar esfuerzo al mantener el orden y limpieza del área, la manipulación manual de cargas, la realización de movimientos repetitivos y estar en una misma posición puede ocasionar trastornos musculoesqueléticos (TME)
Psicosociales	Ninguno

Fuente: elaboración propia

Para el análisis comparativo, se elaboró la evaluación mediante el uso de una matriz de riesgos laborales, tal como se muestra en la Figura 46, que evalúa dos parámetros, la probabilidad de ocurrencia y el nivel de consecuencias que desencadenarían ese riesgo.

Par la limpieza de los equipos de recepción UHT de forma manual, estaría posicionada en la matriz sea considerada como **Riesgo importante (I)**.

De igual forma, luego de evaluar la operación de un sistema de limpieza automatizado CIP, estaría ubicada en la matriz como un **Riesgo Tolerable (TO)**.

**Figura 46**

Matriz de riesgos laborales

		NIVELES DE RIESGO		
		Consecuencias		
		Ligeramente Dañino LD	Dañino D	Extremadamente Dañino ED
Probabilidad	Baja B	Riesgo trivial T	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO
	Media M	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I
	Alta A	Riesgo moderado MO	Riesgo importante I	Riesgo intolerable IN

Fuente: <https://prevencionlaboralrimac.com/Herramientas/Matriz-riesgo>

Por lo tanto, se puede comprobar que la implementación de un sistema de limpieza CIP reduce el nivel de riesgo ocupacional del operario.

#### **5.4. Contrastación con estudios similares**

En el estudio de (Mengyuan, 2018) se indica que, pese a que los sistemas CIP pueden reducir el tiempo de inactividad y los costes en mano de obra, un sistema CIP totalmente automatizado requiere una elevada inversión de capital.

En el estudio de (Simeone, 2017) se estima que, de media, una planta de alimentos y bebidas dedicará el 20 % de cada día a limpiar equipos, lo que representa un tiempo de inactividad significativo para una planta.

La característica fundamental de una "producción más limpia" es el concepto de "reducción en origen", para ser más específicos, la generación de contaminante puede reducirse o de materias primas, energía, agua y otros recursos (Cagno et al., 2005).

Un estudio de caso realizado por (Wrap, 2019) sobre el sector de las bebidas del Reino Unido informó de un ahorro potencial de 222 000 litros de agua al año mediante procedimientos CIP más eficientes para recipientes y tuberías en su planta de envasado de Leven, y la reducción del uso de agua en 5 millones de litros mediante un CIP eficiente en su producción de bebidas alcohólicas.

El trabajo de (Vourch, 2008) concluye que, entre las industrias alimentarias, la industria láctea es la más contaminante por el gran volumen de residuos que genera (de 0,2 a 10 litros de efluentes por litro de leche procesada).

El trabajo de (Cuadrado, 2018) reduce mediante el uso de un sistema CIP automatizado el tiempo de limpieza manual de 2.5 horas a 17 minutos, logrando así un ahorro del tiempo de 88.6% respecto a la limpieza manual.

## CONCLUSIONES

1. Tal como se vio en el presente trabajo de tesis, se concluye que es posible realizar un diseño de un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (Clean-in-Place) en la fabricación de leche UHT de una empresa de la industria láctea. Esto considerando la importancia de la inocuidad en la industria láctea, la cual requiere unos niveles y controles de limpieza y desinfección muy elevados para no contaminar el producto final, el requisito de inocuidad hace imprescindible el uso de sistemas CIP.
2. Se concluye que es posible diseñar un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (clean-in-place) que permita reducir el tiempo de operación en el proceso de fabricación de leche UHT de una empresa de la industria láctea, dado que el presente Proyecto del desarrollo de un sistema CIP de limpieza de tanques vimos una importante reducción de tiempo en la limpieza con respecto al proceso manual, optimizándose el tiempo en 87.7%, tiempo en el cual se puede incrementar la productividad.
3. Se concluye que un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (clean-in-place) permite lograr una reducción en el uso de agua para la

limpieza de equipos durante la fabricación de la leche UHT de una empresa de la industria láctea, esto visto en la hipótesis del capítulo 5.

4. Se concluye que un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (clean-in-place) que permite reducir el nivel de riesgo ocupacional de los operarios durante el proceso de fabricación de leche UHT de una empresa de la industria láctea; esto dado que el presente trabajo logró automatizar la mayoría de procesos industriales del sistema CIP, evitando los errores derivados del trabajo manual, disminuyendo así los tiempos de limpieza y la intervención humana en los procesos que impliquen riesgos de accidentes laborales, tal como se vio en el capítulo 5.
5. Se concluye que un sistema automatizado de limpieza in situ CIP (clean-in-place) permite el ahorro económico en los procesos de limpieza; esto dado que el presente diseño se buscó evitar el sobredimensionamiento de los equipos, por lo que se estimó por el lado eléctrico el calibre de cable adecuado de acuerdo a la corriente y la selección de bomba de acuerdo a las caídas de presión, esto pues un aumento de pérdidas de resistencia en cable, o bombas de mayor capacidad a la necesaria conllevaría a un gasto innecesario de recursos.
6. La matriz de riesgos ayudó a determinar el beneficio en la disminución de riesgos laborales de un sistema de limpieza automatizado CIP en comparación con una limpieza de equipos realizada de forma manual.

## RECOMENDACIONES

- Para el cálculo de la rugosidad relativa de las tuberías se puede utilizar visualmente el diagrama de Moody, sin embargo, se recomienda usar herramientas informáticas que pueden interpolar los valores y así obtener valores precisos, de igual forma se recomienda cotejar el valor de forma visual. En el presente trabajo se utilizó la herramienta Moody Chart Calculator [https://www.advdelpisys.com/michael\\_maley/moody\\_chart/](https://www.advdelpisys.com/michael_maley/moody_chart/)
- Se recomienda evaluar el impacto del uso de placas de interconexión, dado que se pudieron reducir el número de electroválvulas en cada uno de la entrada de los tanques a limpiar, el único inconveniente es el trabajo del operario de mediante acoples realizar la interconexión deseada de la línea de limpieza CIP a la del tanque, haciéndolo menos automatizado.
- Se recomienda hacer una evaluación económica del sistema CIP implementado hallando la inversión de la implementación, análisis financiero y valor del payback.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Public Health Association. 1960. Standard Methods for the Examination of Dairy Products. APHA, New York.
- BIRD, M. 1994. Cost optimization of dairy cleaning in place (CIP) cycles, Transactions of the institution of chemical engineers, Food and bioproducts processing (Part C), 72, 17-20.
- CAROLINE, L. 2010. Bacterial re-contamination of surfaces of food processing lines during cleaning in place procedures. Journal of Food Engineering, 96, 37-42. Doi: 10.106/j.jfoodeng.2009.06.040
- CHACÓN, S. (2011). Estudio para el mejoramiento del sistema de limpieza de la línea de yogurt en la planta de derivados de la empresa Freskaleche sa. Pag 12.
- COLE, P. A. 2011. Cleaning of toothpaste from process equipment by fluid flow at laboratory and pilot scales. EngD, University of Birmingham.
- COULSON, J. 1999. Coulson and Richardson's Chemical Engineering Volume 1 - Fluid Flow, Heat Transfer and Mass Transfer (6th Edition).
- CSI Designs (2019), Advantages of clean-in-place (CIP) systems <https://www.csidesigns.com/blog/articles/advantages-of-clean-in-place-cip-systems>

- FID-IDF. 1979. Document 117: Design and Use of CIP-Systems in the Dairy Industry. FED-IDF General Secretariat Brussels, Belgium.
- HARPER, W. 1972. Sanitation in dairy food plants, In Food Sanitation. R.K. Guthrie (ed.), AVI, Westport, Conn., p. 112.
- Heldman, D. (2006) Handbook of Food Engineering. 3th edition. CRC Press.
- INEI. (2013). Cuentas Nacionales del Perú: Oferta y Demanda Global 1991 – 2012. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Lima, Perú.
- JENNINGS, W. G. 1959. Circulation Cleaning. III. The Kinetics of a Simple Detergent System. Journal of dairy science, 42, 1763-1771.
- KALSTEIN. (N.D). Medidor de conductividad ¿Qué es?  
<https://kalstein.co/medidor-de-conductividad-que-es/>
- LEEDER, J., 1956. Milkstone: It can be controlled. Department of Dairy Industry. Rutgers University, New Brunswick, N. J.
- LEMA, M., 2007. Diseño de un sistema de limpieza de tipo sanitario CIP para la industria de alimentos lácteos. Escuela Superior politécnica del Litoral, Ecuador.
- LORENZEN, K. 2005. Improving cleaning in place (CIP), In Handbook of Hygiene Control in the Food Industry, pp 425-444.
- LLOYD, D., 2008. Design and control of CIP systems. In Clean-in-place: Dairy, Food and Beverage Operations (3rd ed.). A. Y. Tamime (Ed.), pp.150 ff. Oxford:Blackwell Publishing Ltd.

- MCKINNON, C. 1969. Automatic spray of bulk tanks: the results of a field trial. J. Soc.Dairy Technol. 22: 227.
- MENGYUAN F., 2018. Fundamental Understandings and Optimization Strategies of in-place cleaning, P 9-11.
- NOVAK, M. 2020. Estrategia óptima para desarrollar procedimientos de limpieza para máquinas de llenado equipadas con CIP. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad de Cincinnati. Cincinnati : s.n., 2020.
- Omega Engineering. (N.D.). Sensor de nivel: ¿Qué es un sensor de nivel?  
<https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>
- POZUELO, P. (2015 abril 30). Sistemas de limpieza CIP.  
<https://www.betelgeux.es/blog/2015/04/30/sistema-de-limpieza-cip/>
- RAMIREZ, L. (2021). Diseño del sistema cleaning in place para reducir el tiempo de lavado en la separadora NX-934b, en una planta pesquera, 2021
- RODEM. (N.D.). Reuse vs. single use CIP: the basics  
<https://rodem.com/blog/reuse-vs-single-use-cip-the-basics/>
- SILVA, L. (2017). Diseño de un sistema de automatización para la planta de alimento ensilado "Hector Molina". Ciencias Técnicas Agropecuarias.
- SIMEONE, A. (2017). "Eco-intelligent monitoring for fouling detection clean-in-place". ELSEVIER, 6.

TAMPLIN, T. 1980. CIP-technology, detergents, and sanitizers. In Hygienic Design and Operation of Food Plant, R. Jowitt (ed.), AVI, Westport, Conn., p. 183.

WRAP, 2019. Clean-in-Place Case Study: UK Drinks sector 2019.G